

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

В.Н. Мигунов

**ВЛИЯНИЕ РАСЧЁТНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИН
В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ
НА ОБРАЗОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ
ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН**

Пенза 2015

УДК: 624.21.012.4(043.3)

ББК 38.74

М57

Рецензенты: доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина И.Г. Овчинников;
генеральный директор НТЦ «Волгапром-стройбезопасность», доктор технических наук Р.Б. Гарибов

Мигунов В.Н.

М57 Влияние расчётных поперечных трещин в железобетонных элементах на образование коррозионных продольных трещин: моногр. / В.Н. Мигунов. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 502 с.
ISBN 978-5-9282-1344-2

Монография посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям долговечности железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия различных видов нагрузки и агрессивной жидкой хлоридсодержащей среды.

Рассмотрены теоретические основы изучения долговечности железобетонных конструкций, с учётом коррозионного поражения арматуры в железобетонных элементах. С помощью разработанной методики проведения теоретических исследований, на основании результатов длительных экспериментальных исследований, полученных на прямых моделях железобетонных элементов, а также данных натурных обследований, эксплуатирующихся железобетонных конструкций в агрессивной среде, получены уравнения регрессии значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, в условиях воздействия на опытные железобетонные конструкции переменной и постоянной изгибающей нагрузки, в присутствии агрессивной жидкой хлоридсодержащей среды.

В монографии содержатся научные результаты, необходимые для практического использования при прогнозировании долговечности железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивной хлоридсодержащей среде.

Книга представляет интерес для широкого круга специалистов, занимающихся вопросами долговечности железобетонных конструкций, с учётом реальных условий их эксплуатации, а также для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 08.03.01; 08.04.01 «Строительство».

ISBN 978-5-9282-1344-2

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2015

© Мигунов В.Н., 2015

ВВЕДЕНИЕ

Строительные конструкции производственных зданий и сооружений в процессе длительной эксплуатации подвергаются внешним воздействиям различного вида нагрузок и агрессивных сред, совместное действие которых приводит к интенсивному развитию повреждений и сокращению срока службы сооружений. В мировой практике эксплуатации строительных конструкций до 75 % из них подвергаются воздействию агрессивных сред, до 10 % ежегодно разрушаются и выходят из строя и до 30 % требуется защита [1].

Экономические потери при ремонтах и усилении конструкций превышают 5 % общемирового валового дохода, так как более 75 эксплуатирующихся строительных конструкций испытывают воздействие различных агрессивных сред. В Российской Федерации эти финансовые потери в настоящее время оцениваются в 20-25 миллиардов рублей ежегодно. Во многом это объясняется тем, что в транспортном строительстве сборный железобетон практически заменил металл в мостах с малым и средним пролётами менее 34 метров [2].

По данным Национального бюро стандартов США на восполнение коррозионных потерь сталесодержащих материалов расходуется около 40 % ежегодно производимого металла [3].

Актуальность исследований в области изучения взаимодействия эксплуатируемых строительных конструкций с воздействующими на них различными агрессивными средами не вызывает сомнений, так как научная недооценка этого процесса приводит к катастрофическим техническим и социальным последствиям в виде разрушения строительных объектов и инженерных сооружений, материальный ущерб от которых умножается на невозможные потери, связанные с человеческими жертвами и экологическими загрязнениями.

Самым распространенным в мире строительным материалом является бетон и железобетон. Их применение определяется возможностью получать строительные конструкции с необходимой долговечностью во время эксплуатации в различных агрессивных средах, так как практически все строительные конструкции инженерных сооружений различного назначения подвергаются совместному воздействию эксплуатационных нагрузок и различных агрессивных сред.

Железобетон является самым долговечным строительным материалом по физическим и структурным характеристикам. Долговечность железобетонных конструкций определяется следующими факторами:

- средой эксплуатации;
- внутренними факторами железобетонной конструкции;
- вторичной защитой.

Проблема борьбы с коррозией железобетонных конструкций в настоящее время приобрела особую актуальность. В результате коррозионного поражения железобетонных конструкций значительно возрастают затраты на эксплуатацию зданий и инженерных сооружений, которые могут превышать сметную стоимость на их капитальное строительство. Такое положение дел характерно не только для России, но и для других зарубежных развитых стран.

Широко распространенным видом агрессивного воздействия на железобетонные конструкции является хлоридсодержащая среда, в виде средств антиобледенителей, применяемых при борьбе с гололедом на транспортных сооружениях, морской воды, солевого тумана вблизи морей и океанов, добавок-ускорителей твердения, использующихся при зимнем бетонировании.

Хлорид-ионы, проникая в железобетонные конструкции, вызывают изменение механических свойств бетона, коррозионный износ арматуры, нарушение сцепления арматуры с бетоном, образование и развитие коррозионных продольных трещин вдоль несущей арматуры, с последующим снижением несущей способности и долговечности железобетонных конструкций.

До 75 % инженерных конструкций подвергаются воздействию хлоридсодержащих сред на предприятиях металлургической, химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной, текстильной и пищевой промышленности, а также в дорожно-мостовом хозяйстве и на объектах, расположенных вблизи морских побережий [4, 5]. Снижение нормативного срока службы железобетонных конструкций наблюдается в цехах по производству хлора и каустика, хлорной извести, хлорированных органических продуктов, в отделениях хлорирования химико-металлургических заводов и водопроводных станций [6–9, 156].

Применительно к транспортным сооружениям самой распространенной агрессивной средой является хлоридсодержащая среда, так как она является либо технологической, либо проявляется при борьбе с гололедом, либо присутствует в атмосфере (морской туман) и её активного воздействия на строительные транспортные конструкции невозможно избежать.

Долговечность железобетонных конструкций определяется коррозией бетона и арматуры особенно в условиях переменного напряженного состояния [10]. По сведениям Всемирного банка 30 % из более чем 60000 автодорожных мостов России находятся в ограниченно трудоспособном состоянии [11]. Ежегодно происходит обрушение около 1 % автодорожных мостов. 12,3 % мостов, эксплуатирующихся на федеральной сети автомобильных дорог в России, находятся в неудовлетворительном состоянии, 45 % не удовлетворяют требованиям грузоподъемности [12].

Фактическая долговечность автодорожных железобетонных мостов составляет не более 35 лет, по сравнению с минимальными нормативными сроками службы железобетонных пролётных строений мостовых сооружений от 50 до 80 лет [11]. Главной причиной потери эксплуатационных характеристик железобетонных мостов является коррозия арматуры [11].

В настоящее время достаточно развита и обоснована теория расчета железобетонных конструкций, работающих в неагрессивной среде. Она продолжает развиваться в направлении учета запроектных воздействий, расчетной оценки живучести конструкций. В тоже время теория расчета конструкций, подверженных воздействию агрессивных сред во время длительного периода их эксплуатации, только начинает разрабатываться. Существующие различные методики расчета конструкций, работающих в агрессивных средах, имеют частный характер, основываясь на выведенных авторами формулах с коэффициентами, определяемых по данным опытов. Корректных же экспериментальных данных, позволяющих провести достаточно полный анализ кинетики взаимодействия конструкций с агрессивными средами, не всегда достаточно. Это, прежде всего, касается экспериментальных данных, получаемых на железобетонных конструкциях, по программным (режимным) нагружениям.

Железобетон как композитный материал обладает нелинейностью деформирования бетона и арматуры под нагрузкой, что способствует появлению в неагрессивных и агрессивных условиях усадочных, температурных, силовых и коррозионных трещин. Силовые и коррозионные трещины оказывают большое влияние на долговечность железобетонных конструкций.

Выбор соответствующей защиты от коррозии железобетонных элементов определяется оценкой степени агрессивности различных сред. Первичная защита в экономическом отношении более эффективна, чем вторичная [13]. Согласно СНиП 2.03.11-85* [14] первичная защита железобетонных конструкций предусматривает рассмотрение использования арматуры из сталей разных марок, нормирование ширины раскрытия поперечных трещин и толщины защитного слоя бетона. В тоже время в СНиП 2.03.11-85* [14] отсутствует регламентация продолжительности воздействия агрессивной среды при оценке её степени агрессивности, дифференцированно не учитываются возникающие коррозионные характеристики повреждений арматуры и её напряжённое состояние.

К технико-экономическим недостаткам трещиностойких железобетонных конструкций по сравнению с нетрещиностойкими относится большая толщина элементов и значительное недоиспользование несущей способности арматуры. Оптимальным решением ликвидации этих недостатков является использование нетрещиностойких железобетонных конструкции с ограниченной шириной раскрытия расчётных поперечных

трещин. Из-за эффективного использования железобетонных элементов с трещинами ограниченного раскрытия в железобетонных подземных гидротехнических сооружениях, благодаря самоуплотнению трещин, именно в них впервые в 1959 г. были использованы нетрещиностойкие железобетонные конструкции [15–18].

Силовые трещины в бетоне, облегчая доступ агрессивной среды к поверхности арматуры, способствуют возникновению и развитию её коррозии, а несиловые микротрещины отводят химические продукты реагирующих компонентов от места коррозии.

Расчетная ширина раскрытия силовых поперечных трещин в защитном слое бетона определяет расход арматуры и стоимость железобетонного изделия. Расчет ширины раскрытия поперечных трещин в железобетонных конструкциях основан на теоретических, экспериментально-теоретических и экспериментально-статистических методах [19–27].

В настоящее время окончательно не сложилось единого мнения о теоретических предпосылках к расчёту ширины раскрытия поперечных трещин и о значимости основных расчётных параметрах [28]. В расчётных формулах не установлена корреляционная зависимость ширины раскрытия поперечных трещин в зависимости от воздушно-сухих и воздушно-влажных условий, в которых ширина раскрытия поперечных трещин со временем соответственно либо увеличивается, например, при повторных нагружениях, либо уменьшается, из-за набухания бетона на участках между трещинами [29].

В нормативных документах рассматриваются два критерия опасности коррозионного поражения арматуры любого профиля в поперечных трещинах бетона [14, 30]. Первый критерий справедлив только для постоянно раскрытых трещин и не допускает снижения механических характеристик арматуры, а второй – образования коррозионных продольных трещин в бетоне вдоль арматурных стержней [9].

В расчётных поперечных трещинах бетона изгибаемых железобетонных конструкций жидкие среды, содержащие хлорид-ионы, представляют наибольшую опасность для коррозии арматуры, из-за протекания интенсивного электрохимического процесса на поверхности арматуры. Оценка степени агрессивности газообразных сред по отношению к железобетону основана на тех же принципах, что и для жидких сред [9, 31–33].

Степень агрессивного воздействия жидкой и газообразной среды на арматуру в расчётных поперечных трещинах бетона согласно СНиП 2.03.11-85* [14] и ГОСТ 31384-2008 [30] учитывается косвенным путём через ограничение предельно допустимой ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности бетона, с учётом класса применяемой арматуры без дифференцированного учёта возникающих коррозионных повреждений арматуры и её напряжённого состояния. Однако в количественном

отношении эта степень определяется данными концентрации хлорид-ионов в жидкой среде, принимаемых для железобетонных элементов без поперечных трещин.

Одной из основных причин несоответствия нормативной и фактической долговечности обычных железобетонных элементов является не учёт в нормативных документах фактора влияния реальных действующих переменных ступенчатых повторных нагрузок на изменение механических свойств как бетона, так и арматуры, разрушение бетона в околоарматурном слое в зоне влияния поперечных трещин с последующей его карбонизацией и уменьшением сцепления арматуры с бетоном.

Переменная нагрузка, интенсифицирующая коррозионное поражение арматуры в зоне влияния поперечных трещин, увеличивает скорость образования коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона.

Причинами снижения нормативного срока эксплуатации обычных железобетонных конструкций в животноводческих зданиях является не учёт в процессе проектирования последствий коррозионного поражения арматуры в расчётных поперечных трещинах бетона [34]. Результаты натурных исследований коррозионного износа не защищенных 12 тысяч обычных железобетонных ребристых плит покрытия на 85 животноводческих зданиях показали, что общий период эксплуатации этих конструкций до наступления аварийного состояния, из-за образования продольных коррозионных трещин в защитном слое бетона вдоль несущих арматурных стержней в результате коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона составляет 25 лет, вместо нормативных 50-ти [9, 35].

В зданиях свиноводческого комплекса «Тамалинский» в Пензенской области из обследованных 86 обычных железобетонных полурам из тяжёлого бетона за тринадцать лет эксплуатации на одиннадцати из них в защитном слое бетона вдоль арматурных стержней были зафиксированы коррозионные продольные трещины с раскрытием 50 мкм и длиной более 1 м, которые возникали между поперечными трещинами с шириной раскрытия $a_{crc} > 0,20$ мм [34, 36, 37].

Несмотря на то, что расчётные поперечные трещины в защитном слое бетона являются единственными узаконенными нормативными документами легитивными проводниками агрессивной среды к рабочей арматуре, их влияние на появление коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона и, соответственно, на долговечность железобетонных элементов в отечественных и зарубежных исследованиях практически не исследовано.

Анализ известных результатов исследований показывает, что накопленный определённый экспериментальный материал по коррозии бетона, стали и железобетона в различных агрессивных средах не обобщен и не используется в расчётах железобетонных конструкций. Существующие

методики расчета железобетонных конструкций, испытывающих воздействие агрессивных сред, немногочисленны и имеют частный характер. В них начало коррозии арматуры рассматривается как отказ конструкции от нормальной эксплуатации. Экспериментальных исследований по влиянию агрессивных сред на несущую способность железобетонных элементов практически нет. Эти причины не позволяют давать обоснованную количественную оценку коррозии арматуры в бетоне, как процесса, влияющего на работоспособность конструкции в целом. Поэтому вопросы создания методов расчета работоспособных железобетонных конструкций, подверженных коррозии, до настоящего времени, остаются открытыми [38].

Взаимодействие арматуры и бетона в железобетонных конструкциях при их контакте с агрессивными средами имеет сложную физико-химическую природу, требующее феноменологического подхода при построении математической модели этого процесса, но с обязательным условием использования результатов экспериментальных исследований на железобетонных элементах.

Наиболее достоверные научные результаты для железобетонных конструкций, состоящих из многокомпонентных материалов получаются при натурных экспериментальных испытаниях на их прямых моделях, по сравнению с теоретическими исследованиями.

Наиболее эффективно модельный анализ железобетонных конструкций используется при изучении их долговечности в агрессивных средах при различных видах нагружения. В этих условиях экспериментальные испытания на моделях прототипов реальных железобетонных конструкций дают более точные данные, чем на математических моделях. В отличие от косвенных моделей в прямых моделях характер приложенной нагрузки подобен ожидаемой в прототипе. Поэтому такие модели используются для получения полного подобия режима работы строительных железобетонных конструкций при сложных режимах загрузки, вплоть до разрушения.

В данной монографии приведены результаты теоретического изучения влияния ширины раскрытия поперечных трещин при различных режимах загрузки изгибающей нагрузкой на ширину раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин с помощью разработанной методики использования имеющихся экспериментальных данных коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах, полученных на прямых моделях железобетонных элементов, и на эксплуатирующихся железобетонных конструкциях.

1. КОРРОЗИЯ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ

1.1. Общие сведения

Использование методов моделирования в изучении работы строительных конструкций снижает стоимость исследований до 10 раз [39].

Обеспечение долговечности железобетонных конструкций без специальной (вторичной) защиты является наиболее эффективным экономическим фактором, так как вторичная защита существенно удорожает конструкцию и к тому же она не обладает необходимой стойкостью на весь период эксплуатации [9]. Решение этой задачи возможно с помощью расчётных моделей долговечности железобетонных элементов, разработанных по результатам экспериментальных исследований железобетонных элементов в агрессивных средах.

Таковыми моделями в России являются строительные нормативные документы. Впервые минимальный пятидесятилетний срок службы несущих железобетонных конструкций из обычного тяжёлого бетона в капитальных зданиях, эксплуатирующихся в газовой, жидкой и твёрдой средах с различной степенью агрессивности, установлен в СНиП 2.03.11-85* [14]. В тоже время, установленный в ГОСТ 31384-2008 [30] нормативный срок службы конструкций в 50 лет, не учитывает предельного состояния по глубине повреждения бетона в средах различной агрессивности.

В нормативных документах МГСН 5.02-99 [40], в СНиП 32-05-2002 [41], а также в [42] представлены оптимальные сроки службы железобетонных элементов пролетных строений в диапазоне 50-80 лет, а для фундаментов и массивных столбчатых опор – 75-120 лет, однако без методики расчёта этих временных параметров.

Анализ этих нормативных документов показывает, что записанные в них положения сводятся только к назначению нормативных сроков службы, а не для прогнозирования реальных сроков службы железобетонных элементов.

Обеспечивая в целом высокий технико-экономический уровень проектных решений конструкций в неагрессивных условиях нормы проектирования бетонных и железобетонных конструкций вопросам эксплуатационной надёжности сооружений с агрессивными эксплуатационными средами уделяют недостаточное внимание. Влияние агрессивных сред на сопротивление железобетона учитывается только через коэффициенты надёжности, имеющих достаточно грубую градацию.

Впервые приёмы моделирования для изучения коррозии строительных материалов были использованы А.Ф. Полаком и В.Б. Ратиновым [43, 44].

Разработанные математические модели долговечности железобетонных элементов, испытывающих воздействие агрессивной химической среды, учитывают [9, 45]:

физические и химические процессы в структуре бетона;

- механизм коррозии арматуры;
- механизм образования трещин в бетоне и изучения их влияния на процессы коррозии;

- агрессивность окружающей среды;

- проницаемость защитного слоя бетона;

- механизм сцепления бетона и арматурой;

- взаимодействия силовых и несиловых факторов в структуре бетона.

Особенно эффективно исследуется работа железобетонных конструкций в агрессивных средах на прямых моделях их прототипов, так как до разрушения коэффициент масштаба напряжений в арматуре и бетоне модели принимается тождественным соответствующему коэффициенту как для арматуры, так и бетона прототипа модели.

Прогнозирование свойств композитных материалов на эмпирических моделях строится на статистических подходах, из-за случайной структуры неоднородных материалов с различной степенью упорядоченности составляющих элементов. Все эмпирические модели, построенные на других подходах, дают приближенную оценку соответствующим реальным композитам [46].

Вероятностные методы оценки долговечности конструкции, основанные на теории надежности, являются наиболее распространенными методами прогнозирования рабочего ресурса конструкций [47–49].

Вероятностная модель прогнозирования ширины раскрытия расчётных поперечных трещин в железобетонных элементах во времени, построенная с позиции теории надёжности, определяет вероятность того, что за время t ширина раскрытия поперечных трещин не превысит предельно допустимую величину с обеспеченностью P_H [50, 51]:

$$P[Z(t) > M(t)] \geq P_H, \quad (1.1)$$

где $Z(t)$ и $M(t)$ – соответственно максимальный и действующий изгибающие моменты.

Вероятностная оценка остаточного срока службы железобетонных мостовых конструкций представляется в виде трёх моделей, использующих статистические данные исследований толщины защитного слоя, процессов карбонизации бетона, диффузии хлоридов в бетоне, а также коррозии арматуры [52]:

- первая модель основывается на построении доверительных интервалов толщины защитного слоя бетона, процессов карбонизации и диффузии хлоридов в бетоне, а также коррозии арматуры;

- вторая модель в отличие от первой рассматривает карбонизацию и диффузию хлоридов как случайные функции времени;
- третья модель [53] рассматривает карбонизацию бетона, диффузию хлоридов в бетоне и коррозию арматуры, как случайные процессы марковского типа [54].

В то же время анализ известных моделей коррозионного износа бетона показывает, что в большинстве случаев они получены в лабораторных исследованиях в агрессивных средах с высокой концентрацией при стационарных режимах воздействия агрессивных сред, без учёта влияния деградации бетона на его прочностные свойства. Эти обстоятельства определяют основным направлением в дальнейших научных исследованиях прочностных и деформативных свойств бетонов различных составов в условиях действия силовых факторов и распространённых агрессивных сред использовать низкую концентрацию агрессивных веществ и нестационарные режимы испытания для получения объективных научных результатов [55].

1.2. Коррозия арматуры в бетоне без трещин

Длительные воздействия на железобетонные конструкции постоянной нагрузки и многократной повторяющейся нагрузки вызывают более ускоренное развитие неупругих деформаций в бетоне сжатой зоны и увеличение прогибов по сравнению с деформациями и прогибами от кратковременного нагружения [56].

Основными внешними силовыми воздействиями на железобетонные конструкции в гидротехнических сооружениях, в производственных зданиях и сооружениях горнорудной промышленности, в атомных и тепловых электростанциях, в портовых гидротехнических сооружениях, в пролётных строениях транспортных эстакад, пролётных строениях железнодорожных и автодорожных мостов и в многоэтажных складских помещениях являются переменные нагрузки периодического действия, вызываемые технологическим процессом, температурными колебаниями, действием ветра, циклическими замораживанием и оттаиванием. Цикличность периодов колебаний составляет от нескольких минут до года [10].

Повторные статические нагрузки вызывают деформации в железобетонных элементах по величине, значительно превосходящие деформации при многократных повторяющихся нагружениях, причём с возможностью образования трещин в верхних волокнах сжатой зоны бетона [57, 58].

Среди всех переменных нагрузок одного знака ступенчатый вид переменных воздействий при высоких уровнях загрузки $\sigma_{\max} > 0,6 R_{в,б}$ является наиболее опасным для железобетонных конструкций, из-за повышенных деформаций ползучести арматуры и бетона. Величины этих де-

формаций определяются характеристиками циклов переменной ступенчатой повторной нагрузки [59–63].

Исследования деформаций железобетонных конструкций при воздействии переменных немногократных ступенчатых повторных нагрузок в неагрессивных условиях проводили А.Я. Барашиков [60, 64], Ю.П. Гуца и И.Ю. Ларичева [65], Т.Ф. Гордеева [61], С.М. Крылов [66], Н.Н. Колыщенко [67], К.К. Конакбаева [68], П.П. Крамарчук [69], Л.Ф. Кузнецова [70], И.И. Лучко [71], И.П. Новотарский [72, 73], Д.П. Подобед [74], В.Б. Протопопов [75], К.В. Санников [76], В.А. Таршиш [77], Н.А. Мурашко [63], С.В. Александровский [78].

Более интенсивное, по сравнению с другими видами нагрузки, накопление остаточных деформаций в железобетонных элементах при переменных ступенчатых повторных нагружениях происходит, из-за увеличения пластических свойств арматуры, вследствие более интенсивного, чем при постоянной нагрузке, перераспределении напряжений с бетона на арматуру, снижения модуля упругости бетона сжатой зоны и нарушения сцепления бетона с арматурой с образованием новых поперечных трещин [60].

Длительность цикла ступенчатой повторной нагрузки $1/7 \div 1/14$ года может способствовать изменению знака напряжений в поперечном сечении, из-за ползучести бетона, различия упругих свойств бетона и арматуры при длительных деформационных процессах в железобетонных конструкциях от 120 до 360 суток. Периоды цикла ступенчато-повторной нагрузки 14 и 28 суток выявляют более 50 % конечных деформаций ползучести или деформаций упругого последействия арматуры [62].

Наиболее неблагоприятной для железобетонных конструкций является переменная ступенчатая повторная нагрузка с длительностью цикла загрузки 56 суток: деформации арматуры превышают в среднем на 12 % деформации арматуры в образцах с 28-суточным циклом загрузки и на 25 % деформации арматуры образцов, загруженных длительной постоянной нагрузкой [79].

Результаты экспериментальных исследований показали, что повторные нагрузки высокой интенсивности за счет накопления в железобетонных конструкциях остаточных деформаций в растянутой арматуре и в бетоне сжатой зоны являются наиболее опасными и для увеличения деформаций в железобетонных элементах [62]. Это интенсифицировало проведение экспериментальных исследований работы железобетонных конструкций в неагрессивной среде при воздействии нагрузок данного вида [72, 73, 78, 80–82].

Результаты испытания изгибаемых железобетонных элементов без предварительного напряжения ступенчато-повторной нагрузкой девятью 28-суточными (14-14) циклами периодического нагружения в течение

250 суток с уровнями загрузки образцов: $\rho_1 = \frac{0,82M_{\text{разр}}}{0,60M_{\text{разр}}}$, $\rho_3 = \frac{0,82M_{\text{разр}}}{0}$

показывают зависимость изменения деформации бетона сжатой зоны, растянутой арматуры и прогибов от режима нагрузки. Значения прогибов балок, испытывающих воздействие переменной нагрузки, в конце испытания возросли по сравнению с начальными не менее, чем в 1,9 раза, а в балках с постоянной нагрузкой – в 1,6 раза. Отношение остаточных деформаций в сжатом бетоне к неупругим деформациям арматуры ($\epsilon_{\sigma 1}/\epsilon_{\sigma 2}$) в периодически разгружаемых образцах увеличились с 0,5 до 0,8 [72, 73].

Однако, нормативные документы по расчёту железобетонных конструкций СНиП 52-01-2003 [83] и СП 52-101-2003 [84] не учитывают влияние длительных эксплуатационных переменных нагрузок на изменение жёсткости железобетонных конструкций.

Изменение жёсткости в течение времени зависит, главным образом, от относительной высоты сжатой зоны, которая является функцией не только времени, но и переменных значений изгибающего момента $M(t)$, действующих в сечении [60]. Подчеркивается необходимость введения в расчёты деформативности и прочности железобетонных элементов более широкого спектра внешнего силового воздействия, из-за влияния длительных переменных нагрузок как на растянутую, так и на сжатую зону бетона изгибаемых элементов.

Увеличение значений прогибов в периодически разгружаемых элементах происходит как за счет накопления остаточных прогибов, вызванных необратимыми деформациями ползучести бетона сжатой зоны, особенно на первых циклах загрузки, так и за счет увеличения от цикла к циклу их упругих составляющих, зависящих от уровня разгрузки.

Кинетика роста прогибов при переменной и постоянной нагрузке с высокими уровнями загрузки максимальной нагрузки имеет затухающий характер. В периодически загружаемых образцах деформации растянутой арматуры на 13-17 % превышали деформации арматуры образцов, чем при постоянном нагружении [72, 73].

Главной причиной увеличения деформаций изгибаемого железобетонного элемента является появление эффекта остаточного напряженного состояния сечения элемента после разгрузки [58].

Ширина раскрытия расчётных поперечных трещин в железобетонных конструкциях в неагрессивной среде зависит от параметров переменной ступенчато-повторной нагрузки. В обычных железобетонных элементах ширина раскрытия поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,5 \div 0,15$ мм увеличивается в среднем до 3-х раз, в зависимости от параметров переменной ступенчатой повторной нагрузки, в тоже время ширина поперечных

трещин с аналогичной величиной раскрытия при постоянном нагружении увеличивается в среднем только на 40-50 % [60, 63, 67, 69].

Переменные ступенчатые повторные нагрузки влияют не только на увеличение деформативности железобетонных элементов, но и на снижение их долговечности.

В условиях агрессивных сред процесс накопления усталостных малоцикловых («силовых») повреждений является функцией характера напряженного состояния и уровня напряжений в бетоне [85]. Повреждения силового характера необходимо учитывать в деградационных уравнениях не только коэффициентами, определяющими разрушение структуры бетона до начала коррозии арматуры, но и величиной давления продуктов коррозии арматуры после её возникновения.

Физической основой связи переменного нагружения с возникновением дефектов строительных конструкций являются физико-технические явления [86]:

- восстановление мгновенных запаздывающих деформаций и восстановлением затраченной энергии после снятия (или уменьшения) нагрузки с неразрушившейся конструкции;

- возникновение явления диссипации энергии при деформировании твёрдых тел, за счёт необратимых деформаций, когда значительная часть затраченной на первоначальное деформирование энергии не восстанавливается, а рассеивается;

- определение площадью петли гистерезиса диаграммы материала ($\sigma - \epsilon$) количество диссипированной в единице объёма твёрдого тела энергии за один полный цикл нагружения –разгружения [81, 87].

Энергетический подход в виде количественной оценки энергией диссипации силового сопротивления режимам нагружения и коррозионным повреждениям может на практике эффективно использоваться при выборе конструктивных форм и энергетической оптимизации конструкций, испытывающих режимные циклические нагружения/

Первые признаки разрушения бетона стен верхней части силосов при циклическом воздействии силовых нагрузок от горизонтального и вертикального давления сыпучих материалов, веса технологического оборудования, от изменения температуры наружного воздуха, от нагнетаемого в силос воздуха при активной вентиляции, пневматике, способствующей выгрузке материала из силоса, а также от ветра и снега наступили уже через 10-15 лет эксплуатации инженерного сооружения [10].

Коррозия арматурной стали, являясь частным случаем электрохимического процесса коррозии металлов [88, 89], приводит к преждевременной потере эксплуатационных свойств железобетонных элементов в процессе их эксплуатации в газовой и жидкой агрессивных средах [1, 90].

Основоположниками теории исследования развития коррозии и защиты арматуры в железобетонных конструкциях при действии как жидких, так и газообразных агрессивных сред являются В.М. Москвин [91, 92], С.Н. Алексеев [32, 33, 93], В.С. Артамонов [94], В.И. Бабушкин [95], Г.П. Вербецкий [29], Ф.М. Иванов [96], В.И. Новгородский [97], В.Б. Ратинов [98], А.Ф. Полак [99], Н.К. Розенталь [100,101], В.В. Яковлев [102], К. Туутти [103], А.В. Биби [104], П. Шиссль [105], В. Штельцель [106].

Впервые классификацию процесса коррозии арматуры сделал В.Б. Ратинов, предложивший три группы бетона, в которых развивается коррозия арматуры [99]:

- под сплошным неповрежденным слоем бетона достаточной толщины (не менее 15–18 мм);
- в полностью нейтрализованном бетоне;
- в поперечных трещинах защитного слоя бетона с шириной раскрытия 0,1–0,5 мм.

Данная классификация выявляет электрохимический механизм коррозионных процессов на арматуре для каждой из групп. В классификации, которую практически одновременно с В.Б. Ратиновым предложили С.Н. Алексеев и Н.К. Розенталь [33, 107], приняты не условия развития коррозии арматуры, а свойства солей, образующихся в результате взаимодействия газа и гидроксида кальция.

Коррозионное состояние арматуры в бетоне оценивается величиной рН внутренней среды бетона и параметра диффузионной проницаемости бетона, зависящего от плотности структуры, толщины защитного слоя и химического состава цементного камня [9, 32, 33, 108].

Состояние активной низкопотенциальной коррозии арматурной стали в бетоне определяется с помощью диаграммы Эванса [89], которая назначает долговечность железобетона по признаку коррозии арматуры в бетоне в виде совокупности двух периодов: инкубационного и непосредственно коррозии стали.

Электрохимическое состояние стали в бетоне определяется как по величине её потенциала, так и по кинетике анодных и катодных поляризационных кривых [9, 91,104, 109, 110].

Однако, в практическом отношении электрохимические испытания коррозионного состояния арматуры исследуют только качественную сторону долговечности железобетонных элементов с возможностью давать ответы на вопросы, при которых коррозия стали в бетоне может быть исключена или резко заторможена.

Причинами коррозии арматурной стали в бетоне, без учета воздействия хлорид-ионов на железобетон являются [9]:

- достижение фронтом карбонизации бетона арматуры;
- достаточный приток кислорода и влаги к стальной арматуре.

Общая коррозия стали, возникающая вследствие карбонизации бетона, контролируется омическим сопротивлением.

Величина карбонизации бетона зависит от:

- температурно-влажностного режима макроклимата [111]. Во влажной среде с повышенным содержанием углекислого газа в районах с умеренным климатом карбонизация рядовых бетонов марок 150–200 распространяется на всю толщину защитного слоя примерно за 20 лет эксплуатации;

- температурно-влажностного режима микроклимата. В животноводческих помещениях с содержанием углекислого газа 0,3 % по объёму после 10–15 лет эксплуатации конструкций наблюдается полная карбонизация защитного слоя бетона толщиной 20 мм. Первые признаки отслоения защитного слоя бетона в результате коррозии арматуры отмечались уже через 20 лет с начала эксплуатации. Предельное состояние железобетонных перекрытий в результате полного отслоения защитного слоя бетона наступило через 25 лет эксплуатации [112].

Благодаря высокой щелочностью поровой влаги в плотном тяжёлом бетоне без добавок – стимуляторов коррозии стали, как правило, активного растворения металла на анодных участках не происходит. При этом кинетический переход железа в ионную форму резко заторможен.

Электрохимическую пассивность стали в щелочной среде бетона нарушают определённые условия, вызывая её коррозию [9, 91, 113.]:

- проникновение в бетон хлоридов в виде добавок или из внешней среды;

- нейтрализация бетона кислыми газами $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
- образование продольных трещин в защитном слое бетона;
- возникновение силовых трещин в бетоне;
- наличие блуждающего электрического тока.

Кинетика нейтрализации тяжелого бетона определяется его диффузионной проницаемостью, обусловленной особенностями строения порового пространства [1, 32, 33, 100, 101, 107, 114]. Нейтрализация бетона углекислым газом является одной из основных причин нарушения пассивации стали в бетоне. Скорость карбонизации бетона характеризуется эффективным коэффициентом диффузии углекислого газа – D см²/с, определяемый экспериментальным путем [115].

Впервые нормирование диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа произведено в СП 28.13330.2012 [116], с учётом использования методов определения диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа, приведённых в ГОСТ Р 52804-2007 [117].

В бетоне с минимальной абсолютной влажностью, содержащем хлорид-ионы возникает локализация коррозии арматуры в виде питтингообразования.

Условиями развития питтинга в бетоне являются:

- с хорошей проводимостью;
- наличие не карбонизированного бетона;
- умеренное содержание хлоридов при их локализованном распределении.

Питтинговая коррозия контролируется поляризацией анодного процесса [9].

Особенностью питтинговой коррозии является растворимость продуктов коррозии металла в среде с низким рН вблизи анода. Характеристиками развития питтинговой коррозии на арматуре в бетоне является:

- низкое электрическое сопротивление;
- высокое содержание гидроксида кальция, способствующее выборочному протеканию электрохимического процесса на отдельных участках арматуры;
- неравномерная проницаемость для кислорода.

Количество свободных хлорид-ионов, поступающих к анодным участкам питтинга, определяется следующими факторами [9]:

- общей концентрацией хлорид-ионов в бетоне;
- общим содержанием цемента в бетоне;
- соотношением связанного и свободного хлорид-ионов;
- скоростью диффузии хлорид-ионов в бетоне;
- разложением хлоридсодержащих продуктов коррозии бетона.

Общая коррозия стали в бетоне с большим содержанием хлорид-ионов исследована недостаточно [9, 91].

Поверхностная коррозия практически не оказывает влияния на механические свойства стали [118]. Коррозионные поражения в виде язв приводят к концентрации напряжений в материале. Пластичные арматурные стали менее чувствительны к коррозионным поражениям, по сравнению с малопластичными сталями, так как у них в процессе деформации происходит перераспределение напряжений вблизи коррозионных язв.

Местная коррозия арматуры глубиной 50-100 мкм приводит к снижению механических характеристик закаленных и низкоотпущенных сталей, например, термически упрочненной арматуры классов от Ат-IV до Ат-VII, однако незначительно влияет на свойства мягких сталей [118].

В известных экспериментально-теоретических исследованиях по влиянию коррозии арматуры на изменение механических характеристик арматуры содержатся неоднозначные выводы. Незначительное влияние коррозии на прочностные свойства стали отмечается в [119], в то же время в [120–123] подчеркивается, что агрессивная среда отрицательно влияет на пластические свойства сталей, понижая их сопротивляемость хрупкому разрушению. При хлоридной коррозии арматуры язвенные поражения вызывают заметное ухудшение физико-механических характеристик ме-

таллического стержня, особенно его пластичности [87]. Однозначным выводом в этих исследованиях является пониженная чувствительность пластичных арматурных сталей к коррозионным поражениям, вследствие перераспределения напряжений вблизи язв в процессе деформирования, по сравнению с малопластичными сталями.

Коррозионное поражение арматуры влияет на её механические свойства аналогично действию концентраторов напряжений, локализирующих пластическую деформацию в небольшом объёме металла [9].

Коррозия арматуры в плотном цементном бетоне протекает по одинаковому механизму как при воздействии внешней агрессивной жидкой среды, так и газообразной с разницей только в скорости подвода агрессивной среды к арматуре её концентрации [9, 31–33].

Факторами, нарушающими пассивное состояние арматуры в тяжёлом цементном бетоне, вызывающими её коррозию, являются [9, 91, 113]:

- коррозионные добавки в виде хлорид-ионов, вводимые в бетон, или диффузия хлорид-ионов в бетон из внешней среды;
- критическое уменьшение щёлочности влаги в бетоне, из-за его нейтрализации кислыми газами;
- возникновение силовых трещин в бетоне;
- критическое уменьшение щёлочности влаги в бетоне, из-за образования коррозионных продольных трещин в бетоне.

Диффузионная проницаемость бетона для углекислого газа и хлоридов впервые нормирована в СП 28.13330.2012 [116], с учётом использования методов определения диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа и хлоридов, приведённых в ГОСТ Р 52804-2007 [117].

Диффузионная проницаемость бетона для углекислого газа по толщине защитного слоя бетона, исключая опасность его карбонизации и коррозию стальной арматуры приведена в табл. 1.1 [116,124].

Т а б л и ц а 1 . 1

Требования к защитному слою бетона железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия углекислого газа.

Концентрация углекислого газа в воздухе, мг/м ³	Толщина защитного слоя, мм	Максимально допустимая величина коэффициента диффузии $D \cdot 10^{-4}$, см ² /с, углекислого газа в бетоне железобетонных конструкций со сроком эксплуатации, лет		
		20	50	100
До 600	10	1,14	0,45	0,23
	15	2,57	1,03	0,51
	20	4,57	1,83	0,91
От 600 до 6000	10	0,26	0,1	0,05
	15	0,46	0,18	0,09
	20	0,71	0,28	0,14

Максимальное допустимое содержание хлоридов в бетоне для соответствующих видов армирования конструкций впервые приведено в нормативных документах (табл.1.2) [116].

Т а б л и ц а 1 . 2

Максимально допустимое содержание хлоридов в бетоне конструкций

Вид армирования	Марка по содержанию хлоридов	Максимально допустимое содержание хлоридов, % массы цемента
Неармированные конструкции	СІ 1,0	1,0
Ненапрягаемая арматура	СІ 0,4	0,4
Предварительно напряженная арматура	СІ 0,1	0,1

Время до накопления критического количества хлорид-ионов 0,5 % от массы цемента, в зависимости от эффективного коэффициента диффузии бетона, вида и концентрации агрессивных газов и относительной влажности среды при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б}=25$ мм показано в табл. 1.3 [111].

Т а б л и ц а 1 . 3

Диффузионная проницаемость бетона для хлоридов в условиях воздействия газообразного хлора и хлористого водорода при разной влажности среды

Относительная влажность среды, %	Вид и концентрация агрессивных газов	Эффективный коэффициент диффузии, см ² /с	Время до накопления критического количества хлорид-ионов, лет
50	Cl ₂ -10 мг/м ³	(0,36-1,51)×10 ⁻⁸	14-59
65-85	Cl ₂ -3-6 мг/м ³	(0,46-3,7)×10 ⁻⁸	5-47
60-80	НСІ-6мг/м ³	(1,63-7,42)×10 ⁻⁸	3-13

Результаты табл. 1.3, показывают увеличение диффузионной проницаемости бетона для хлоридов до 4 раз при росте влажности среды от 50 до 80 %.

В морской воде, содержащей до 18 г/л хлорид-ионов, стальная арматура в железобетонных элементах может быть успешно защищена от коррозии при толщине защитного слоя бетона $\delta_{зсб} = 5$ см с диффузионной проницаемостью $5 \cdot 10^{-9}$ см²/с [116,124].

Причиной не допущения образования критической концентрации хлорид-ионов на начальном этапе эксплуатации железобетонных конструкций является обладание цементом определённых связующих химических свойств по отношению к хлорид-ионам в поровой жидкости бетона. Бетоны на смешанных цементах более активно связывают хлорид-ионы и обладают меньшей их пропускной способностью, чем на чисто клинкерных цементах. Вид соли, содержание щёлочи и сульфат-ионов в цементе

влияет на связывание хлорид-ионов. Хлорид-ионы из раствора NaCl связываются в меньшей степени, чем из CaCl₂ [125].

В атмосферных условиях проникание хлорид-ионов в бетон происходит более интенсивно, по сравнению с защищёнными от осадков конструкциях. За 15 лет эксплуатации зданий, предназначенных для выпуска калийных удобрений при периодическом увлажнении железобетонных элементов хлорид-ионы имели большую скорость поступления в бетон, по сравнению с ионами сульфатов и магния [126]. В отличие от ионов сульфатов и магния в процессе диффузии во внутренний объём бетона хлорид-ионы связываются в малорастворимые соединения лишь частично.

Предельным состоянием железобетонных элементов при коррозии арматуры считается достижение напряжения в любой точке поврежденной части сечения арматуры некоторого опасного уровня. Для бетона этот уровень соответствует максимальным сжимающим или растягивающим напряжениям на диаграмме деформирования, для стальной арматуры – пределу текучести [127].

Основным фактором обеспечения долговечности железобетонных конструкций большинство исследователей считают коррозионный износ (уменьшение сечения) рабочей арматуры [128]. В тоже время не существует четкой количественной модели оценки предельно допустимого безопасного коррозионного поражения арматуры как в плотном бетоне, так и в бетоне с силовыми трещинами. Известны только отдельные разрозненные опытные данные по исследованию отдельных этапов развития процессов коррозии стальной арматуры в бетоне [38]. Например, в работах [129, 130] физический износ арматуры как элемента сечения определяется:

- взаимодействием арматуры с бетоном;
- уровнем действующих в ней напряжений;
- характеристикой продвижения глубины коррозионного фронта бетона с pH=9.

Кинетика коррозионного износа арматуры в плотном бетоне имеет затухающий во времени характер как при действии постоянной нагрузки [128], так и при переменной циклической нагрузки [10].

Отсутствие влияния неагрессивных и агрессивных сред на характер кривой деформирования образцов ненапрягаемой арматуры позволяет коррозию арматуры в бетоне учитывать через уменьшение её площади поперечного сечения [11].

Коррозионная стойкость открытого металла характеризуется показателями потерь по массе [г/(м²·ч)] или по глубине поражения (мм/год) в соответствии с ГОСТ 9 908-85 [131]. Для арматуры железобетонных конструкций эти показатели не подходят, из-за возможностей растрескивания защитного слоя бетона под давлением растущего слоя продуктов коррозии

металла и хрупкого разрушения под напряжением высокопрочной напрягаемой арматуры.

Для растянутой стальной арматуры в железобетонном элементе конечными результатами развития коррозии является достижение арматурой предела текучести или хрупкий обрыв [33].

Отсутствие нормативных требований к коррозионной стойкости арматурных сталей объясняется уверенностью в абсолютных защитных свойствах бетона по отношению к арматуре [14]. Скорость коррозии арматурных сталей классов А-1, А-II, А – III, А-У1, Ат-IIIС, Ат-У, Ат-У1К, проволоки В-1 и В-II в воздушно-газовой атмосфере, жидкой среде и в бетоне класса В15 в одинаковых условиях находится в прямой зависимости от их прочности и носит затухающий характер [1, 132].

Наибольшей коррозионной стойкостью обладают малоуглеродистые стали с меньшей прочностью и высокой пластичностью, по причине более низкого предела текучести [31]. Наименьшую коррозионную стойкость, из-за образования питтингов имеют высокопрочные стали (АтIII, АIV, АтV, AV, АтV, AVI, АтVI) с более высоким содержанием углерода, прошедшие термическое упрочнение [1].

Моделирование коррозионного процесса коррозионного износа арматуры во времени представляет собой математическое описание изменения: потери массы, глубины или площади поражения, падения разрывного усилия и пластичности [133].

Процессы коррозионных потерь металла в различных средах и арматуры в бетоне имеют общую феноменологическую основу [10]. В тоже время, благодаря большей изотропности свойств мало- и среднеуглеродистых сталей, и достаточно четкой границе прокорродировавшего слоя, аналогичность модели и фактического сопротивления нагружению в процессе коррозионного износа арматуры значительно выше, по сравнению с бетоном.

По геометрической форме коррозионного поражения модели коррозионного износа сечения арматуры достаточно близки к моделям износа бетона, но скорости поражения в них на порядок ниже [128].

Математические модели делятся на два класса: модели, описывающие физико-химический процесс на причинном уровне, и феноменологические модели, рассматривающие кинетику коррозии арматуры во времени [11].

Особенностью физико-химических моделей коррозии арматуры является их строго индивидуальная принадлежность. Это объясняется высокой зависимостью скорости коррозии арматуры от колебаний влажности и температуры среды, способствующей получению большого математического разброса данных исследований. Интервал значений скорости коррозии стали составляет от $0,04 \div 0,05$ до $4,8 \div 2,04$ мм/год, то есть с разницей в среднем в 43 раза в [134]. Поэтому при назначении статистического

допуска между средними и случайными значениями скорости коррозии арматуры предлагается размах статистической обеспеченности принимать равным двум стандартам, то есть $2 S$ [134].

Во многих существующих методах прогнозирования долговечности железобетонных конструкций срок их службы связывается с инкубационным периодом коррозии арматуры, определяемым по кинетике проникания концентрации агрессивной среды, прежде всего хлорид-ионов через защитный слой бетона по объему конструкции [9, 91, 135].

Возникновение процесса коррозии арматуры или нарушение сцепления арматуры с бетоном рассматривается как отказ конструкций из-за недостаточности объективного уровня контроля состояния арматуры [36, 136–138] и преобладающего периода инкубационного периода коррозии арматуры в расчётном времени эксплуатации конструкции.

Современный уровень знаний и техники контроля состояния арматуры в бетоне не допускает в расчётах долговечности конструкций учитывать потерю сцепления арматуры с бетоном, что приводит к не объективному рассмотрению оценки технического состояния железобетонной конструкции с коррозионными повреждениями арматуры на стадии эксплуатации. Поэтому возникновение процессов коррозии арматуры или нарушение сцепления арматуры с бетоном рассматривается как отказ конструкции от нормальной эксплуатации [136].

Коррозионный износ арматурных стержней [127] описывается моделью, аналогичной модели коррозионного износа бетона, представленного в работе [139], но со сдвигом во времени начала коррозионного повреждения арматуры t_s , из-за удаления её от поверхности элемента:

$$\delta_s = d_s \cdot \left[1 - \varepsilon^{-\alpha_s(t-t_s)} \right], \quad (1.2)$$

где α_s – параметр скорости коррозионного повреждения арматуры, зависящий от класса стали и активности агрессора; t_s – время начала повреждения арматуры; d – диаметр арматурного стержня.

Модель коррозионного разрушения арматурных стержней в бетоне в виде инкубационного периода t_{inc} , в течение которого концентрация хлоридов изменяется от начального значения до критического, представлена в [135]:

$$\delta = \begin{cases} 0, & t < t_{inc}, C < C_{кр}; \\ \delta(t), & t \geq t_{inc}, C \geq C_{кр}. \end{cases} \quad (1.3)$$

Оценка продолжительности инкубационного периода при хлоридной коррозии ограничивается недостатком информации об однородности диффузионного сопротивления бетона [9].

Модель до начала коррозии арматуры при наличии в бетоне хлорид-ионов представлена в работе [140]:

$$T = \frac{\left(d_1 - d_{s/2}\right)^2}{4D_c} \cdot \left[\operatorname{erf}^{-1} \cdot \left(\frac{c_{cr} - c_s}{c_i - c_s} \right) \right]^2, \quad (1.4.)$$

где T – время инициации коррозии; d_1 – расстояния от центра арматурного стержня до внешней бетонной поверхности; d_s – диаметр арматуры; D_c – коэффициент диффузии хлоридов; C_{cr} – критическая концентрация хлоридов; C_s – концентрация хлоридов на поверхности; C_i – иницирующая концентрация хлоридов; $\operatorname{erf}()$ – функция ошибок.

Модель иницирования коррозии арматуры в бетоне, вызванная хлорид-ионами и определяемая с помощью второго закона Фика, имеет вид [141, 142]:

$$t_D = \frac{1}{12 \cdot D} \cdot \left(\frac{C}{1 - \sqrt{\frac{C_{th}}{C_s}}} \right)^2, \quad (1.5)$$

где D – коэффициент диффузии; C – защитный слой бетона; C_{th} – критическое содержание хлоридов; C_s – концентрация хлоридов на поверхности бетона.

Период иницирования коррозии арматуры t_D , вызванный карбонизацией защитного слоя бетона (d), рассчитывается из математической зависимости [141, 142]:

$$d = K_c \sqrt{t_D}, \quad (1.6)$$

где коэффициент карбонизации K_c определяется по формуле [143]:

$$K_c = C_{env} \cdot C_{air} \cdot \alpha \cdot R_b^b, \quad (1.7)$$

где C_{env} – коэффициент окружающей среды; C_{air} – коэффициент содержания воздуха; a, b – параметры, определяемые вяжущим.

Прогнозирование скорости развития коррозии стали в бетоне после потери её пассивности представляет наиболее трудную задачу, с учётом следующих факторов:

- изменения ионного состава жидкой фазы бетона во времени;
- влажностного состояния бетона, с учётом изменения влажности окружающей среды и механизма влагопереноса;
- проницаемости бетона в защитном слое для кислорода;
- омического сопротивления бетона.

Методика, изложенная в работах [33,91,144], определяет долговечность железобетонных конструкций по условию возникновения коррозии, связанное с карбонизацией защитного слоя бетона. В то же время для процесса общей коррозии арматуры в настоящее время нет адекватной модели, отражающей зависимость скорости коррозии от толщины и проницаемости защитного слоя бетона, а также от потенциала металла, который связан не только с проницаемостью бетона для кислорода, но и с его влажностью [9, 90].

В грунте, морской и пресной воде, зонах периодического увлажнения, атмосфере промышленных предприятий глубина коррозии арматурной стали в плотном бетоне определяется по эмпирическим зависимостям [145, 146]:

$$\delta_k = \frac{\delta_0 \cdot t}{T + t}; \quad (1.8)$$

$$\delta_k = \delta_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \quad (1.9)$$

где δ_k – глубина коррозии арматуры; t – продолжительность воздействия среды; δ_0 , T – эмпирические константы.

В хлорид и сульфатсодержащих средах существующие модели определяют коррозионное поражение арматуры как инкубационным, так и активным периодами коррозии арматуры [127, 147].

Хлорид-ионы являются очень сильными активаторами коррозии стали. Впервые вопрос о предельно-допустимом содержании хлоридов в бетоне возник в связи с введением в состав бетона добавок, из-за их эффективности в качестве ускорителей твердения минералов цемента. В Англии, Франции применение CaCl_2 в железобетоне не допускается. В Швеции и ФРГ использование хлоридов в предварительно-напряженном железобетоне запрещено, а в обычных железобетонных элементах разрешается только при тщательном контроле. В России строительные нормы в виде СНиП 2.03.11-85* [14] разрешают применение CaCl_2 до 2 % от массы цемента в обычных железобетонных конструкциях с диаметром арматуры более 5 мм [148].

Различная трактовка использования хлоридов при изготовлении железобетонных элементов указывает на недостаточную изученность вопроса в части определения предельного содержания хлорид-ионов, при котором не происходит депассивация стальной арматуры [148].

Критической по опасности коррозии арматуры концентрацией хлорид-ионов в бетоне считается концентрация, при которой скорости процессов пассивации и депассивации имеют одинаковую величину.

В хлоридсодержащей среде инкубационный период определяется критической концентрацией хлоридов, при которой начинается коррозия

арматуры, рассчитываемая из уравнения диффузии, а также проницаемости и толщины защитного слоя бетона [147].

В общем случае критическая концентрация хлорид-ионов в бетоне зависит от концентрации агрессивного агента, водородного показателя pH бетона и влажности бетона [9].

Степень агрессивного воздействия жидкой неорганической среды на арматуру железобетонных конструкций без расчётных поперечных трещин, с учётом не допущения её коррозии, в СНиП 2.03.11-85* [14] и ГОСТ 31384-2008 [30] определяется в зависимости от содержания хлорид-ионов в бетоне и вида воздействующей жидкой среды.

Оценка степени агрессивности газообразных сред основана на тех же принципах, что и для жидких сред. Степень разрушения железобетона при воздействии газовых сред определяется видом и концентрацией кислоты, которая конденсируется на поверхности бетона.

Согласно СНиП 2.03.11-85* [14] критическим порогом содержания хлорид-ионов для обычных железобетонных элементов является превышение хлорид-ионов 0,4 % от массы цемента и 0,2 % от массы цемента в предварительно напряженных железобетонных конструкциях, где электрохимическая коррозия может привести к хрупкому разрушению арматуры.

Согласно СНиП 2.03.11-85*[14] по степени влияния хлорид-ионов на железобетонные конструкции без силовых поперечных трещин в пересчете на Cl⁻ (мг/л) выделяются 3 категории агрессивности среды:

- слабоагрессивная – до 500;
- среднеагрессивная – до 5000;
- сильноагрессивная – более 5000.

Долговечность железобетонных конструкций, из-за условия коррозионной сохранности арматуры обеспечивается при не превышении концентрации хлоридов на поверхности арматуры выше критического уровня [9].

Критическая концентрация хлорид-ионов, вызывающих депассивацию стали в щелочной среде, зависит от величины pH электролита и содержания кислорода табл. 1.4 [9].

Т а б л и ц а 1 . 4

Раствор	pH	Критическая концентрация хлорид-ионов, мг/л	
		с кислородом	без кислорода
NaOH	13,2	8900	–
Ca(OH) ₂	12,5	710	–
Ca(OH) ₂	11,6	72	890

Образование критической концентрации хлорид-ионов в железобетонных конструкциях зависит от следующих факторов:

- химических свойств цемента по отношению к хлорид-ионам в поровой влаге бетона. Бетоны на смешанных со шлаком и золой цементах

более активно связывают хлорид-ионы и обладают меньшей их пропускной способностью, чем на чисто клинкерных цементах [125];

- вида соли, содержания щёлочи и сульфат-ионов в цементе. Хлорид-ионы из раствора NaCl связываются в меньшей степени, чем из CaCl₂. Повышение концентрации OH⁻ и SO₄²⁻ заметно снижает относительное связывание хлорид-иона [9, 149].

Проникание хлорид-ионов в бетон в атмосферных условиях происходит более интенсивно, по сравнению с защищёнными от осадков конструкций [126].

Большая глубина проникания хлорид-ионов объясняется их повышенной скоростью поступления в бетон при периодическом увлажнении. В отличие от ионов магния и сульфатов, которые в процессе диффузии вглубь бетона не проникают ниже 10-15 мм, хлорид-ионы связываются в малорастворимые соединения лишь частично [126]. Эти выводы подтверждаются в работе [150], где отмечается, что в морских условиях проникание хлоридов в бетон замедляется за счёт его уплотнения гидроксидом магния.

Результаты коррозии арматуры при периодическом увлажнении железобетонных конструкций хлоридсодержащим раствором содержатся в работах Г.Н. Гельфмана [151, 152], В.Ю. Сеткова [153], Н.К. Розенталя и В.П. Шевякова [154]. В них отмечается повышение глубины коррозии арматуры на 30-40 % при увеличении в два раза числа циклов воздействия жидкой агрессивной среды, содержащей хлорид-ионы [155].

Коррозионное поражение арматуры в железобетонных элементах при наличии хлорид-ионов увеличивается в карбонизированном бетоне. Критическая концентрация хлоридов, при которой начинается коррозия арматуры в карбонизированном бетоне, уменьшается в два раза. Коррозия стали в этом случае интенсифицируется на достаточно протяжённых участках арматуры, приводящая к появлению и раскрытию коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона и отслоению его уже после 2 лет эксплуатации конструкции в агрессивной среде [156]. Карбонизация бетона, предшествующая прониканию хлоридов в бетон, значительно ускоряет скорость коррозии арматуры, по сравнению с обратной последовательностью [157].

Факторами изолирующего действия бетона, определяющих длительную сохранность арматуры являются [9]:

- плотность структуры бетона;
- толщина защитного слоя бетона;
- химический состав цементного камня;
- условия эксплуатации конструкций.

Однако ни одна из нормируемых характеристик не гарантирует длительного защитного действия бетона по отношению к арматуре. Поэтому модель изменения коррозионного поведения арматурной стали во времени

кроме инкубационного периода должна предусматривать ещё и коррозионный период рис 1.1.

Инкубационный период характеризуется пассивностью металла.

Коррозионный период начинается с момента депассивации арматуры и продолжается до момента наступления первого и второго предельного состояния железобетонной конструкции по несущим или деформационным свойствам.

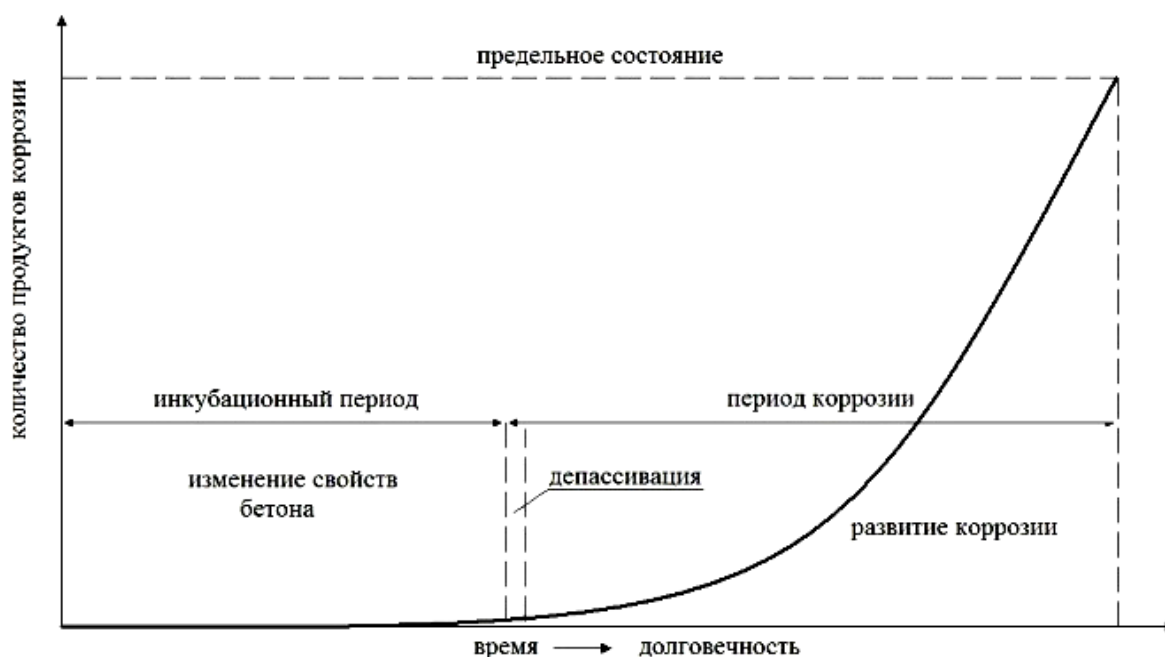


Рис. 1.1. Модель изменения коррозионного поведения стали в бетоне

В общем виде расчётную долговечность железобетонных конструкций без поперечных трещин в агрессивных средах, с учётом коррозионного поражения арматуры определяют следующие факторы [9]:

- пассивное состояние стальной арматуры в течение расчётного срока службы;
- продолжительность периода карбонизации бетона в пределах толщины защитного слоя в среде, которая рассматривается как одно из предельных состояний конструкций в агрессивной среде;
- величина отношения активности хлоридов к активности гидроксильных ионов ($< 0,6$);
- наличие внешнего электрического потенциала.

Факторами продолжительности инкубационного периода при хлоридной коррозии стали в бетоне являются: проницаемость, толщина защитного слоя бетона и способность связывать хлорид-ионы [149]. Наиболее эффективным способом недопущения коррозии арматуры является высокая плотность бетона с величиной щелочности среды $pH = 12,5$ [29].

Опасность снижения долговечности железобетонных конструкций значительно возрастает при совместном воздействии карбонизации и хлорид-ионов. При карбонизации распадаются малорастворимые хлорид-содержащие соединения, с выделением хлоридов в жидкую фазу. Снижение рН бетона приводит к уменьшению критического содержания хлоридов, при котором начинается процесс коррозии арматуры. После 17 лет эксплуатации железобетонных столбов ограждения, находящихся на расстоянии 200–500 м от берега моря с карбонизированным слоем бетона защитного слоя толщиной 25 мм в бетоне содержались хлорид-ионы в количестве 0,2 % от массы цемента, которые привели к обрыву арматурных стержней в результате их коррозионного поражения. В столбах, не содержащих хлорид-ионы, глубина карбонизации бетона не превышала 15 мм [111].

Феноменологическая модель исчерпания несущей способности железобетонных конструкций в агрессивных средах в результате коррозии арматуры содержит два временных периода [158, 159]:

$$T_L = T_{carb} + T_{cor}, \quad (1.10)$$

где T_{carb} – время карбонизации бетона с утратой его защитных свойств по отношению к арматуре; T_{cor} – продолжительность развития коррозии арматуры, приводящей к уменьшению площади поперечного сечения арматуры в результате потери защитных свойств бетоном защитного слоя и действия напряжения от эксплуатационной нагрузки, с учётом коэффициента вариации.

Модель коррозионного износа арматуры после достижения критической концентрации хлоридов на поверхности арматуры (за время t_{inc}) в виде равномерного по периметру поражения имеет вид [147,160]:

$$\delta = \begin{cases} 0, & t \leq t_{inc} \\ \frac{\delta_0(t-t_{inc})}{(t-t_{inc})+T}, & \text{либо} \end{cases} \quad \delta = \begin{cases} 0, & t \leq t_{inc}; \\ k(t-t_{inc}), & t > t_{inc}, \end{cases} \quad (1.11)$$

где δ – глубина коррозии; t – время; t_{inc} – инкубационный период, то есть время достижения концентрацией хлоридов в зоне расположения арматуры критического уровня; δ_0 , T , k – коэффициенты.

Несмотря на имеющиеся модели коррозии арматуры в плотном бетоне в научной литературе, существующие методы прогнозирования не отражают реальной долговечности конструкции, продолжающей работать с корродирующей арматурой до момента наступления предельного состояния по одному из параметров [161]. Эффективную и безаварийную эксплуатацию железобетонных конструкций в ряде агрессивных сред предлагается получить только за счёт повышения способности бетона длительно защищать арматуру, зависящей как от его плотности и толщины, так и от химического состава цемента.

Вероятностная деградационная двухстадийная модель [162] коррозии арматуры в бетоне, состоящая из периодов последовательного проникания фронта коррозии в защитном слое бетона и распространения коррозии по объему, занимаемому арматурой, используется для оценки долговечности железобетонных элементов [10]. Первый период включает период времени до получения концентрации агрессивных составляющих среды равной критической величине, необходимой для депассивации поверхностных слоев арматуры. Второй период характеризуется увеличением глубины слоя коррозии арматуры с начального значения δ_0 до критического δ_{crc} . Максимальная допустимая глубина коррозии сечения арматуры, ограничивается условием сохранения 50 % от начальной площади сечения, т.е. $\delta_c = 0,146\varnothing$, где \varnothing – начальный диаметр арматуры. Аналогичные значения приводятся и в [146], где для предварительного прогноза долговечности железобетонных конструкций назначается параметр риска равный 50 % износа площади сечения арматуры, что соответствует равномерному уменьшению диаметра на 30 %.

Зависимость уменьшения площади поперечного сечения стальных армирующих элементов в агрессивной среде согласно рекомендациям RILEM [4, 163, 164]:

$$A_s(t) = \frac{N_s \cdot \pi \cdot [D_0 - n \cdot X_c \cdot (t - t_0)]^2}{4}, \quad (1.12)$$

где N_s – количество армирующих стержней; D_0 – начальный диаметр; n – параметр, учитывающий форму коррозии; $X_c \cdot (t - t_0)$ – глубина коррозионного износа; t_0 – время иницирования коррозии.

Феноменологическая модель коррозии арматурной стали в бетоне представлена в виде трёх периодов [103]. Первый инкубационный период соответствует пассивному состоянию стали в бетоне, второй период связан с началом коррозии арматуры, а третий период характеризует коррозию открытой арматуры, вследствие растрескивания защитного слоя бетона, из-за давления продуктов коррозии металла.

Анализ результатов исследований коррозии арматуры в плотном бетоне железобетонных конструкций показывает отсутствие общепринятой оценки определения наступления предельно допустимого коррозионного повреждения арматуры, направленность на определение физико-механических характеристик арматуры в зависимости от характера, интенсивности и продолжительности воздействия агрессивной внешней среды, без учёта воздействия эксплуатационной переменной нагрузки.

1.3. Коррозия арматуры в трещинах бетона

По условиям долговечности нетрещиностойкие железобетонные конструкции с ограниченной величиной раскрытия трещин особенно эффективны в подземных гидротехнических сооружениях, из-за самоуплотнения трещин. Поэтому именно в гидротехнических сооружениях в 1959 г. были использованы нетрещиностойкие железобетонные конструкции [15–18].

Универсальной классификации трещин в бетоне не существует, несмотря на проводимые исследования по причинам их образования, степени опасности, области распространения и мерам предупреждения [165]. В железобетонных балочных пролетных строениях мостов трещины классифицируются по причинам их образования и характеру воздействия на эксплуатационные свойства конструкций [166].

В первой научной классификации трещин для гидротехнического бетона они зависят от действия внешних нагрузок и возникающих собственных напряжений [167].

Процесс трещинообразования в железобетонных элементах включают четыре этапа [28]:

- первый этап характеризует нарушение равномерности распределения деформаций бетона в растянутой зоне грани, приводящей к развитию микротрещин в сечениях;
- второй этап отмечает достижение микротрещинами арматурной зоны и появление неравномерности распределения деформаций по длине арматурного стержня;
- третий этап приводит к образованию видимых трещин ($a_{crc} = 0,05-0,1$ мм) от внешней нагрузки;
- четвертый этап определяет развитие силовых трещин при росте нагрузки.

Время появления трещин с момента изготовления железобетонных конструкций и после начала их эксплуатации характеризуется большим количественным диапазоном: от десяти минут до пяти и более лет [10].

Силовые трещины в бетоне, облегчая доступ агрессивной среды к поверхности арматуры вызывают её коррозию, а несилловые удаляют химические продукты реагирующих компонентов от места коррозии. Расчетная ширина раскрытия силовых поперечных трещин определяет расход арматуры и стоимость железобетонного изделия.

Согласно теории В.И. Мурашева наибольшее влияние на ширину раскрытия поперечных трещин a_{crc} оказывают напряжение в растянутой арматуре и расстояние между поперечными трещинами.

Расстояние между трещинами ℓ_S имеет прямопропорциональную зависимость от толщины защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б}$ (рис. 1.2) [28].

В настоящее время не сложилось единого мнения о теоретических предпосылках к расчёту ширины раскрытия поперечных трещин [28]. Расчётные формулы не являются оптимальными, из-за отсутствия корреляционной зависимости ширины раскрытия поперечных трещин от отдельных факторов. Так, в железобетонных конструкциях в воздушно-сухих и воздушно-влажных условиях ширина раскрытия поперечных трещин со временем увеличивается, особенно, при повторных нагружениях, а в конструкциях, находящихся под напором воды уменьшается, из-за набухания бетона на участках между этими трещинами [29].

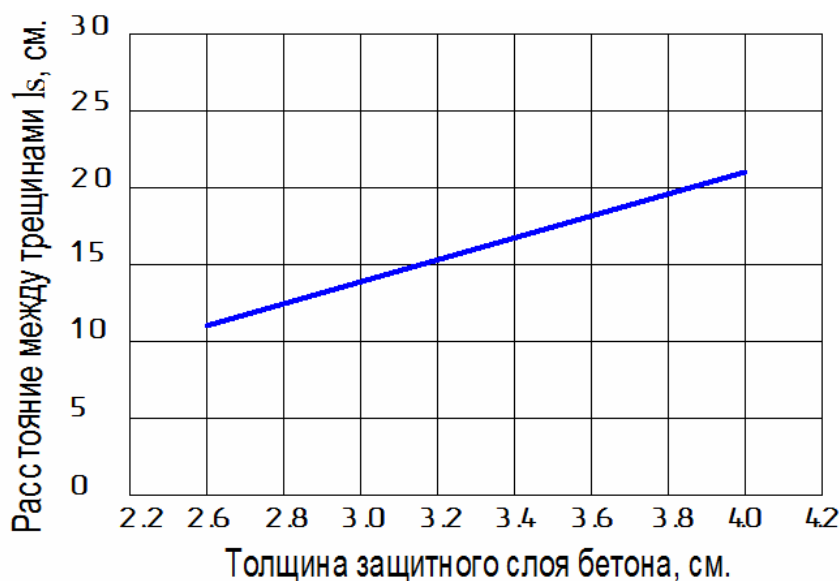


Рис. 1.2. Влияние толщины защитного слоя бетона на расстояние между трещинами

С позиции положений механики разрушения твёрдого тела отмечается определяющее влияние силовых трещин на процесс коррозии арматуры [168]. Подчёркивается, что увеличение трещины более критического раскрытия приводит к быстрому коррозионному разрушению арматуры.

Из-за повышенной проницаемости поперечных трещин в бетоне для кислых газов его карбонизация происходит намного быстрее, чем без трещин. Эффективный коэффициент диффузии углекислого газа в трещинах бетона с шириной раскрытия 0,2 мм равен коэффициенту диффузии его в воздухе, т.е. $D = 0,14 \text{ см}^2/\text{с}$, что примерно на три порядка выше, чем в бетонах средней плотности, не имеющем трещин $D = 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ [9, 91]. Глубина карбонизации бетона в трещине пропорциональна квадратному корню из ширины трещины и времени карбонизации [9]. Распространение глубины карбонизации вдоль трещины увеличивается с ростом прочности бетона, что связано с уменьшением поглощающей способности бетоном стенок трещин [169].

В общем случае диффузия углекислого газа по высоте стенок трещины определяется следующими факторами [170]:

- шириной раскрытия;
- проницаемостью трещины, определяющая количеством физических и химических отложений внутри полости трещины;
- диффузией щелочи, зависящей от условий окружающей среды и характера переменного увлажнения.

Результаты экспериментальных исследований коррозии арматуры в поперечных трещинах железобетонных конструкциях, эксплуатирующихся в промышленных сооружениях и атмосферных условиях с различной агрессивной средой и с постоянно раскрытыми трещинами, содержатся в работах отечественных и зарубежных исследователей [32, 91, 113, 171–180].

Теоретические закономерности механизма коррозии арматуры в поперечных трещинах железобетонных элементов при постоянном их раскрытии, представленные в работах [10, 31, 113, 171, 173, 174, 181–187, 193], позволяют прогнозировать кинетику интенсивного затухающего развития коррозии арматуры в них. В железобетонных конструкциях с поперечными трещинами в бетоне коррозионный процесс на арматурном стержне, протекающий по законам коррозии открытой стали, зависит от ширины раскрытия трещин, вида и концентрации агрессивной среды [9, 171, 188, 189].

Коррозия арматуры в силовой поперечной трещине возникает вследствие локальной депассивации её поверхности в результате нарушения сцепления стальной арматуры с бетоном и последующим нарушением стабильности пассивирующих сталь оксидных пленок [9]. Причиной локальной депассивации являются возникающие в бетоне микротрещины на границе «бетон – арматура» по обе стороны от расчётной поперечной трещины, образующие приарматурную область разрыхления бетона, называемую зоной влияния поперечной трещины, зависящей от ширины её раскрытия [113, 190]. Волосные трещины в бетоне не являются опасными для коррозии арматуры, так как они не влияют на изменение щелочности бетона [191, 192].

Разработка теоретического механизма коррозии арматуры в поперечных трещинах изгибаемых железобетонных элементов при постоянном их раскрытии позволяет прогнозировать интенсивность затухания коррозии арматуры в трещинах бетона с граничной шириной раскрытия [113, 171, 173, 174, 181–183, 185, 187, 193]. Механизмом коррозии арматуры в поперечной трещине железобетона является коррозионная макропара, состоящая из разности потенциалов трех элементарных гальванических макропар между отдельными участками арматуры: дифференциальной щелочности электролита, дифференциального растягивающего напряжения в арматуре и дифференциальной аэрации [92, 113].

Работа трёх коррозионных макропар происходит с анодным, катодным или омическим контролем, в зависимости от раскрытия трещин. Расчёт скорости коррозии стали в поперечных трещинах бетона в зависимости от ширины раскрытия трещин при действии раствора 0,1NaCl, с учётом работы макрогальванических пар происходит с помощью графоаналитического метода [113].

Показателем критической (опасной) величины раскрытия поперечных трещин для долговечности железобетонных конструкции является переход от механизма коррозии при работе макропары с анодом в трещине бетона к механизму коррозии открытой стали, с учётом незатухающего характера коррозии арматуры.

В тоже время, представления о деталях механизма коррозии арматуры в трещинах бетона и его контролирующих характеристик имеют качественный характер [9, 91, 113]. Поэтому объективными научными результатами являются экспериментальные данные коррозионного процесса арматуры, полученными на прямыми моделях железобетонных конструкций с поперечными расчётными трещинами.

Уплотнение полости трещины продуктами химических и электрохимических реакций, механической коагуляции приводит к затуханию коррозионных процессов на арматуре в постоянно раскрытых нормальных трещинах шириной до 0,4 мм [10,113]. Диффузионная проницаемость поперечной трещины с раскрытием $a_{crc}=0,2$ мм, заполненная соответствующими материальными отложениями, уменьшается в 3 раза [10, 169]. Снижение диффузионной проницаемости трещины способствует восстановлению высокой щелочности поровой влаги в бетоне и соответственно пассивации стали. Свойство изменять диффузионную проницаемость трещин учтено в СНиП 2.03.11-85* [14] положением о не уменьшении нормативных сроков службы железобетонных конструкций при наличии трещин с шириной раскрытия 0,15–0,30 мм в железобетонных конструкциях 2 и 3-й категорий трещиностойкости.

Критической величине раскрытия трещин $a_{crc}^{кр}$ соответствует глубина коррозии $\delta_K^{кр}$, являющаяся этапным переходом к коррозии открытой стали по механизму функционирования микропар, как на открытой поверхности стали.

Активность сульфат-ионов (SO_4^{2-}), как деполяризатора анода коррозионных пар, значительно ниже активности ионов Cl^- [185]. Поэтому, при установлении допустимых величин $a_{crc}^{Доп}$ учитывается суммарная концентрация ионов Cl^- и SO_4^{2-} [14,29,116].

Методика определения допускаемой ширины раскрытия трещин в железобетонных конструкциях по условию коррозионной сохранности арма-

туры $a_{crc}^{Доп}$ в зависимости от класса капитальности сооружений приведена в [29]. Методика основана на расчётном положении, что вероятность образования в конструкции поперечной трещины с опасным развитием коррозии арматуры не должна превышать определенную величину.

Оценка вероятности опасного развития коррозии арматуры во всех трещинах в конструкции с номинальной «средней» шириной раскрытия определяется интегралом произведения плотности вероятности образования различных поперечных трещин на вероятность опасной коррозии арматуры в трещинах соответствующего раскрытия [29, 194].

В кислых газовых средах допустимую ширину раскрытия поперечных трещин рекомендуется принимать в зависимости от длительности их раскрытия и скорости нейтрализации стенок трещин для железобетонных элементов, рассчитываемых по второй категории трещиностойкости, с учётом обеспечения суммарной продолжительности кратковременного раскрытия трещины (τ_{crc}) при не превышении продолжительности нейтрализации стенок трещины кислыми газами. Предложенная математическая модель инкубационного периода коррозии арматуры, учитывает нейтрализацию стенок трещин кислыми газами в зависимости от технологических, геометрических и химических факторов [195]:

$$\tau_{кр} = \tau_H = \frac{m_0 x^4 D'_\sigma K_\pi^2}{c_0 a_T^3 D_B^2 K_\phi^2}, \quad (1,13)$$

где m_0 – реакционная ёмкость бетона в относительных единицах; x – толщина защитного слоя бетона, см; D'_σ – эффективный коэффициент диффузии кислого газа в бетоне, см²/с; D_B – коэффициент диффузии газа в воздухе см²/с; a_T – ширина раскрытия трещин, см; c_0 – концентрация кислого газа в воздухе в относительных единицах; K_π – коэффициент извилистости стенок трещины; K_ϕ – коэффициент формы сечения.

Анализ формулы (1.13) показывает возможность получения равноценного увеличения в 4 раза допустимой ширины кратковременного раскрытия поперечной трещины при двухкратном росте толщины защитного слоя бетона.

Зависимости в полулогарифмической шкале допустимого кратковременного раскрытия поперечных трещин в газовой среде в железобетонных конструкциях второй категории трещиностойкости с высокопрочной арматурой, с толщиной защитного слоя бетона 2,5 см при его реакционной ёмкости $m = 50$, концентрации углекислого газа $C_0 = 0,0003$ и коэффициента диффузии его в воздухе $D_B = 0,14$ см²/с, с учётом суммарной продолжительности кратковременного раскрытия трещин при сохранении пассивного состояния арматуры, приведены на рис. 1.3 [195].

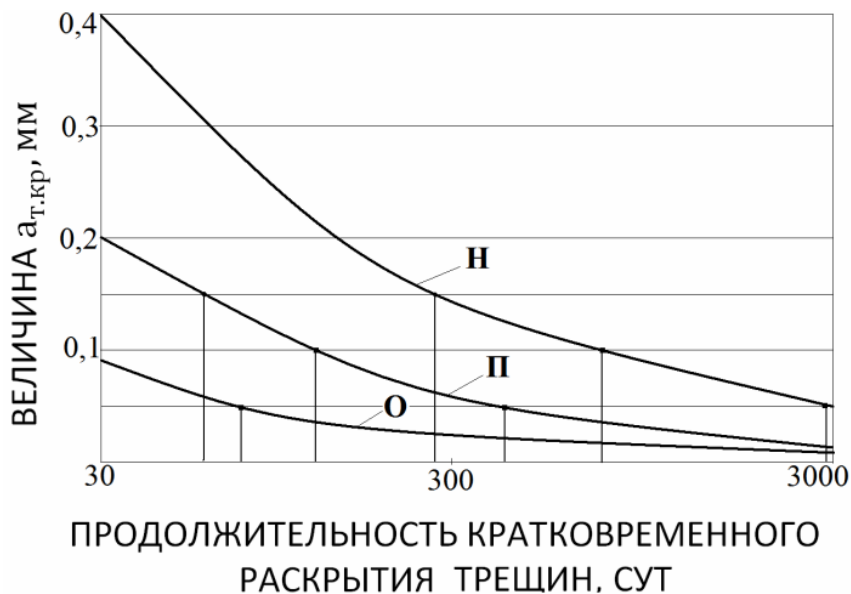


Рис. 1.3. Зависимости допустимого кратковременного раскрытия трещин в конструкциях второй категории трещиностойкости для бетона различной проницаемости с учётом суммарной продолжительности раскрытия: Н, П, О – нормальная, пониженная и особо низкая проницаемость бетона по СНиП 2.03.11-85* [14]

Данные рис. 1.3 показывают возможность увеличения ширины раскрытия поперечных трещин без повышения толщины защитного слоя бетона, за счёт использования более проницаемого бетона. В тоже время, в связи с ускорением нейтрализации бетона между поперечными трещинами это может привести к увеличению распространения коррозии вдоль арматуры и появлению коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона.

Из-за уменьшения поглощающей способности стенками бетона глубина карбонизации бетона по высоте поперечной трещины возрастает с увеличением прочности бетона [169].

В газовой среде коррозия стальной арматуры оказывает преимущественное влияние на снижение долговечности железобетонных конструкций [9]. Кислые газы воздействуют на железобетонные конструкции совместно с углекислым газом (CO_2). Содержание углекислого газа в обычном чистом воздухе составляет около 600 мг/м^3 . В промышленной атмосфере эта величина возрастает в десятки раз.

Предельные концентрации по санитарным нормам других кислых газов в газовой среде составляют от $0,1$ до 10 мг/м^3 [91,111]. Поэтому в реальных условиях эксплуатации ведущая роль в нейтрализации бетона и, соответственно, возникновению процессов коррозии на арматуре принадлежит углекислому газу.

Для исследования периода проникания углекислого газа (CO_2) в полость поперечной трещины, с учётом поглощения его бетоном стенок трещин, разработана математическая модель [196, 197]. Методика расчета

поступления CO_2 в зону поперечных трещин основана на использовании первого закона Фика [9, 91]:

$$T = \left[\frac{8D_B m_0 \delta^4}{D_B^2 a_T^2 K} \right], \quad (1.14)$$

где D_B – эффективный коэффициент диффузии углекислого газа в карбонизированном слое бетона, $\text{см}^2/\text{с}$; D_B – коэффициент диффузии CO_2 в воздухе, $\text{см}^2/\text{с}$; m_0 – реакционная способность бетона, характеризующая объем газа, поглощаемый единицей объема бетона; δ – толщина защитного слоя бетона, см ; a_T – ширина раскрытия трещины, см ; T – время поступления газа в полость трещины, с .

Результаты расчётов, выполненные с помощью этой математической модели, показывают, что повышение концентрации углекислого газа в полости трещины происходит постепенно и тем быстрее, чем выше плотность бетона табл. 1.5 [9, 91]. В то же время, незначительный период времени достижения максимальной относительной концентрации углекислого газа в бетонной полости трещин, по сравнению с нормативным сроком эксплуатации железобетонных конструкций, не оказывает решающего влияния на увеличение долговечности железобетонных конструкций в реальных условиях эксплуатации. В практических целях данный временной период может быть полезен для разработки методики проведения лабораторных ускоренных испытаний коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах бетона в агрессивной газовой среде, в том числе содержащей кислые газы.

Т а б л и ц а 1 . 5

Расчетный период времени получения относительной концентрации углекислого газа (CO_2) в бетонной полости трещины

К	C_x/C_0	$D_B = 1 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$	$\delta_{\text{зсб}}, \text{ см}$	$T(\text{с}) \cdot 10^5 / \text{сут}$ при $a_T(\text{мм})$			
				0,05	0,1	0,2	0,3
1	2	3	4	5	6	7	8
0,2	0,786	1,0	1	4,080/4,7	1,020/1,2	0,255/0,3	0,11/0,13
			2	65,306/75,6	16,327/18,9	4,082/4,7	1,814/2,1
			3	330,618/382,7	82,653/95,7	20,663/23,9	9,184/10,6
		0,2	1	0,816/0,9	0,204/0,2	0,051/0,1	0,023/0,01
			2	13,061/15,1	3,265/3,8	0,816/0,9	0,363/0,4
			3	66,122/76,5	16,531/19,1	4,133/4,8	1,837/2,1
		0,04	1	0,163/0,2	0,041/0,1	0,010/0,01	0,005/0,01
			2	2,612/3,0	0,653/0,8	0,163/0,2	0,073/0,1
			3	13,224/15,3	3,306/3,8	0,827/1,0	0,367/0,4
0,4	0,54	1,0	1	2,041/2,4	0,51/0,6	0,128/0,2	0,057/0,1
			2	32,653/37,8	8,164/9,5	2,041/2,4	0,907/1,1
			3	165,306/191,3	41,327/47,8	10,332/12,0	4,592/5,3
		0,2	1	0,408/0,5	0,102/0,1	0,026/0,03	0,012/0,01

Окончание табл. 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8
			2	6,531/7,6	1,633/1,9	0,408/0,5	0,182/0,2
			3	33,061/38,3	8,266/9,6	2,067/2,4	0,919/1,1
		0,04	1	0,082/0,1	0,020/0,02	0,005/0,01	0,003/0,01
			2	1,306/1,5	0,326/0,4	0,082/0,1	0,037/0,04
			3	6,612/7,7	1,653/5,4	0,414/0,5	0,184/0,2
1	0,38	1,0	1	0,816/0,9	0,204/0,2	0,051/0,06	0,023/0,03
			2	13,061/15,1	3,265/3,8	0,816/0,9	0,363/0,4
			3	66,122/76,5	16,531/19,1	4,133/4,8	1,837/2,1
		0,2	1	0,163/0,2	0,041/0,1	0,010/0,01	0,005/0,006
			2	2,612/3,0	0,653/0,8	0,163/0,2	0,073/0,1
			3	13,224/15,3	3,306/3,8	0,827/1,0	0,367/0,4
		0,04	1	0,033/0,04	0,008/0,01	0,002/0,002	0,001/0,001
			2	0,522/0,6	0,131/0,2	0,033/0,04	0,015/0,02
			3	2,645/3,1	0,661/0,8	0,165/0,2	0,073/0,1

Коррозия арматуры в силовой поперечной трещине вызывается локальной депассивацией поверхности арматуры в результате нарушения её сцепления с бетоном и последующим разрушением пассивирующей оксидной пленки [9].

Периодическое увлажнение и высушивание бетона в воздушных средах создаёт наиболее благоприятные условия для постоянного функционирования коррозионной комплексной макропары, из-за постоянного содержания в порах бетона электролита и воздуха из атмосферы в количестве, достаточном для поддержания процесса деполяризации анода и катода [29]. Поэтому в этих условиях возможности теоретического анализа и прогноза коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах бетона очень ограничены.

Объективные научные результаты по исследованию коррозионного процесса арматуры в поперечных трещинах бетона получаются только на прямых моделях железобетонных конструкций.

Глубина карбонизации бетона стенок трещины определяется диффузионной проницаемостью бетона для CO_2 рис. 1.4 [9].

Рекомендации ограничения ширины раскрытия поперечных трещин в кислых газовых средах в зависимости от длительности их раскрытия, с учётом скорости нейтрализации бетона стенками трещин приводятся в [195].

Для железобетонных элементов, рассчитываемых по второй категории трещиностойкости, коррозионная сохранность арматуры обеспечивается, если суммарная продолжительность кратковременного раскрытия трещины ($\tau_{кр}$) не превышает продолжительности нейтрализации стенок трещины кислыми газами.

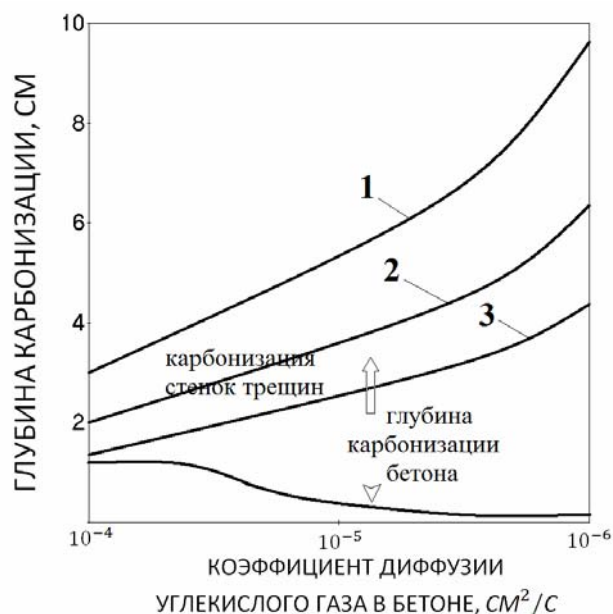


Рис. 1.4. Зависимость глубины карбонизации от диффузионной проницаемости бетона:
 1, 2, 3 – ширина раскрытия трещин соответственно 0,5; 0,2 и 0,1 мм;
 4 – бетон без трещин

Математическая модель инкубационного периода коррозии арматуры, учитывающая нейтрализацию стенок поперечных трещин кислыми газами в зависимости от технологических, геометрических и химических факторов, предложена в [195]:

$$\tau_{кр} = \tau_H = \frac{m_0 x^4 D'_\sigma K_\Pi^2}{c_0 \alpha_T^3 D_B^2 K_\Phi^2}, \quad (1.15)$$

где m_0 – реакционная ёмкость бетона в относительных единицах; x – толщина защитного слоя бетона, см; D'_σ – эффективный коэффициент диффузии кислого газа в бетоне, см²/с; D_B – коэффициент диффузии газа в воздухе см²/с; α_T – ширина раскрытия трещин, см; c_0 – концентрация кислого газа в воздухе в относительных единицах; K_Π – коэффициент извилистости стенок трещины; K_Φ – коэффициент формы сечения.

Двукратный рост толщины защитного слоя бетона, согласно формуле (1.15) равноценен увеличению в 4 раза допустимой ширины кратковременного раскрытия трещины.

Увеличение раскрытия поперечной трещины без повышения толщины защитного слоя может быть получено с учётом применения более проницаемого бетона. Однако, это может привести к увеличению распространения коррозии вдоль арматуры, в связи с ускоренной нейтрализацией бетона между трещинами.

В постоянно раскрытой трещине бетона скорость коррозии арматуры зависит от ширины её раскрытия, степени агрессивности среды, вида и диаметра арматуры и величины напряжений [9, 91, 113].

Зависимость коррозии арматуры от ширины раскрытия поперечных трещин определяется поляризацией в них стали зависящей от:

- площади действующего анода;
- скорости отвода продуктов анодной реакции;
- установившейся концентрации гидроокиси кальция в электролите трещины;
- вида агрессивных агентов, проникающих в трещину.

Долговечность железобетонных элементов зависит от кинетики ширины расчётных поперечных трещин, по которой отсутствует единое мнение учёных. По одним данным трещина ведёт себя наподобие клина, который с течением времени удлиняется [198, 199], по другим – трещина со временем частично кольматируется или полностью ликвидируется [200, 201].

Причинами самоуплотнения поперечных трещин в бетоне являются: [29]:

- набухание бетона, характеризующееся средним значением относительной деформации разбухания бетона между соседними трещинами $\varepsilon=0,5 \cdot 10^{-4}$;
- отложение в трещине продуктов химических реакций, прежде всего, гидрата окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [202,203];
- самозалечивание трещин с помощью заполнения их полости кристаллами $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3 , сопровождающееся частичным или полным восстановлением прочности конструкции [204–209].

К факторам самоуплотнения трещин в бетоне при фильтрации чистых природных вод, вследствие набухания бетона и отложения образующегося в трещинах карбоната кальция, относятся [29]:

- геометрическая форма и ширина раскрытия трещин, гидрокарбонатная щелочность воды, градиент напора, описываемый двухпараметрической экспоненциальной функцией;
- не самоуплотнение трещины с раскрытием более 0,1 см;
- короткий начальный период частичного самоуплотнения клиновидной трещины, с последующей стабилизацией согласно закономерностям, установленным для трещин с параллельными стенками;
- периодические колебания ширины раскрытия трещин с характером самоуплотнения, как для постоянно раскрытых трещин с верхним пределом раскрытия.

В условиях непрерывной фильтрации водопроводной воды трещины с раскрытием менее 0,03 см за 2 года полностью самоуплотнились отложениями CaCO_3 и $\text{Fe}(\text{OH})_2$.

Допустимая ширина раскрытия поперечных трещин для горячекатаной пластической арматуры как в нашей стране, так и за рубежом основывается

на затухающем характере коррозии арматуры, учитывающего особенности коррозионного поведения арматурной стали разных классов и характер воздействия агрессивности среды [113, 210–212].

Наиболее опасным для долговечности нетрещиностойких железобетонных конструкций является периодическое увлажнение конструкции водой, содержащей хлорид-ионы рис. 1.5 [11].

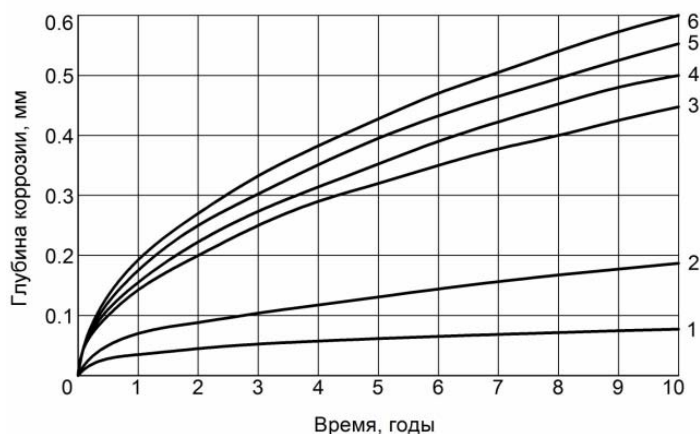


Рис. 1.5. Кинетика коррозии арматуры в бетоне с трещинами при содержании в хлоридсодержащем растворе $C_{Cl} = 0,1 \%$, где ширина трещины: 1 – 0,5 мм; 2 – 0,7 мм; 3 – 1,0 мм; 4 – 1,2 мм; 5 – 1,5 мм; 6 – открытый стержень

Периодическое погружение железобетонных образцов в водный раствор 3 % NaCl вызывало язвенную коррозию арматуры в трещинах бетона с $a_{crc} \leq 0,030$ см и за 2 года составило 1,5 мм, с дальнейшим её затуханием, из-за самоуплотнения карбонатами. В тоже время в трещинах с $a_{crc} \geq 0,030$ см коррозия арматуры не затухала и за 7 лет испытаний глубиной коррозионных язв до 3 мм [29]. С содержанием в воде концентрации хлорид-ионов в пределах 230-3500 мг/л и наличием ширины раскрытия трещин $a_{crc} = 0,04 \div 0,015$ см эффект деполяризации анода усиливался прямопропорционально логарифму концентрации хлорид-ионов [29]. Стойкость защитных оксидных пленок на анодных участках железа сохранялся только при концентрации хлорид-ионов в воде менее 60 мг/л, (0,01 % NaCl), за счёт поляризуемости анода на арматуре [185].

Степень ускорения и затухания как на воздухе, так и при периодическом увлажнении зависят от ширины раскрытия поперечных трещины (рис.1.6) [113].

Кинетика коррозии арматуры в трещинах бетона с $a_{crc} < 0,7$ мм в атмосферных условиях Московской области и при периодическом увлажнении имеет затухающий характер (рис.1.6).

Повышенная первоначальная скорость коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона по сравнению с незащищённой сталью объясняется более длительной сохранностью влаги у поверхности арматуры, чем на открытой поверхности стали. Причиной меньшей скорости коррозии

арматуры в поперечных трещинах бетона с ограниченной величиной раскрытия, по сравнению с незащищённой сталью, является снижение как анодного, так и катодного процесса на поверхности арматуры в зоне влияния поперечных трещин, за счёт уплотнения полости трещин увеличивающимися в объёме в стеснённых условиях продуктов коррозии стали [113]. В то же время опасность давления продуктов коррозии арматуры для возникновения коррозионных продольных трещин тем выше, чем ниже прочность бетона и его толщина в защитном слое [213].

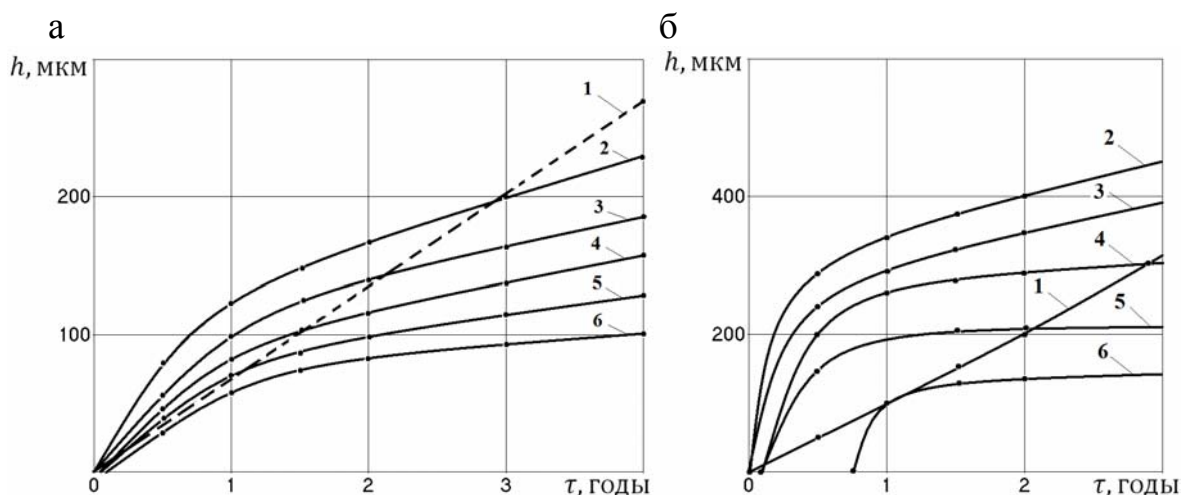


Рис. 1.6. Кинетика коррозии арматуры в зоне трещин:
 а – в атмосферных условиях Москвы;
 б – при периодическом увлажнении образцов;
 1 – открытый стержень; 2, 3, 4, 5, 6 – ширина трещин (0,7; 0,4; 0,3; 0,2 и 0,1 мм соответственно); h – глубина язв

К требованиям безопасности железобетонных конструкций, с учётом соблюдения критерия сохранности арматуры относятся следующие факторы [136]:

- исключение образования коррозионных трещин;
- ограничение ширины раскрытия поперечных трещин;
- назначение необходимой толщины защитного слоя бетона с контролируемой проницаемостью.

Наибольшую опасность для коррозии арматуры в трещинах бетона железобетонных конструкций представляют жидкие среды, так как коррозия на арматуре является результатом протекания электрохимического процесса. Степень агрессивного воздействия жидкой и газообразной среды на арматуру в поперечных трещинах бетона согласно СНиП 2.03.11-85* [14] и ГОСТ 31384-2008 [30] учитывается косвенным путём через ограничение предельно допустимой ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности бетона с учётом класса применяемой арматуры. В то же время эта степень агрессивности для арматуры в поперечных трещинах получена

по данным концентрации хлорид-ионов в жидкой среде, воздействующих на железобетонные элементы без поперечных трещин.

Нормативные документы СНиП 2.03.11-85*[14] и ГОСТ 31384-2008 [30] рассматривают два критерия опасности коррозионного поражения арматуры любого профиля в поперечных трещинах бетона. Первый критерий не допускает снижения механических характеристик арматуры, второй – образования продольных трещин в бетоне вдоль арматурных стержней [9]. Следует отметить, что первый критерий разработан только для постоянно раскрытых трещин от действия длительной или кратковременной нагрузки.

В тоже время, фактическая долговечность железобетонных конструкций с расчётными поперечными трещинами в бетоне в агрессивных условиях, содержащих хлорид-ионы, во многих случаях оказывается в несколько раз меньше нормативной [9]. Причинами являются не учёт при обосновании нормативной ширины раскрытия трещин следующих факторов, влияющих на физико-технические характеристики арматуры в поперечных трещинах бетона:

- расчётной концентрации хлорид-ионов;
- депланации стенок поперечных трещин в защитном слое бетона, с учётом различного профиля арматуры;
- величины амплитуды раскрытия поперечных трещин.

Впервые определение степени агрессивности жидкой среды по отношению к арматуре в поперечной трещине бетона фиксированного раскрытия в зависимости от концентрации хлорид-ионов проведено на 66 железобетонных образцах с размерами 280×40×40 мм, изготовленных из алитового среднеалюминатного портландцемента и кварцевого песка с модулем крупности 2,2. Цементно-песчаный бетон имел пониженную проницаемость с прочностью 31 МПа, водопоглощение по массе 5 %, эффективный коэффициент диффузии CO_2 в бетоне $0,53 \text{ см}^2/\text{с} \cdot 10^{-4}$. Призмы, армированные стержнями $1\varnothing 5$ мм класса В-I, имели одну поперечную трещину в бетоне с шириной раскрытия $a_{crc} = 0,20$ мм [214].

Опытные железобетонные элементы испытывали воздействие раствора хлористого натрия, имеющего различную нормальность: 0 (пресная вода); 0,01; 0,10; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50 и 1Н. За время проведения эксперимента выполнено 100 циклов увлажнения с последующим высушиванием. Периоды увлажнения и высушивания в одном цикле составляли соответственно 8 и 40 часов.

Результаты экспериментальных электрохимических испытаний арматуры в поперечных трещинах бетона показывают увеличение коррозионного тока, глубины поражения арматуры, уменьшение массы металла и прочности арматурного стержня на растяжение при увеличении концентрации раствора NaCl до 0,2 нормального (12 г/л NaCl) с максимальным коэффициентом ускорения коррозионного процесса на арматуре $K_K^{\text{таx}} = 10$ [214].

Критическое значение относительного уменьшения диаметра арматуры при максимальном уровне снижения её несущей способности является величина 15 %. Для опытной арматуры в проведённом эксперименте эта величина составляет 750 мкм, что соответствует средней глубине коррозионного поражения арматуры $\delta_{cp} = 375$ мкм. В проведённом эксперименте прямопропорциональная зависимость шестипроцентного снижения прочности на растяжение арматурного стержня наблюдалась при уменьшении диаметра арматуры до величины 750 мкм, что соответствует 15 % снижению диаметра арматуры.

Нормативные, согласно СНиП 2.03.11-85* [14] , и экспериментальные характеристики степени агрессивности жидкой среды в поперечной трещине бетона с $a_{cpc} = 0,20$ мм для опытной арматуры в зависимости от концентрации в растворе хлорид-ионов, электрохимических и физических показателей арматуры представлены в табл. 1.6.

Т а б л и ц а 1.6

Степень агрессивного воздействия жидкой среды, содержащей хлорид-ионы, для арматуры первой группы по СНиП 2.03.11-85*, с учётом полученных экспериментальных электрохимических физических характеристик арматуры в поперечных трещинах бетона с $a_{cpc} = 0,20$ мм

Степень агрессивности среды	Средняя глубина поражения, мкм	Экспериментальная концентрация хлорид-ионов Cl^- , мг/л (NaCl, мг/л)	Концентрация хлорид-ионов Cl^- , мг/л, при периодическом увлажнении железобетона без трещин согласно СНиП 2.03.11-85*	Коррозионный ток, мкА	Снижение прочности стержня, %	Потеря металла	
						мг	%
Слабо-агрессивная	50	До 350 (до 580)	до 500	100	0	0,10	0,29
Средне-агрессивная	300	выше 350 (выше 580) до 3650 (до 6050)	свыше 500 до 5000	500	3,9	0,28	0,81
Сильно-агрессивная	более 300	свыше 3650 (свыше 6050)	свыше 5000	более 500	более 3,9	более 0,28	более 0,81
Критическая-экспериментальная (согласно 15 % снижения диаметра арматуры)	375	4500 (7460)	–	650	6,0	0,32	0,92

Результаты проведённых электрохимических исследований показывает удовлетворительное соответствие нормативных, согласно СНиП 2.03.11-85* [14], и экспериментальных значений концентрации хлорид-ионов, определяющих степень агрессивности жидкой среды для железобетона с поперечными трещинами, составляющие в сторону уменьшения соответственно для сред: слабоагрессивной – 10 %, для среднеагрессивной и сильноагрессивной – 13 %.

Выводом из полученных результатов эксперимента является заключение, что причиной разных нормативных и фактических сроков эксплуатации обычных железобетонных конструкций в жидких хлоридсодержащих средах, является отсутствие коррелируемого соответствия внутренних свойств железобетонных элементов с внешними факторами, в виде эксплуатационных силовых воздействий на железобетонные конструкции [11, 147].

Ширина раскрытия и форма (депланация) расчётных поперечных трещин по толщине защитного слоя бетона определяют проницаемость влаги, кислорода и различных агрессивных реагентов к арматуре и, в конечном счёте, коррозионную сохранность арматуры в поперечных трещинах бетона. Депланация бетона трещин определяет фактическую ширину раскрытия трещин на поверхности бетона в зависимости от толщины защитного слоя бетона [214].

Нормативный документ СП 52-101-2003 [84] определяет среднюю ширину раскрытия трещин нормальных к продольной оси элемента на поверхности арматуры, что не позволяет прогнозировать коррозионную сохранность арматуры в трещинах бетона, из-за включения в СНиП 2.03.11-85* [14] нормативной ширины раскрытия трещин, рассматриваемой на поверхности защитного слоя бетона при $\delta_{3,c} = 25$ мм в зависимости от вида и степени агрессивности среды.

Из нормативных документов только межгосударственный стандарт ГОСТ 8829-94 [215] учитывает влияние депланации бетона на ширину раскрытия поперечных трещин.

Коэффициент депланации, определяемый как отношение ширины раскрытия трещины на поверхности бетона к ширине раскрытия трещины на поверхности арматуры, изменяется в зависимости от величины напряжения в арматуре рис. 1.7 [113].

Ширина раскрытия расчётных поперечных трещин непосредственно у поверхности арматуры периодического профиля в железобетонных конструкциях в три раза меньше ширины раскрытия поперечных трещин в железобетонных элементах с гладкой арматурой при одинаковых напряжениях в арматуре [113].

Результаты известных экспериментальных исследований на прямых моделях изгибаемых железобетонных элементах показывают, что в балках с гладкими стержнями депланация бетона в поперечных трещинах наблю-

дается на участках непосредственно прилегающих к арматуре, то есть 5–10 мм. На расстоянии от поверхности арматуры $\delta=10\text{--}25$ мм депланация бетона отсутствует [214].

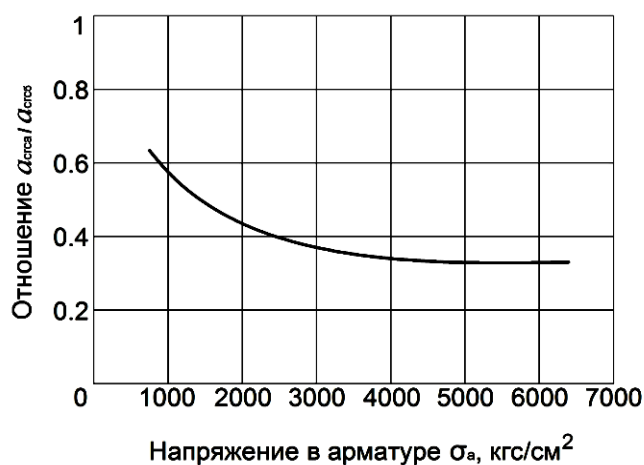


Рис. 1.7. Зависимость коэффициента депланации бетона в поперечных трещинах от величины напряжения в арматуре периодического профиля

В балках с арматурой периодического профиля коэффициент депланации $K_D = a_{arcrc25} / a_{arcrc6}$, где $a_{arcrc25}$ – ширина раскрытия трещин на расстоянии 25 мм от поверхности арматуры; a_{arcrc6} – ширина раскрытия трещин на поверхности защитного слоя бетона, при толщине защитного слоя бетона, аппроксимируется линейной зависимостью [214]:

$$K_D = \left[\frac{25}{\delta_{з.с.б}} \cdot (1 - \alpha) + \alpha \right] \text{ при } \delta_{з.с.б} = R_{вл} - \frac{\alpha}{2}, \quad (1.16)$$

где $\alpha = \sqrt{\frac{6}{d}}$ – коэффициент, учитывающий диаметр арматуры (d) в мм;

$R_{вл}$ – радиус взаимодействия арматуры с бетоном. Значения $R_{вл}$ изменяются от $2,5d$ до $6d$ в зависимости от величины напряжения в арматуре.

Графическая интерпретация значений коэффициента депланации при $\delta_{з.с.б} > 25$ мм вычисленные по формуле (1.16) для различных диаметров арматуры, представлена на рис 1.8.

Графическое изображение изменения коэффициента депланации бетона при $\delta_{з.с.б} > 25$ мм для различных диаметров арматуры приведено на рис 1.9.

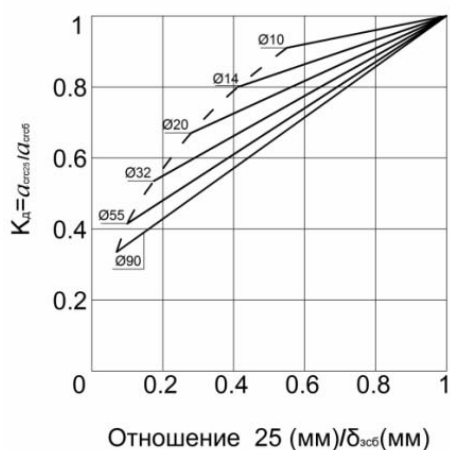


Рис.1.8. Изменение коэффициента депланации бетона трещин при $\delta_{з.с.б} > 25$ мм в зависимости от диаметра арматуры периодического профиля

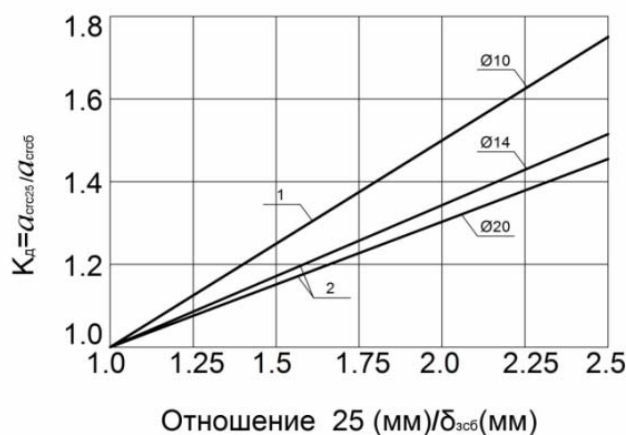


Рис. 1.9. Изменение коэффициента депланации бетона трещин $\delta_{з.с.б} > 25$ мм в зависимости от диаметра арматуры: 1 – опыты В.М. Кельнера, А.Г. Фартушного [214]; 2 – опыты Э.Г. Портера, А.Г. Фартушного [214]; класс арматуры: $\varnothing 10$ А_T – VI и $\varnothing 20$ – А-III

По степени опасности коррозионного поражения арматурной стали в расчётных поперечных трещинах бетона горячекатаная арматура гладкого и периодического профиля классов А-I и А-III располагаются в одной группе в СНиП 2.03.11-85* [14] и в межгосударственном стандарте ГОСТ 31384-2008 [30]. Разная величина коэффициента депланации бетона в поперечных трещинах для арматуры гладкого и периодического профиля определила задачу для уточнения нормативных значений ширины раскрытия расчётных поперечных трещин для этих арматурных сталей, с помощью проведения экспериментальных исследований коррозионного состояния арматуры в поперечных трещинах бетона железобетонных конструкций.

Впервые разработанная программа экспериментальных исследований влияния депланации бетона стенок поперечных трещин на коррозионное поражение арматуры различного профиля предусматривала изучение коррозии арматуры классов А-1 и А-111 в поперечных трещинах бетона на прямых моделях изгибаемых железобетонных элементах с размерами 2000×200×70 мм с соответствующими значениями толщины защитного слоя бетона 15, 20, 25мм и классом бетона В-30 [214]. Каждый опытный образец армировался одним рабочим стержнем класса А-1 или А-111 с соответствующими диаметрами 10, 14 и 18 мм. В зоне чистого изгиба образцов поперечная арматура отсутствовала, из-за получения независимых экспериментальных характеристик коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах бетона.

Прямые модели железобетонных конструкций испытывались в атмосферных условиях с дополнительным два раза в сутки увлажнением 3 %

раствором NaCl. Эксперимент проводился в течение двух лет до появления на образцах на уровне рабочей арматуры волосяных коррозионных продольных трещин, свидетельствующих о наступлении предаварийного состояния железобетонных конструкций [9]. С учётом выбранной концентрации хлорид-ионов и фактического периода образования коррозионных продольных трещин на опытных образцах между расчётными поперечными трещинами степень воздействия агрессивной жидкой хлоридсодержащей среды на опытные образцы оценивается как сильноагрессивная [216].

Коррозионная стойкость арматуры, с учётом депланации бетона в поперечных трещинах, определялась с помощью коэффициента $K_0 = K_2 / K_1$, где K_1 и K_2 – соответственно глубины коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах бетона со стороны защитного слоя бетона и противоположной стороны. Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что величина K_0 зависит от класса арматуры, значений $a_{crс}$ и $\delta_{зс}$ (рис. 1.10 и 1.11).

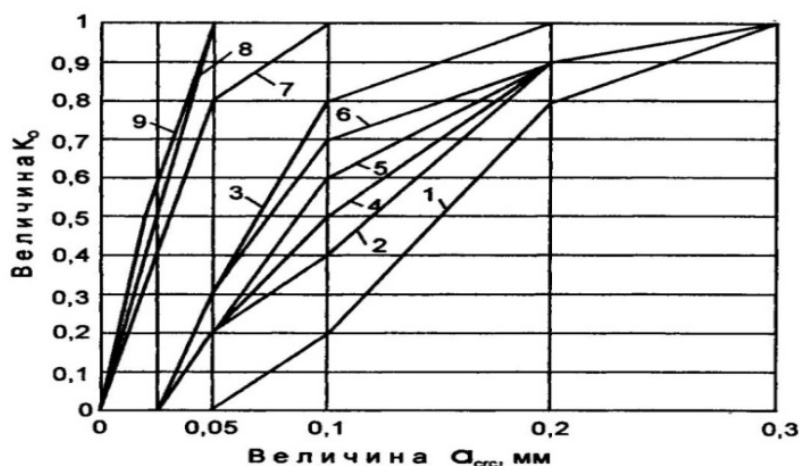


Рис. 1.10 Показатель коррозионной стойкости арматуры класса А-I в поперечных трещинах бетона K_0 :

- 1 – $d_a=18$ мм и $\delta_{зс}=25$ мм; 2 – $d_a=14$ мм и $\delta_{зс}=25$ мм; 3 – $d_a=10$ мм и $\delta_{зс}=25$ мм;
 4 – $d_a=18$ мм и $\delta_{зс}=20$ мм; 5 – $d_a=14$ мм и $\delta_{зс}=20$ мм; 6 – $d_a=10$ мм и $\delta_{зс}=20$ мм;
 7 – $d_a=18$ мм и $\delta_{зс}=15$ мм; 8 – $d_a=14$ мм и $\delta_{зс}=15$ мм; 9 – $d_a=10$ мм и $\delta_{зс}=15$ мм

Шириной раскрытия поперечных трещин в бетоне, при которой $K_0 = 0$, является соответствующая величина $a_{crс}$: для гладкой арматуры класса А-I – 0,005 мм и ($\delta_{зс} = 15$ мм), 0,025мм ($\delta_{зс}= 20$ мм) и 0,050 ($\delta_{зс} = 25$ мм); для арматуры периодического профиля класса А-III-0,050мм ($\delta_{зс} = 15$ мм), 0,10 ($\delta_{зс} \geq 20$ мм)

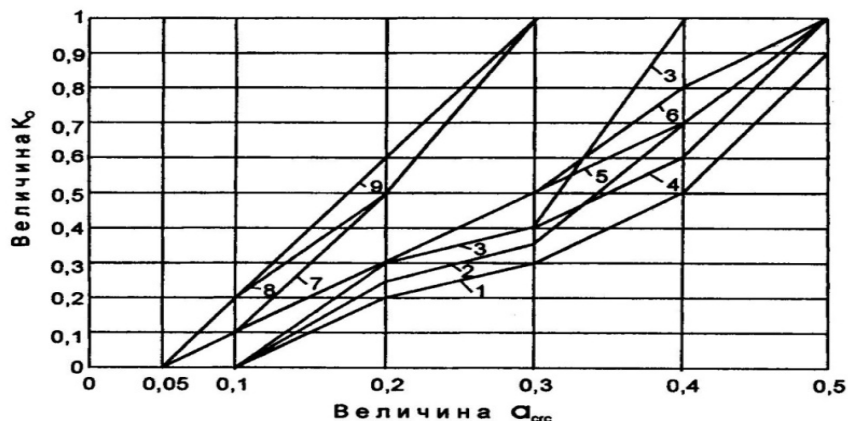


Рис. 1.11. Показатель коррозионной стойкости арматуры класса А-III в поперечных трещинах бетона K_0 :

- 1 – $d_a = 18$ мм и $\delta_{zc} = 25$ мм; 2 – $d_a = 14$ мм и $\delta_{zc} = 25$ мм; 3 – $d_a = 10$ мм и $\delta_{zc} = 25$ мм;
 4 – $d_a = 18$ мм и $\delta_{zc} = 20$ мм; 5 – $d_a = 14$ мм и $\delta_{zc} = 20$ мм; 6 – $d_a = 10$ мм и $\delta_{zc} = 20$ мм;
 7 – $d_a = 18$ мм и $\delta_{zc} = 15$ мм; 8 – $d_a = 14$ мм и $\delta_{zc} = 15$ мм; 9 – $d_a = 10$ мм и $\delta_{zc} = 15$ мм

Глубина (δ) и длина (ℓ) участка коррозионного поражения арматуры определяются классом арматуры, значением a_{crc} и величиной Φ ($\Phi = d_a / \delta_{zc}$ – отношение диаметра арматуры к толщине защитного слоя бетона) (рис. 1.12 и 1.13).

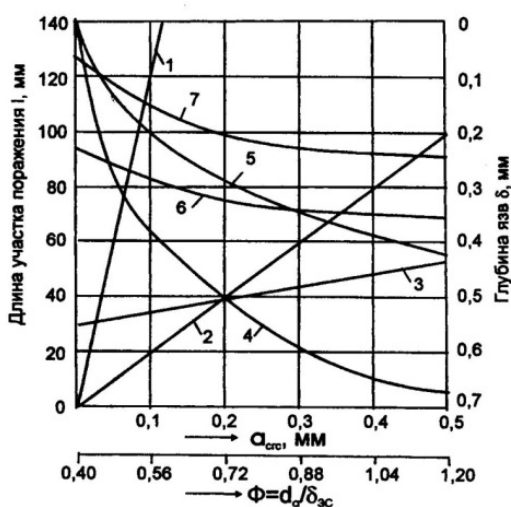


Рис. 1.12. Показатель коррозионного поражения арматуры класса А-I в зоне поперечных трещин бетона:

- 1 – $\ell_{max}(a_{crc})$; 2 – $\ell_{cp}(a_{crc})$;
 3 – $\ell_{cp}(\Phi)$; 4 – $\delta_{max}(\ell_{crc})$;
 5 – $\delta_{cp}(a_{crc})$; 6 – $\delta_{max}(\Phi)$; 7 – $\delta_{cp}(\Phi)$

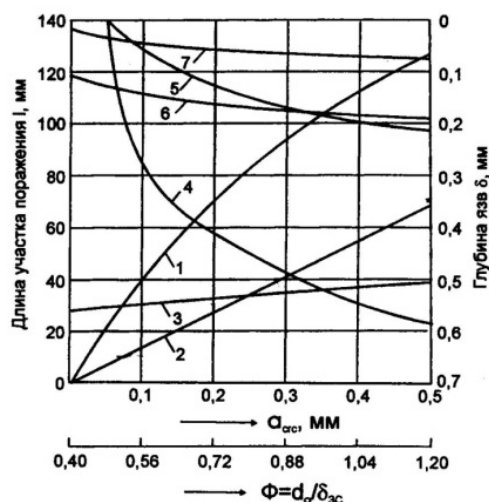


Рис. 1.13. Показатель коррозионного поражения арматуры класса А-III в зоне поперечных трещин бетона:

- 1 – $\ell_{max}(a_{crc})$; 2 – $\ell_{cp}(a_{crc})$;
 3 – $\ell_{cp}(\Phi)$; 4 – $\delta_{max}(\ell_{crc})$;
 5 – $\delta_{cp}(a_{crc})$; 6 – $\delta_{max}(\Phi)$; 7 – $\delta_{cp}(\Phi)$

Анализ опытных данных показывает, что практически не отмечено уменьшение несущей способности железобетонных образцов и арматуры при

средней глубине коррозионного поражения до $\delta_{cp} = 300$ мкм арматуры $\varnothing 14$ мм класса А-111. Средняя глубина коррозионного поражения стальных арматурных стержней, при которых возникали коррозионные продольные трещины, составляла от $\delta_{cp} = 240$ мкм до $\delta_{cp} = 350$ мкм в зависимости от толщины защитного слоя бетона и класса арматуры. Выводом из анализа полученных экспериментальных значений является определение долговечности обычных железобетонных конструкций в жидких агрессивных средах, содержащих хлорид-ионы, по временному периоду появления средней глубины коррозионного поражения арматуры в пределах до $\delta_{cp} = 350$ мкм.

Математическая обработка результатов эксперимента выявила функциональную зависимость между средней длиной коррозионного поражения – ℓ_{cp} и средней её глубиной – δ_{cp} в аналогичных по ширине раскрытия a_{crc} в момент появления продольных трещин (табл. 1.7).

Т а б л и ц а 1.7

Уравнения регрессии функциональной зависимости средней длины участка коррозионного поражения арматуры от средней её глубины

Класс арматуры	Уравнения $\ell_{cp} = f(\delta_{cp})$	Диаметр арматуры, (мм)
А-I	$\ell_{cp} = (\delta_{cp} - 50)^{0,83} - 45$	1 \varnothing 10 1 \varnothing 14 1 \varnothing 18
А-III	$\ell_{cp} = 0,280 \cdot \delta_{cp}$	1 \varnothing 10 1 \varnothing 14 1 \varnothing 18

Данные табл. 1.7 показывают, что в агрессивной жидкой хлоридсодержащей среде определяющее влияние на появление и раскрытие коррозионных продольных трещин оказывает расстояние между расчётными поперечными трещинами в защитном слое бетона на уровне растянутой арматуры ℓ_{crc} . Минимальные предельные допустимые значения длины между поперечными трещинами ℓ'_{crc} , определены с помощью проведённого статистического анализа вероятности распределения ℓ_{crc} в зоне чистого изгиба опытных образцов. Распределение вероятности соответствующих выборок ℓ_{crc} для арматуры класса А-I и А-III имеет нормальный закон, так как $x_{набл}^2 < x_{кр}^2$ (рис. 1.14).

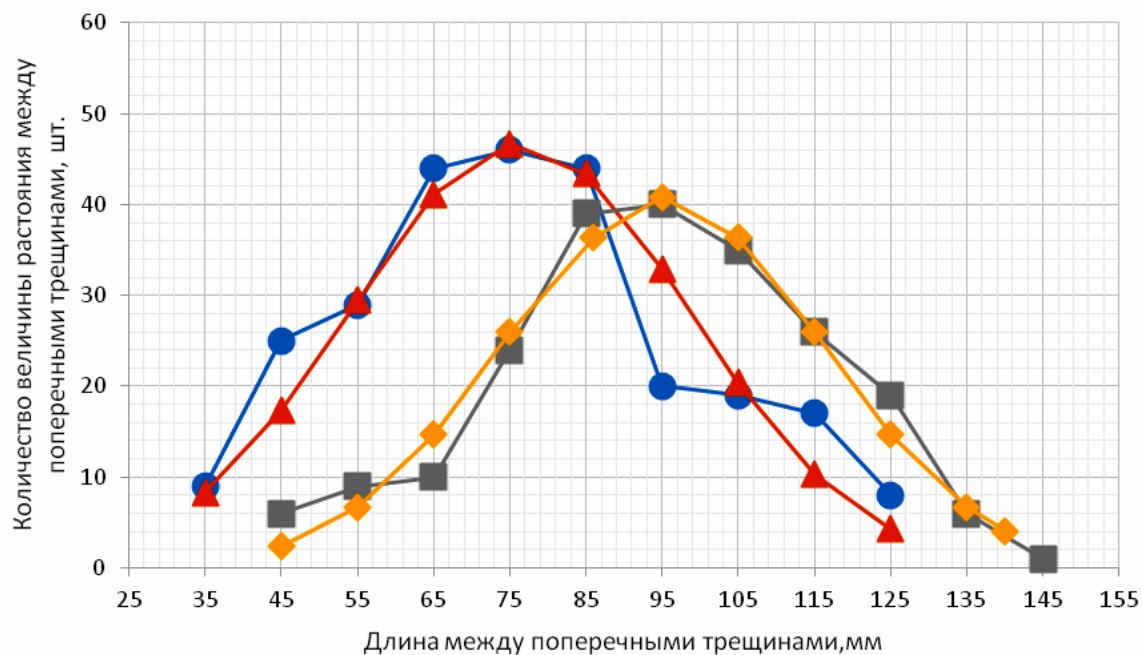


Рис. 1.14. Эмпирические и теоретические статистические распределения выборок расстояний между поперечными трещинами ℓ_{cr} для арматуры классов А-I и А-III

Условные обозначения к рис. 1.14:

Класс А-I: квадрат – эмпирическое, ромб – теоретическое распределение.

Класс А-III: окружность – эмпирическое, треугольник – теоретическое распределение.

Координаты условных обозначений располагаются в порядке возрастания по оси абсцисс.

Окружность – (35;9), (45;25), (55;29), (65;44), (75;46), (85;44), (95;20), (105;19), (115;17), (125;8).

Треугольник – (35; 8,3), (45;17,3), (55;29,5), (65;41,1), (75;46,7), (85;43,4), (95;32,9), (105;20,4), (115;10,3), (125;4,3).

Квадрат – (45;6), (55;9), (65;10), (75;24), (85;39), (95;40), (105;35), (115;26), (125;19), (135;6), (145;1).

Ромб – (45;2,4), (55;6,7), (65;14,7), (75;26,0), (86;36,4), (95;40,8), (105;36,4), (115;26,0), (125;14,7), (135;6,7), (140,4,1).

Результаты статистической обработки выборок ℓ_{cr} в зоне чистого изгиба образцов приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Результаты статистической обработки величины ℓ_{cr}

Класс арматуры	$\sum \ell_{cr}$, шт.	M , мм	σ , мм	A	E	$\chi^2_{набл}$	$\chi^2_{кр}$	ℓ'_{cr} , мм
А-I	215	95,05	21,40	0,208	-0238	7,95	15,50	59,74
А-III	261	77,00	22,90	0,247	-0,641	13,48	14,10	39,20

Условные обозначения к табл. 1.8: M – величина математического ожидания; σ – среднее квадратическое отклонение; A и E – показатели асимметрии и эксцесса теоретического распределения; $(\chi^2_{\text{набл}})$ и $(\chi^2_{\text{кр}})$ – соответственно теоретический и критический критерии согласия Пирсона, l'_{crc} – минимальное расстояние между поперечными трещинами в бетоне при уровне значимости $\alpha=0,95$.

Данные табл. 1.8 показывают относительное уменьшение минимальных расстояний между поперечными трещинами в бетоне в 1,53 раза для арматуры периодического профиля (класс А-III), по сравнению с арматурой гладкого профиля (класс А-I).

В СНиП 2.03.11-85* [14] и ГОСТ 31384-2008 [30] установлены различные значения нормативной ширины продолжительного раскрытия трещин в железобетонных конструкциях при воздействии сильноагрессивной жидкой среды, соответственно равные $a_{crc}=0,10$ мм и $a_{crc}=0,05$ мм. Анализ результатов проведённого эксперимента показывает, что при воздействии постоянной нагрузки для арматуры периодического профиля экономически более обоснованной нормативной шириной раскрытия поперечных трещин в бетоне в сильноагрессивной жидкой среде, содержащей хлорид-ионы, с учётом принятия во внимание депланацию бетона в поперечных трещинах, является величина $a_{crc}=0,10$ мм. На основании экспериментальных исследований в работе [9] также устанавливается допустимое расстояние ширины раскрытия трещин $a_{crc}=0,10$ мм.

Обосновывающей причиной является то, что после 10 лет экспозиции образцов в атмосферных условиях города, промышленного района и морского побережья не увеличивается процент трещин со средним значением глубины поражения $a_{crc} \leq 0,10$ мм, по сравнению с четырёхлетним сроком, из-за постепенного засорения трещин, влияющего на торможение диффузии углекислого газа в трещины с постоянным раскрытием.

Зависимость влияния коррозии арматуры на ширину раскрытия нормальных трещин полученная в результате экспериментальных исследований представлена на (рис. 1.15) [217].

Локальный максимум потери площади растянутой арматуры наблюдается в нормальной трещине бетона за счет прямого проникновения агрессивных сред.

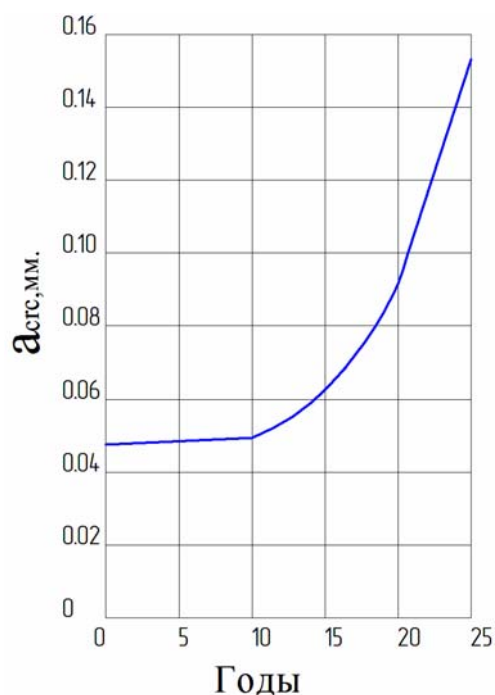


Рис. 1.15. Влияние коррозии арматуры на ширину раскрытия поперечных трещин (a_{crc})

Модели коррозионного износа арматуры показывают, что коррозионное уменьшение сечения арматурного стержня в плотном бетоне, а также в бетоне с силовыми трещинами описываются дробно-линейными моделями [38, 99, 212, 218, 219]. Коррозионный износ арматурных стержней представляется моделью, в которой глубина повреждения (уменьшение диаметра арматуры) нелинейно зависит от времени и параметра, отражающего влияние класса стали и агрессивности среды [214].

Коррозионное уменьшение сечения арматурного стержня в плотном бетоне, а также в бетоне с силовыми трещинами аппроксимируется выражением [146]:

$$\delta_k = \delta_u \left(1 - e^{-\tau/T}\right) \quad (1.17)$$

или

$$\delta_k = \delta_0 \tau / (T + \tau), \quad (1.18)$$

где δ_k – глубина слоя коррозионного разрушения; τ – время воздействия среды; T – константа.

Экспериментальными лабораторными исследованиями на модели поперечной силовой трещины в железобетонных элементах в газовой среде установлено, что коррозионный процесс арматурного стержня протекает по законам коррозии открытой стали с зависимостью глубины коррозии арматуры от времени в виде степенной функции [29, 220].

Феноменологическая модель глубины коррозии арматуры в трещинах бетона при диффузии агрессивных реагентов через слой продуктов коррозии и их реакцией с поверхностью металла, представляется в виде [186]:

$$h = \frac{1}{k} + \sqrt{\left(\frac{1}{k}\right)^2 + \frac{2 \cdot b}{k} T}, \quad (1.19)$$

где k – константа реакции коррозии стали; b – коэффициент, зависящий от концентрации агрессивного реагента и ширины раскрытия трещин; T – время.

Модель изменения относительной площади поперечного сечения арматуры $d = 18$ мм в результате её коррозии при раскрытии поперечных трещин $\alpha_{crc} = 0,4$ мм и продольных $\alpha_T = 2$ мм, полученная на основе данных натуральных обследований плит покрытий в железнодорожных зданиях, представлена в виде [159]:

$$\lambda = \frac{T_k}{0,019T_k + 0,24}, \quad (1.20)$$

$$100$$

где T_k – продолжительность эксплуатации конструкций с момента начала коррозии арматуры, годы; λ – степень коррозии арматуры, измеряется в

долях от первоначальной площади поперечного сечения (до начала коррозии) арматуры.

В среде кислых газов типа HCl разработаны модели долговечности обычных железобетонных конструкций, в том числе с поперечными трещинами [148].

Модель инкубационного периода коррозии арматуры в бетоне без трещин имеет вид:

$$t_x = \left(\frac{C_{4k} C_{ц} \sqrt{D_4^*}}{44,5 q_1 \sqrt{\Pi \omega}} + 0,635 x_k \sqrt{\frac{\Pi \omega}{D_4^*}} \right)^2, \quad (1.21)$$

где C_{4k} – предельно-допустимое содержание хлорид-ионов ($C_{4k} = 0,4\%$ от массы цемента); x_k – толщина защитного слоя; $G_{ц}$ – расход вяжущего материала; Π – пористость; ω – коэффициент остаточной пористости; $\Pi \omega$ – объёмное влагосодержание образцов; q_1 – поток газа, поглощаемого образцами; D_4^* – эффективный коэффициент диффузии агрессивного вещества в поровой жидкости; β – безразмерный постоянный коэффициент моделирования, отражающий несоответствие между истинным и эффективным пористыми материалами, по аналогии с [44].

Модель инкубационного периода коррозии арматуры в бетоне, с учетом наличия поперечных трещин в защитном слое бетона, представлена в виде математической зависимости:

$$t_k = \left(\frac{C_{4k} G_{ц}}{44,5 K_T q_1} \sqrt{\frac{D_4^*}{\Pi \omega}} + 0,635 x_k \sqrt{\frac{\Pi \omega}{D_4^*}} \right)^2, \quad (1.22)$$

где t_k – продолжительность сохранения пассивирующего действия бетона по отношению к стали с учётом наличия поперечных трещин в защитном слое бетона; $G_{ц}$ – расход цемента; C_{4k} – концентрация хлорид-ионов; $\Pi \omega$ – объёмное влагосодержание образцов; q_1 – поток газа, поглощаемого образцами; D_4^* – эффективный коэффициент диффузии хлорид-ионов в поровой жидкости;

В известных моделях коррозия арматуры в поперечных трещинах бетона принимается изучается при фиксированных диаметрах с конкретной степенью агрессивности среды. Для разработки моделей с другими условиями эксплуатации предлагается использовать результаты имеющихся различных лабораторных исследований и полученные в них закономерности [221].

Силовые и несиловые переменные воздействия внешней среды на железобетонные элементы способствуют дополнительному изменению ширины раскрытия расчётных поперечных трещин. Эти трещины по сравнению

с постоянно раскрытыми поперечными трещинами отрицательно влияют на долговечность железобетонных конструкций, из-за снижения эффекта самоуплотнения полости поперечных трещин [29]. Различные пределы изменения ширины раскрытия поперечных трещин способствуют не одинаковой величине удаления, накопившихся в них материальных отложений [29].

Переменное раскрытие ширины поперечных трещин, разрушая химические и физические материальные продукты в её полости, способствует снижению щелочности бетона вдоль поверхности арматурного стержня по 1-2 мм в год для рифленой арматуры [128].

В тоже время нормативные документы, используемые для расчёта долговечности железобетонных конструкций, работающих в агрессивных средах, СНиП 2.01.07 -85*[14] и СНиП 52-01-2003[83], СНиП 2.10.05-85*[222] учитывают только постоянные нагрузки, не принимая во внимание переменные эксплуатационные нагрузки, с учетом требований СНиП 2.01.07-85* [223] и СНиП 2.09.03-85 [224].

В работах [9, 91, 113, 128] отмечается, что, представления о деталях механизма коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона и его контролирующих характеристик имеют качественный характер и находятся в стадии интенсивного изучения, из-за недостаточного объёма научных данных о нём. Поэтому объективными научными результатами являются экспериментальные данные коррозионного процесса арматуры в поперечных трещинах бетона, полученные на прямых моделях железобетонных конструкций [2].

Вероятность возникновения коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона при переменном воздействии нагрузки больше, чем при постоянном [9], что объясняется периодическим нарушением оксидной пассивирующей плёнки на поверхности арматуры, механическим разрушением околоарматурного слоя бетона и вторичных продуктов коррозии металла.

Несмотря на большое влияние эксплуатационной переменной нагрузки на коррозию арматуры в расчётных поперечных трещинах железобетонных элементах количество экспериментальных исследований по их влиянию на изменение долговечности железобетонных конструкций в России и зарубежных странах очень ограничено. Поэтому проведение исследований по изучению коррозионного состояния арматуры в поперечных трещинах бетона, с учётом их переменного раскрытия, является актуальным и представляет особую ценность для разработки научных рекомендаций по повышению долговечности эксплуатирующихся железобетонных конструкций в агрессивной среде.

Наиболее достоверные научные результаты для испытывающихся в агрессивной среде железобетонных конструкций, состоящих из многоком-

понентных материалов, получаются на их прямых моделях, по сравнению с теоретическими исследованиями.

Амплитуда ширины раскрытия трещины разрушает уплотняющие химические и физические материальные продукты в её полости [128].

Электрохимические и физические исследования коррозионного поражения арматуры в расчётных поперечных трещинах бетона, с учётом их переменного раскрытия, проведены на прямых моделях железобетонных элементов с помощью впервые разработанными методиками снятия анодных поляризационных кривых стали и физической оценки коррозионного состояния арматуры в поперечных трещинах бетона [214].

В опытах использовались железобетонные балочки с размерами 440×100×40 мм, армированные одиночным арматурным стержнем класса B_p-1 и диаметром 4 мм. Образцы изготовлены на портландцементе марки 500 и гранитном щебне крупностью 5-10 мм. Применялся бетон повышенной плотности с техническими характеристиками: класс В-39, водоцементное отношение 0,55, эффективный коэффициент диффузии CO_2 в бетоне $0,53$ ($см^2/с \cdot 10^{-4}$). Повышенная плотность бетона была принята, из-за условия исключения коррозии арматуры вне зоны влияния поперечной трещины при длительном воздействии жидкой хлоридсодержащей среды с высокой степенью агрессивности.

В процессе испытания каждый опытный образец загружался изгибающей нагрузкой и имел только одну поперечную трещину в защитном слое бетона с шириной раскрытия $a_{crc} = 0,20$ мм. Принятое значение a_{crc} на экспериментальных железобетонных элементах обосновано соответствующей её нормативной величиной при воздействии жидких агрессивных сред, установленной в СНиП 2.03.11-85* [14]. Измерение a_{crc} производилось индикаторами часового типа с ценой деления 10 мкм, стационарно установленными на образцах на уровне продольной оси арматуры [214]. Для ускорения процесса нарушения пассивного состояния поверхности стали в поперечной трещине бетона использовался раствор NaCl с концентрацией 35 г/л, увлажняющий арматуру на уровне её центральной продольной оси.

Величина стационарного потенциала при возникновении анодного коррозионного тока на арматуре, составляющая $E = (+300)$ мВ, определялась по анодным поляризационным кривым стали, полученным на трех опытных образцах с постоянными раскрытыми трещинами ($a_{crc} = 0,20$ мм), (рис. 1.16).

Влияние переменного нагружения на изменение величины анодного тока на арматуре в поперечных трещинах бетона определялось на шести опытных образцах – близнецах. Каждый образец загружался двадцатью циклами кратковременной переменной нагрузкой в виде следующей схемы изменения ширины раскрытия поперечных трещин в миллиметрах:

$$a_{crc} = 0,03 \rightarrow 0,10 \rightarrow 0,20 \rightarrow 0,30 \rightarrow 0,40 \rightarrow 0,30 \rightarrow 0,20 \rightarrow 0,10 \rightarrow 0,3.$$

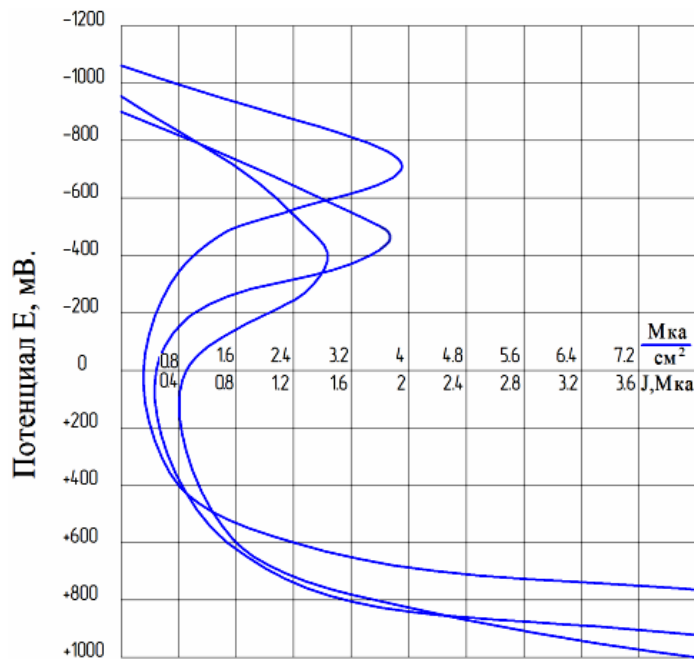


Рис.1.16 Анодные поляризационные кривые стали в поперечной трещине бетона с $a_{crc} = 0,20$ мм

Период между ступенями нагружения и разгружения для электрохимической стабилизации коррозии арматуры составлял не менее 1 часа (рис. 1.17).

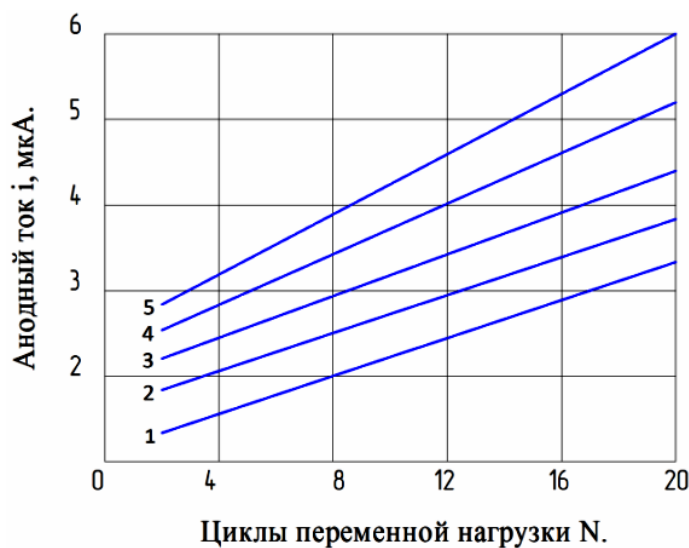


Рис. 1.17. Изменение величины анодного тока при переменном раскрытии поперечных трещин:
 1 – $a_{crc} = 0,03$; 2 – $a_{crc} = 0,1$; 3 – $a_{crc} = 0,2$; 4 – $a_{crc} = 0,3$; 5 – $a_{crc} = 0,4$ мм;
 N – циклы нагружения

С увеличением ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} коррозионный процесс на арматуре возрастает по линейной прямопропорциональной зависимости (рис.1.17). После 20 циклов приложения переменной нагрузки величина приращения анодного тока (i) в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,03$; 0,10; 0,20; 0,30 и 0,40 мм соответственно составляет $i = 1,6$; 2,2;

2,4; 2,9 и 3,3 мкА, что почти в 2,5 раза превышает первоначальные значения. Увеличение анодного тока на арматуре в поперечных трещинах бетона происходит при увеличении циклов переменной нагрузки независимо от первоначально принятых значений a_{crc} .

Необходимо отметить, что наиболее объективная количественная оценка характеристик коррозионного поражения арматуры в расчётных поперечных трещинах бетона показывается не в результате кратковременных испытаний, а в процессе длительных электрохимических экспериментальных исследованиях.

Влияние режимов эксплуатационных переменных нагрузок, действующих на железобетонные конструкции (снеговые и ветровые нагрузки, нагрузки на перекрытия и от подвижного транспорта), на электрохимические и физические характеристики арматуры исследовались на восемнадцати железобетонных образцах в следующих режимах нагружения-разгружения: кратковременное нагружение-разгружение (к), два дня – два дня, месяц-месяц. Переменная нагрузка вызывала кратковременное увеличение длительного раскрытия $a_{crc} = 0,20$ мм на величину $\Delta a_{crc} = 0,10$ мм. Одновременно для проведения сравнительного анализа в аналогичных экспериментальных условиях испытывались 12 контрольных балочек с постоянно раскрытыми поперечными трещинами.

Результаты длительных экспериментальных исследований железобетонных образцов в течение 120 суток при постоянном воздействии на них 3 %-го раствора NaCl на уровне центральной оси растянутой арматуры в поперечных трещинах бетона приведены в табл. 1.9.

Т а б л и ц а 1.9

Электрохимические и физические характеристики длительных испытаний арматуры железобетонных образцов в зоне поперечных трещин бетона

Режим испытания	Ширина раскрытия трещины a_{crc} , мм	Потенциал E , мВ	Плотность анодного тока I =мкА/см ²	Глубина коррозии: средняя (максимальная) δ_{cp} (δ_{max}), мкм	Длина участка коррозии ℓ , см	Площадь участка коррозии S , см ²	Величина коррозионных потерь m , г
К	0,30/0,20	-470	1,3	80 (184)	1,5	0,9	0,040
2+2	0,30/0,20	-490	1,8	76 (139)	1,3	1,0	0,020
м+м	0,30/0,20	-480	1,6	79 (157)	1,3	0,8	0,030
пост	0,20	-390	0,8	42 (115)	0,7	0,5	0,015
пост	0,30	-420	1,0	69 (135)	0,9	0,7	0,020

Электрохимические и физические характеристики коррозионного процесса на арматуре, отмеченные в табл.1.9, свидетельствуют о более активном коррозионном состоянии арматуры при переменном раскрытии тре-

щин, по сравнению с постоянным. Переход от постоянного к переменному виду загрузки увеличивает электрохимические и физические значения коррозионного поражения арматуры. Повышение этих значений по отношению к трещинам с постоянным раскрытием соответственно составляет для $a_{crc} = 0,20$ мм и $a_{crc} = 0,30$ мм:

- для потенциала в 1,22 и 1,13 раза;
- для плотности анодного тока в 1,96 и 1,57 раза;
- для средней глубины коррозии в 1,86 и 1,13 раза;
- для максимальной глубины коррозии в 1,39 и 1,19 раза;
- для длины коррозии в 1,96 и 1,52 раза;
- для площади коррозии в 1,80 и 1,29 раза;
- для величины коррозионных массовых потерь в 2,00 и 1,5 раза.

Вероятность (p), математическое ожидание (M), доверительные верхние (ВИ) и нижние (НИ) интервалы для потенциала (E) и плотности анодного тока (I), а также соответствующих физических характеристик коррозионного поражения арматуры: δ_{cp} , $\delta_{(max)}$, ℓ , S и m для 18 образцов, нагруженных переменной нагрузкой, показаны в табл. 1.10.

Т а б л и ц а 1.10

Вероятность и доверительные интервалы для оценки математического ожидания нормального распределения электрохимических и физических характеристик арматуры при переменном раскрытии трещин

Статистические характеристики	$E(I)$ мВ; (мкА/см ²)	δ_{cp} (δ_{max}), мкм	$\ell(S)$, см; (см ²)	m , г
P	0,97 (0,96)	0,96 (0,96)	0,97 (0,96)	0,95
M	-476 (1,57)	78 (160)	1,37 (0,90)	0,030
ВИ	-520 (1,73)	89 (185)	1,53 (1,03)	0,034
НИ	-416 (1,35)	66 (135)	1,22 (0,76)	0,026

Впервые полученные количественные результаты электрохимических исследований показывают, что действие длительной переменной циклической нагрузки приводит к увеличению электрохимических и физических характеристик коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах бетона соответственно до 2,0 и 1,5 раз по сравнению с постоянным нагружением.

Согласно требований нормативных документов СНиП 2.03.11-85* [14] и ГОСТ 31384-2008 [30] затухание во времени электрохимического процесса коррозии на арматуре в расчётных поперечных трещинах защитного слоя бетона железобетонных конструкций является надёжной гарантией долговечности железобетонных элементов в агрессивной среде.

Для исследования влияния переменной и постоянной нагрузки на кинетику электрохимических и физических характеристик арматуры в поперечных трещинах защитного слоя бетона в присутствии жидкой

хлоридсодержащей среды проведены длительные экспериментальные исследования в течение трёх с половиной лет на сорока пяти прямых моделях железобетонных элементов с размерами 440×100×40 мм, изготовленных из бетона повышенной плотности с арматурой 1Ø4 мм класса Вр-1 [214].

Каждый образец имел только одну поперечную трещину в защитном слое бетона. Образцы испытывали воздействие изгибающей нагрузки на специально изготовленных для эксперимента силовых установках, позволяющих обеспечивать необходимые пределы изменения ширины раскрытия поперечных трещин от $a_{crc2} = 0,20$ мм до $a_{crc1} = 0,30$ мм. Ширина раскрытия поперечных трещин в зоне чистого изгиба измерялась по реперным точкам с помощью микроскопа МБС-2 с ценой деления измерительной линейки 14 мкм.

Согласно с впервые разработанной методикой экспериментального исследования в качестве активатора и ускорителя процесса коррозии на арматуре в поперечных трещинах бетона был принят 0,5 % раствор хлористого натрия, которым три раза в сутки опытные железобетонные элементы периодически увлажнялись при режиме воздействия переменной нагрузки 1 сутки (a_{crc1}) и 6 суток (a_{crc2}), что позволяло получить коэффициент ускорения коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона около пяти [216]. Электрохимические и физические экспериментальные характеристики коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона приведены на рис. 1.18 и 1.19.

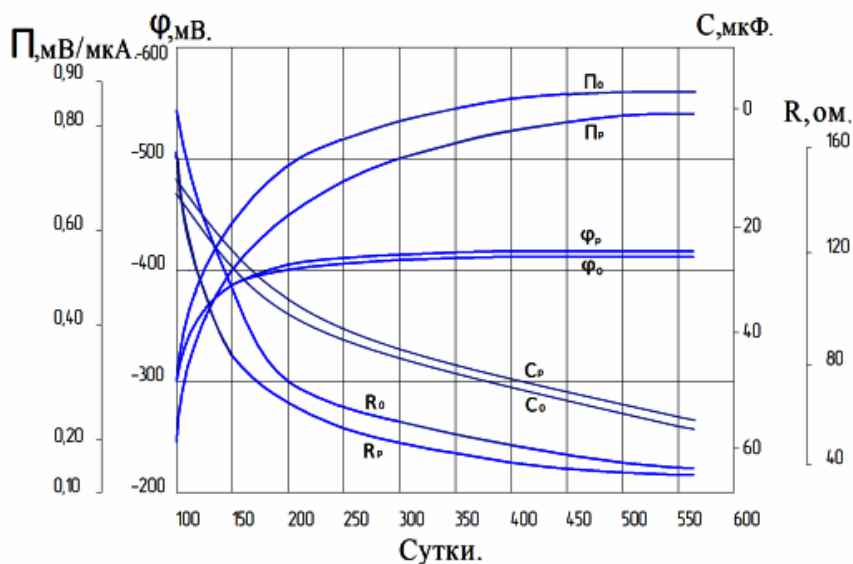


Рис. 1.18. Кинетика изменения параметров физических и электрохимических характеристик коррозионного процесса на арматуре в поперечных трещинах бетона:

П, φ – соответственно поляризуемость и потенциал арматуры;
 С, R – соответственно емкость и сопротивление системы;
 индексы: о, р – соответственно постоянное и переменное воздействие нагрузки

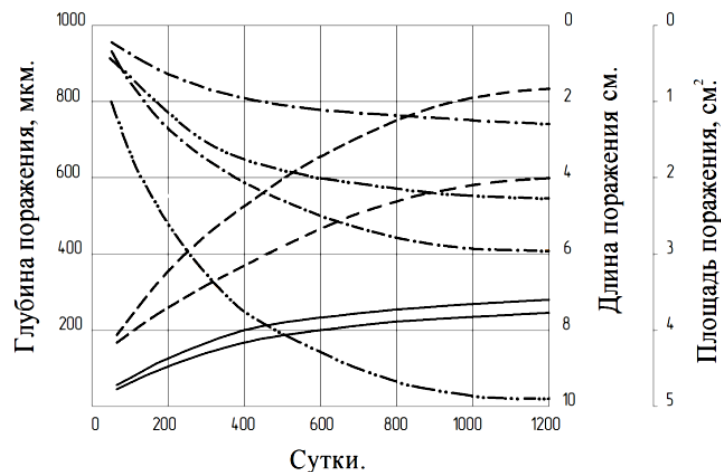


Рис. 1.19. Кинетика изменения характеристик коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах бетона:
 нижние и верхние кривые – соответственно постоянное и переменное раскрытие трещин;
 _____ – средняя глубина коррозии; - - - - – максимальная глубина коррозии;
 - · - · - · – длина коррозионного поражения; - · - · - · – площадь коррозионного поражения

Результаты проведённого экспериментального исследования показывают математическую сопоставимость величин потенциала арматуры, сопротивления и емкости системы, а также средней глубине коррозионных язв для условий постоянного и переменного раскрытия поперечных трещин при затухающем характере кинетики коррозионного процесса на арматуре в поперечных трещинах бетона. Для образцов, испытывающих воздействие переменной нагрузки, поляризуемость арматуры значительно меньше (12 %), а максимальная глубина, длина и площадь коррозионного поражения соответственно больше в 1,5 и 2 раза, по сравнению с приложенной постоянной нагрузкой (рис. 1.18, 1.19).

Выводы, полученные по результатам экспериментальных исследований, могут быть учтены при корректировке нормативных значений ширины раскрытия поперечных трещин железобетонных конструкций, испытывающих воздействие жидких хлоридсодержащих сред.

Нормативная ширина между непродолжительным (a_{crc1}) и продолжительным (a_{crc2}) раскрытием поперечных трещин для всех групп арматурной стали и различных степеней агрессивного воздействия жидкой агрессивной среды унифицирована и составляет 50 мкм СНиП 2.03.11-85* [14].

Влияние дифференцированной величины амплитуды изменения ширины раскрытия поперечных трещин ($a_{crc1} - a_{crc2}$) на коррозионное состояние арматуры в зоне чистого изгиба изучено с помощью длительных экспериментальных исследований на девяти прямых моделях обычных железобетонных конструкций при действии переменной изгибающей нагрузки и агрессивной среды [216].

Восемь образцов испытывали воздействию постоянной изгибающей нагрузки различной интенсивности, соответствующей принятым значениям ширины раскрытия поперечных трещин. Образцы с геометрическими размерами 2000×200×70 мм, толщиной защитного слоя бетона 20 мм и несущей арматурой 1 Ø14 мм класса А-III изготовлены из особоплотного бетона. Ширина раскрытия поперечных трещин в зоне чистого изгиба измерялась индикаторами часового типа с ценой деления 10 мкм, стационарно установленными на поверхности бетона между поперечными трещинами в уровне рабочей арматуры.

Продолжительность испытания в лабораторных условиях составило 183 суток при регулярном шестиразовом увлажнении в течение суток раствором 3 % NaCl и кратковременном увеличении ширины раскрытия трещин в зоне чистого изгиба $a_{crc2} = 0,20$ мм на трёх балках в каждой серии соответственно на 0,05; 0,10 и 0,15 мм, то есть до $a_{crc1} = 0,25$ мм; $a_{crc1} = 0,30$ мм; $a_{crc1} = 0,35$ мм

Величина коррозионного поражения арматуры в зоне чистого изгиба определялась после вскрытия не менее шести поперечных трещин определенной ширины по следующим показателям: площади (S) и длине (ℓ) участка поражения, максимальной и средней глубине язв (δ_{max} и δ_{cp}), относительной величине поражения по периметру стержня (P). Изменение величины характеристик коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах бетона в зависимости от амплитуды их колебания представлено на рис. 1.20.

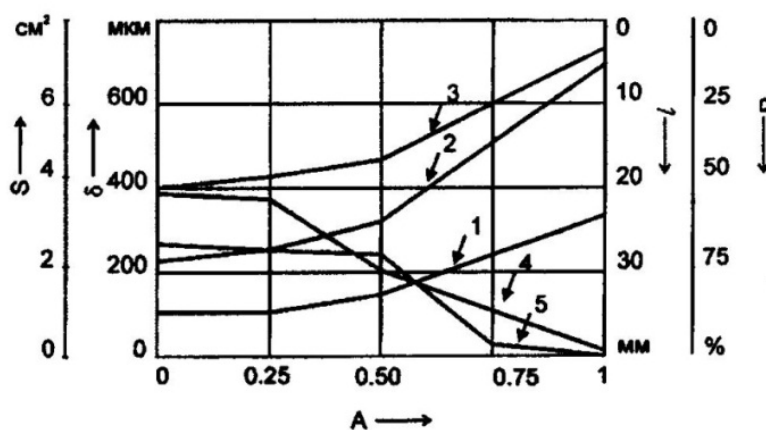


Рис. 1.20. Изменение характеристик коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах бетона в зависимости от относительной амплитуды изменения ширины раскрытия трещин A :

1, 2, 3, 4, 5 – соответственно средняя и максимальная глубина коррозии (δ) (площадь (S), длина (ℓ) и относительная величина поражения по периметру стержня (P))

Результаты испытания (рис. 1.20) показывают, что при нормировании a_{crc} при переменном раскрытии поперечных трещин необходимо учитывать не только абсолютную, но и относительную величину амплитуды изменения ширины раскрытия трещин $A = (a_{crc1} - a_{crc2}) / a_{crc2}$. Значительное увеличение

показателей коррозионного поражения арматуры наблюдается при относительной величине амплитуды изменения ширины раскрытия поперечных трещин $A \geq 0,5$. Следовательно, при нормировании a_{crc} на обычных железобетонных элементах, испытывающих воздействие жидкой хлоридсодержащей среды, необходимо принимать величину $A < 0,5$.

При действии переменной нагрузки максимальная глубина коррозии, длина участка коррозионного поражения вдоль арматуры и по периметру стержня увеличиваются не менее, чем в 1,5 раза по сравнению с постоянным воздействием нагрузки в поперечных трещинах бетона с одинаковой шириной раскрытия.

Снижение значений физического предела текучести и временного сопротивления арматуры на растяжение наблюдается при уменьшении диаметра стержня за счет коррозии арматуры более чем на 200 мкм (2,9 % снижения диаметра) и составляет около 3 % по отношению к аналогичным характеристикам контрольных стержней без коррозии.

Длительные экспериментальные исследования влияния переменной ступенчатой повторной нагрузки и жидкой хлоридсодержащей среды на долговечность железобетонных конструкций, с помощью впервые разработанной методики испытания, были проведены на шести прямых моделях обычных железобетонных конструкций, рассчитываемых по третьей категории трещиностойкости [214]. На воздействие переменной и постоянной нагрузки соответственно испытаны по три железобетонные балки. Опытные образцы с размерами 2000×200×70 мм изготовлены из тяжелого бетона пониженной проницаемости на алитовом среднеалюминатном портландцементе с арматурой 1Ø14 мм класса А-III и толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с} = 25$ мм. Максимальная и минимальная составляющие ступенчатой повторной нагрузки принимали значения для всех экспериментальных образцов, испытывающих воздействие переменной нагрузки, соответственно $M_{\max} = 0,70 M_p$ и $M_{\min} = 0,40 M_p$, где M_p – величина разрушающего изгибающего момента. Продолжительность цикла переменной ступенчатой повторной нагрузки составляет $t_{ц} = 60$ суток с относительным временем действия максимальной нагрузки в периоде цикла $\eta = t_{\max} / t_{ц} = 0,5$. Контрольные опытные железобетонные балки испытывали воздействие постоянной нагрузки с уровнем загрузжения $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{раз}}$

Экспериментальные исследования проведены на силовых установках, позволяющих проводить опыты на прямых моделях изгибаемых железобетонных конструкций в натуральных атмосферных условиях с дополнительным воздействием не менее шести раз в сутки жидкой агрессивной среды в виде раствора 3 %-го хлористого натрия. По отношению к обычным железобетонным конструкциям с расчётными поперечными трещинами в защитном слое бетона данная среда характеризуется как сильноагрессивная [216].

Период экспериментальных испытаний составил полтора года и был ограничен временем появления волосяных коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона ($a_T = 30 \text{ мкм}$), которые по данным литературных источников являются показателями предаварийного состояния железобетонных конструкций [9]. При коэффициенте ускорения коррозионного процесса на арматурной стали равном десяти [216] прогнозируемое время до появления коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона в слабоагрессивных условиях эксплуатации опытных железобетонных образцов с расчётными поперечными трещинами в бетоне может составить пятнадцать лет.

Полученные результаты экспериментальных исследований на прямых моделях железобетонных конструкций показывают линейную зависимость несущей способности опытных железобетонных балок и арматуры соответственно: внутреннего изгибающего момента и временного сопротивления, физического предела текучести арматуры от средней и максимальной глубины поражения арматуры (рис.1.21).



Рис. 1.21. Зависимости изменения величины несущей способности железобетонных балок и физико-механических характеристик рабочей арматуры класса А-III Ø14 мм от глубины коррозионного поражения арматуры: σ_{su} и σ_y – соответственно среднее временное сопротивление и физический предел текучести арматуры; M_c – изгибающий момент для постоянного нагружения; M_m – изгибающий момент для переменной нагрузки; индексы C и M – соответственно постоянное и переменное нагружение; $\delta_{ср}$ и δ_m – соответственно средняя и максимальная глубина коррозионного поражения арматуры

Анализ графиков на рис. 1.21 показывает, что средняя (максимальная) глубина коррозии $\delta_{ср} = 300 \text{ мкм}$ ($\delta_m = 1200 \text{ мкм}$) приводит к уменьшению несущей способности железобетонных образцов, временного сопротив-

ления и физического предела текучести арматуры в момент появления продольных коррозионных трещин соответственно на:

- для переменного нагружения – 3,5 % и 5 %;
- для постоянного нагружения – 2,5 % и 4,5 %.

Характеристики коррозионного поражения арматуры в виде длины (ℓ), средней глубины ($\delta_{\text{ср}}$) и относительной величины участка коррозионного поражения по периметру стержня (P) являются основными факторами, вызывающими образование коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона [214]. Полученные экспериментальные значения коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах бетона имеют нелинейную зависимость от ширины раскрытия поперечных трещин (рис.1.22).

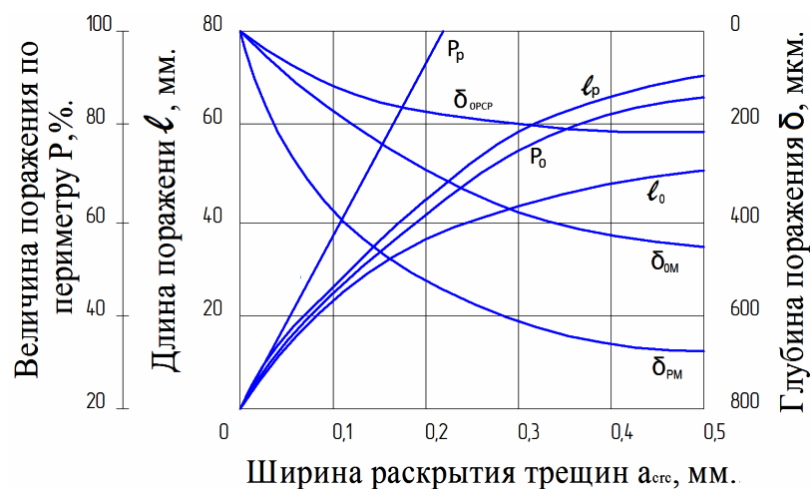


Рис.1.22. Зависимости изменений характеристик коррозионного поражения арматуры в трещинах бетона от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин: P , ℓ , $\delta_{\text{ср}}$, $\delta_{\text{М}}$ – соответственно средняя относительная величина коррозионного поражения по периметру стержня, длина и средняя, максимальная глубина участка коррозионного поражения; О и Р – соответственно постоянная и переменное воздействие нагрузки; С, М – соответственно средние и максимальные значения

По данным на рис. 1.22 средняя, максимальная глубина и длина коррозионного поражения арматуры, а также средняя относительная величина коррозионного поражения по периметру арматурного стержня соответственно составляют:

для переменного нагружения:

$$a_{\text{crc}} = 0,1 \text{ мм} - \delta_{\text{ср}} = 100 \text{ мкм}; \delta_{\text{М}} = 380 \text{ мкм}; \ell = 30 \text{ мм}; P = 55\%,$$

$$a_{\text{crc}} = 0,2 \text{ мм} - \delta_{\text{ср}} = 180 \text{ мкм}; \delta_{\text{М}} = 520 \text{ мкм}; \ell = 45 \text{ мм}; P = 94\%,$$

$$a_{\text{crc}} = 0,3 \text{ мм} - \delta_{\text{ср}} = 200 \text{ мкм}; \delta_{\text{М}} = 615 \text{ мкм}; \ell = 59 \text{ мм}; P = 100\%,$$

$$a_{\text{crc}} = 0,4 \text{ мм} - \delta_{\text{ср}} = 210 \text{ мкм}; \delta_{\text{М}} = 630 \text{ мкм}; \ell = 64 \text{ мм}; P = 100\%,$$

$$a_{\text{crc}} = 0,5 \text{ мм} - \delta_{\text{ср}} = 220 \text{ мкм}; \delta_{\text{М}} = 640 \text{ мкм}; \ell = 66 \text{ мм}; P = 100\%,$$

для постоянного нагружения:

$$a_{crc} = 0,1 \text{ мм} - \delta_{cp} = 100 \text{ мкм}; \delta_M = 175 \text{ мкм}; \ell = 23 \text{ мм}; P = 45\%,$$

$$a_{crc} = 0,2 \text{ мм} - \delta_{cp} = 180 \text{ мкм}; \delta_M = 290 \text{ мкм}; \ell = 38 \text{ мм}; P = 65\%,$$

$$a_{crc} = 0,3 \text{ мм} - \delta_{cp} = 200 \text{ мкм}; \delta_M = 390 \text{ мкм}; \ell = 44 \text{ мм}; P = 73\%,$$

$$a_{crc} = 0,4 \text{ мм} - \delta_{cp} = 210 \text{ мкм}; \delta_M = 515 \text{ мкм}; \ell = 50 \text{ мм}; P = 81\%,$$

$$a_{crc} = 0,5 \text{ мм} - \delta_{cp} = 220 \text{ мкм}; \delta_M = 450 \text{ мкм}; \ell = 53 \text{ мм}; P = 87\%,$$

Выводами, впервые полученными с помощью проведённых длительных экспериментальных исследований, являются установление более интенсивного, свыше полутора раз, распространения коррозии по периметру и длине арматурного стержня, а также более высокой максимальной глубине коррозионного поражения при действии переменной ступенчатой повторной нагрузки, по сравнению с загрузением постоянной нагрузкой. Переменная нагрузка приводит к появлению коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона при средней глубине коррозии арматурного стержня $\delta_{cp} = 240 \text{ мкм}$; (3.4 %), в то время как уменьшение прочности на действие изгибающего момента в железобетонных образцах составляет всего 1,5 %.

Следовательно, наступление предаварийного состояния железобетонных конструкций, возникающего в результате нарушения сцепления арматуры с бетоном при возникновении коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона, происходит не от снижения несущей способности арматуры, а от длины распространения продуктов коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной нагрузки и агрессивной жидкой хлоридсодержащей среды.

Комплексные экспериментальные исследования влияния длительных переменных ступенчато-повторных нагрузок с высоким уровнем загрузки при воздействии неагрессивной и агрессивной жидкой хлоридсодержащей среды на жёсткость и несущую способность изгибаемых железобетонных конструкций осуществлены на прямых моделях железобетонных элементов с размерами $1500 \times 200 \times 70 \text{ мм}$, армированных одним рабочим стержнем диаметром 12 мм класса А-III при толщине защитного слоя бетона 25 мм [225, 226].

В процессе эксперимента к двум опытным образцам, расположенных на одной автономной силовой установке прикладывалась равная по величине изгибающая нагрузка. Одна балка испытывалась в агрессивной среде, а другая – в неагрессивной [227].

Математической основой методики испытания железобетонных элементов на воздействие переменной ступенчатой повторной нагрузки являлся латинский квадрат с усредненными логарифмами результатов исследований [228–230]. В сбалансированном многофакторном эксперименте три независимых параметра переменной ступенчатой повторной нагрузки и

цикле загрузки: относительное время действия максимальной нагрузки в периоде цикла $\eta = t_{\max}/t_{\text{ц}}$, уровень загрузки минимальной нагрузкой $\rho = M_{\min}/M_{\max}$ и продолжительность цикла переменной нагрузки ($t_{\text{ц}}$) приняты на четырех уровнях:

- $\eta - 0,1; 0,2; 0,3; 0,4;$
- $\rho - 0,4; 0,533; 0,666; 0,8;$
- $t_{\text{ц}} - 3,5 \text{ сут}; 14 \text{ сут}; 28 \text{ сут}; 56 \text{ сут},$

с максимальной составляющей ступенчатой повторной нагрузки $M_{\max} = 0,77M_{\text{разр}}$, где $M_{\text{разр}}$ – величина разрушающего изгибающего момента, принимаемая из условия получения $a_{\text{crc}}^{\max} = 0,25 \text{ мм}$ [14, 83].

Режимы загрузки железобетонных образцов в пределах цикла переменной ступенчатой повторной нагрузки приведён на рис. 1.23.

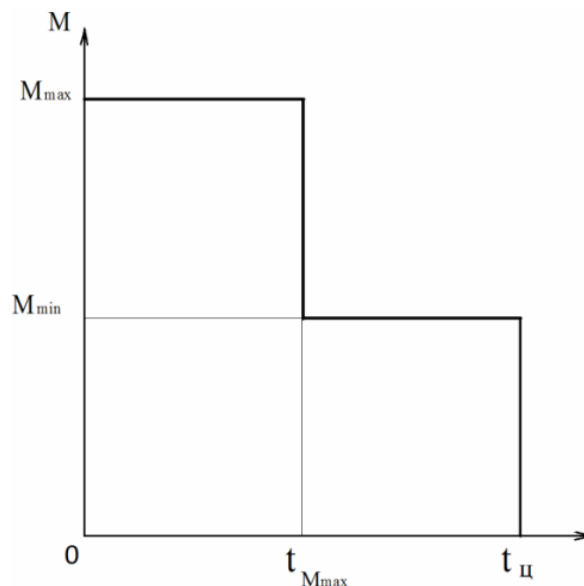


Рис. 1.23. Режимы загрузки ступенчато-повторной нагрузки:

M_{\max}, M_{\min} – соответственно максимальный и минимальный изгибающие моменты, переменной ступенчато-повторной нагрузки; $t_{\text{ц}}, t_{M_{\max}}$ – соответственно продолжительность цикла переменной нагрузки и время действия максимальной составляющей переменной нагрузки в периоде цикла

Численные значения характеристик переменной ступенчато-повторной нагрузки представлены в соответствующих ячейках латинского квадрата в табл. 1.11.

Принятые в комплексных экспериментальных исследованиях значения параметров переменной ступенчато-повторной нагрузки отражают широкий диапазон нагрузок, действующих в реальных условиях эксплуатации на несущие железобетонные конструкции [60, 65, 226].

Т а б л и ц а 1 . 1 1

Численные значения характеристик переменной ступенчатой повторной нагрузки в соответствующих ячейках латинского квадрата (буквы с цифрами – шифры образцов, испытывающихся в неагрессивных и агрессивных условиях)

$t_{ц} = 84$ ч $t_{M_{max}} = 8$ ч $M_{min} = 0,31M_{разр}^{оп}$ А-7 (неагресс) А-8 (агресс)	$t_{ц} = 84$ ч $t_{M_{max}} = 16$ ч $M_{min} = 0,41M_{разр}^{оп}$ Д-9 (неагресс) Д-10 (агресс)	$t_{ц} = 84$ ч $t_{M_{max}} = 25$ ч $M_{min} = 0,51M_{разр}^{оп}$ К-11 (неагресс) К-12 (агресс)	$t_{ц} = 84$ ч $t_{M_{max}} = 34$ ч $M_{min} = 0,62M_{разр}^{оп}$ О-27 (неагресс) О-28 (агресс)
$t_{ц} = 336$ ч $t_{M_{max}} = 36,6$ ч $M_{min} = 0,62M_{разр}^{оп}$ Б-15 (неагресс) Б-16 (агресс)	$t_{ц} = 336$ ч $t_{M_{max}} = 67,2$ ч $M_{min} = 0,31M_{разр}^{оп}$ Е-29 (неагресс) Е-30 (агресс)	$t_{ц} = 336$ ч $t_{M_{max}} = 100,8$ ч $M_{min} = 0,41M_{разр}^{оп}$ Л-17 (неагресс) Л-18 (агресс)	$t_{ц} = 336$ ч $t_{M_{max}} = 134,44$ ч $M_{min} = 0,51M_{разр}^{оп}$ П-31 (неагресс) П-32 (агресс)
$t_{ц} = 672$ ч $t_{M_{max}} = 67,2$ ч $M_{min} = 0,51M_{разр}^{оп}$ В-36 (неагресс) В-16 (агресс)	$t_{ц} = 672$ ч $t_{M_{max}} = 134,44$ ч $M_{min} = 0,62M_{разр}^{оп}$ Ж-33 (неагресс) Ж-34 (агресс)	$t_{ц} = 672$ ч $t_{M_{max}} = 201,6$ ч $M_{min} = 0,31M_{разр}^{оп}$ М-21 (неагресс) М-22 (агресс)	$t_{ц} = 672$ ч $t_{M_{max}} = 268,8$ ч $M_{min} = 0,41M_{разр}^{оп}$ Р-13 (неагресс) Р-14 (агресс)
$t_{ц} = 1344$ ч $t_{M_{max}} = 134,44$ ч $M_{min} = 0,41M_{разр}^{оп}$ Г-3 (неагресс) Г-4 (агресс)	$t_{ц} = 1344$ ч $t_{M_{max}} = 268,8$ ч $M_{min} = 0,51M_{разр}^{оп}$ з-38 (неагресс) з-37 (агресс)	$t_{ц} = 1344$ ч $t_{M_{max}} = 403,2$ ч $M_{min} = 0,62M_{разр}^{оп}$ Н-23 (неагресс) Н-24 (агресс)	$t_{ц} = 1344$ ч $t_{M_{max}} = 537,6$ ч $M_{min} = 0,31M_{разр}^{оп}$ С-25 (неагресс) С-26 (агресс)

Длительное влияние постоянной эксплуатационной изгибающей нагрузки в условиях воздействия неагрессивной и агрессивной среды, содержащей хлорид-ионы, экспериментально исследовано на железобетонных моделях в количестве 8 штук, в том числе половина из которых была испытана в агрессивной среде с относительными уровнями загрузки $M_{пост}/M_{разр}$ соответственно : 0,9; 0,533; 0,426 и 0,320.

Общее количество экспериментальных образцов составило сорок балок, двадцать из которых испытаны в условиях воздействия агрессивной среды, а другие двадцать – в неагрессивной. Эксперимент проводился в течение одного года в лабораторных условиях с периодическим шестьюкратным воздействием в течении суток трёхпроцентного раствора NaCl до появления волосяных продольных трещин ($a_T = 10$ мкм) в защитном слое бетона балок. При ускорении коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,20$ мм в 10 раз ($K_K = 10$) фактическая долговеч-

ность железобетонных прототипов прямых моделей с $a_{crc}^{max} = 0,25$ мм в слабоагрессивной среде, содержащей хлорид-ионы, при действии переменной ступенчатой повторной нагрузки составила 10–15 лет, что в 3–4 раза меньше нормативной долговечности несущих обычных железобетонных конструкций из тяжелого бетона СНиП 2.03.11-85* [14].

Полученные результаты экспериментальных исследований показали, что кинетика жёсткости балок и ширины раскрытия поперечных трещин как при действии постоянной, так и переменной нагрузки имеет затухающий характер во времени.

По сравнению с переменной нагрузкой воздействие постоянной нагрузки с уровнем загрузки $M_{опыт} = M_{разр} = 0,9$ уменьшает ширину раскрытия трещин для $a_{crc} > 0,25$ мм для опытных параметров переменной нагрузки в неагрессивных условиях в 1,24 раза, в агрессивных условиях – в 1,19 раза, а для граничных параметров переменной нагрузки соответственно – в 1,50 раза и в 1,55 раза.

Сравнительный анализ фактических и расчётных значений жёсткости и ширины раскрытия поперечных трещин показывает, что не учёт параметров ступенчатой повторной нагрузки в расчётных нормативных документах железобетонных конструкций приводит к несоответствию между расчётными и фактическими значениями изменения жёсткости только для неагрессивной среды не менее чем на 50 %, а для ширины раскрытия поперечных трещин – до 30 % [83, 84, 223].

Данные по карбонизации контактного бетонного слоя с арматурой, полученные в зоне влияния поперечных трещин на 20 железобетонных образцах, испытанных в агрессивных условиях при действии переменной и постоянной нагрузки свидетельствуют, что переменная нагрузка в три раза увеличивает длину участка карбонизации в контактном слое бетона с арматурой в зоне влияния поперечных трещин в агрессивных условиях по сравнению с постоянной нагрузкой, что является доказательством интенсивного микроразрушения бетона в приарматурной зоне поперечных трещин и нарушения усилий сцепления бетона с арматурой, за счёт действия переменной нагрузки [225].

Максимальная и средняя длина участка коррозии вдоль арматуры, а также по периметру стержня, максимальная глубина коррозионных язв на арматуре и площадь коррозионного поражения в поперечных трещинах с шириной раскрытия $a_{crc} = 0,20$ мм увеличивались не менее, чем в полтора раза при действии переменной нагрузки по сравнению с постоянной.

Прочность при растяжении стержней арматуры, $\varnothing 12$ мм, класса А–III, извлеченных из железобетонных элементов со средней глубиной коррозионных язв 300 мкм практически не изменялась. Физический предел текучести (470 МПа) и временное сопротивление (680 МПа) арматуры в среднем уменьшились соответственно на 6 МПа (1,1 %) и 7 МПа (1,0 %)

относительно данных, полученных на контрольных стержнях. Средняя глубина коррозионного поражения арматуры не превышала предельного значения уменьшения диаметра арматуры, опасного для несущей способности железобетонного элемента, равного 15 %, что для арматуры с $\varnothing 12$ мм составляет 1,8 мм или $\delta_{кр} = 900$ мкм [186,231].

Большое влияние на появление и раскрытие продольных трещин в агрессивной среде оказывает расстояние между поперечными трещинами ℓ_{crc} . Вероятность статистического распределения величин ℓ_{crc} в зоне чистого изгиба, полученное в эксперименте, имеет нормальный закон.

Результаты эксперимента показали уменьшение расстояния между поперечными трещинами в 1,35 раза при переменной нагрузке по сравнению с постоянной.

Являясь легитивными проводниками агрессивной среды к рабочей арматуре поперечные трещины оказывают определяющее влияние на возникновение и раскрытие коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона, за счёт давления продуктов коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин. Поэтому исследование характера распределения расчётных значений ширины раскрытия поперечных трещин на изгибаемых железобетонных элементах имеет большое значение для изучения процесса образования коррозионных продольных трещин.

Статистический анализ значений a_{crc} , измеренных с одной стороны образцов (рис. 1.24, а), показывает нормальный закон распределения, так как расхождение эмпирических и теоретических частот выборки незначительное $\chi_{кр}^2 = 0,600 > \chi_{набл}^2 = 1,02$. Величина математического ожидания $M = 0,218$ мм, среднее квадратическое отклонение $\sigma = 0,026$ мм, показатели асимметрии теоретического распределения $A = 0,16$, эксцесса – $E = -0,4$. Расчетная ширина раскрытия трещины составляет $a_{crc} = 0,240$ мм [232], с доверительной вероятностью появления расчетной a_{crc} в принятой выборке – $p = 0,82$. Величина максимальной a_{crc}^{max} при вероятности $p = 0,95$ равняется $a_{crc}^{max} = 0,261$ мм, что больше на 8 % расчетного значения.

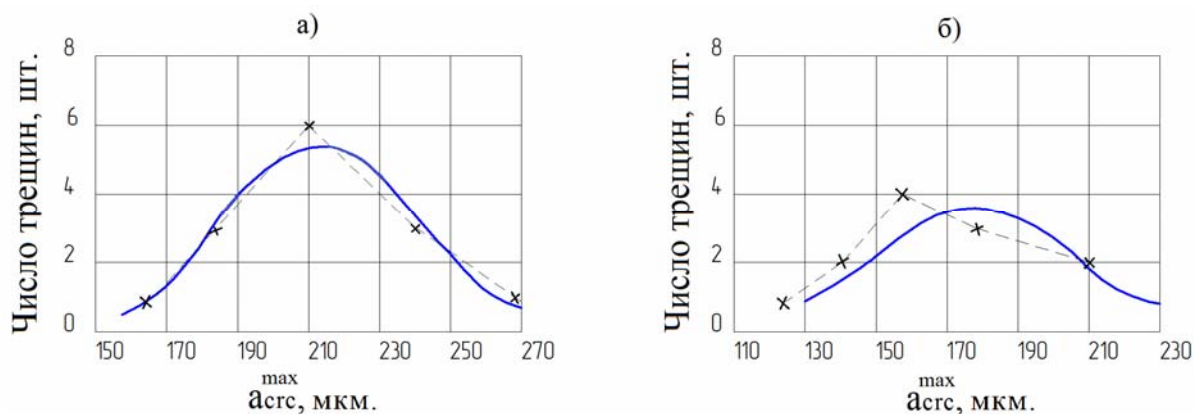


Рис. 1.24. Статистический анализ значений a_{crc} , измеренных с одной стороны (а) и с двух сторон (б) образцов

Объективной оценкой величины коррозионного поражения арматуры является определение по периметру стержня. Возможность такой оценки предусматривает учёт ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc}^{cp} , получаемых как средние значения от измерения a_{crc} с двух сторон образцов. Полученная экспериментальная выборка a_{crc}^{cp} имеет нормальный закон распределения, так как $\chi_{кр}^2 = 21,60 > \chi_{набл}^2 = 4,56$ (рис. 1.24, б). Среднее квадратическое отклонение $\sigma = 0,031$ мм, величина математического ожидания $M = 0,177$ мм, показатель асимметрии $A = 0,40$, эксцесс $E = 0,70$. При вероятности $p = 0,95$ значение $a_{crc}^{cp} = 0,228$ мм, что на 5 % меньше расчетной величины [225].

Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных значений ширины максимальных раскрытых трещин указывает на меньшее несоответствие для $a_{crc}^{cp\ max}$ (до 5 %) , по сравнению с a_{crc}^{max} (до 8 %).

Результаты проведённых длительных экспериментальных исследований показывают:

- затухающий характер экспоненциальной зависимости величины жесткости и ширины раскрытия трещин во времени при действии как постоянной, так и переменной ступенчатой повторной нагрузок, с высоким уровнем загрузки в различных средах;

- снижение жесткости и увеличение ширины раскрытия трещин не менее, чем в 1,5 раза при действии ступенчатой повторной нагрузки по сравнению с действием длительной постоянной нагрузки в различных средах;

- несоответствие расчетных и фактических значений в различных средах для жесткости не менее, чем на 50 %, а для ширины раскрытия трещин – до 43 % при не учете параметров ступенчатой повторной нагрузки;

- уменьшение расстояния между поперечными трещинами в 1,35 раза при действии переменной нагрузки по сравнению с постоянной;

- долговечность прямых моделей обычных железобетонных элементов с $a_{crc}^{max} = 0,25$ мм при действии ступенчатой повторной нагрузки и сильноагрессивной жидкой среды, содержащей хлорид-ионы, определяется появлением коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона и составляет один год;

- функциональное влияние параметров переменной ступенчатой повторной нагрузки на изменение несущей способности образцов как в неагрессивной, так и в агрессивной средах;

- нормирование значения $a_{crc} < 0,10$ мм для предотвращения появления продольных трещин в условиях воздействия сильноагрессивной жидкой среды, содержащей хлорид-ионы, и переменной ступенчатой повторной нагрузки.

Анализ литературных данных показывает практическое отсутствие математических моделей коррозии арматуры в поперечных трещинах бе-

тона изгибаемых железобетонных элементов при действии переменной нагрузки. Все известные модели коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона справедливы только для условий постоянного их раскрытия. В тоже время, анализ полученных характеристик коррозионного поражения горячекатаной арматуры класса А-III в поперечных трещинах бетона при действии переменной ступенчатой повторной нагрузки показывает, что их значения в условиях воздействия переменной нагрузки превышают более, чем в 1,5 раза величины аналогичных коррозионных характеристик, полученных при постоянных нагрузках [225].

1.4. Условия образования коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона

Нормативная долговечность железобетонных конструкций, испытывающих воздействие агрессивных сред, обеспечивается, в том числе, за счёт исключения образования коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона. Для обеспечения нормативной долговечности эксплуатирующихся железобетонных конструкций традиционные методы расчёта образования и раскрытия поперечных трещин в железобетонных элементах необходимо дополнить расчётом на предельное состояние железобетонных конструкций от нарушения сцепления корродирующей арматуры с бетоном в результате образования коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона.

Предел долговечности железобетонной конструкции наступает не только за счёт изменения физико-технических характеристик арматуры, но и механического разрушения бетона в защитном слое от растущего на поверхности стального стержня слоя ржавчины, а также снижения пластичности (охрупчивание) высокопрочной арматуры, вплоть до её коррозионного растрескивания [9].

Долговечность железобетонных конструкций с пластичной арматурой обеспечивается, при выполнении следующих условий [9, 141, 142, 169]:

недопустимость снижения механических характеристик арматуры при её коррозии;

отсутствие коррозионных продольных трещин в бетоне вдоль арматурных стержне при коррозии арматуры ;

В плотном тяжёлом бетоне с низким коэффициентом диффузии новообразования скапливаются в районе залегания арматуры, из-за повышенной скорости коррозии арматуры по сравнению со скоростью диффузии продуктов коррозии металла. Объем продуктов коррозии стали зависит от количества кислорода и составляет по отдельным литературным источникам в 2,9 раза больше [233], а по другим – от 2,5 до 6 раз [128] и от 1,7 до 6,5 [249, 250] больше, чем объем исходного металла. В железобетонных

конструкциях с ненапрягаемой арматурой классов А-1, А-II, А-1III коррозия стали приводит к образованию продольных трещин в защитном слое бетона в результате давления продуктов коррозии металла на бетон.

Коррозионные трещины не способствуют затуханию коррозии арматуры, из-за растущего давления на бетон продуктов коррозионного процесса стали [10].

Количественная оценка уменьшения сцепления рабочей арматуры с бетоном в результате её коррозии до настоящего времени не исследована. Известные экспериментальные данные по изучению сцепления арматуры с бетоном получены на прямых моделях железобетонных конструкций с искусственным нарушенным сцеплением, не отражающих работу конструкций в реальных условиях эксплуатации [234–237].

Объективное определение снижения величины усилия сцепления арматуры в бетоне может быть получено только на арматурных стержнях, в железобетонных конструкциях, испытывающих прямое воздействие агрессивной среды [238]. Учитывая неравномерный характер электрохимического процесса коррозии на поверхности арматуры, для более объективной оценки результатов экспериментальных исследований, с учётом требований математической статистики, необходимо в экспериментальных исследованиях использовать не менее $6 \div 10$ опытных образцов [239]. Выходом из трудоёмкого процесса их изготовления и последующего длительного испытания является оценка степени коррозии арматуры по величине раскрытия коррозионной продольной трещины на поверхности защитного слоя бетона, вызванной коррозией арматуры.

После 10 лет эксплуатации в железобетонных конструкциях зданий и сооружений Норильского горно-металлургического комбината в результате коррозии рабочей арматуры периодического профиля наблюдалось разрушение защитного слоя бетона [153, 240, 241].

В гидрOMETаллургическом цехе после 11 лет эксплуатации железобетонных балок покрытия образовались продольные трещины с шириной раскрытия 10–15 мм со слоями продуктов коррозии стали до 8 мм. При глубине нейтрализации защитного слоя бетона до 30 мм поперечное сечение продольных стержней диаметрами 24 и 20 мм уменьшилось на 40 % [91].

В отбельном цехе Амурского целлюлозно-картонного комбината после 23 лет эксплуатации произошло разрушения несущих железобетонных ферм покрытия, из-за образовавшихся коррозионных продольных трещин в бетоне вдоль арматуры с шириной раскрытия 3...8 мм, которые привели к отслоению защитного слоя бетона, из-за воздействия хлора. При толщине слоя продуктов коррозии металла 7 мм сечение арматуры уменьшилось на 50 % [38].

На девяти предприятиях по производству хлора и каустика со сроком эксплуатации от 3 до 17 лет по данным более 700 натурных замеров

установлено, что содержание хлора в воздухе цехов по производству хлора и каустика составляло 0–3 мг/м³ в рабочей зоне и в 1,5–1,6 раз превышало в верхней зоне помещений в межферменном пространстве. В бетоне кроме хлоридов обнаружен гипохлорит кальция Ca(OCl)₂ в количестве в 10–100 раз меньшем, чем хлорид кальция. При повышенной влажности воздуха более 75 %, коррозия стальной арматуры наблюдалась при содержании хлорид-ионов 0,6 % от массы цемента [154, 242–245].

Процесс взаимодействия хлора с бетоном имел хорошо выраженный послойный характер. Разрушение железобетонных конструкций наступало вследствие коррозии стальной арматуры, приводящей к растрескиванию защитного слоя бетона, из-за увеличивающегося давления продуктов коррозии арматуры на бетон.

Общий период эксплуатации 12 тысяч обычных железобетонных ребристых плит покрытия на 85 животноводческих зданиях до наступления аварийного состояния, из-за образования коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона вдоль несущих арматурных стержней в результате коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона, составил 25 лет, вместо нормативных 50-ти [9,35].

Из обследованных 86 полурам железобетонных полурам, изготовленных из тяжёлого бетона нормальной проницаемости, эксплуатирующихся в течение 13 лет в газовой среде зданий свиноводческого комплекса «Тамалинский» в Пензенской области на одиннадцати из них в защитном слое бетона вдоль арматурных стержней были обнаружены продольные коррозионные трещины с раскрытием не менее 50 мкм и длиной более 1 м. Значение глубины карбонизации защитного слоя бетона толщиной 30 мм за отмеченный период эксплуатации железобетонных конструкций составило 17 мм [34, 36, 37].

Результаты экспериментальных исследований 18 серий железобетонных образцов длиной 240 мм, по 6 балочек в каждой с одиночными арматурными стержнями класса А-I или А-III и соответствующими диаметрами (*d*) 10; 14 и 18 мм, толщиной защитного слоя бетона (*a*) 15; 25 и 35 мм и классом бетона (В) 15; 22,5 и 30 показывают, что коррозионные продольные трещины в защитном слое бетона образцов возникают в сроки от 2 до 18 месяцев [246]. Использовался бетон с соответствующими техническими характеристиками: водоцементное отношение 0,67; 0,55 и 0,45; эффективный коэффициент диффузии CO₂ в бетоне (см²/с·10⁻⁴) 0,17; 0,53 и 1,8.

Для ускорения процесса коррозии арматуры при изготовлении образцов в бетонную смесь был введён хлористый натрий – 5 % от массы цемента [9, 91]. Испытания железобетонных элементов проводились в течение 22 месяцев в атмосферных условиях с периодическим, не реже двух раз в сутки, увлажнением водопроводной водой. По интенсивности коррозионного поражения арматуры данные условия характеризуются как сильноагрессивные [91].

Раскрытие коррозионных продольных трещин шириной 0,10 мм происходило при средней глубине поражения арматуры в пределах 300-600 мкм. Определяющее влияние на период образования коррозионных продольных трещин оказывали диаметр арматуры и толщина защитного слоя бетона.

При эксплуатации железобетонных конструкций в слабо- или среднеагрессивной среде, когда процесс коррозии арматуры в бетоне протекает со сравнительно небольшой скоростью, период до раскрытия продольных трещин в несколько раз может быть увеличен за счет изменения показателя $\Phi = d/a$ (отношение диаметра арматуры к толщине защитного слоя бетона).

В сбалансированном многофакторном эксперименте, где 3 независимых параметра внутренних факторов железобетонных элементов приняты на трех уровнях: d – 10; 14 и 18 мм; a – 15; 25 и 35 мм; B – 15; 22,5 и 30, для арматуры классов А-I и А-III получены уравнения регрессии длительности временного периода до появления продольных трещин (T), средней (δ_{cp}) и максимальной (δ_{max}) глубины поражения арматуры от параметров внутренних факторов железобетонных конструкций табл.1.12 [246].

Т а б л и ц а 1 . 1 2

Уравнение функций T (мес), δ_{cp} и δ_{max} (мкм)

Класс арматуры	Уравнение функции T ; δ_{cp} ; $\delta_{max} = f(d, a, B)$	Для параметров опытных внутренних факторов	
		max	min
А-I	$T = 0,0126211(13,84 - 0,34d)(0,46a)(7,88 + 0,03B)$	18,7	5,6
А-III	$T = 0,0160762(11,00 - 0,21d)(0,38a)(7,00 + 0,04B)$	15,6	5,0
А-I	$\delta_{cp} = 0,0000059(556 - 14,0d)(141 + 8,8a)(292 + 4,1B)$	457	173
А-III	$\delta_{cp} = 0,0000049(727 - 16,9d)(216 + 9,5a)(421 + 2,3B)$	733	338
А-I	$\delta_{max} = 0,0000012(1128 - 15,0d)(559 + 12,8a)(700 + 9,2B)$	1150	722
А-III	$\delta_{max} = 0,0000013(1100 - 19,6d)(500 + 16,7a)(800 + 4,0B)$	1173	627

Данные табл. 1.12 показывают, что в момент времени появления коррозионных продольных трещин для граничных параметров опытных внутренних факторов для арматуры классов А-I и А-III существенное расхождение наблюдается только в величинах средней глубины поражения δ_{cp} – соответственно 47 % и 95 %. Из параметров внутренних факторов наибольшее влияние на функциональные зависимости оказывают диаметр арматуры и толщина защитного слоя бетона.

Эффективным экономическим решением является определение коррозионного состояния арматуры железобетонных конструкций по ширине раскрытия коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона рис.1.25 [247].

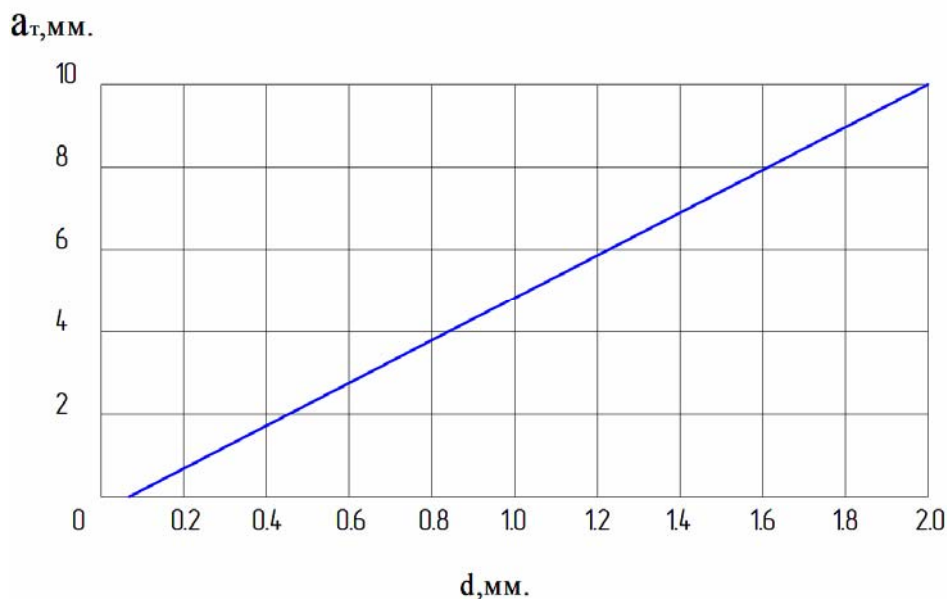


Рис. 1.25. Влияние ширины раскрытия продольной трещины на толщину коррозионных продуктов стали $a_T - \Delta d$, где a_T – ширина раскрытия трещин

Существующие методы расчета прочности железобетонных конструкций не учитывают изменение сцепления арматуры с бетоном. Обзор известных научных работ показывает отсутствие единого подхода к оценке уровня снижения сцепления между арматурой и бетоном даже в отсутствии воздействия агрессивной среды. При совместном действии силовых и агрессивных средовых воздействий на контактную систему «арматура-бетон» неравномерность деградации бетона и нарушение сцепления между арматурой и бетоном по длине конструкции определяют долговечность железобетонных элементов. Учет изменения сцепления арматуры с бетоном имеет особое значение для определения остаточной прочности железобетонных конструкций, так как данный фактор приводит не только к изменению характера образования и развития новых и существующих поперечных трещин в бетоне, но и напряженно-деформированного состояния сечений с трещинами, а также к качественному переходу характера разрушения арматуры от пластического к хрупкому виду [127, 248].

Результаты известных научных исследований коррозионного разрушения армированных железобетонных элементов в хлоридсодержащих средах показывают следующие этапы этого процесса:

- проникание и распределение по объему армированного конструктивного элемента хлорид-ионов, в зависимости от концентрации хлорид-ионов, и возникновением наведенной неоднородности механических свойств материала, изменяющейся с течением времени;
- появление условий, способствующих началу процесса коррозии арматуры;

- протекание коррозионного процесса на арматуре, приводящего к уменьшению её сечения и образованию продуктов коррозии металла, объем которых превышает первоначальный объем стали;
- коррозионное микрорастрескивание бетона на поверхности корродирующей арматуры, из-за давления на бетон, увеличивающихся в объеме продуктов коррозии металла;
- прорастание коррозионной продольной трещины через бетон защитного слоя до его внешней поверхности, за счёт возрастающего давления от продуктов коррозии стали;
- разрушение защитного слоя бетона, в результате потери усилия сцепления проржавевшей арматуры с бетоном;
- разрушение конструктивного железобетонного элемента, вследствие наступления предельного состояния.

Геометрическая модель образования и развития коррозионной продольной трещины в защитном слое бетона предусматривает наличие зависимости ширины раскрытия коррозионной продольной трещины a_T от глубины коррозионного поражения арматуры δ и геометрических характеристик толщины защитного слоя бетона [238]:

$$a_T = \frac{8\delta h}{\ell}, \quad (1.23)$$

где h – модифицированная толщина защитного слоя бетона; δ – глубина коррозионного поражения арматуры; ℓ – длина расчётной модельной балочки.

Для железобетонных образцов с толщиной защитного слоя бетона равной 2,5 см расчёт с помощью полученной зависимости показывает, что глубина коррозии арматуры $\delta = 25$ мкм приводит к образованию продольной трещины с $a_T = 86$ мкм, что свидетельствует об отсутствии деформации бетона в сечении коррозионной продольной трещины.

Усилие воздействия продуктов коррозии арматуры на толщину защитного слоя бетона определяется площадью коррозии арматуры [10]. Сроки трещинообразования зависят от длин дуг секторов коррозии арматурных стержней. Для случая общей коррозии арматуры время до образования коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона основано на предельно допустимой величине уменьшения радиуса кривизны арматурного стержня [10]:

$$t_I = 80 \frac{C}{Dr}, \quad (1.24)$$

где C – толщина защитного слоя бетона, мм; D – диаметр стержня (мм); r – скорость коррозии бетона.

Зависимость снижения прочности бетона при образовании коррозионных трещин от расклинивающего действия продуктов коррозии арматуры представлена в [249, 250]:

$$R_b^{\text{degr}} = \frac{R_b}{1 + k \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{bR}}}, \quad (1.25)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{n \cdot w_{cr}}{b}, \quad (1.26)$$

$$w_{cr} = 2 \cdot \pi \cdot (\gamma_{rs} - 1) \cdot \delta, \quad (1.27)$$

где k – коэффициент, зависящий от профиля и диаметра арматурного стержня ($k=0,1$ для профилированных стержней среднего диаметра); n – количество арматурных стержней; ε_1 – средняя относительная деформация растянутого трещиноватого бетона в направлении, перпендикулярном образованию трещины; w_{cr} – ширина раскрытия трещины при заданной глубине проникновения коррозии; δ , γ_{cr} – коэффициент увеличений в объеме продуктов коррозии по отношению к первоначальному объему стали ($\gamma_{cr} = 1,7$ для FeO, $\gamma_{cr} = 6,5$ для Fe(OH)₃ · 3H₂O).

С помощью модели деградации сцепления арматуры с бетоном в изгибаемых железобетонных элементах при коррозионных повреждениях арматуры в поперечных расчетных трещинах в [251, 252] получены теоретические результаты расчётов, влияющих на остаточный ресурс железобетонных элементов.

Номенклатура предельных состояний железобетонного элемента определяется параметрами напряжённо-деформированного состояния бетона и арматуры в пределах расчетного железобетонного блока между поперечными трещинами [251]:

- достижением растянутой арматурой в поперечной трещине предела текучести при коррозионном повреждении арматуры;
- исчерпанием несущей способности сжатого бетона в сечении с поперечной трещиной при коррозионном повреждении бетона;
- сверхнормативным раскрытием поперечной трещины;
- отслоением защитного слоя бетона в результате образования коррозионных продольных трещин и потери сцепления арматуры с бетоном;
- сверхнормативным прогибом конструкции.

Вопросы моделирования образования коррозионной продольной трещины в защитном слое бетона, из-за постепенного роста давления продуктов коррозии на арматурных стержнях, рассмотрены в работах [253–255].

В расчётных предпосылках продукты коррозии, увеличиваясь в объеме, создают в нелинейно-упругом бетоне, как растягивающие так и сжимающие напряжения. Зависимость между интенсивностями напряжений и деформаций имеет вид кубической параболы.

Модель движения трещины в бетоне $x(t)$ от продуктов коррозии арматуры вокруг арматурного стержня к поверхности защитного слоя бетона имеет вид расчетной схемы бетона, принимаемой в виде толстостенной трубы:

$$\frac{\alpha^* G}{2} \left(\frac{1}{r^2} + \frac{1}{h^2} \right) + \frac{b^* G^3}{6} \left(\frac{5}{r^6} - \frac{1}{h^6} \right) = \sigma_{bt}, \quad (1.28)$$

где $r = d/2 + x$; α^*, b^* – коэффициенты, соответствующие растягивающим и сжимающим напряжениям в бетоне и в продуктах коррозии стали; G – постоянное интегрирование.

Модель давления продуктов коррозии арматуры в защитном слое бетона, когда расчётная схема представляет элементарную полосу толстостенной трубы, имеет вид [127]:

$$\frac{\delta(m-1)}{\alpha_z} = \varepsilon_u, \quad (1.29)$$

где δ – закон коррозионного поражения арматуры; m – коэффициент увеличения длины от коррозионного распухания; α_z – толщина защитного слоя, отсчитываемая от наружной поверхности конструкции до поверхности арматуры.

Модель давления продуктов коррозии арматуры с учетом не перемещения наружной поверхности защитного слоя бетона представляется в виде [127]:

$$P = A(\mu) \frac{\delta(m-1)}{\alpha_z} - B(\mu) \frac{\delta^3(m-1)^3}{\alpha_z^3}, \quad (1.30)$$

где $A(\mu)$ и $B(\mu)$ – эмпирические коэффициенты, соответствующие растягивающим напряжениям, определяемые по кривым деформирования образцов исходного бетона при растяжении.

Радиальные и тангенциальные напряжения имеют соответствующие математические зависимости, возникающие от продуктов коррозии арматуры вдоль арматурного стержня в зоне влияния поперечной трещины [234]:

$$\sigma_r = K\varepsilon + 2G(\varepsilon_r - \varepsilon/3); \quad (1.31)$$

$$\sigma_\varphi = K\varepsilon + 2G(\varepsilon_\varphi - \varepsilon/3), \quad (1.32)$$

где K – коэффициент объёмного расширения бетона; G – модуль сдвига бетона при чистом сдвиге; $\varepsilon = \varepsilon_r + \varepsilon_\varphi$; $\varepsilon_r = \frac{\partial U_r}{\partial r}$; $\varepsilon_\varphi = \frac{U_r}{r}$.

Феноменологическая модель образования коррозионной трещины в бетоне вдоль арматурного стержня в цилиндрической системе координат на основании условия $\varepsilon_0(t, t_0) > \varepsilon_{B,t,u}$ представлена в работе [256]:

$$\varepsilon_0(t, t_0) = \frac{1}{E_{b,c,r}(v, t)} \cdot [\sigma_0(z, v, t) + \mu\sigma_r(z, v, t)]. \quad (1.33)$$

1.5. Алгоритм теоретических исследований влияния ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на ширину раскрытия коррозионных продольных трещин, при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Нормами СНиП 2.03.11-85* [14] и ГОСТ 31384-2008 [30] рассматриваются два критерия опасности коррозионного поражения арматуры различного профиля в расчётных поперечных трещинах бетона. Оба критерия являются справедливыми только для постоянных раскрытых поперечных трещин от действия длительной или кратковременной нагрузки. Первый критерий не допускает снижения механических характеристик арматуры, второй – образования коррозионных продольных трещин в защитном слое бетоне вдоль арматурных стержней [9].

В то же время, фактическая долговечность железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия жидких хлоридсодержащих сред, определяемая коррозионным поражением рабочей арматуры, во многих случаях, оказывается в несколько раз меньше нормативной [9, 11]. Одной из главных причин этого несоответствия является разрушение защитного околоарматурного слоя бетона в зоне влияния расчётных поперечных трещин [265], из-за коррозии в них стальной арматуры, приводящей к увеличению объёма, и соответственно толщины, продуктов коррозии металла от 1,7 до 6 раз, в зависимости от химического состава продуктов электрохимической коррозии арматурной стали [128, 233, 249, 250, 264].

Объективной характеристикой изменения технического состояния железобетонных конструкций при коррозии арматуры является наличие визуальных внешних признаков нарушения сплошности бетона на поверхности конструкции. По данным литературных источников возникновение первых видимых (волосных) коррозионных трещин наблюдается уже при потере сечения стальной арматуры более 0,5 % [247]. Поэтому, фактическая ширина раскрытия коррозионных продольных трещин является объективным оценочным показателем технического состояния железобетонных конструкций.

Теоретический анализ, полученных экспериментальным путём функциональных зависимостей глубины и длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах бетона, с известными в литературе зависимостями между толщиной продуктов коррозии арматуры и шириной раскрытия коррозионных продольных трещин, показанных на рис. 1.26 [257], позволяет получить функциональные уравнения значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от величины ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности

железобетонных конструкций, с учётом соответствующих относительных значений увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали.

В монографии вывод уравнений регрессии зависимостей ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона железобетонных элементов от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки, проведено с помощью использования результатов длительных экспериментальных исследований, полученных автором на трёх сериях прямых моделей железобетонных элементов, а также данных натуральных обследований, эксплуатирующихся железобетонных конструкций [257], в условиях воздействия реальных действующих эксплуатационных нагрузок и жидкой агрессивной хлоридсодержащей среды.

По сведениям литературных источников, увеличение толщины продуктов коррозии арматуры, по отношению к арматурной стали, в подавляющем числе случаев составляет от полутора до трёх раз [38, 119, 128, 140, 233, 249, 250, 264].

Уравнения регрессии ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона железобетонных элементов в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности прямых моделей железобетонных элементов, получены для трёх значений относительного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали с двумя симметричными числовыми интервалами, соответственно 3,0; 2,25 и 1,5 раза, по отношению к арматурной стали.

За степень влияния коррозионного повреждения арматуры на ширину раскрытия коррозионных продольных трещин, вызванного внутренним давлением продуктов коррозии металла арматуры на бетон защитного слоя, использовались опытные значения характеристик коррозионных поражений железобетонных конструкций (балок, колонн), обнаруженных при обследовании эксплуатирующихся производственных зданий и сооружений, при величине защитного слоя бетона 20-30 мм, с классами бетона конструкций В20...В35 [257, 258], представленные на рис. 1.26 и 1.27.

Условные обозначения на рис. 1.27: численные значения координат соответствующих точек, возрастающих по оси ординат: ($a_T^{\text{прод}}=250$; $\omega = 3$), ($a_T^{\text{прод}}=500$; $\omega = 7$), ($a_T^{\text{прод}}=750$; $\omega= 10$), ($a_T^{\text{прод}}=1000$; $\omega= 12$), ($a_T^{\text{прод}}=1250$; $\omega= 15$), ($a_T^{\text{прод}}=1500$; $\omega= 16,2$), ($a_T^{\text{прод}}=1750$; $\omega= 17,5$), ($a_T^{\text{прод}}=2000$; $\omega= 18,5$), ($a_T^{\text{прод}}=2250$; $\omega= 18,8$), ($a_T^{\text{прод}}=2500$; $\omega= 19,2$), ($a_T^{\text{прод}}=2750$; $\omega= 19,6$) и ($a_T^{\text{прод}}=3000$; $\omega = 20$). Уравнение регрессии: $\omega = 20 - 20e^{-0,96 \cdot a_T^{\text{прод}}}$.

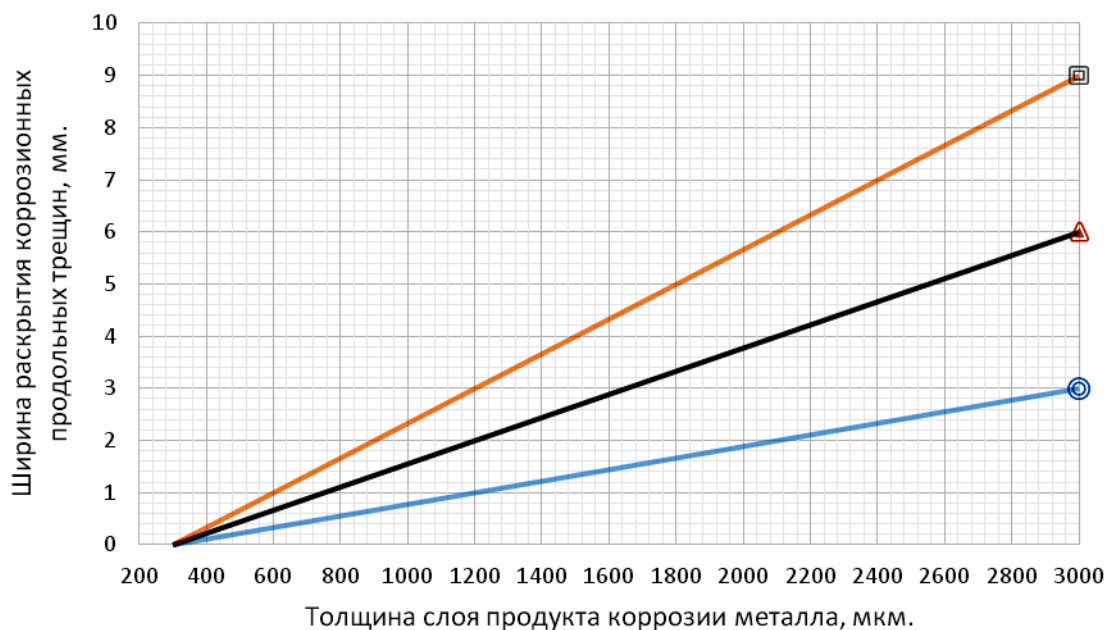


Рис.1.26. Толщина продукта коррозии стали $\delta_{п.к}$, в зависимости от ширины раскрытия коррозионных продольных трещин ($a_{Т_{кор}}^{прод}$) в железобетонных конструкциях [257]:

окружность – минимальные значения, $a_{Т}^{прод} = 0,0011 \cdot \delta_{п.к} - 0,3$; квадрат – максимальные значения, $a_{Т}^{прод} = 0,0033 \cdot \delta_{п.к} - 1$; треугольник – средние значения, $a_{Т}^{прод} = 0,0022 \cdot \delta_{п.к} - 0,667$, где $a_{Т}^{прод}$ в мм, $\delta_{п.к}$ в мкм

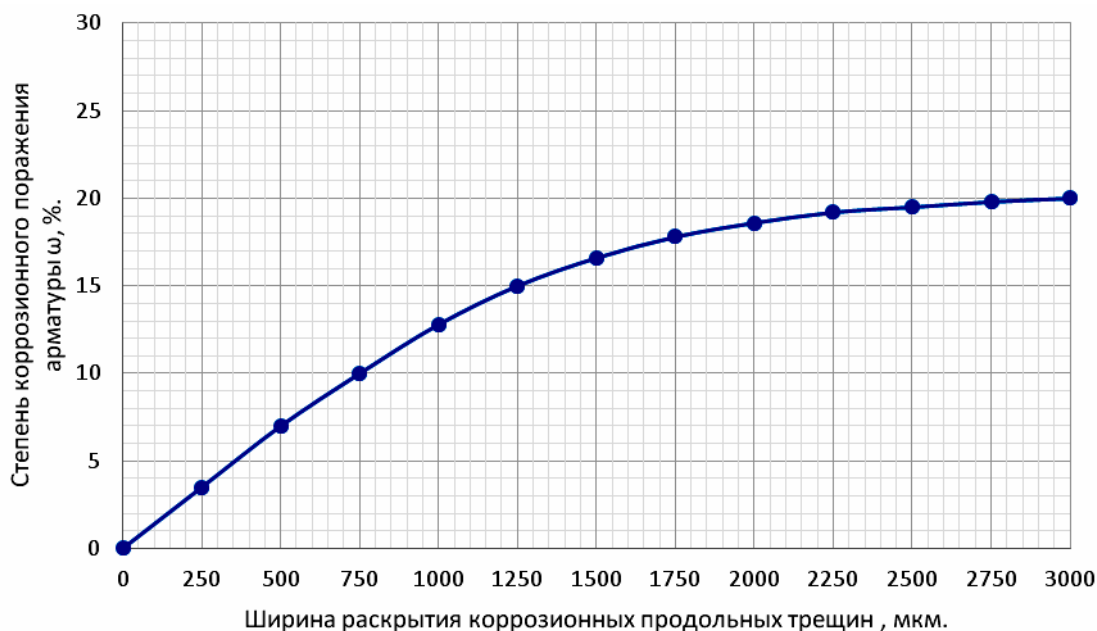


Рис. 1.27. Степень коррозионного поражения арматуры периодического профиля диаметром 16 мм (ω), в зависимости от ширины раскрытия коррозионных продольных трещин $a_{Т}^{прод}$ [257]

В основе алгоритма расчёта ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности железобетонных конструкций, находится, полученная по результатам проведённых экспериментальных исследований на прямых моделях железобетонных элементов, математическая зависимость глубины и длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин. Это позволяет по длине участка коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, с учётом толщины продуктов коррозии стальной арматуры, определять фактическое давление продуктов коррозии арматуры на бетон защитного слоя, с дальнейшим проведением технического прогноза работоспособности железобетонных конструкций для определения её фактической долговечности.

Разработанная методика проведения теоретического исследования использована при разработке научных материалов, содержащиеся во второй и третьей главе монографии.

Вторая глава монографии включает в себя первый и второй этапы теоретического исследования, третья глава – третий этап теоретического исследования. Первый и второй этапы исследования предусматривают использование данных экспериментальных исследований, полученных на первой серии опытных образцов с несимметричным воздействием максимальной нагрузки в периоде цикла загрузки переменной ступенчатой повторной нагрузкой, а также, полученных, на второй серии опытных образцов, с симметричным воздействием максимальной нагрузки в периоде цикла загрузки переменной ступенчатой повторной нагрузкой.

В третьей главе рассматривается третий этап теоретических исследований, содержащий анализ опытных данных, полученных на прямых моделях железобетонных конструкций, при действии только постоянной изгибающей нагрузки.

Во второй и третьей главах ширина раскрытия коррозионных продольных трещин для соответствующих экспериментальных значений a_{crc} рассчитывается, с учётом четырёх случаев зависимости ширины коррозионных продольных трещин (a_T^{prod}) на поверхности защитного слоя бетона от максимальной ($\ell_{кор}^{max}$) и средней ($\ell_{кор}^{сред}$) длины коррозии, при максимальной ($\delta_{кор}^{max}$) и средней ($\delta_{кор}^{сред}$) глубине коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин: $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{сред})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{сред})$ и $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$.

2. ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ РАСЧЁТНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИН НА ШИРИНУ РАСКРЫТИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН, ПРИ ДЕЙСТВИИ ИЗГИБАЮЩЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ И ПОСТОЯННОЙ НАГРУЗКИ

2.1. Методика и результаты первого этапа теоретического исследования

2.1.1. Общие сведения

На первом этапе теоретических исследований учитывались результаты экспериментальных исследований, полученных на изгибаемых прямых моделях обычных железобетонных конструкций с размерами 1500×200×70 мм в условиях приложения длительных переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающих нагрузок при воздействии агрессивной жидкой хлоридсодержащей среды [225, 226, 259].

В опытных образцах использовался тяжёлый бетон класса В = 40 МПа с толщиной защитного слоя бетона 25 мм и плоский арматурный каркас с одним рабочим стержнем класса А-III диаметром 12 мм и поперечными хомутами диаметром 6 мм класса А-I, которые отсутствовали в зоне чистого изгиба на расстоянии 600 мм.

Математической основой методики эксперимента являлся латинский квадрат, позволяющий получить опытные данные в сбалансированном многофакторном эксперименте на четырёх уровнях трёх независимых параметров переменной ступенчатой повторной нагрузки в цикле загрузки: $\eta - 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$, где $\eta = t_{M_{\max}}/t_{\text{ц}}$ – относительное время действия максимальной нагрузки в периоде цикла; $\rho - 0,4; 0,533; 0,666; 0,8$, где $\rho = M_{\min}/M_{\max}$ – уровень загрузки минимальной нагрузкой; $t_{\text{ц}} - 3,5$ суток (84 часа); 14 суток (336 часа); 28 суток (672 часа); 56 суток (1344 часа).

Принятые значения параметров переменной ступенчатой повторной нагрузки отражают широкий диапазон нагрузок, действующих в реальных условиях эксплуатации на несущие железобетонные конструкции. Максимальная величина переменной ступенчатой повторной нагрузки установлена из условия получения $a_{\text{crc}}^{\max} = 0,25$ мм и составляла $M_{\max} = 0,77M_{\text{разр}}$, где $M_{\text{разр}}$ – величина разрушающего изгибающего момента.

В эксперименте принимали участие сорок прямых моделей железобетонных конструкций. Двадцать образцов испытывались в агрессивной среде, в том числе шестнадцать балок находились под воздействием переменной ступенчатой повторной нагрузки, и четыре образца – под воздей-

ствием постоянной нагрузки. Остальные двадцать опытных образцов испытывались в неагрессивной среде.

Эксперимент проведён в течение одного года в лабораторных условиях при периодическом шестиразовом увлажнении в течение суток трёхпроцентным раствором хлористого натрия поверхности бетона образцов. После появления волосяных коррозионных продольных трещин ($a_T = 10$ мкм) в защитном слое бетона балок, испытывающих воздействие переменной нагрузки и агрессивной среды, натурная часть экспериментального исследования была завершена. При ускорении коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,20$ мм в 10 раз ($K_k = 10$) при аналогичной концентрации хлорид-ионов в растворе, что и в рассматриваемом эксперименте [216], фактическая долговечность железобетонных прототипов прямых моделей с $a_{crc}^{max} = 0,25$ мм в слабоагрессивной среде, содержащей хлорид-ионы, при действии переменной ступенчатой повторной нагрузки может составить до 15 лет, что в 3 раза меньше нормативной долговечности несущих обычных железобетонных конструкций из тяжелого бетона в производственных зданиях [14].

В табл. 2.1 показаны характеристики коррозионного поражения арматуры диаметром 12 мм класса А-III на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм с толщиной защитного слоя $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин в зоне чистого изгиба, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Т а б л и ц а 2.1

Характеристики коррозионного поражения арматуры диаметром 12 мм класса А-III на опытных железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм при толщине защитного слоя бетона 25 мм, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин в зоне чистого изгиба, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

a_{crc} , мм	$\ell_{кор}^{max}$, мм			$\ell_{кор}^{сред}$, мм			$\delta_{кор}^{max}$, мкм			$\delta_{кор}^{сред}$, мкм		
	Переменная нагрузка (перем)	Постоянная нагрузка (пост)	Перем. Пост.	Переменная нагрузка (перем)	Постоянная нагрузка (пост)	Перем. Пост.	Переменная нагрузка (перем)	Постоянная нагрузка (пост)	Перем. Пост.	Переменная нагрузка (перем)	Постоянная нагрузка (пост)	Перем. Пост.
0,05	6	4	1,5	6	3	2	90	50	2,46	45	35	1,29
0,1	16	14	1,14	11	7	1,57	320	120	2,11	125	80	1,56
0,15	32	19	1,68	18	14	1,29	430	220	1,95	170	120	1,42
0,20	39	25	1,56	27	21	1,29	500	280	1,79	250	160	1,56
0,25	55	36	1,53	38	28	1,36	560	330	1,70	290	190	1,52

Характеристики коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,20$ мм в табл.2.1 для переменного воздействия изгибающей нагрузки хорошо согласуются с данными уравнений регрессии коррозионного поражения арматуры с $a_{crc} = 0,20$ мм в табл.2.2 [225].

Т а б л и ц а 2.2

Уравнения регрессии коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах с $a_{crc} = 0,20$ мм в агрессивных условиях, в зависимости от величины граничных параметров в опытной переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузке.

$\ell_{кор}^{max}, \delta_{кор}^{cp} = f(\eta, \rho, t_{ц})$	Величина $\ell_{кор}^{max}$, мм; $\delta_{кор}^{cp}$, мм, в зависи- мости от граничных параметров опытной переменной изгибающей нагрузки	
	max	min
$\ell_{кор}^{max} = 0,00038(46,40 + 17,95\eta)(47,42 + 6,18\rho)(59,50 - 0,25t_{ц})$	62,50	41,58
$\ell_{кор}^{cp} = 0,0005(21,49 + 39,81\eta)(38,12 - 13,45\rho)(57,17 - 0,19t_{ц})$	25,49	10,54
$\delta_{кор}^{max} = 1,534(0,614 + 0,54\eta)(0,55 + 1,5e^{-2,9\rho})(0,5 + 0,5e^{0,06t_{ц}})$	0,635	0,369
$\delta_{кор}^{cp} = 39,98(0,135 + 0,096\eta)(0,149 + 0,061\rho)(0,105 + 0,120e^{0,030t_{ц}})$	0,292	0,128

Примечание. $t_{ц}$ – длительность цикла нагрузки в сутках; $\eta = t_{M_{max}}/t_{ц}$;
 $\rho = M_{min}/M_{max}$.

2.1.2. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин

На рис.2.1 и 2.2, по данным табл.2.1, показаны характеристики коррозионного поражения арматуры диаметром 12 мм класса А-III на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в зоне чистого изгиба в зависимости от расчётной ширины раскрытия поперечных трещин при действии изгибающей переменной ступенчатой повторной и постоянной нагрузки.

На рис. 2.3, по данным рис.2.1 и 2.2, приведены графики и уравнения регрессии зависимости для максимальных значений длины и глубины коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм при действии переменной ступенчатой повторной нагрузки и постоянной изгибающей нагрузки.

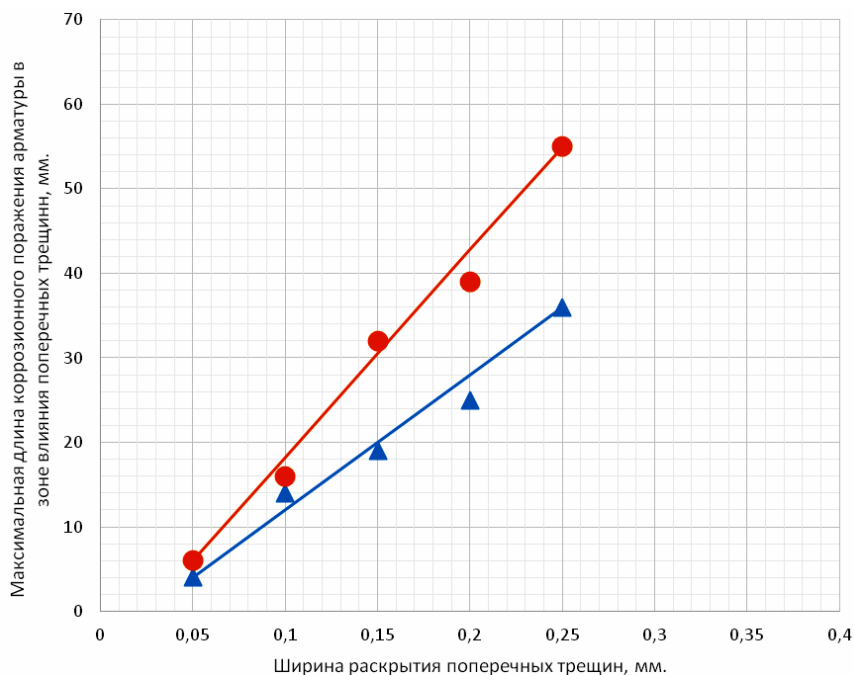


Рис. 2.1. Максимальная длина коррозионного поражения арматуры ($\ell_{кор}^{max}$) диаметром 12 мм класса А-III в зоне чистого изгиба железобетонных 20-ти образцов с размерами 1500×200×70 мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В=40, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} , при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, треугольник постоянная изгибающая нагрузка.

Уравнение регрессии: окружность – $\ell_{кор}^{max} = 245 \cdot a_{crc} - 6,25$, треугольник – $\ell_{кор}^{max} = 160 \cdot a_{crc} - 4$.

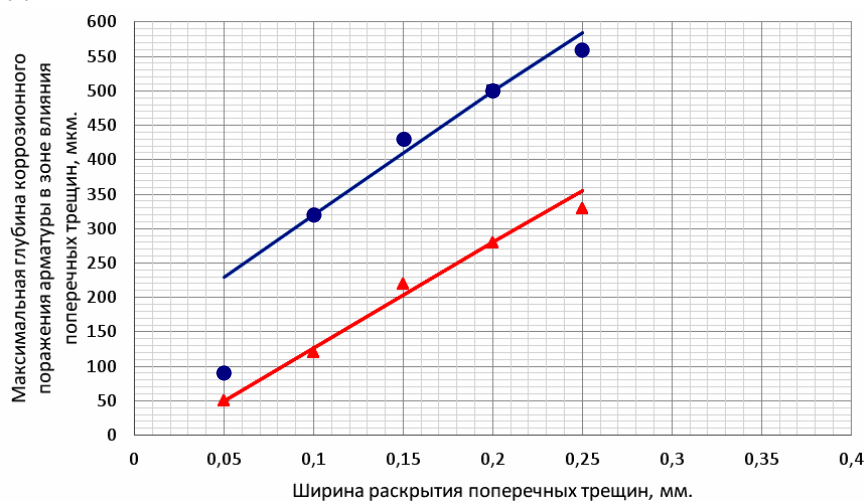


Рис. 2.2. Максимальная глубина коррозионного поражения арматуры ($\delta_{кор}^{max}$) диаметром 12 мм класса А-III в зоне чистого изгиба двадцати железобетонных образцов с размерами 1500×200×70 мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В=40, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, треугольник – постоянная изгибающая нагрузка.

Уравнение регрессии: окружность – $\delta_{кор}^{max} = 140 + 1800 \cdot a_{crc}$; треугольник – $\delta_{кор}^{max} = 1533 \cdot a_{crc} - 27$.

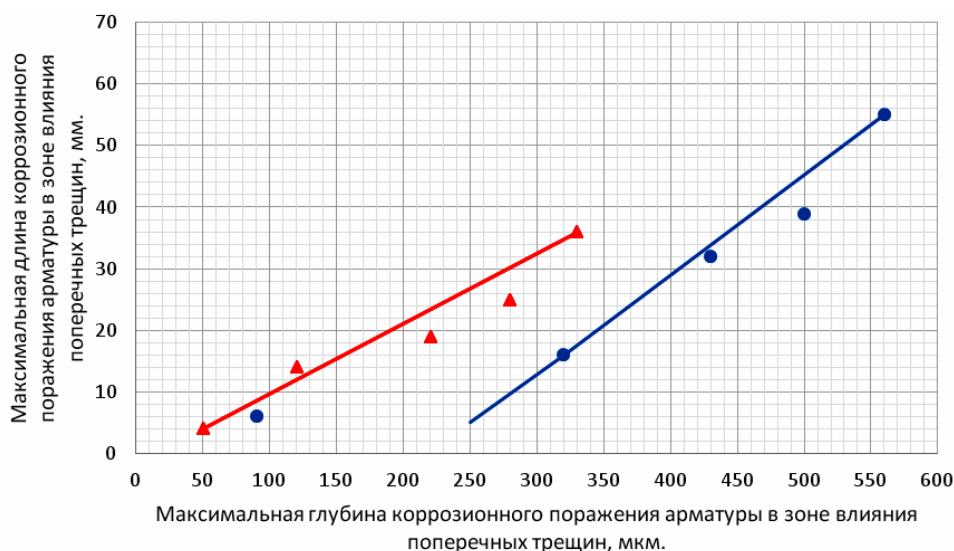


Рис.2.3. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III ($\ell_{кор}^{max}$) на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В=40, в зависимости от максимальной глубины коррозионного поражения арматуры ($\delta_{кор}^{max}$) в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами – $a_{crc} = 0,05$ мм (90;6), $a_{crc} = 0,10$ мм (320;16), $a_{crc} = 0,15$ мм (430;32), $a_{crc} = 0,20$ мм (500;39), $a_{crc} = 0,25$ мм (560;55); треугольник – $a_{crc} = 0,05$ мм (50;4), $a_{crc} = 0,10$ мм (120;14), $a_{crc} = 0,15$ мм (220;19), $a_{crc} = 0,20$ мм (280;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (330;36).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{max} = 0,16 \cdot \delta_{кор}^{max} - 36$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{max} = 0,114 \cdot \delta_{кор}^{max} - 1,7$

На рис.2.4 согласно данным рис.2.3 показаны графики и уравнения регрессии зависимости максимальной длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры при трёхкратном увеличении толщины арматурной стали.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры с максимальной глубиной коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рис 1.26, приведена соответственно на рис. 2.5–2.8.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали для нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.2.8 показаны на рис 2.9.

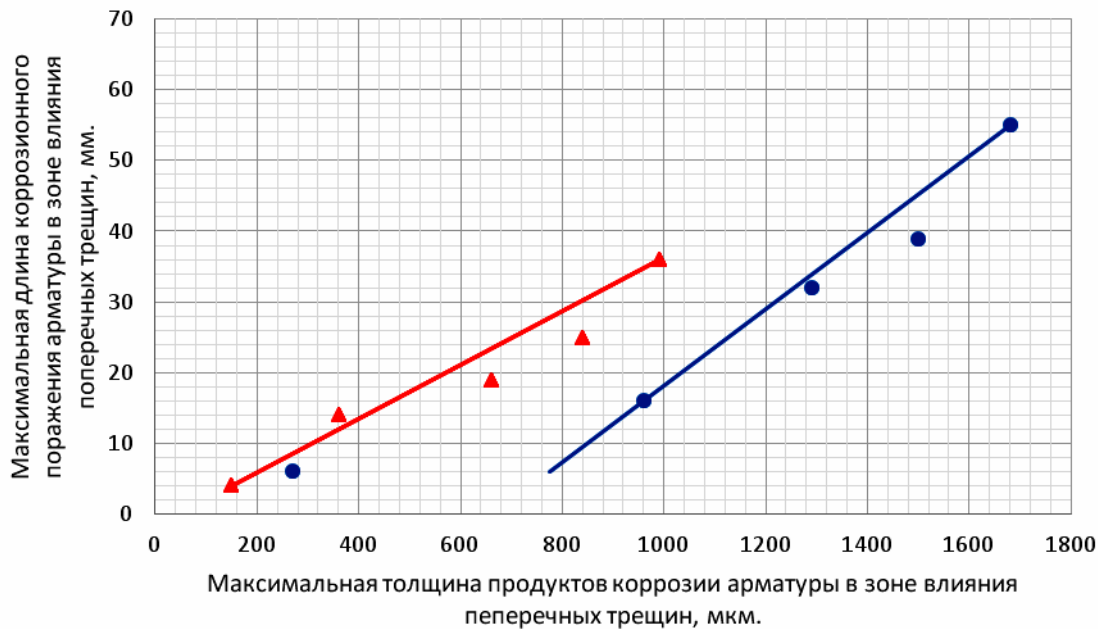


Рис. 2.4. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III в зоне влияния поперечных трещин ($\ell_{кор}^{max}$) на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии металла арматуры ($\delta_{п.к}^{max}$), при трёхкратном увеличении продуктов коррозии арматурной стали, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами – $a_{crc} = 0,05$ мм (270;6), $a_{crc} = 0,1$ мм (960;16), $a_{crc} = 0,15$ мм (1290;32), $a_{crc} = 0,20$ мм (1500;39), $a_{crc} = 0,25$ мм (1680;55); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами $a_{crc} = 0,05$ мм (150;4), $a_{crc} = 0,1$ мм (360;14), $a_{crc} = 0,15$ мм (660;19), $a_{crc} = 0,20$ мм (840;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (990;36).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{max} = 0,054 \cdot \delta_{п.к}^{max} - 36$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{max} = 0,038 \cdot \delta_{п.к}^{max} - 1,7$. Индекс п.к. – продукты коррозии.

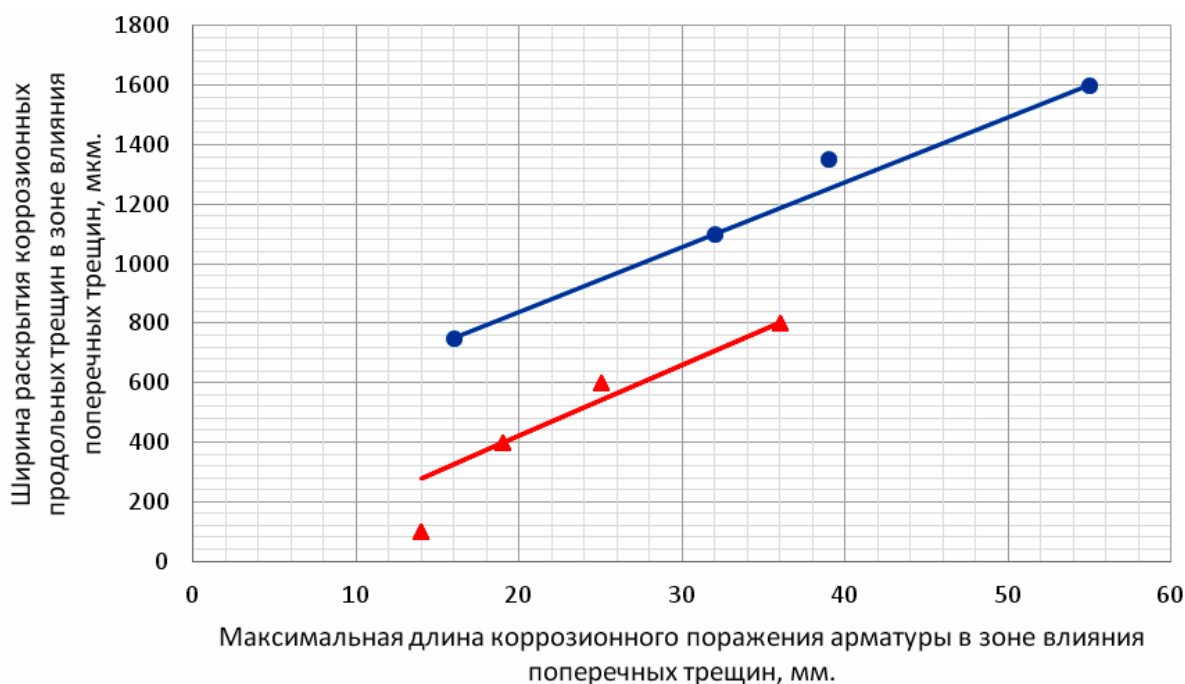


Рис.2.5. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин ($a_T^{\text{прод}}$) на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (16;750), $a_{crc} = 0,15$ мм (32;1100), $a_{crc} = 0,20$ мм (39;1350), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;1600); треугольники – $a_{crc} = 0,10$ мм (14; 100), $a_{crc} = 0,15$ мм (19;4000), $a_{crc} = 0,20$ мм (25;600), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;800).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 401 + 21,79 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 23,53 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 47$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

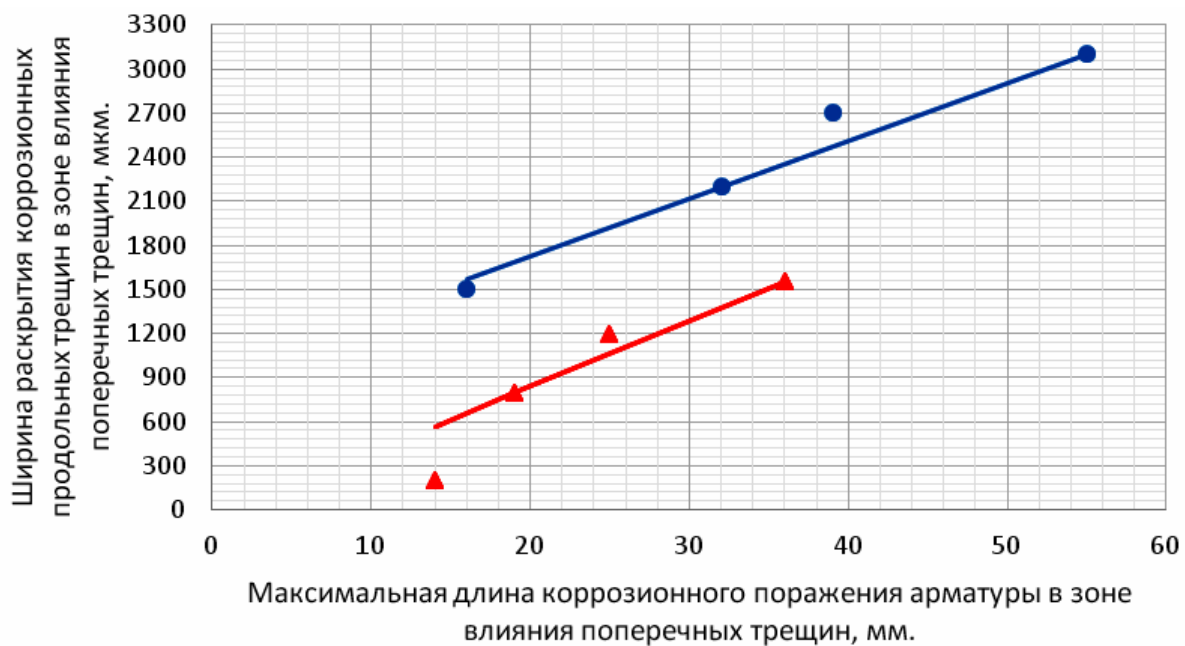


Рис.2.6. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин ($a_T^{\text{прод}}$) на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (16;1500), $a_{crc} = 0,15$ мм (32;2200), $a_{crc} = 0,20$ мм (39;2700), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;3100); треугольники – $a_{crc} = 0,10$ мм (14; 200), $a_{crc} = 0,15$ мм (19;800), $a_{crc} = 0,20$ мм (25;1200), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;1550).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 948 + 39,13 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 44,12 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 38$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

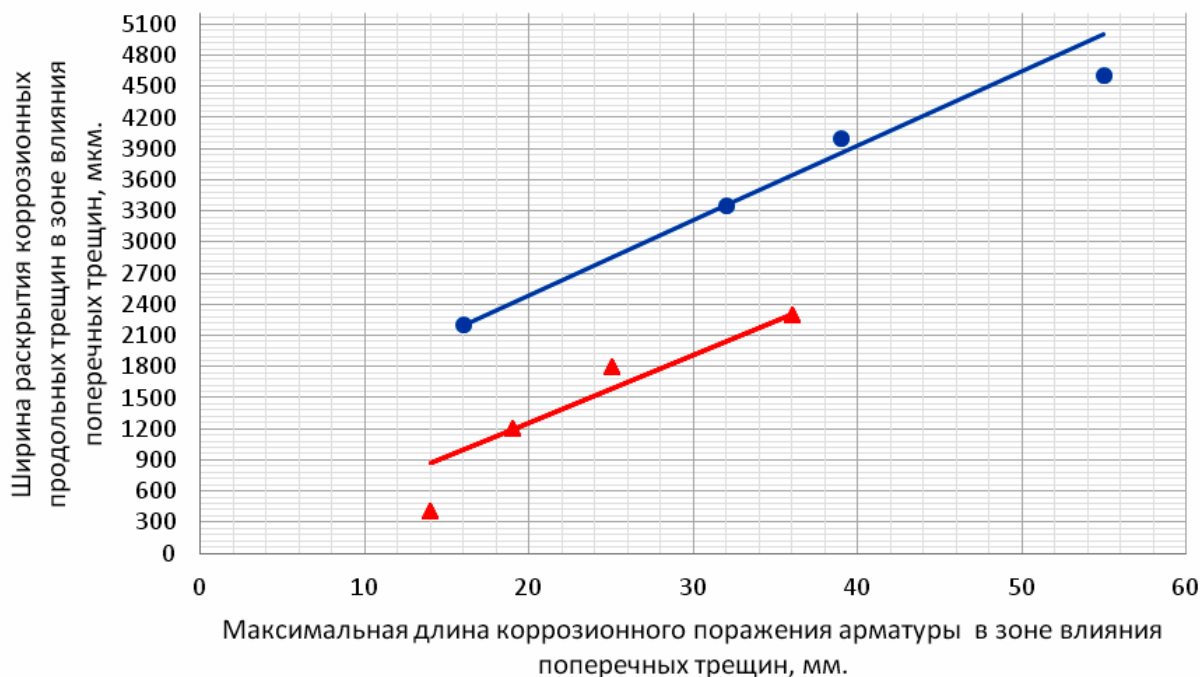


Рис.2.7 Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (16;2200), $a_{crc} = 0,15$ мм (32;3350), $a_{crc} = 0,20$ мм (39;4000), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;4600); треугольники – $a_{crc} = 0,10$ мм (14; 400), $a_{crc} = 0,15$ мм (19;1200), $a_{crc} = 0,20$ мм (25;1800), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;2300).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 1050 + 71,88 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 64,71 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 29$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

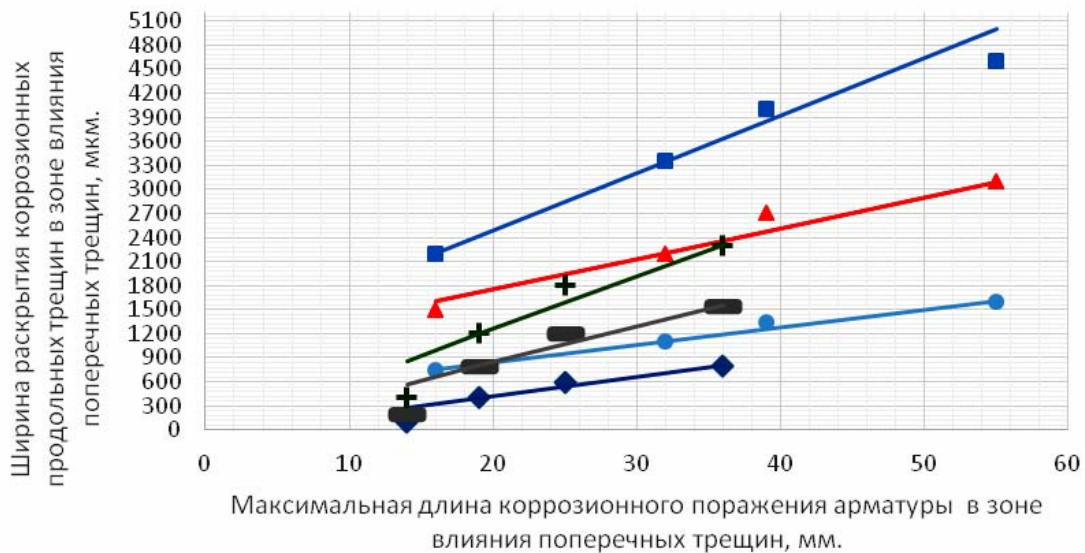


Рис.2.8. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рис. 2.5–2.7, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности, треугольники и квадраты, а также ромбы, прямоугольники и засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает снизу вверх по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (16;750), $a_{crc} = 0,15$ мм (32;1100), $a_{crc} = 0,20$ мм (39;1350), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;1600) – $a_T^{прод} = 401 + 27,79 \cdot \ell_{кор}^{max}$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (16;1500), $a_{crc} = 0,15$ мм (32;2200), $a_{crc} = 0,20$ мм (39;2700), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;3100) – $a_T^{прод} = 948 + 39,13 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (16;2200), $a_{crc} = 0,15$ мм (32;3350), $a_{crc} = 0,20$ мм (39;4000), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;4600) – $a_T^{прод} = 1050 + 71,88 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (14; 100), $a_{crc} = 0,15$ мм (19;400), $a_{crc} = 0,20$ мм (25;600), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;800) – $a_T^{прод} = 23,53 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 47$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (14; 200), $a_{crc} = 0,15$ мм (19;800), $a_{crc} = 0,20$ мм (25;1200), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;1550) – $a_T^{прод} = 44,12 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 38$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (14; 400), $a_{crc} = 0,15$ мм (19;1200), $a_{crc} = 0,20$ мм (25;1800), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;2300) – $a_T^{прод} = 64,71 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 29$.

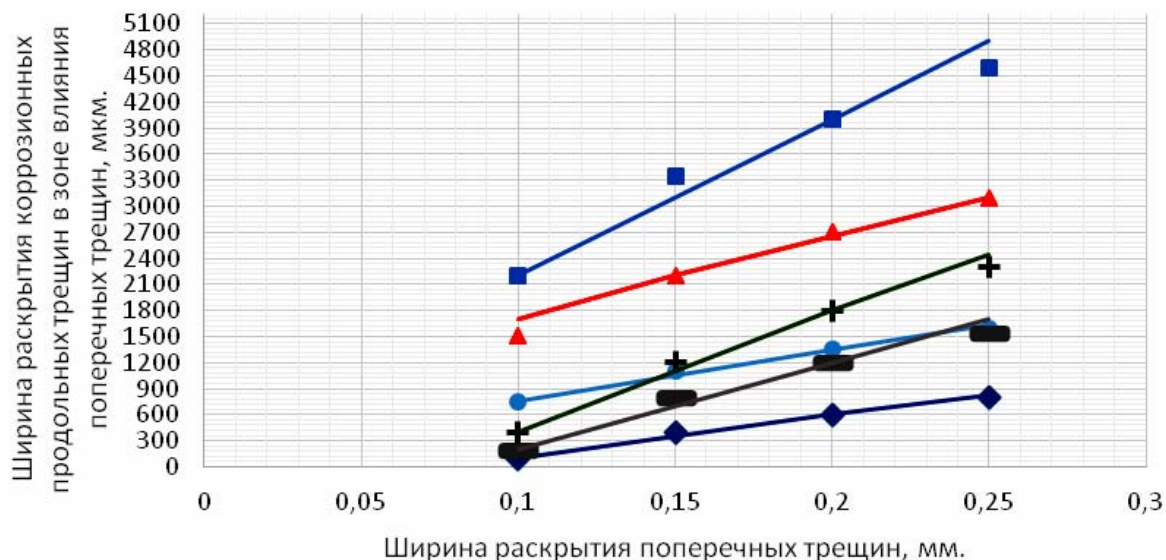


Рис.2.9 Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм классов А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{\text{max}}$ от $\delta_{кор}^{\text{max}}$, при трехкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной повторной ступенчатой и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,1; 750; 16), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 1100; 32), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1350; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 1600; 55) – $a_T^{\text{прод}} = 150 + 6000 \cdot a_{crc}$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,1; 1500; 16), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 2200; 32), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 2700; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 3100; 55) – $a_T^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot a_{crc}$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,1; 2200; 16), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 3350; 32), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 4000; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 4600; 55) – $a_T^{\text{прод}} = 400 + 18000 \cdot a_{crc}$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,1; 100; 14), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 400; 19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 600; 25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 800; 36) – $a_T^{\text{прод}} = 5000 \cdot a_{crc} - 400$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10; 200; 14), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 800; 19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1200; 25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 1550; 36), – $a_T^{\text{прод}} = 10000 \cdot a_{crc} - 800$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,1; 400; 14), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 1200; 19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1800; 25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 2300; 36) – $a_T^{\text{прод}} = 14000 \cdot a_{crc} - 1000$. Третье значение в скобках – $\ell_{кор}^{\text{max}}$ в мм.

В сводной табл. 2.3 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности толщины защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и от максимальной длины коррозии арматуры при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (см. рис.1.26), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки.

Т а б л и ц а 2.3

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин, при максимальной глубине коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$ и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_{Т}^{прод}(\ell_{кор}^{max})$, в соответствующих a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_{Т}^{прод} = f(\ell_{кор}^{max})$, $a_{Т}^{прод} = f(a_{crc})$.
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
Нижняя	Переменная	-	750(16)	1100(32)	1350(39)	1600(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 401 + 27,79 \cdot \ell_{кор}^{max}$ $a_{Тпер}^{прод} = 150 + 6000 \cdot a_{crc}$
	Постоянная	-	100(14)	400(19)	600(25)	800(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 23,53 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 47$ $a_{Тпост}^{прод} = 5000 \cdot a_{crc} - 400$
Средняя	Переменная	-	1500(16)	2200(32)	2700(39)	3100(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 948 + 39,13 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$ $a_{Тпер}^{прод} = 850 + 9000 \cdot a_{crc}$
	Постоянная	-	200(14)	800(19)	1200(25)	1550(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 44,12 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 38$ $a_{Тпост}^{прод} = 10000 \cdot a_{crc} - 800$
Верхняя	Переменная	-	2200(16)	3350(32)	4000(39)	4600(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 1050 + 71,88 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$ $a_{Тпер}^{прод} = 400 + 18000 \cdot a_{crc}$
	Постоянная	-	400(14)	1200(19)	1800(25)	2300(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 64,71 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 29$ $a_{Тпост}^{прод} = 14000 \cdot a_{crc} - 1000$

П р и м е ч а н и е . $a_{Т}^{прод}$ – в мкм; a_{crc} и $\ell_{кор}^{max}$ – в мм.

На рис. 2.10, по данным табл. 2.1, установлена средняя коррозионного поражения арматуры диаметром 12 мм класса А-III на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин в зоне чистого изгиба, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

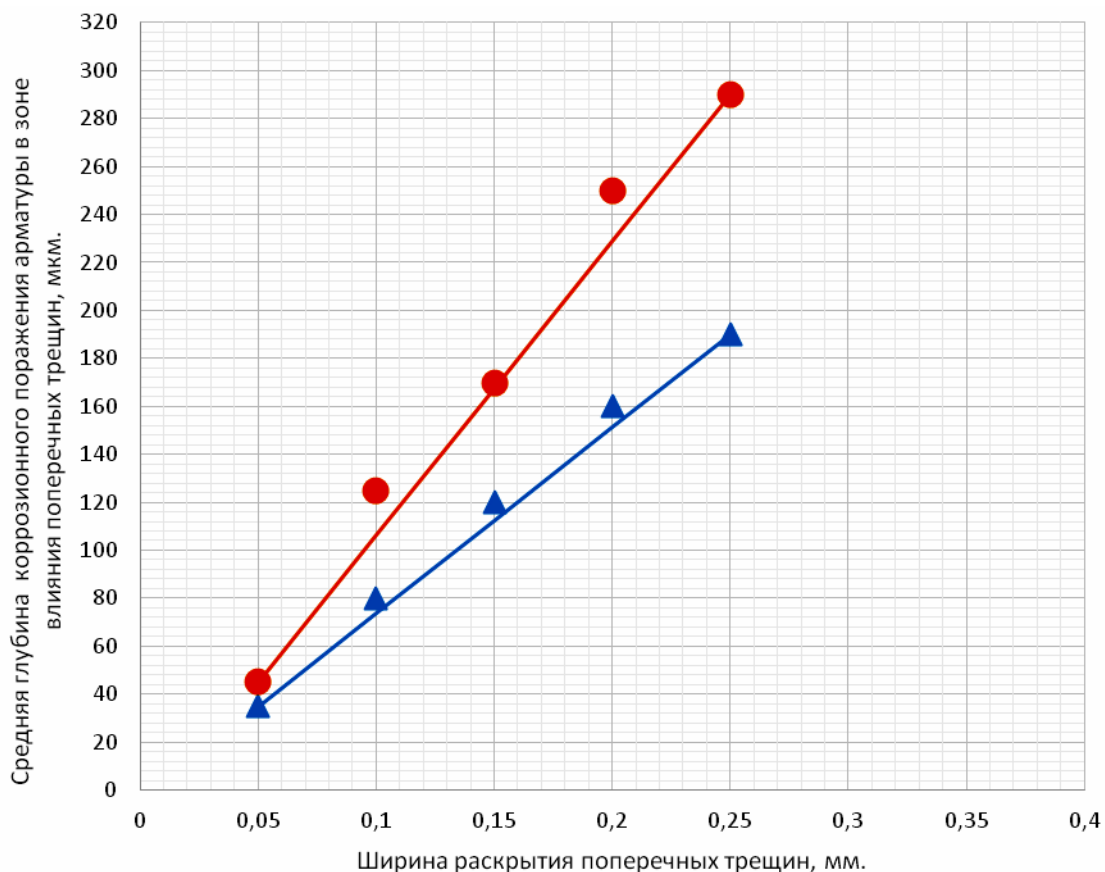


Рис.2.10. Средняя глубина коррозионного поражения арматуры $\delta_{кор}^{cp}$ диаметром 12 мм класса А-III в зоне чистого изгиба двадцати железобетонных образцов с размерами 1500×200×70 мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В=40, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} , при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, треугольник – постоянная изгибающая нагрузка.

Уравнения регрессии: окружность – $\delta_{кор.пер}^{cp} = 1225 \cdot a_{crc} - 16,25$; треугольник – $\delta_{кор.пост}^{cp} = 775 \cdot a_{crc} - 3,75$.

На рис. 2.11, по данным рис. 2.1 и 2.10, приведены графики и уравнения регрессии зависимости максимальной длины от средней глубины коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

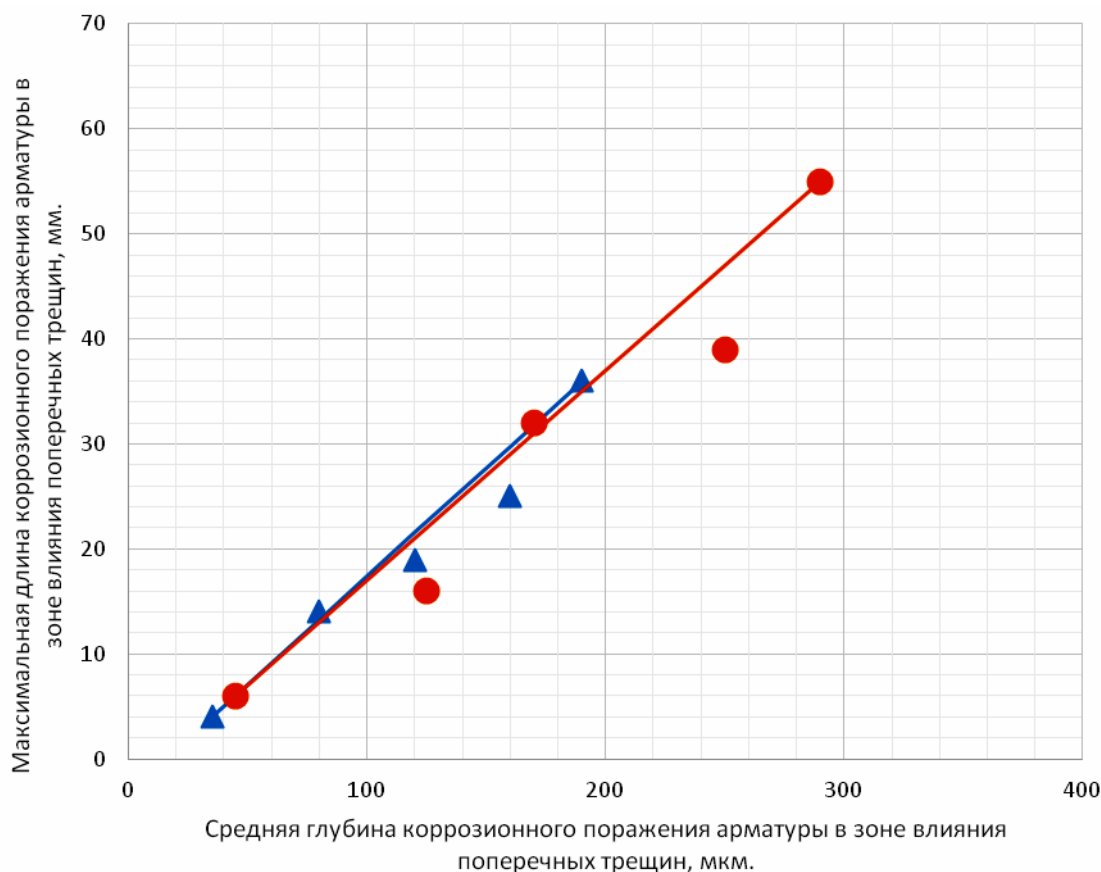


Рис. 2.11. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней глубины коррозионного поражения арматуры $\delta_{кор}^{cp}$ в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, с возрастающими по оси ординат координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (45; 6), $a_{crc} = 0,10$ мм (125; 16), $a_{crc} = 0,15$ мм (170; 32), $a_{crc} = 0,20$ мм (250; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (290; 55). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с соответствующими координатами, с возрастающими по оси ординат координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (35; 4), $a_{crc} = 0,10$ мм (80; 14), $a_{crc} = 0,15$ мм (120; 19), $a_{crc} = 0,20$ мм (160; 25), $a_{crc} = 0,25$ мм (190; 36).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{max} = 0,2 \cdot \delta_{кор}^{cp} - 3$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{max} = 0,206 \cdot \delta_{кор}^{cp} - 3,2$.

На рис.2.12 согласно данным рис.2.11 показаны графики и уравнения регрессии зависимости максимальной длины коррозии арматуры в зоне влияния расчётных поперечных трещин в области чистого изгиба с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

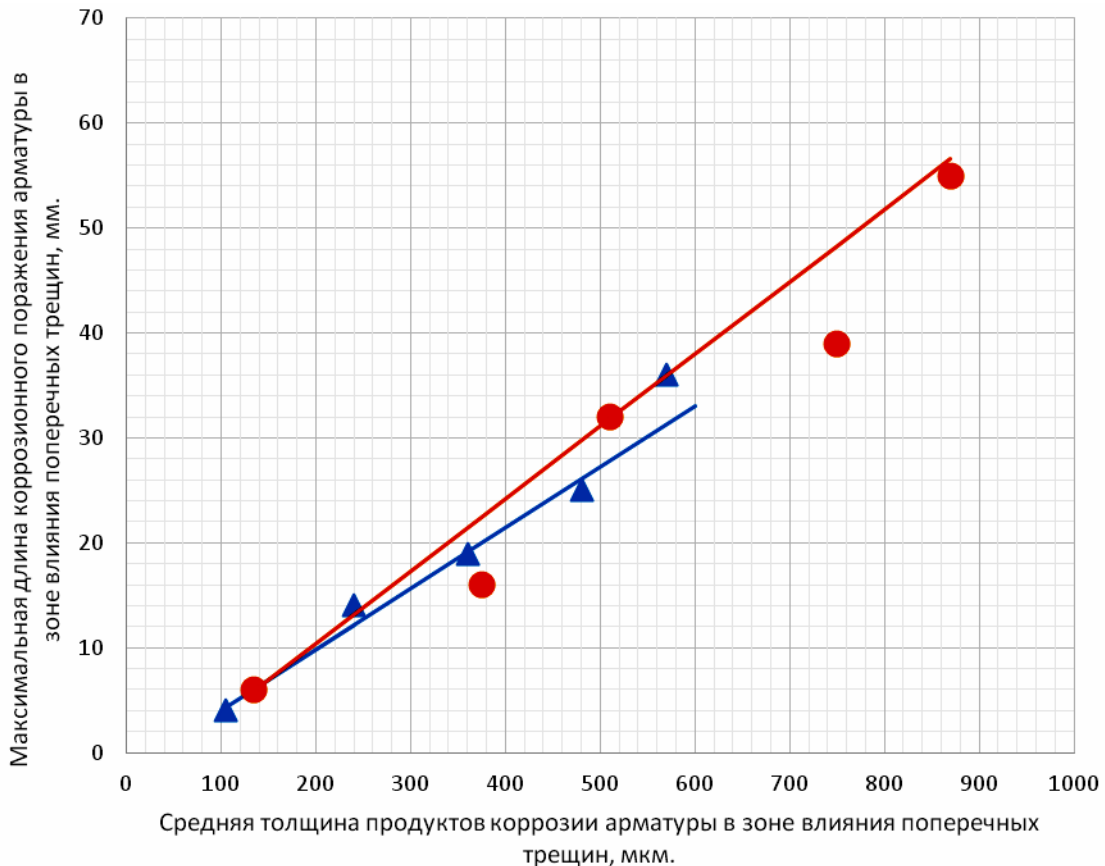


Рис. 2.12. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{\max}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозионного поражения арматуры $\delta_{п.к}^{cp}$, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в три раза по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (135; 6), $a_{crc} = 0,10$ мм (375; 16), $a_{crc} = 0,15$ мм (510; 32), $a_{crc} = 0,20$ мм (750; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (870; 55); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (105; 4), $a_{crc} = 0,10$ мм (240; 14), $a_{crc} = 0,15$ мм (360; 19), $a_{crc} = 0,20$ мм (480; 325), $a_{crc} = 0,25$ мм (570; 36).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{\max} = 0,069 \cdot \delta_{п.к}^{cp} - 3,4$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{\max} = 0,058 \cdot \delta_{п.к}^{\max} - 1,8$. Индекс п.к – продукты коррозии арматуры.

В сводной табл. 2.4 представлены характеристики коррозионного поражения арматуры диаметром 12 мм класса А-III и продуктов коррозии стальной арматуры в расчётных поперечных трещинах на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зоне чистого изгиба и уравнения регрессии, при действии изгибающей переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Т а б л и ц а 2.4

Уравнения регрессии и численные характеристики коррозионного поражения арматуры диаметром 12 мм класса А-III и продуктов коррозии стальной арматуры в зоне влияния расчётных поперечных трещин бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зоне чистого изгиба, на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

$\ell_{кор}^{max}, \delta_{ч.м}^{cp}, \delta_{п.к}^{cp}$	$a_{крс}, мм$					Уравнения регрессии
	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25	
$\ell_{кор.пер}^{max}, мм$	6	16	32	39	55	$\ell_{кор.пер}^{max} = 0,2 \cdot \delta_{ч.м.пер}^{cp} - 3$
$\delta_{М.А.пер}^{сред}, мкм$	45	125	170	190	290	
$\ell_{кор.пост}^{max}, мм$	4	14	19	25	36	$\ell_{кор.пост}^{max} = 0,206 \cdot \delta_{ч.м.пост}^{cp} - 3,2$
$\delta_{М.А.пост}^{сред}, мкм$	35	80	120	160	190	
$\ell_{кор.пер}^{max}, мм$	6	16	32	39	55	$\ell_{кор.пер}^{max} = 0,609 \cdot \delta_{ч.м.пер}^{cp} - 3,4$
$\delta_{п.к.пер}^{сред}, мкм$	135	375	510	750	870	
$\ell_{кор.пост}^{max}, мм$	4	14	19	25	36	$\ell_{кор.пост}^{max} = 0,058 \cdot \delta_{ч.м.пост}^{cp} - 1,8$
$\delta_{п.к.пост}^{cp}, мкм$	105	240	360	480	570	

Условные обозначения и примечания: кор. – коррозия; М.А – металл арматуры; п.к. – продукты коррозии металла; пер, пост – соответственно переменная ступенчатая повторная и постоянная изгибающая нагрузка; продукты коррозии металла увеличиваются по толщине в три раза, по сравнению с металлом арматуры.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от максимальных значений длины коррозионного поражения арматуры со средней глубиной коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рис.1.26, показаны соответственно на рис. 2.13, 2.14 и 2.15.

В сводной табл. 2.5. представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности толщины защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней

функциональных прямых (см. рис.1.26), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

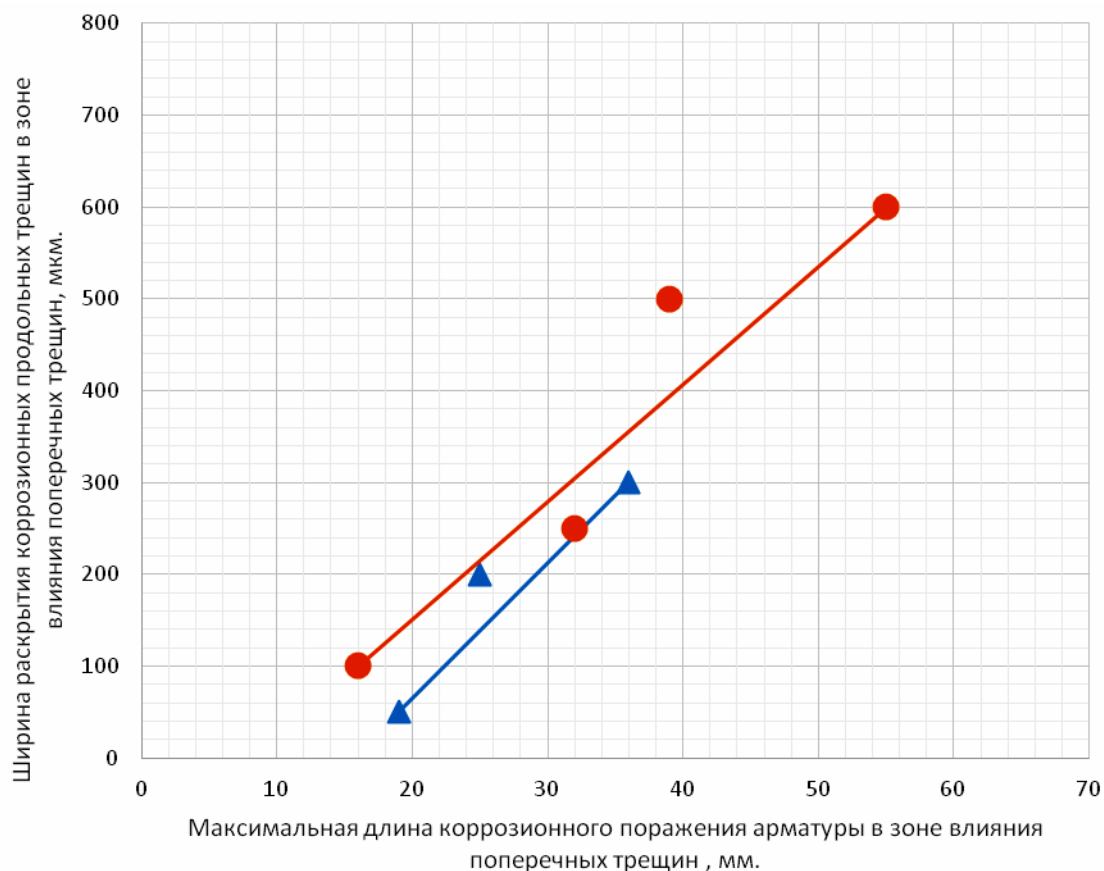


Рис. 2.13. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин ($a_T^{\text{прод}}$) на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм с арматурой диаметром 12 мм класса А-III при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (16; 100), $a_{crc} = 0,15$ мм (32; 250), $a_{crc} = 0,20$ мм (39; 500), $a_{crc} = 0,25$ мм (55; 600). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,15$ мм (19; 50), $a_{crc} = 0,20$ мм (25; 200), $a_{crc} = 0,25$ мм (36; 300).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 12,8 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{max}} - 105$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 14,705 \cdot \ell_{кор.пост}^{\text{max}} - 229$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

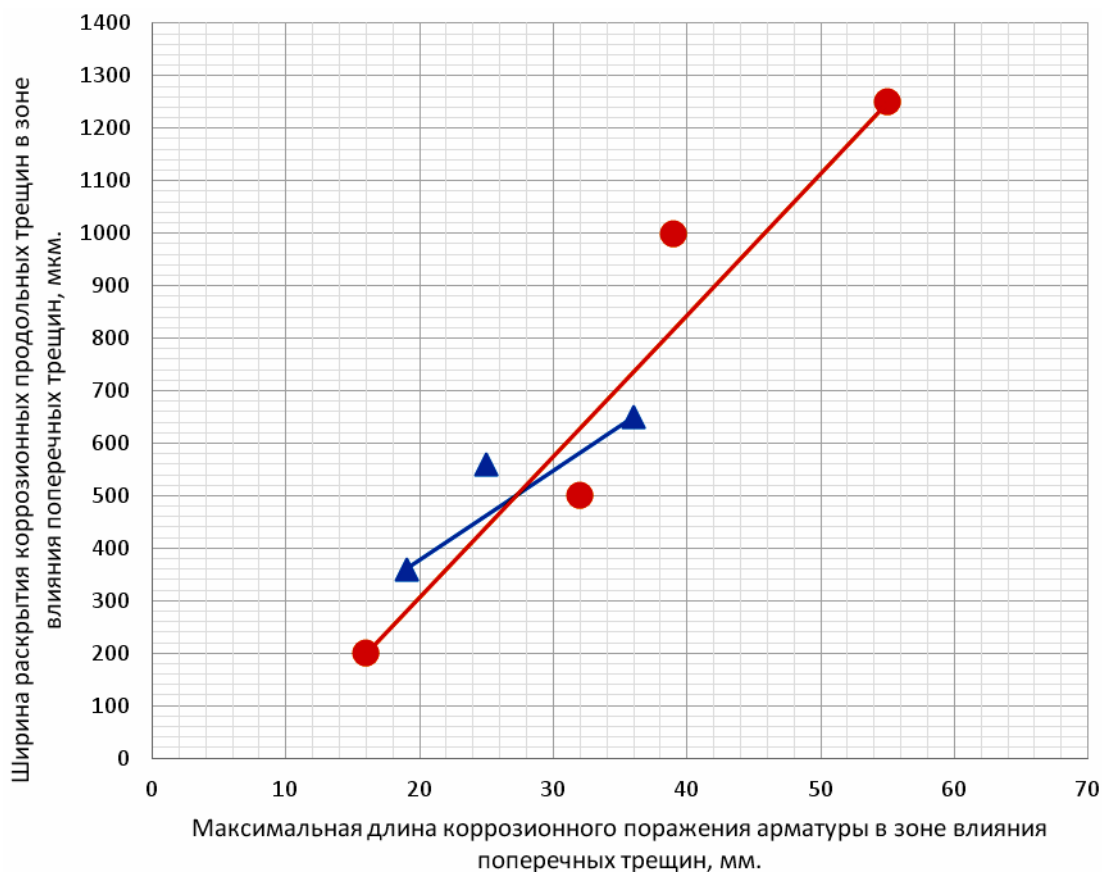


Рис. 2.14. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин арматуры диаметром 12 мм классов А-III ($a_T^{\text{прод}}$) на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при средней функциональной прямой (рис 1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (16; 200), $a_{crc} = 0,15$ мм (32; 500), $a_{crc} = 0,20$ мм (39; 1000), $a_{crc} = 0,25$ мм (55; 1200). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,15$ мм (19; 360), $a_{crc} = 0,20$ мм (25; 560), $a_{crc} = 0,25$ мм (36; 600).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 26,9 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 231$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 36 + 17,06 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}}$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

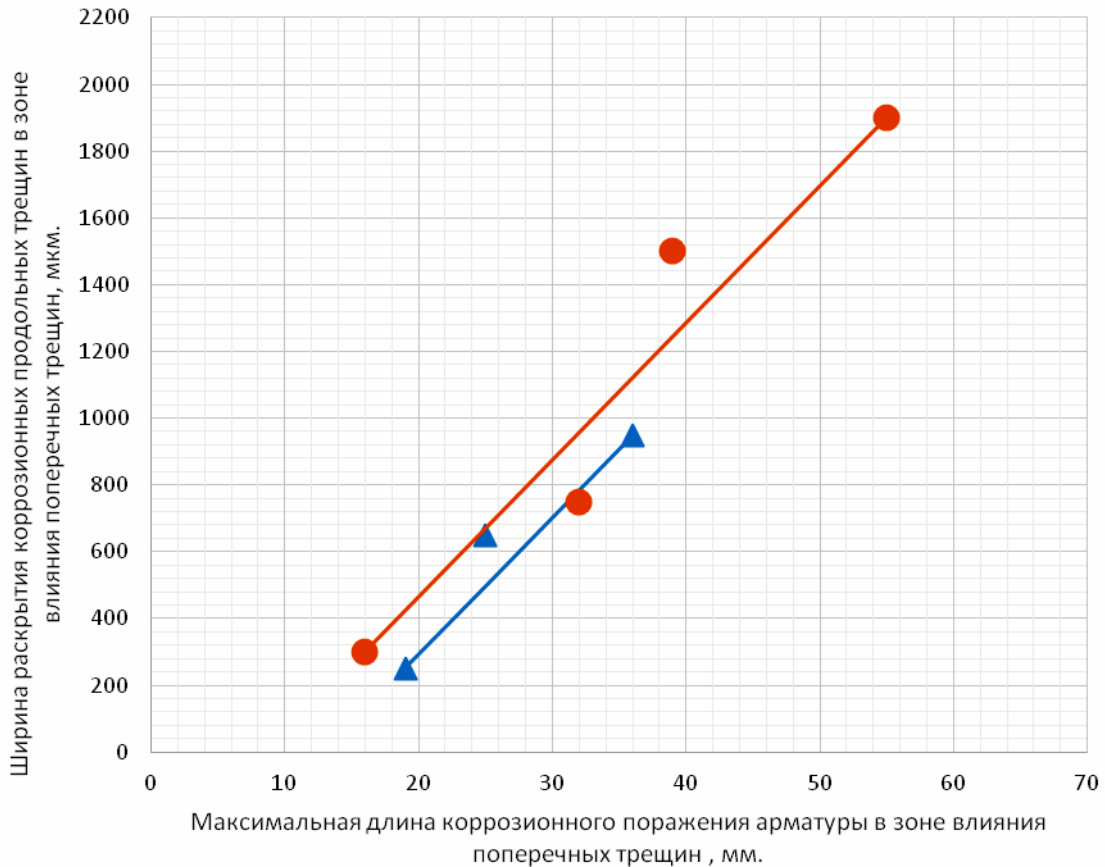


Рис. 2.15. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин арматуры диаметром 12 мм класса А-III ($a_T^{\text{прод}}$) на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при верхней функциональной прямой (рис 1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (16; 300), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (32; 750), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (39; 1500), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (55; 1900). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (19; 250), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (25; 650), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (36; 950).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 43,3 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 356$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 41,18 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 532$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

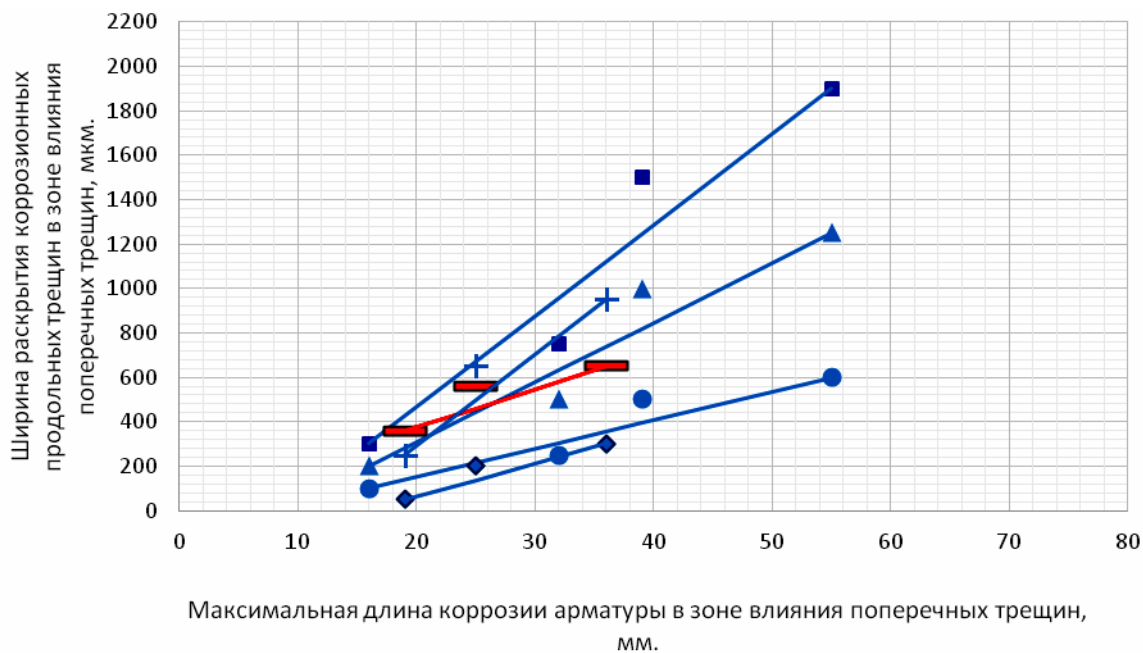


Рис. 2.16. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин ($a_T^{\text{прод}}$) в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{3.с.б.} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рис. 2.13–2.15, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники, засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (16;100), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (32;250), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (39;500), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (55;600) – $a_T^{\text{прод}} = 12,8 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 105$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (16;200), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (32;500), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (39;1000), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (55;1250) – $a_T^{\text{прод}} = 26,9 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 231$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (16;300), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (32;750), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (39;1500), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (55;1900) – $a_T^{\text{прод}} = 41,03 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 356$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (19;50), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (25;200), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (36;300) – $a_T^{\text{прод}} = 14,704 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 229$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (19;360), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (25;560), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (36;650) – $a_T^{\text{прод}} = 36 + 17 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}}$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (19;250), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (25;650), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (36;950) – $a_T^{\text{прод}} = 41,18 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 532$.

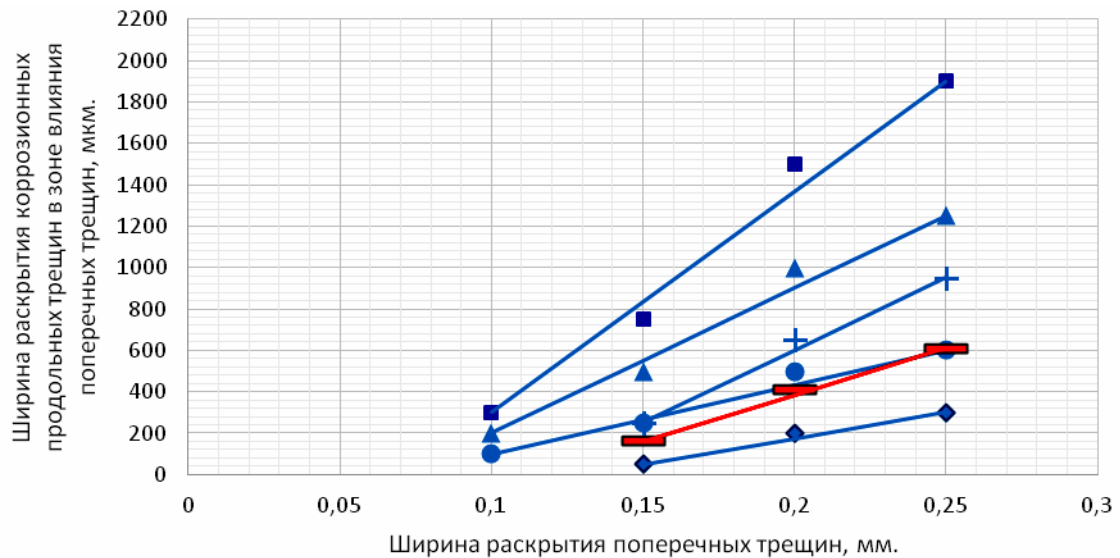


Рис. 2.17. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин ($a_T^{\text{прод}}$) в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{\text{max}}$ от $\delta_{кор}^{\text{ср}}$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10; 100;16), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;250; 32), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;500; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;600; 55) – $a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{crc} - 233$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,1;200;16), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;500;32), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1000;39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1250;55) – $a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{crc} - 500$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,1;300;16), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;750;32), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1500;39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1900;55) – $a_T^{\text{прод}} = 10667 \cdot a_{crc} - 767$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;50;19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;200;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;300;36) – $a_T^{\text{прод}} = 2500 \cdot a_{crc} - 325$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;160;19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;410;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;610;36) – $a_T^{\text{прод}} = 4500 \cdot a_{crc} - 515$

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;250;19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;650;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;950;36) – $a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{crc} - 800$.

Таблица 2.5

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона в железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{\text{прод}} (\ell_{\text{кор}}^{\text{max}})$, в соответствующих a_{crc}					Уравнения регрессии
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
Нижняя	Перем.	-	100(16)	250(32)	500(39)	600(55)	$a_{\text{Тперем}}^{\text{прод}} = 12,8 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 105$
	Постоян.	-	-	50(19)	200(25)	300(36)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 14,705 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 22,9$
Средняя	Перем.	-	200(16)	500(32)	1000(39)	1250(55)	$a_{\text{Тперем}}^{\text{прод}} = 26,9 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 231$
	Постоян.	-	-	360(19)	560(25)	650(36)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 36 + 17,06 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$
Верхняя	Перем.	-	300(16)	750(32)	1500(39)	1900(55)	$a_{\text{Тперем}}^{\text{прод}} = 41,03 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 356$
	Постоян.	-	-	250(19)	650(25)	950(36)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 41,18 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 532$

Примечание. $a_T^{\text{прод}}$ – в мкм; a_{crc} и $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ – в мм.

В табл. 2.6 приведены средняя глубина и степень коррозионного поражения арматуры класса А-III диаметром 12 мм в зонах влияния поперечных трещин с соответствующим раскрытием a_{crc} , согласно рис.1.27 и табл.2.4, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Наибольшая относительная величина снижения диаметра арматуры в табл.2.6 наблюдается в зонах влияния поперечных трещин с шириной раскрытия $a_{\text{crc}}=0,25$ мм, составляющая соответственно для переменного и постоянного нагружения 4,84 % и 3,16 %. При этих значениях согласно данным рис. 2.17 на опытных железобетонных образцах на поверхности бетона защитного слоя по длине зоны влияния поперечных трещин должны были наблюдаться коррозионные продольные трещины со средней шириной раскрытия при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки соответственно $a_{\text{кт}}=375$ мкм и $a_T=280$ мкм, что фактически имело место в проведённом экспериментальном исследовании.

Появление коррозионных продольных трещин с $a_T=375$ мкм и $a_T=280$ мкм вызывает относительное снижение диаметра арматуры на экспериментальных образцах при действии переменной ступенчатой повторной и постоян-

ной изгибающей нагрузки соответственно 4,84 % и 3,16 %, что значительно меньше 15 %-го значения уменьшения диаметра арматуры, определяющего начало снижения механических характеристик стальной арматуры [231].

Т а б л и ц а 2.6

Средняя глубина и степень коррозионного поражения арматуры класса А-III диаметром 12 мм в зонах влияния поперечных трещин с соответствующей шириной раскрытия, при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Вид загрузки: переменная, постоянная	Средняя глубина коррозии арматуры и относительная величина (%) уменьшения диаметра арматуры в поперечных трещинах a_{cre} , мм									
	0,05		0,1		0,15		0,20		0,25	
	Абсолютное значение, мкм	Степень поражения, %	Абсолютное значение, мкм	Степень поражения, %	Абсолютное значение, мкм	Степень поражения, %	Абсолютное значение, мкм	Степень поражения, %	Абсолютное значение, мкм	Степень поражения, %
Переменная	45	4,75	125	2,08	170	2,84	250	4,16	290	4,84
Постоянная	35	0,58	80	1,34	120	2,00	160	2,66	190	3,16

Следовательно, при появлении коррозионных продольных трещин между расчётными поперечными трещинами на поверхности железобетонных элементов, средняя глубина коррозионного поражения арматуры в зонах влияния поперечных трещин, вызывающая образование коррозионных продольных трещин, не оказывает абсолютно никакого влияния на снижение прочностных характеристик арматуры.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают:

- активизирующую способность переменной ступенчатой повторной нагрузки к появлению отдельных волосяных коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона при средней глубине коррозии арматурного стержня $\delta_{cp} = 240$ мкм (3,4 %), в то время, как уменьшение прочности на действие изгибающего момента в опытных прямых моделях железобетонных конструкций составляет 1,5 %;

- наличие функциональной зависимости между длиной коррозии и глубиной коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин для переменного ступенчатого повторного и постоянного воздействия изгибающей нагрузки;

- наличие функциональной зависимости между шириной раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона

и длиной коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки;

- преимущественная возможность появления коррозионных продольных трещин между расчётными поперечными трещинами на поверхности защитного слоя бетона на опытных железобетонных элементах с арматурой периодического профиля класса А-III диаметром 12 мм, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки в расчётных максимальных раскрытых поперечных трещинах, при относительной величине снижения диаметра рабочей арматуры, не оказывающей никакого влияния на уменьшение прочностных характеристик стальной арматуры.

На рис. 2.18 и 2.19, по данным табл. 2.1, показаны характеристики коррозионного поражения арматуры диаметром 12 мм класса А-III на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зависимости от расчётной ширины раскрытия поперечных трещин в зоне чистого изгиба, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

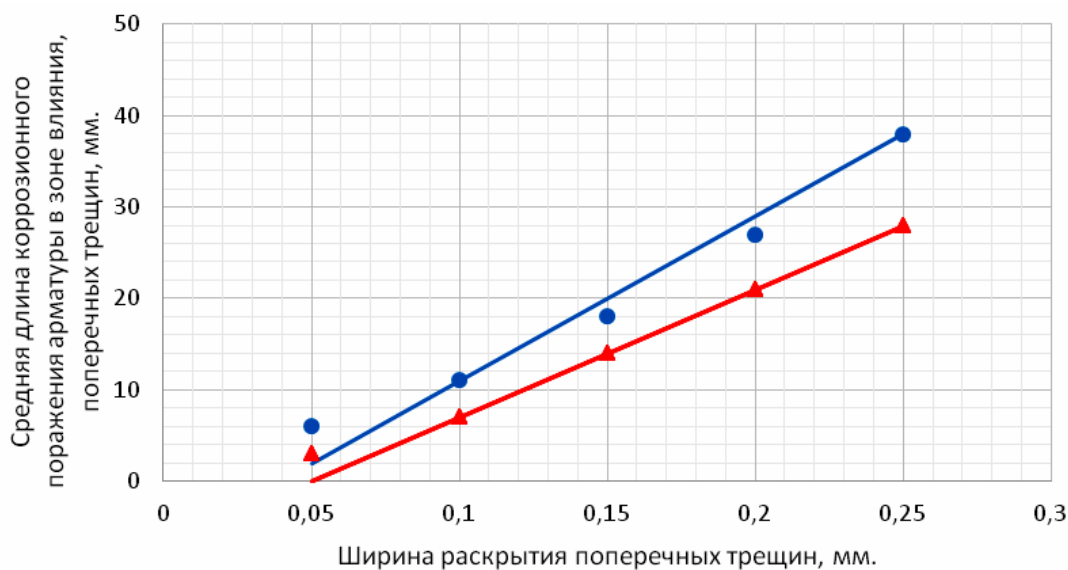


Рис. 2.18. Средняя длина коррозионного поражения арматуры ($\ell_{кор}^{сред}$) диаметром 12 мм класса А-III в зоне чистого изгиба на 20-ти железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В=40, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин $a_{crс}$, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, треугольник – постоянная изгибающая нагрузка.

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{сред} = 180 \cdot a_{crс} - 7$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{сред} = 140 \cdot a_{crс} - 7$.

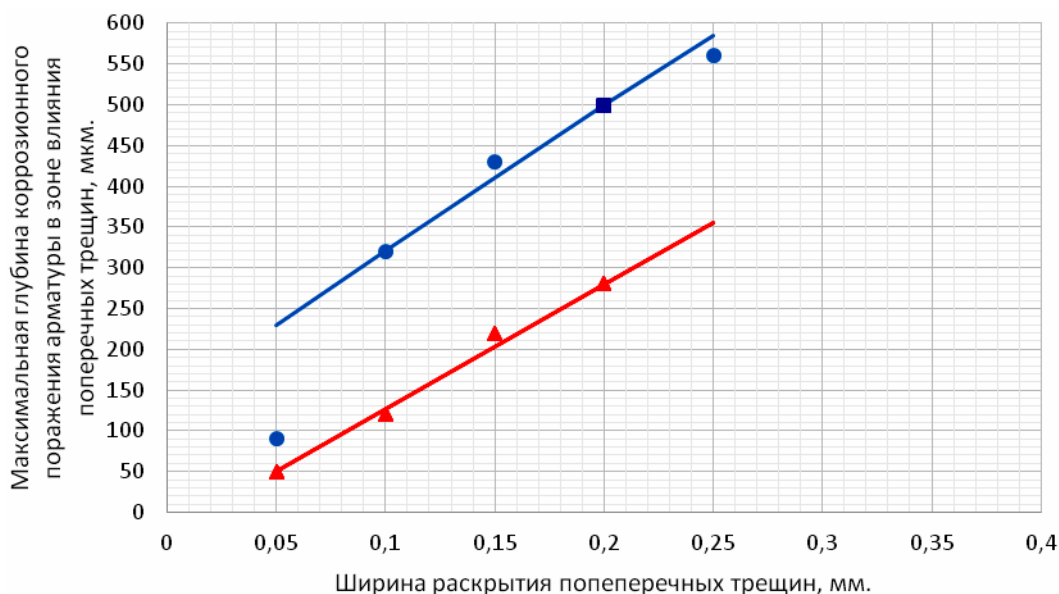


Рис. 2.19. Максимальная глубина коррозионного поражения арматуры $\delta_{кор}^{max}$ диаметром 12 мм класса А-III в зоне чистого изгиба двадцати железобетонных образцов с размерами 1500×200×70 мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В=40, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, треугольник – постоянная изгибающая нагрузка.

Уравнения регрессии: окружность – $\delta_{кор.пер}^{max} = 140 + 1800 \cdot a_{crc}$; постоянная треугольник – $\delta_{кор.пост}^{max} = 1533 \cdot a_{crc} - 27$.

На рис. 2.20, по данным при рис. 2.18 и 2.19, приведены графики и уравнения регрессии зависимостей средних значений длины коррозии арматуры от максимальных величин глубины коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

На рис. 2.21 согласно данным рис.1.26 представлены графики и уравнения регрессии зависимостей средней длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах бетона в области чистого изгиба с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от средних значений длины коррозионного поражения арматуры с максимальной глубиной коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рис.1.26, установлена соответственно на рис. 2.22–2.24.

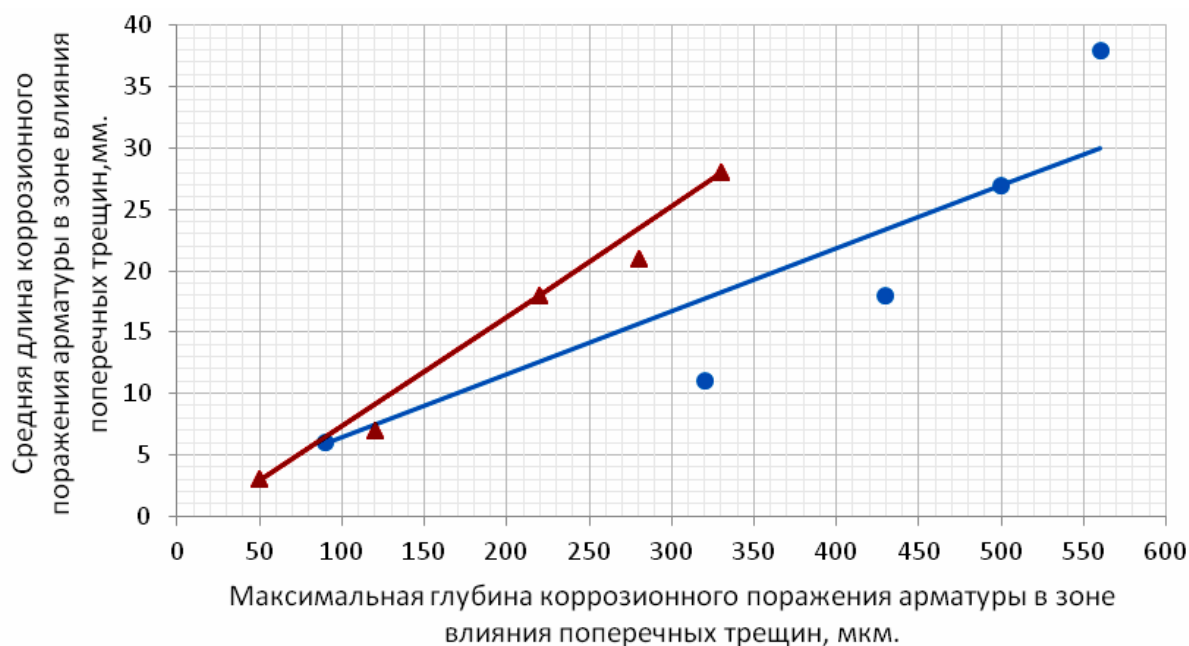


Рис.2.20. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{cp}$

на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В=40, в зависимости от максимальной глубины коррозионного поражения арматуры $\delta_{кор}^{max}$ в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (90;6), $a_{crc} = 0,10$ мм (320;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (430;18), $a_{crc} = 0,20$ мм (500;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (560;38); треугольник – $a_{crc} = 0,05$ мм (500;3), $a_{crc} = 0,10$ мм (1209;76), $a_{crc} = 0,15$ мм (220;18), $a_{crc} = 0,20$ мм (280;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (330;28).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{cp} = 1,4 + 0,05 \cdot \delta_{кор.пер}^{max}$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{cp} = 0,088 \cdot \delta_{кор.пост}^{max} - 1,4$. В уравнениях регрессии $\ell_{кор}^{cp}$ в мм, $\delta_{кор}^{max}$ в мкм.

В сводной табл. 2.7 содержатся значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зависимости от средней длины коррозии арматуры, при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.24 и рис.2.25), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

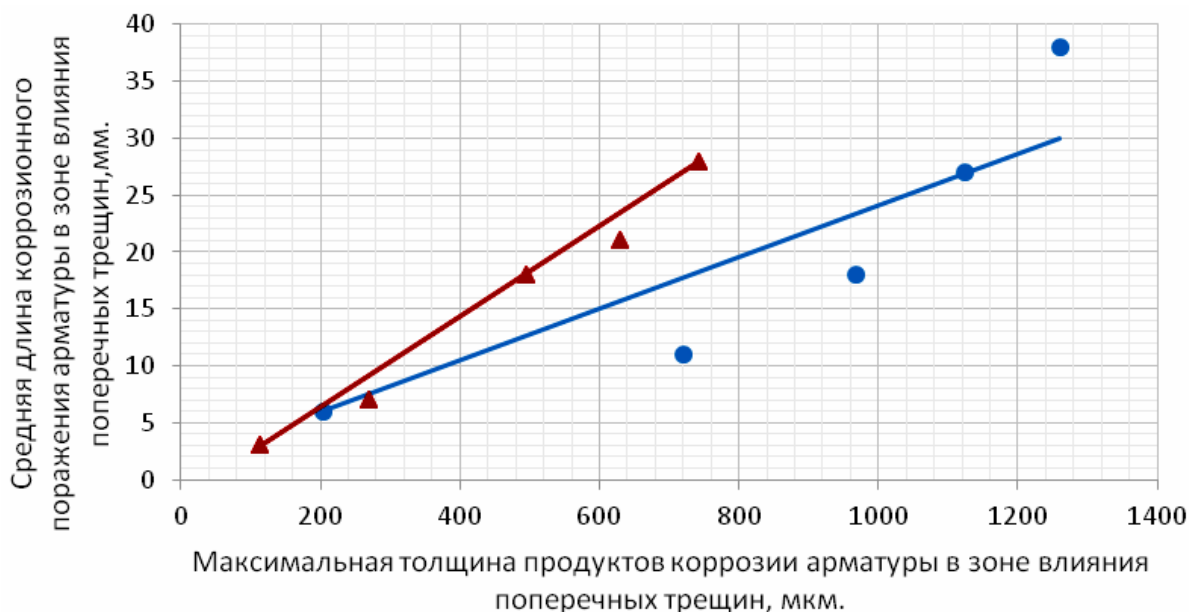


Рис. 2.21. Средняя длина коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \pm 0,25$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозионного поражения арматуры $\delta_{п.к}^{max}$ при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (270;6), $a_{crc} = 0,10$ мм (960;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (1290;18), $a_{crc} = 0,20$ мм (1500;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (1680;38); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (150;3), $a_{crc} = 0,10$ мм (960;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (1290;18), $a_{crc} = 0,20$ мм (1500;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (1680;38).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{cp} = 1,5 + 0,017 \cdot \delta_{п.к}^{max}$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{cp} = 0,03 \cdot \delta_{п.к}^{max} - 1,5$. В уравнениях регрессии $\ell_{кор}^{cp}$ в мм, $\delta_{п.к}^{max}$ в мкм. Индекс п.к – продукты коррозии.

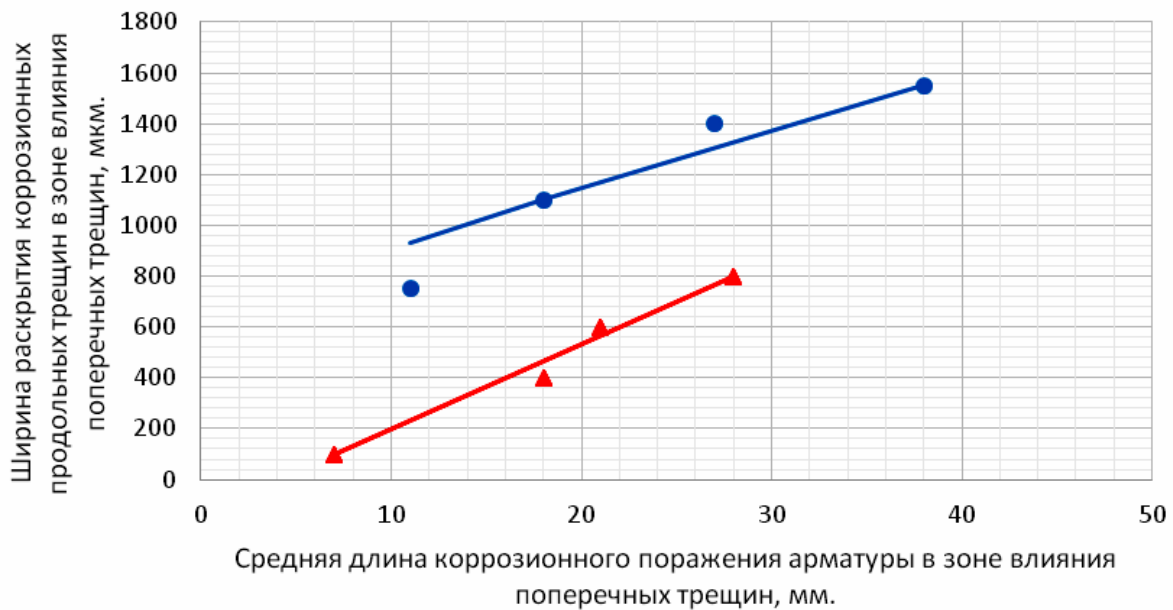


Рис.2.22. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{ср}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{срс}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{срс}} = 0,1$ мм (11;750), $a_{\text{срс}} = 0,15$ мм (18;1100), $a_{\text{срс}} = 0,20$ мм (27;1400), $a_{\text{срс}} = 0,25$ мм (38;1550); треугольники – $a_{\text{срс}} = 0,1$ мм (7;100), $a_{\text{срс}} = 0,15$ мм (18;400); $a_{\text{срс}} = 0,20$ мм (21;600), $a_{\text{срс}} = 0,25$ мм (28;800).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 695 + 22,5 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 33,33 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 133$. В уравнениях регрессии $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{ср}}$ в мм. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

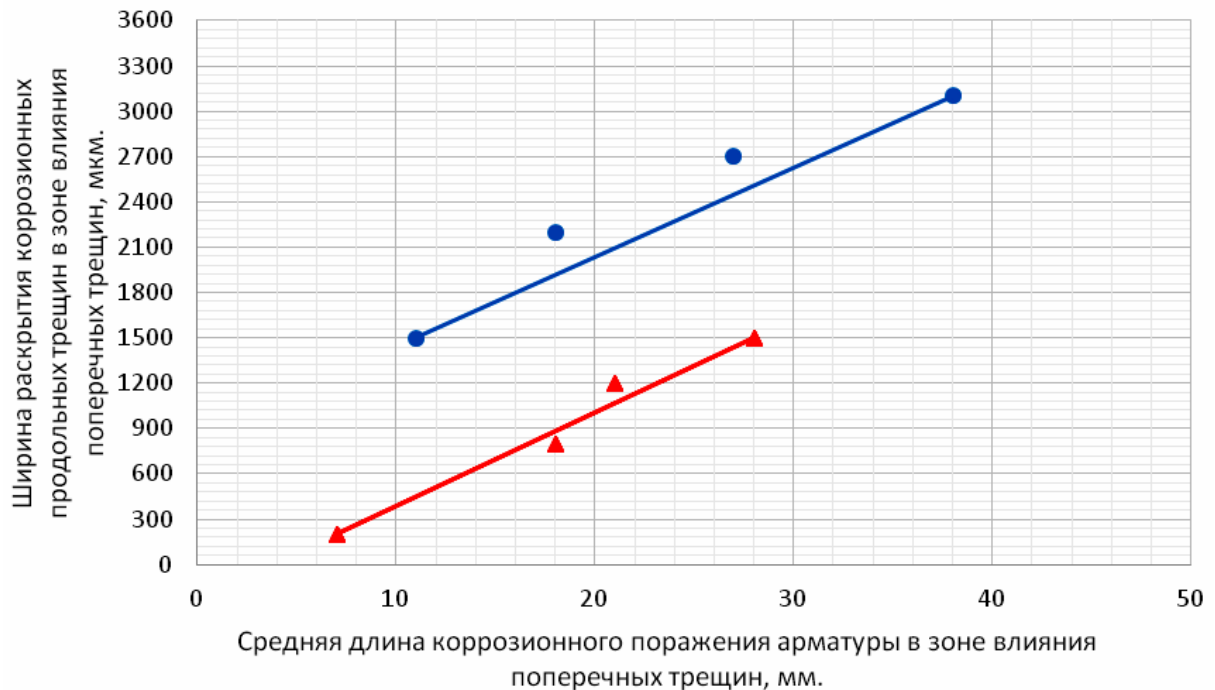


Рис.2.23. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{ср}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (11;1500), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;2200), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27;2700), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;3100); треугольники – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (7;200), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;800); $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (21;1200), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (28;1500).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 848 + 59,26 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{ср}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 61,9 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{ср}} - 233$. В уравнениях регрессии $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{ср}}$ в мм. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

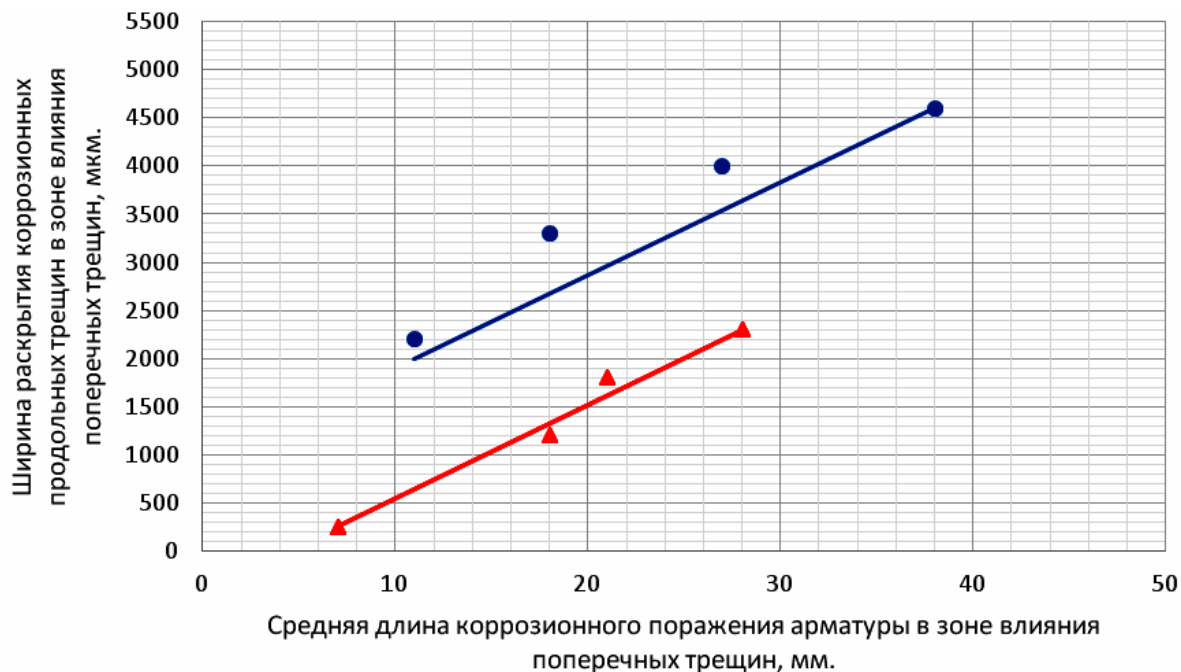


Рис.2.23а. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{\text{ср}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,1$ мм (11;2200), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;3300), $a_{crc} = 0,20$ мм (27;4000), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;4600); треугольники – $a_{crc} = 0,1$ мм (7;250), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;1200); $a_{crc} = 0,20$ мм (21;1800), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;2300).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 1222 + 88,9 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{ср}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 97,6 \cdot \ell_{кор.пост}^{\text{ср}} - 433$. В уравнениях регрессии $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{кор}^{\text{ср}}$ в мм. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

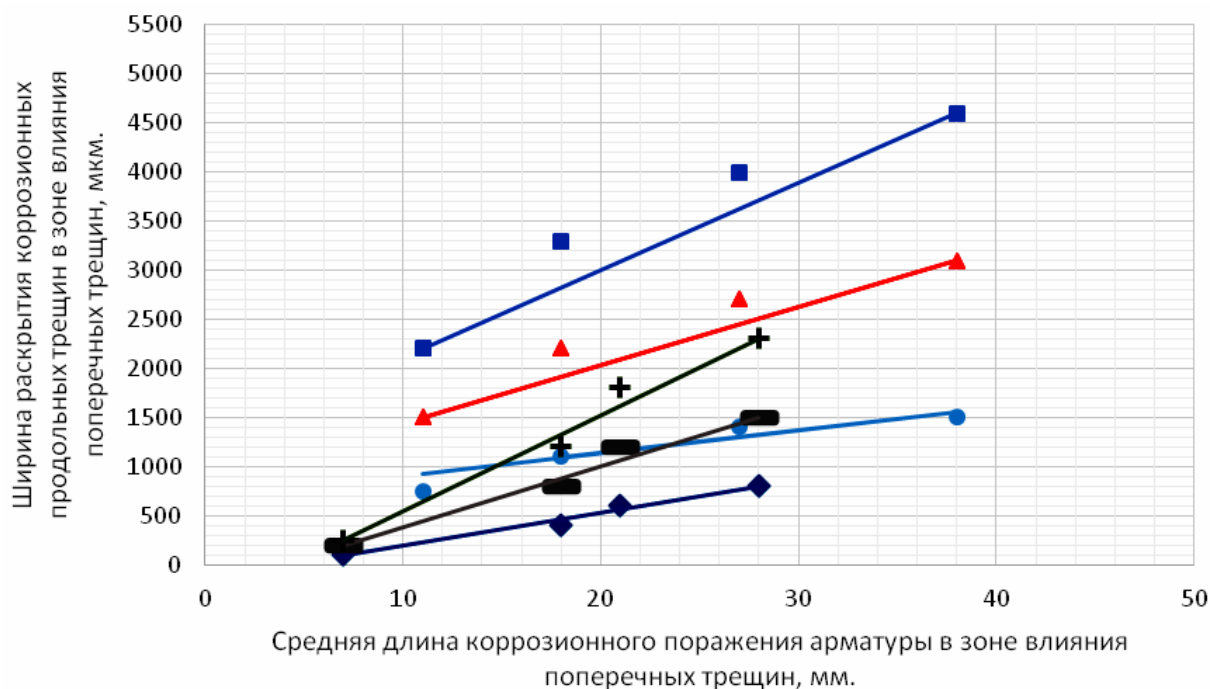


Рис. 2.24. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависи-

мости от средней длины коррозии арматуры класса А-III диаметром 12 мм $\ell_{кор}^{сред}$

в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рис. 2.22–2.24, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности, треугольники и квадраты, а также ромбы, прямоугольники и засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает снизу вверх по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (11;750), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;1100), $a_{crc} = 0,2$ мм (327;1400), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;1550) – $a_T^{прод} = 695 + 22,5 \ell_{кор.пер}^{сред}$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (11;1500), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;2200), $a_{crc} = 0,2$ мм (27;2700), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;3100) – $a_T^{прод} = 848 + 59,26 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (11;2200), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;3300), $a_{crc} = 0,2$ мм (27;4000), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;4600) – $a_T^{прод} = 1222 + 88,9 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (7;100), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;400), $a_{crc} = 0,2$ мм (21;600), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;800) – $a_T^{прод} = 33,33 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 133$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (7;200), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;800), $a_{crc} = 0,2$ мм (21;1200), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;1500) – $a_T^{прод} = 61,9 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 233$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (7;250), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;1200), $a_{crc} = 0,20$ мм (21;1800), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;2300) – $a_T^{prod} = 97,6 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 433$.

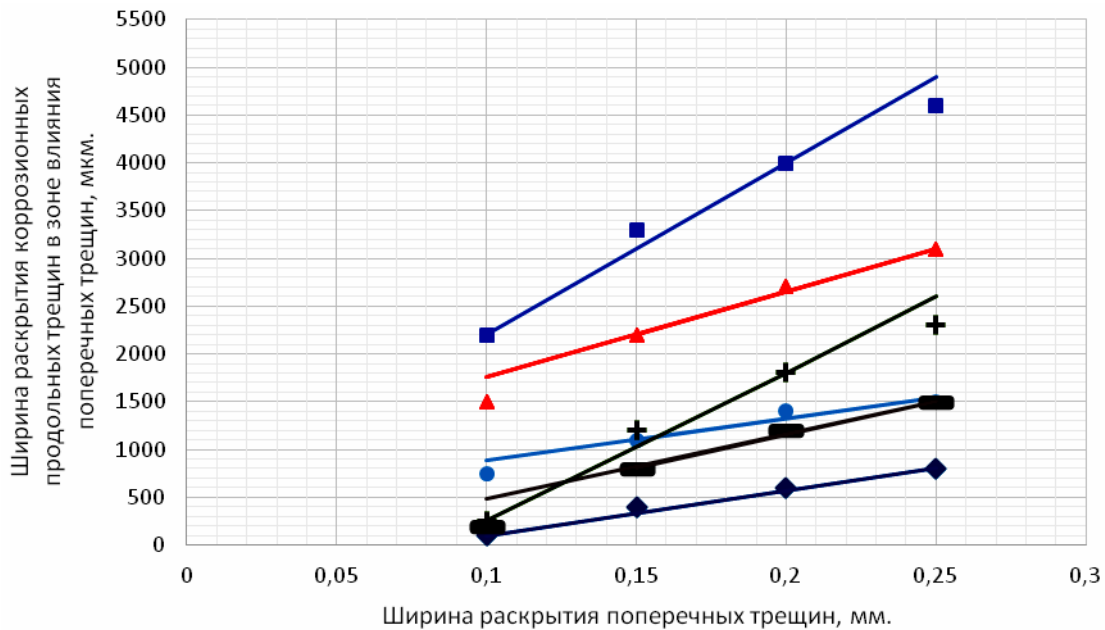


Рис. 2.25. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин (a_T^{prod}) в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм и арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,10; 750;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;1100; 18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;1400; 27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;150; 38) – $a_T^{prod} = 425 + 4500 \cdot a_{crc}$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1;1500;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;2200;18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;2700;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;3100;28) – $a_T^{prod} = 850 + 9000 \cdot a_{crc}$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1;2200;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;3300;18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;4000;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;4600;38) – $a_T^{prod} = 400 + 18000 \cdot a_{crc}$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1;100;7), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;400;18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;600;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;800;28) – $a_T^{prod} = 4667 \cdot a_{crc} - 367$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1;200;7), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;800;18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;1200;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1500;28) – $a_T^{prod} = 7000 \cdot a_{crc} - 250$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1;250;7), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;1200;18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;1800;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;2300;28) – $a_T^{прод} = 15500 \cdot a_{crc} - 1300$.

Т а б л и ц а 2.7.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при трёхкратном увеличении продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257].	Вид нагрузки	$a_T^{прод} = f(a_{crc}) / a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$, при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
Нижняя	Переменная	–	750(11)	1100(18)	1400(27)	1550	$a_T^{прод} = 425 + 4500 \cdot a_{crc}$ $a_T^{прод} = 695 + 22,5 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	–	100(7)	400(18)	600(21)	800(28)	$a_T^{прод} = 4667 \cdot a_{crc} - 367$ $a_T^{прод} = 33,33 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 133$
Средняя	Переменная	–	1500	2200(18)	2700(27)	3100(38)	$a_T^{прод} = 850 + 9000 \cdot a_{crc}$ $a_T^{прод} = 848 + 59,26 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	–	200(7)	800(18)	1200(21)	1500(28)	$a_T^{прод} = 7000 \cdot a_{crc} - 250$ $a_T^{прод} = 61,9 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 233$
Верхняя	Переменная	–	2200(11)	3200(18)	4000(27)	4600(38)	$a_T^{прод} = 400 + 18000 \cdot a_{crc}$ $a_T^{прод} = 1222 + 88,9 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	–	250(7)	1200(18)	1800(21)	2300(28)	$a_T^{прод} = 15500 \cdot a_{crc} - 1300$ $a_T^{прод} = 97,6 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 433$

Примечание. $a_T^{прод}$, мкм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{сред}$, мм, учёт $\delta_{кор}^{max}$; a_{crc} , мм.

На рис. 2.26 и 2.27, по данным табл. 2.1, показаны средние характеристики коррозионного поражения арматуры диаметром 12 мм класса А-III на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в зоне чистого изгиба,

в зависимости от расчётной ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной нагрузке.

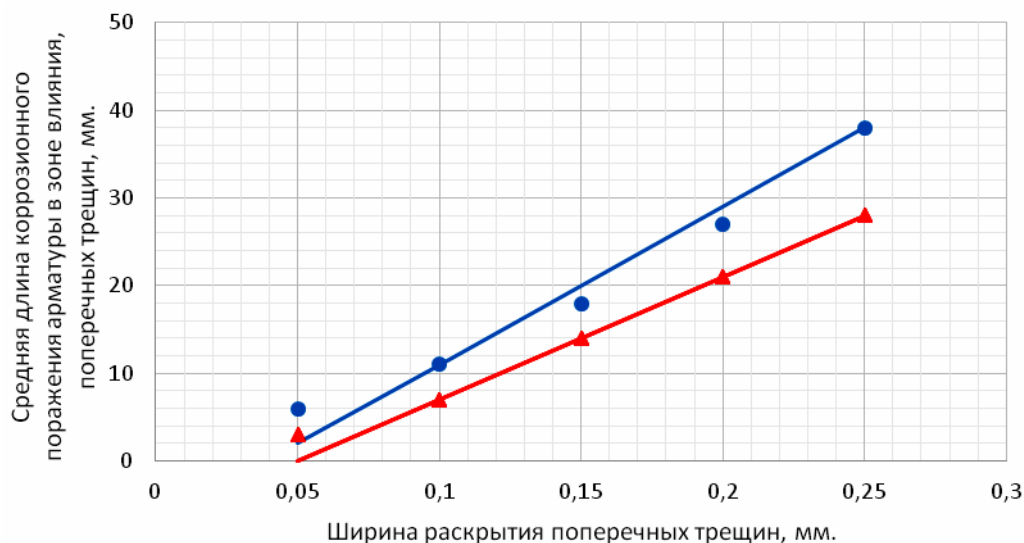


Рис. 2.26. Средняя длина коррозионного поражения арматуры ($\ell_{кор}^{сред}$) диаметром 12 мм класса А-III в зоне чистого изгиба на 20-ти железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В=40, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} , при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, треугольник – постоянная изгибающая нагрузку.

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{сред} = 180 \cdot a_{crc} - 7$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{сред} = 140 \cdot a_{crc} - 7$.

На рис. 2.28, по данным рис. 2.26. и рис. 2.27, приведены графики и уравнения регрессии зависимости средних значений длины коррозии арматуры от средних величин глубины коррозионного поражения арматурной стали в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

На рис. 2.29 согласно данным рис. 2.28 показаны графики и уравнения регрессии зависимости средних значений длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах бетона в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

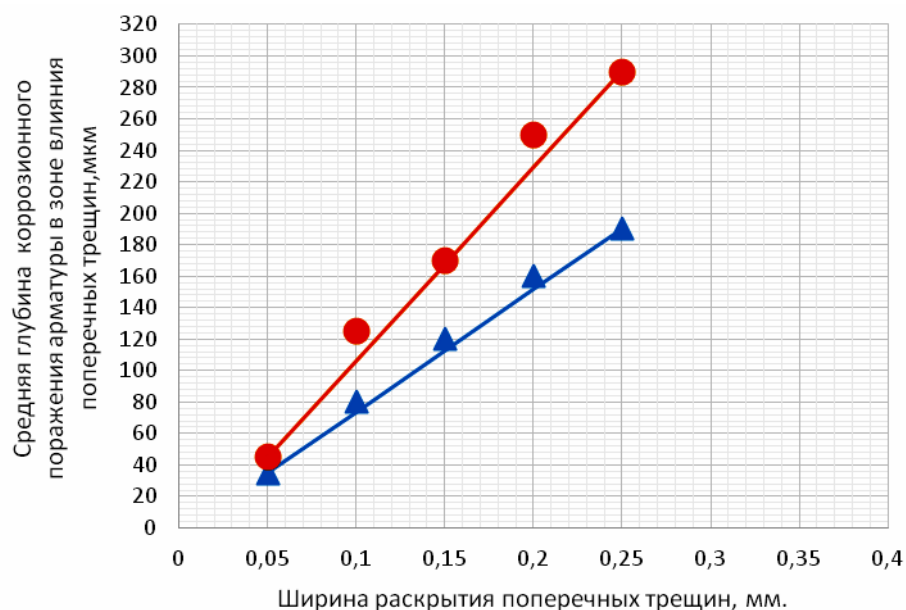


Рис. 2.27. Средняя глубина коррозионного поражения арматуры $\delta_{кор}^{сред}$ диаметром 12 мм класса А-III в зоне чистого изгиба двадцати железобетонных образцов с размерами 1500×200×70 мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В=40, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} , при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, треугольник – постоянная изгибающая нагрузка.

Уравнения регрессии: окружность – $\delta_{кор.пер}^{сред} = 1225 \cdot a_{crc} - 16,25$; треугольник – $\delta_{кор.пост}^{сред} = 775 \cdot a_{crc} - 3,75$.

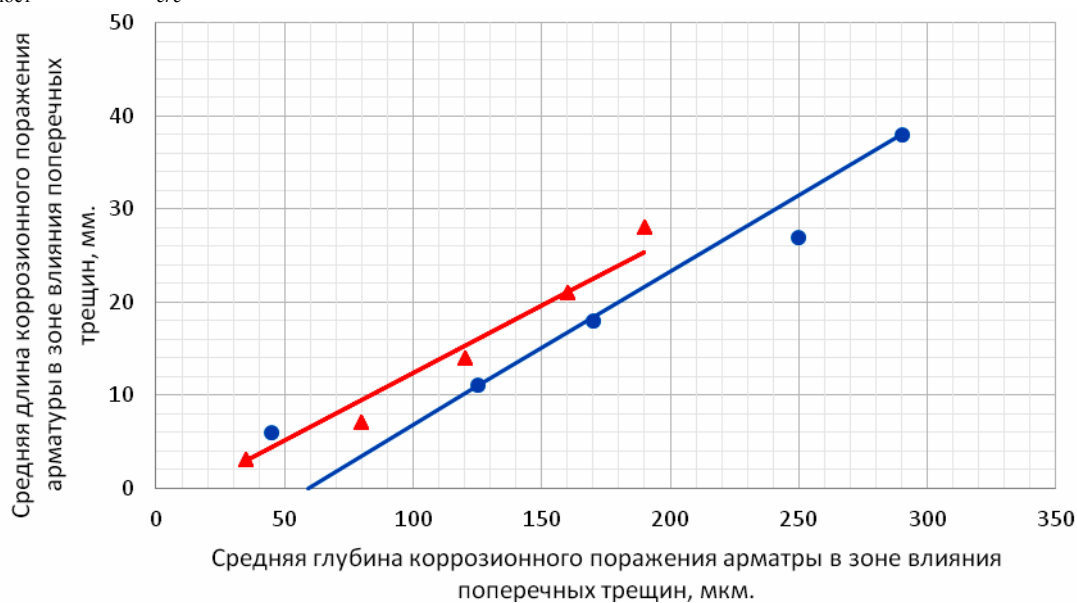


Рис. 2.28. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней глубины коррозионного поражения арматуры $\delta_{кор}^{сред}$ в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (45;6), $a_{crc} = 0,10$ мм (125;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (170;18), $a_{crc} = 0,20$ мм (250;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (290;38); треугольник – $a_{crc} = 0,05$ мм (35;3), $a_{crc} = 0,10$ мм (80;7), $a_{crc} = 0,15$ мм (120;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (160;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (190;28).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{сред} = 0,164 \cdot \delta_{кор}^{сред} - 9,5$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{сред} = 0,144 \cdot \delta_{кор}^{сред} - 2$.

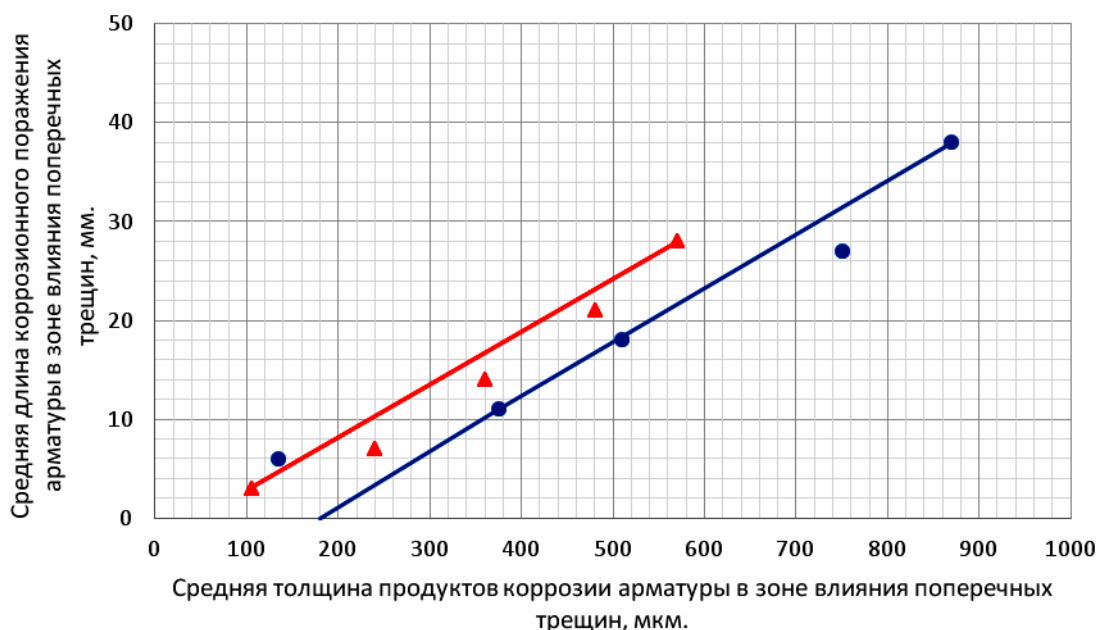


Рис. 2.29. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозионного поражения арматуры $\delta_{п.к}^{сред}$, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в три раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (135;6), $a_{crc} = 0,10$ мм (375;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (510;18), $a_{crc} = 0,20$ мм (750;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (870;38);треугольник – постоянная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (135;6), $a_{crc} = 0,10$ мм (240;7), $a_{crc} = 0,15$ мм (360;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (480;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (570;28).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{сред} = 0,055 \cdot \delta_{п.к}^{сред} - 9,5$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{сред} = 0,054 \cdot \delta_{п.к}^{сред} - 3$. Индекс п.к – продукты коррозии.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от средних значений длины коррозионного поражения арматуры со средней глубиной коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рис.1.26, отмечена на соответствующих рис. 2.30–2.32.

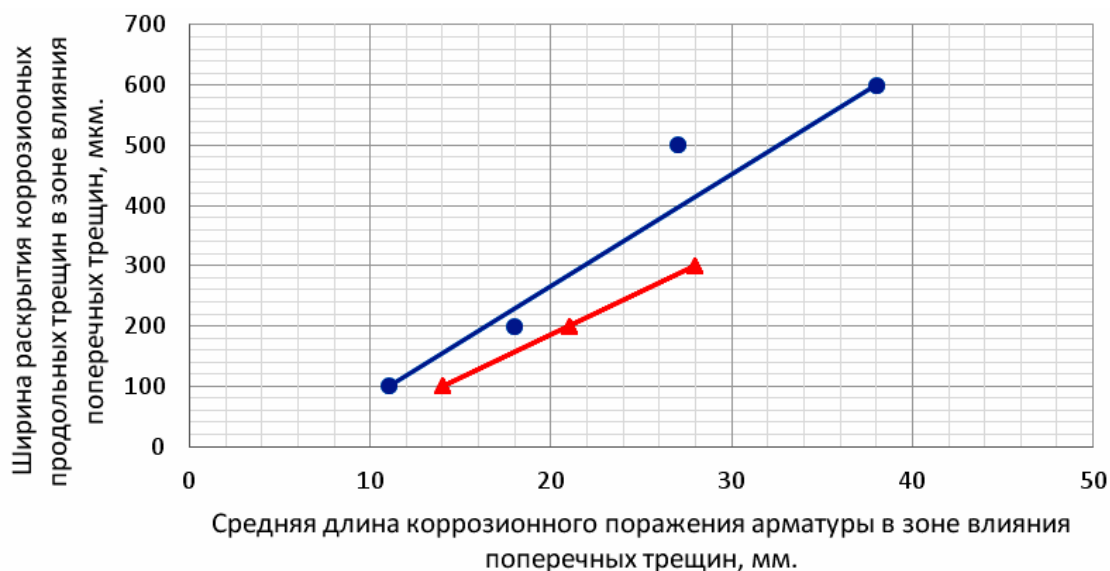


Рис. 2.30. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин ($a_T^{\text{прод}}$) в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (11; 100), $a_{\text{crc}} = 0,15$ (18; 200), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27; 500), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38; 600). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,15$ (14; 100), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (21; 200), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38; 300).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 18,52 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 104$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 14,29 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 100$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянно изгибающая нагрузка.

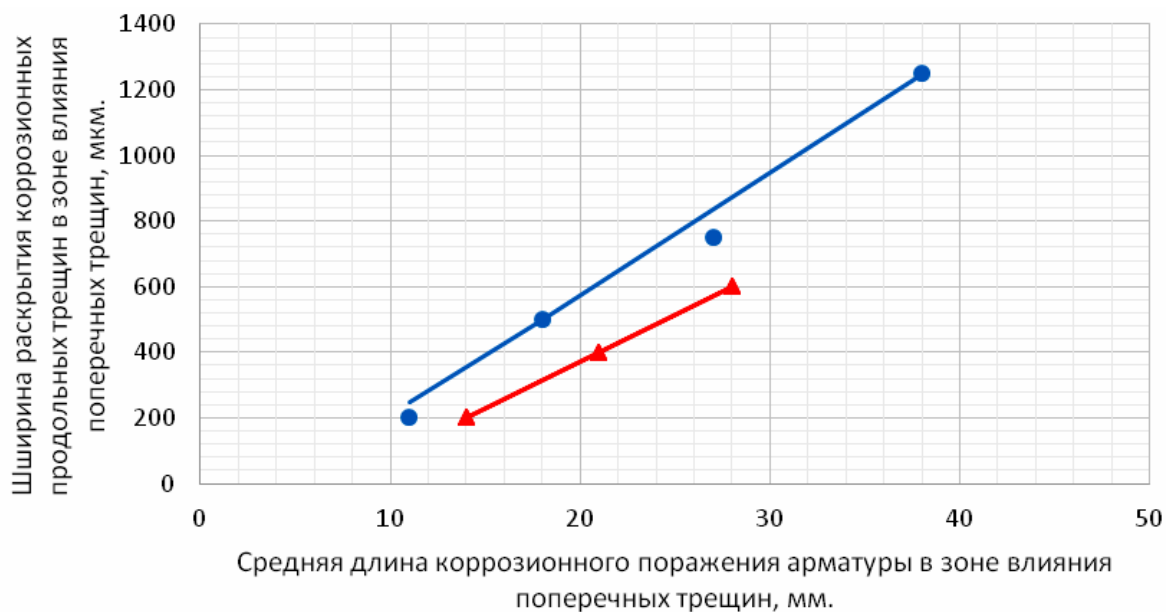


Рис. 2.31. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин ($a_T^{\text{прод}}$) в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружность-переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (11; 200), $a_{\text{crc}} = 0,15$ (18; 500), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27; 1000), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38; 1250). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,15$ (14; 200), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (21; 400), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (28; 600).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 37,5 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 175$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 28,57 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 200$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

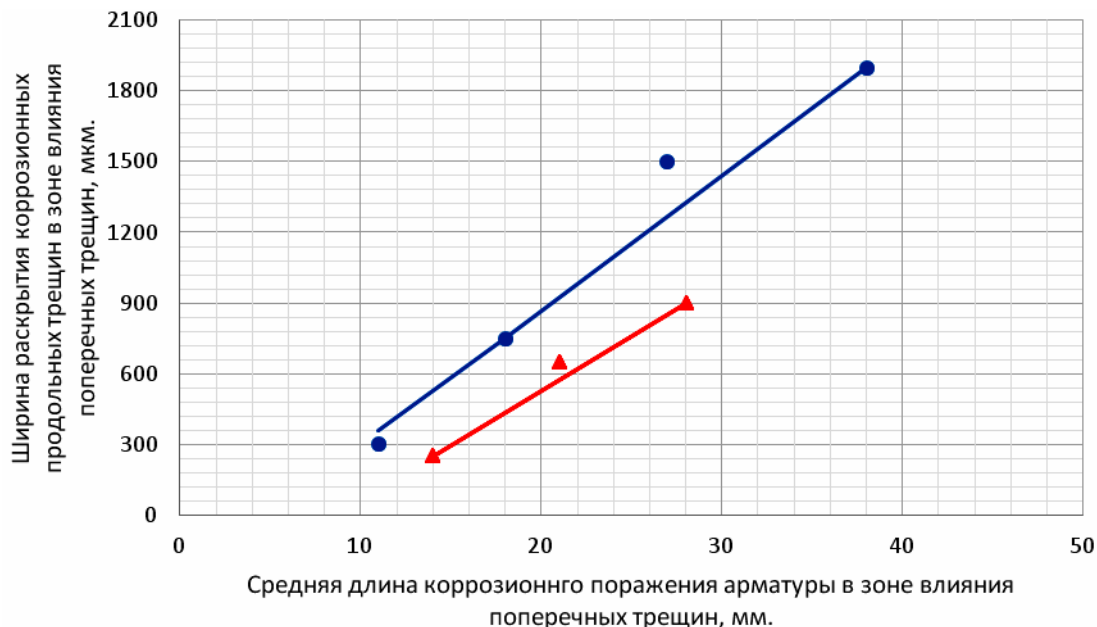


Рис. 2.32. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин ($a_T^{\text{прод}}$) в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при верхней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (11; 300), $a_{\text{crc}} = 0,15$ (18; 750), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27; 1500), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38; 1900). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,15$ (14; 250), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (21; 650), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (28; 900).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 57,5 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 285$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 46,43 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 400$. В уравнениях регрессии $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

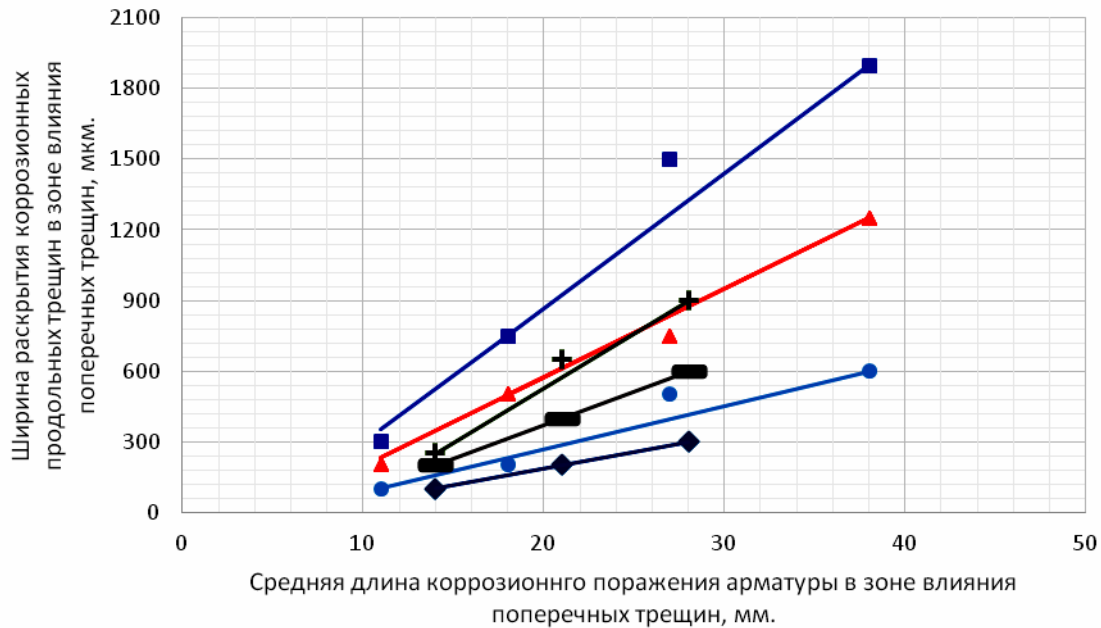


Рис. 2.33. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры $\delta_{кор}^{сред}$ и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рис. 2.30–2.32, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности, треугольники и квадраты, а также ромбы, прямоугольники и засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает снизу вверх по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (11;100), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;200), $a_{crc} = 0,2$ мм (27;500), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;600) – $a_T^{прод} = 18,52 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 104$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (11;200), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;500), $a_{crc} = 0,2$ мм (27;750), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;1250) – $a_T^{прод} = 37,5 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 175$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (11;300), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;750), $a_{crc} = 0,2$ мм (27;1500), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;1900) – $a_T^{прод} = 46,43 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 400$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (14;100), $a_{crc} = 0,2$ мм (21;200), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;300) – $a_T^{прод} = 14,29 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 100$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (14;200), $a_{crc} = 0,2$ мм (21;400), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;600) – $a_T^{прод} = 28,57 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 200$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (14; 250), $a_{crc} = 0,20$ мм (21; 650), $a_{crc} = 0,25$ мм (28; 900) – $a_T^{prod} = 46,43 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 400$.
 В уравнениях регрессии a_T^{prod} в мкм, $\ell_{кор}^{сред}$ в мм. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

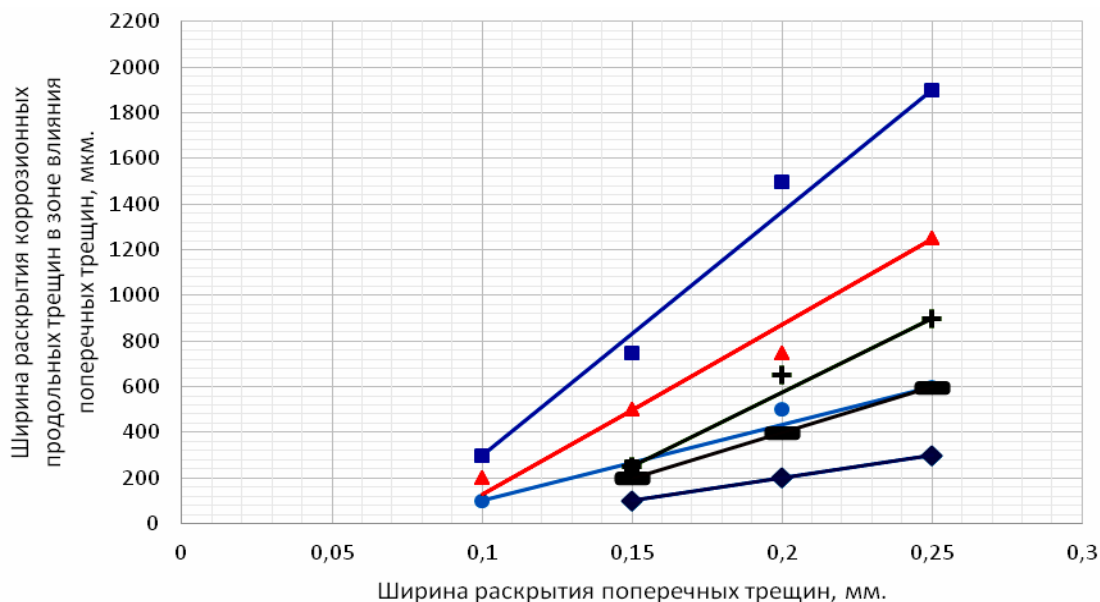


Рис. 2.34. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,25$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{сред}$, при трехкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 100; 11), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 200; 18), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 500; 27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 600; 38) – $a_T^{prod} = 3333 \cdot a_{crc} - 233$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая; – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 200; 11), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 500; 18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20; 750; 27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 1250; 38) – $a_T^{prod} = 7500 \cdot a_{crc} - 625$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 300; 11), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 750; 18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20; 1500; 27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 1900; 38), – $a_T^{prod} = 10667 \cdot a_{crc} - 767$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 100; 14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 200; 21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 300; 28) – $a_T^{prod} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 200; 14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 400; 21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 600; 28), – $a_T^{prod} = 4000 \cdot a_{crc} - 400$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 250; 14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 650; 21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 900; 28), – $a_T^{prod} = 6500 \cdot a_{crc} - 725$. Третье значение в круглых скобках $\ell_{кор}^{сред}$, мм.

В сводной табл. 2.8 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зависимости от средней длины коррозии арматуры, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.33 и 2.34), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Т а б л и ц а 2.8

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{ср}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{ср})$, $a_T^{прод} = f(a_{срс})$, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{прод}(\ell_{кор}^{ср})$, в соответствующих $a_{срс}$					Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{ср})$, $a_T^{прод} = f(a_{срс})$
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
Нижняя	Переменная	-	100(11)	200(18)	500(27)	600(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 18,52 \cdot \ell_{кор.пер}^{ср} - 104$
		-	100(11)	200(18)	500(27)	600(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 3333 \cdot a_{срс} - 233$
	Постоянная	-	-	100(14)	200(21)	300(28)	$a_{Тпост}^{прод} = 14,29 \cdot \ell_{кор.пост}^{ср} - 100$
		-	-	100(14)	200(21)	300(28)	$a_{Тпост}^{прод} = 2000 \cdot a_{срс} - 200$
Средняя	Переменная	-	200(11)	500(18)	750(27)	1250(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 37,50 \cdot \ell_{кор.пер}^{ср} - 175$
		-	200(11)	500(18)	750(27)	1250(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 750 \cdot a_{срс} - 625$
	Постоянная	-	-	200(14)	400(21)	600(28)	$a_{Тпост}^{прод} = 28,57 \cdot \ell_{кор.пост}^{ср} - 200$
		-	-	200(14)	400(21)	600(28)	$a_{Тпост}^{прод} = 4000 \cdot a_{срс} - 400$
Верхняя	Переменная	-	300(11)	750(18)	1500(27)	1900(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 46,43 \cdot \ell_{кор.пер}^{ср} - 400$
		-	300(11)	750(18)	1500(27)	1900(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 10667 \cdot a_{срс} - 767$
	Постоянная	-	-	250(14)		900(28)	$a_{Тпост}^{прод} = 46,43 \cdot \ell_{кор.пост}^{ср} - 400$
		-	-	250(14)	650(21)	900(28)	$a_{Тпост}^{прод} = 6500 \cdot a_{срс} - 725$

Пр и м е ч а н и е . $a_T^{прод}$ в мкм; в круглых скобках $\ell_{кор}$ в мм; $a_{срс}$ в мм.

Т а б л и ц а 2.9

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III $a_T^{\text{прод}}$, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} , с учётом максимальной и средней длины коррозии, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, с учётом воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место положения прямой на рис. 1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{кор}^{\text{max}}); a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{кор}^{\text{cp}});$ $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{\text{cp}} \text{ от } \delta_{кор}^{\text{cp}}); a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{\text{cp}} \text{ от } \delta_{кор}^{\text{max}}).$					Уравнения регрессии: $a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{кор}),$ $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}).$
		0,05	0,1	0,15	0,20	0,25	
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	--	750(0,1;16); 100(0,1;16)	1100(0,15;32); 250(0,15;32)	1350(0,20;39); 500(0,2;39)	1600(0,25;55); 600(0,25;55)	$a_T^{\text{прод}} = 401 + 21,79 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{max}}; a_T^{\text{прод}} = 12,8 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{max}} - 105$
		--	100(0,1;11); 750(0,1;11)	200(0,15;18); 1100(0,15;18)	500(0,2;27); 1400(0,2;27)	600(0,25;38); 1550(0,25;38)	$a_T^{\text{прод}} = 18,52 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{cp}} - 104; a_T^{\text{прод}} = 695 + 22,5 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{cp}}$
		--	750(0,1;16); 100(0,1;16)	1100(0,15;32); 250(0,15;32)	1350(0,20;39); 500(0,2;39)	1600(0,25;55); 600(0,25;55)	$a_T^{\text{прод}} = 150 + 6000 \cdot a_{crc}; a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{crc} - 233;$
		--	100(0,1;11); 750(0,1;11)	200(0,15;18); 1100(0,15;18)	500(0,2;27); 1400(0,2;27)	600(0,25;38); 1550(0,25;38)	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{crc} - 233; a_T^{\text{прод}} = 425 + 4500 \cdot a_{crc}$
	Постоянная	--	100(0,1;14); -	400(0,15;19); 50(0,15;19)	600(0,2;25); 200(0,2;25)	800(0,25;36); 300(0,25;36)	$a_T^{\text{прод}} = 23,53 \cdot \ell_{кор.пост}^{\text{max}} - 47; a_T^{\text{прод}} = 14,705 \cdot \ell_{кор.пост}^{\text{max}} - 22,9;$
		--	-; 100(0,1;7)	100(0,15;14); 400(0,15;18)	200(0,2;21); 600(0,2;21)	300(0,25;28); 800(0,25;28)	$a_T^{\text{прод}} = 14,29 \cdot \ell_{кор.пост}^{\text{cp}} - 100; a_T^{\text{прод}} = 33,33 \cdot \ell_{кор.пост}^{\text{cp}} - 133$
		--	100(0,1;14); -	400(0,15;19); 50(0,15;19)	600(0,2;25); 200(0,2;25)	800(0,25;36); 300(0,25;36)	$a_T^{\text{прод}} = 5000 \cdot a_{crc} - 400; a_T^{\text{прод}} = 2500 \cdot a_{crc} - 325$
		--	-; 100(0,1;7)	100(0,15;14); 400(0,15;18)	200(0,2;21); 600(0,2;21)	300(0,25;28); 800(0,25;28)	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 200; a_T^{\text{прод}} = 4667 \cdot a_{crc} - 367$

Окончание табл. 2.9

1	2	3	4	5	6	7	8
Средняя	Переменная	--	1500(0,1;16);200(0,1;16)	2200(0,15;32);500(0,15;32)	2700(0,20;39);1000(0,2;39)	3100(0,25;55);1250(0,25;55)	$a_T^{\text{прод}} = 948 + 39,13 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} ; a_T^{\text{прод}} = 26,9 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 231 ;$
		--	200(0,1;11);1500(0,1;11)	500(0,15;18);2200(0,15;18)	750(0,20;27);2700(0,20;27)	1250(0,25;38);3100(0,25;38)	$a_T^{\text{прод}} = 37,5 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{ср}} - 175 ; a_T^{\text{прод}} = 848 + 59,26 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{ср}}$
	Постоянна	--	1500(0,1;16);200(0,1;16)	2200(0,15;32);500(0,15;32)	2700(0,20;39);1000(0,2;39)	3100(0,25;55);1250(0,25;55)	$a_T^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot a_{\text{срс}} ; a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{срс}} - 500 ;$
		--	200(0,1;11);1500(0,1;11)	500(0,15;18);2200(0,15;18)	750(0,20;27);2700(0,20;27)	1250(0,25;38);3100(0,25;38)	$a_T^{\text{прод}} = 750 \cdot a_{\text{срс}} - 625 ; a_T^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot a_{\text{срс}}$
	Постоянна	--	200(0,1;14); –	800(0,15;19);360(0,15;19)	1200(0,20;25);560(0,20;25)	1550(0,25;36);650(0,25;36)	$a_T^{\text{прод}} = 44,12 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 38 ; a_T^{\text{прод}} = 36 + 17,06 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} ;$
		--	–200(0,1;7)	200(0,15;14);800(0,15;18)	400(0,20;21);1200(0,20;21)	600(0,25;28);1500(0,25;28)	$a_T^{\text{прод}} = 28,57 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{ср}} - 200 ; a_T^{\text{прод}} = 61,9 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{ср}} - 233 ;$
Верхняя	Переменная	--	2200(0,1;16);300(0,1;16)	3350(0,15;32);750(0,15;32)	4000(0,20;39);1500(0,20;39)	4600(0,25;55);1900(0,25;55)	$a_T^{\text{прод}} = 1050 + 71,88 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} ; a_T^{\text{прод}} = 41,03 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 356 ;$
		--	300(0,1;11);2200(0,1;11)	750(0,15;18);3300(0,15;18)	1500(0,20;27);4000(0,20;27)	1900(0,25;38);4600(0,25;38)	$a_T^{\text{прод}} = 46,43 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{ср}} - 400 ; a_T^{\text{прод}} = 1222 + 88,9 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{ср}} ;$
	Постоянна	--	400(0,1;14);–	1200(0,15;19);250(0,15;19)	1800(0,20;25);650(0,20;25)	2300(0,25;36);950(0,25;36)	$a_T^{\text{прод}} = 64,71 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 29 ; a_T^{\text{прод}} = 48,18 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 532 ;$
		--	–250(0,1;7)	250(0,15;14);1200(0,15;18)	650(0,20;21);1800(0,20;21)	900(0,25;28);2300(0,25;28)	$a_T^{\text{прод}} = 46,43 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{ср}} - 400 ; a_T^{\text{прод}} = 97,6 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{ср}} - 433$
	Постоянна	--	400(0,1;14);–	1200(0,15;19);250(0,15;19)	1800(0,20;25);650(0,20;25)	2300(0,25;36);950(0,25;36)	$a_T^{\text{прод}} = 14000 \cdot a_{\text{срс}} - 1000 ; a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{срс}} - 800 ;$
		--	–250(0,1;7)	250(0,15;14);1200(0,15;18)	650(0,20;21);1800(0,20;21)	900(0,25;28);2300(0,25;28)	$a_T^{\text{прод}} = 6500 \cdot a_{\text{срс}} - 725 ; a_T^{\text{прод}} = 15500 \cdot a_{\text{срс}} - 1300$

Примечание. $a_T^{\text{прод}}$ в мкм; $\ell_{\text{кор}}$ и $a_{\text{срс}}$ в мм.

Принятые для теоретического анализа в данной монографии результаты экспериментальных исследований на прямых моделях данной серии опытных железобетонных образцов показали, что в агрессивных условиях испытания ширина раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} > 0,10$ мм в конце испытания увеличивались не менее двух раз, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки и не более полутора раз – при действии постоянной изгибающей нагрузки [226].

Влияние переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки на изменение ширины раскрытия коррозионных продольных трещин может быть установлено с помощью использования математической операции приведения конечных значений ширины раскрытия расчётных поперечных трещин, к величинам ширины их раскрытия в начале испытания, с учётом затухающей кинетики ширины их раскрытия после одного года испытания (табл.2.10).

Т а б л и ц а 2.10

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения изменения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{prod} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{max}, \delta_{кор}^{max})$, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, с учётом трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	$a_{crc}, \text{ мм}$				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	$a_T^{prod} = 150 + 6000 \cdot a_{crc}$	450	750	1050	1350	1650
	Переменная	$a_T^{prod} = 150 + 6000 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	-	450	600	750	900
		Отношение:	-	1,67	1,75	1,8	1,83
	Постоянная	$a_T^{prod} = 5000 \cdot a_{crc} - 400$	-	100	350	600	850
	Постоянная	$a_T^{prod} = 5000 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 400$	-	-	100	267	433
		Отношение:	-	-	3,5	2,25	1,96
	Переменная	$a_T^{prod} = 150 + 6000 \cdot a_{crc}$	-	750	1050	1350	1650
	Постоянная	$a_T^{prod} = 5000 \cdot a_{crc} - 400$	-	100	350	600	850
		Отношение:	-	7,5	3	2,25	1,94

Окончание табл. 2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 150 + 6000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	-	450	600	750	900	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 5000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 400$	-	-	100	267	433	
		Отношение:		-	-	6	2,81	2,08
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot a_{\text{срс}}$	1300	1750	2200	2650	3100	
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	-	1300	1525	1750	1975	
		Отношение:		-	1,35	1,44	1,51	1,57
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 10000 \cdot a_{\text{срс}} - 800$	-	200	700	1200	1700	
		$a_T^{\text{прод}} = 10000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 800$	-	-	200	533	867	
		Отношение:	-	-	3,5	2,25	1,96	
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot a_{\text{срс}}$	-	1750	2200	2650	3100	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 10000 \cdot a_{\text{срс}} - 800$	-	200	700	1200	1700	
		Отношение:	-	8,75	3,14	2,21	1,82	
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	-	1300	1525	1750	1975	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 10000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 800$	-	-	200	533	867	
		Отношение:	-	-	7,63	3,28	2,28	
	Верхняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 400 + 18000 \cdot a_{\text{срс}}$	1300	2200	3100	4000	4900
			$a_T^{\text{прод}} = 400 + 18000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	-	1300	1750	2200	2650
			Отношение:	-	1,69	1,77	1,82	1,85
Постоянная		$a_T^{\text{прод}} = 14000 \cdot a_{\text{срс}} - 1000$	-	400	1100	1800	2500	
		$a_T^{\text{прод}} = 14000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 1000$	-	-	400	867	1333	
Отношение:		-	-	2,75	2,08	1,88		
Переменная		$a_T^{\text{прод}} = 400 + 18000 \cdot a_{\text{срс}}$	-	2200	3100	4000	4900	
Постоянная		$a_T^{\text{прод}} = 14000 \cdot a_{\text{срс}} - 1000$	-	400	1100	1800	2500	
		Отношение:	-	5,5	2,82	2,22	1,96	
Переменная		$a_T^{\text{прод}} = 400 + 18000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	-	1300	1750	2200	2650	
Постоянная		$a_T^{\text{прод}} = 14000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 1000$	-	-	400	867	1333	
		Отношение:	-	-	4,38	2,54	1,99	

Результаты табл.2.10 показывают, что для нижней функциональной прямой при увеличении расчётных значений ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} в 2 раза с начала испытания при переменной нагрузке, ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин $a_T^{prod} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{max}, \delta_{кор}^{max})$ для $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в среднем увеличивается в 1,76 раза. Значение этого отношения роста ширины раскрытия коррозионных продольных трещин для $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм практически не изменяется.

При увеличении a_{crc} в 1,5 раза с начала испытания при постоянной нагрузке возрастание значений a_T^{prod} замедляется с увеличением a_{crc} . Значения a_T^{prod} для $a_{crc} = 0,15$ мм увеличиваются в 3,5 раза, тогда как для $a_{crc} = 0,20 \div 0,25$ мм – только в 2,1 раза.

Переменная изгибающая нагрузка по отношению к постоянной изгибающей нагрузке увеличивает относительное изменение ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, причём с ростом абсолютных значений ширины раскрытия поперечных трещин от $a_{crc} = 0,10$ мм до $a_{crc} = 0,25$ мм – это отношение уменьшается соответственно от 7,5 до 1,94 раз. Такая кинетическая зависимость наблюдается и в отношениях с шириной раскрытия коррозионных продольных трещин, при приведении a_{crc} на опытных образцах к соответствующим значениям в начале испытания. Величина отношения a_T^{prod} соответственно для переменной и постоянной изгибающей нагрузки для $a_{crc} = 0,15 \div 0,25$ мм уменьшается от 6 до 2,08 раз.

Для средней функциональной прямой в табл.2.10 кинетика роста a_{crc} с начала испытания при переменной изгибающей нагрузке для $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в среднем способствует увеличению a_T^{prod} в 1,47 раза.

Как и для нижней функциональной прямой при постоянной нагрузке увеличение a_T^{prod} для $a_{crc} = 0,15$ мм составляет 3,5 раза, тогда как для $a_{crc} = 0,20 \div 0,25$ мм в среднем – 2,1 раза.

Переменная изгибающая нагрузка по отношению к постоянной изгибающей нагрузке увеличивает относительное изменение ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, причём с ростом ширины раскрытия поперечных трещин от $a_{crc} = 0,10$ мм до $a_{crc} = 0,25$ мм, величина этого отношения уменьшается от 8,75 до 1,82 раза.

Относительное влияние переменной изгибающей нагрузки, по отношению к постоянной изгибающей нагрузке на рост ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, приведённых к значениям в начале периода испытания, снижаются, по мере увеличения абсолютных значений a_{crc} , и составляет для $a_{crc} = 0,15 \div 0,25$ мм от 7,63 до 2,28 раза.

Для верхней функциональной прямой в табл.2.10 фактор увеличения a_{crc} с начала испытания при переменной изгибающей нагрузке для $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в среднем способствует возрастанию a_T^{prod} в 1,78 раза, причем по абсолютной величине рост изменения кинетики ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, при увеличении ширины раскрытия расчётных поперечных трещин, имеет тенденцию незначительного увеличения.

Увеличение абсолютных значений ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,15$ мм до $a_{crc} = 0,25$ мм при постоянной нагрузке в конце испытания в среднем приводит к возрастанию значения a_T^{prod} в 2,24 раза, однако с дальнейшим снижением интенсивности увеличения a_T^{prod} по мере роста a_{crc} .

Переменная изгибающая нагрузка, по отношению к постоянной изгибающей нагрузке, увеличивает относительное изменение ширины раскрытия коррозионных продольных трещин. В то же время, с увеличением ширины раскрытия поперечных трещин от $a_{crc} = 0,1$ мм до $a_{crc} = 0,25$ мм – это отношение уменьшается от 5,5 до 1,96 раза.

Относительное влияние переменной изгибающей нагрузки по отношению к постоянной изгибающей нагрузке, приведённое к началу испытания, составляет для кинетики роста коррозионных продольных трещин соответственно для $a_{crc} = 0,10 \div 0,25$ мм от 4,38 до 1,99 раза.

Некоторое несоответствие экспериментальных и теоретических значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, с учётом рассматриваемых экспериментальных результатов, для максимальных величин длины и глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, в условиях воздействия жидкой хлоридсодержащей среды, может объясняться причиной образования отдельных раздельно находившихся друг от друга коррозионных питтингов, способствующих появлению неравномерного характера отложения продуктов коррозии арматуры на её поверхности в зоне влияния поперечных трещин.

В табл.2.11 для нижней функциональной прямой, при увеличении a_{crc} в 2 раза с начала испытания при переменной изгибающей нагрузке, ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{prod} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{max}, \delta_{кор}^{сред})$, для $a_{crc} = 0,15; 0,25$ мм, возрастает с убывающей кинетикой роста, и для соответствующих значений a_{crc} величина этого относительного увеличения соответственно составляет 15,7; 4,34 и 3,26 раза.

При увеличении a_{crc} в 1,5 раза с начала испытания при постоянной изгибающей нагрузке рост значений a_T^{prod} замедляется с увеличением a_{crc} . Так ширина коррозионных продольных трещин для $a_{crc} = 0,20$ мм возрастает в 21,88 раза, а для $a_{crc} = 0,25$ мм в 3,26 раза.

Т а б л и ц а 2.11

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения изменения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n=2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n=1,5$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{crc}} - 233$	-	100	267	434	600
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 233$	-	-	17	100	184
		Отношение:	-	-	15,7	4,34	3,26
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2500 \cdot a_{\text{crc}} - 325$	-	-	50	175	300
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 325$	-	-	-	8	92
		Отношение:	-	-	-	21,88	13,26
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{crc}} - 233$	-	100	267	434	600
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2500 \cdot a_{\text{crc}} - 325$	-	-	50	175	300
		Отношение:	-	-	5,34	2,48	2
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 233$	-	-	17	100	184
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 325$	-	-	-	8	92
		Отношение:	-	-	-	12,5	2
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{crc}} - 500$	-	200	550	900	1250
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 500$	-	-	25	200	375
		Отношение:	-	-	22	4,5	3,33
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4500 \cdot a_{\text{crc}} - 515$	-	-	160	385	610
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 515$	-	-	-	85	235
		Отношение:	-	-	-	4,53	2,6
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{crc}} - 500$	-	200	550	900	1250
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4500 \cdot a_{\text{crc}} - 515$	-	-	160	385	610
Отношение:		-	-	3,44	2,34	2,05	

Окончание табл. 2.11

1	2	3	4	5	6	7	8
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 500$	-	-	25	200	375
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 515$	-	-	-	85	235
		Отношение:		-	-	-	2,35
Верхняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 10667 \cdot a_{\text{crc}} - 767$	-	300	833	1366	1900
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 10667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 767$	-	-	33	300	566
		Отношение		-	-	25,24	4,55
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{crc}} - 800$	-	-	250	600	950
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 800$	-	-	-	133	367
		Отношение:		-	-	-	4,51
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 10667 \cdot a_{\text{crc}} - 767$	-	300	833	1366	1900
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{crc}} - 800$	-	-	250	600	950
		Отношение:		-	-	3,33	2,28
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 10667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 767$	-	-	33	300	566
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 800$	-	-	-	133	367
		Отношение:		-	-	-	2,26

Переменная изгибающая нагрузка по отношению к постоянной изгибающей нагрузке в интервале значений $a_{\text{crc}} = 0,15 \div 0,25$ мм уменьшает относительное значение увеличения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин. С ростом ширины раскрытия поперечных трещин от $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм до $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм величина этого отношения уменьшается с 5,34 до 2 раз.

Приведение значений ширины раскрытия поперечных трещин к величинам в первоначальный момент загрузки снижает влияние переменного характера загрузки, по сравнению с постоянным загрузением. Отношение значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин при переменном загрузении изгибающей нагрузкой, по отношению к постоянному загрузению изгибающей нагрузкой, при $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм снижается с 12,5 раз до 2,48 раз.

Для средней функциональной прямой в табл.2.11, при увеличении a_{crc} в 2 раза с начала испытания при переменной изгибающей нагрузке, величина $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ в интервале значений $a_{\text{crc}} = 0,15 \div 0,25$ мм возрастает с убывающей кинетикой роста и при соответствующих абсолютных

значениях ширины раскрытия поперечных трещин эти относительные величины соответственно составляют 22; 4,5 и 3,33 раза.

При увеличении a_{crc} в 1,5 раза с начала испытания при постоянной нагрузке кинетика роста значений a_T^{prod} замедляется с увеличением a_{crc} , например, составляя для $a_{crc} = 0,20$ мм, 4,53 раза, а для $a_{crc} = 0,25$ мм – 2,6 раза.

Переменная изгибающая нагрузка, по отношению к постоянной изгибающей нагрузке, в интервале значений $a_{crc} = 0,15 \div 0,25$ мм увеличивает относительное изменение ширины раскрытия коррозионных продольных трещин с убывающим характером интенсивности по мере роста a_{crc} . При увеличении ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,15$ мм до $a_{crc} = 0,25$ мм отношение ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, с учётом принятия во внимание соответствующих видов нагрузки, уменьшается с 3,44 до 2,05 раза.

Анализ первоначальных величин a_{crc} показывает, что отношение значений a_T^{prod} соответственно при переменном и постоянном нагружении изгибающей нагрузкой для $a_{crc} = 0,20$ мм и $a_{crc} = 0,25$ мм, соответственно составляет 2,35 и 1,6 раза.

Для верхней функциональной прямой в табл. 2.11, при увеличении a_{crc} в 2 раза с начала испытания при переменной изгибающей нагрузке, величина $a_T^{prod} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{max}, \delta_{кор}^{сред})$ в интервале значений для $a_{crc} = 0,15 \div 0,25$ мм увеличивается с убывающей кинетикой роста и, при соответствующих абсолютных значениях ширины раскрытия поперечных трещин, относительные значения этого увеличения соответственно составляют 25; 24; 4,55 и 3,36.

При увеличении a_{crc} в 1,5 раза с начала испытания при постоянной изгибающей нагрузке кинетика роста a_T^{prod} замедляется с увеличением a_{crc} . Увеличение значений a_T^{prod} при этом составляет для $a_{crc} = 0,20$ мм 4,51 раза, а для $a_{crc} = 0,25$ мм 2,59 раза.

Переменная изгибающая нагрузка, по отношению к постоянной изгибающей нагрузке, в интервале значений $a_{crc} = 0,15 \div 0,25$ мм увеличивает относительное значение изменения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин с убывающей кинетикой роста, составляя соответственно 3,33; 2,28 и 2 раза.

Анализ первоначальных величин a_{crc} показывает, что отношение значений a_T^{prod} соответственно при переменном и постоянном нагружении изгибающей нагрузкой для $a_{crc} = 0,20$ мм и $a_{crc} = 0,25$ мм соответственно составляет 2,26 и 1,54 раза.

Результаты табл.2.12 показывают, что для нижней функциональной прямой (рис.1.26) при увеличении a_{crc} в 2 раза с начала испытания при переменной изгибающей нагрузке, значения $a_T^{prod} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{сред}, \delta_{кор}^{max})$ для $a_{crc} = 0,10; 0,15; 0,20; 0,25$ мм в среднем увеличиваются 1,47 раза.

Таблица 2.12

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой

диаметром 12 мм класса А-III, для зависимости $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$,

при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n=2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n=1,5$

Расположение функциональной прямой на прис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	$a_{\text{crc}}, \text{ мм}$				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 425 + 4500 \cdot a_{\text{crc}}$	650	875	1100	1325	1550
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 425 + 4500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	-	650	763	875	988
		Отношение:	-	1,35	1,44	1,51	1,57
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4667 \cdot a_{\text{crc}} - 367$	-	100	333	566	780
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 367$	-	-	100	255	411
		Отношение:	-	-	3,33	2,22	1,90
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 425 + 4500 \cdot a_{\text{crc}}$	-	875	1100	1325	1550
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4667 \cdot a_{\text{crc}} - 367$	-	100	333	566	780
		Отношение:	-	8,75	3,30	2,34	1,99
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 425 + 4500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	-	650	763	885	988
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 367$	-	-	100	255	411
		Отношение:	-	-	7,63	3,47	2,40
		Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{crc}} - 250$	-	450	800	1150
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot a_{\text{crc}}$	1300	1750	2200	2650	3100
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	-	1300	1525	1750	1975
		Отношение:	100	1,35	1,44	1,51	1,57
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{crc}} - 250$	-	450	800	1150	1500
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 250$	-	217	450	683	917
		Отношение:	-	2,07	1,78	1,68	1,64
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot a_{\text{crc}}$	-	1750	2200	2650	3100
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{crc}} - 250$	-	450	800	1150	1500
		Отношение:	-	3,89	2,75	2,30	2,07

Окончание табл. 2.12

1	2	3	4	5	6	7	8	
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	-	1300	1525	1750	1975	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 250$	-	217	450	683	917	
		Отношение:		-	6,0	3,39	2,56	2,15
Верхняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 400 + 18000 \cdot a_{\text{crc}}$	1300	2200	3100	4000	4900	
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 400 + 18000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	-	1300	1750	2200	2650	
		Отношение:		-	1,69	1,77	1,82	1,85
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 15500 \cdot a_{\text{crc}} - 1300$	-	250	1025	1800	2575	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 15500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 1300$	-	-	250	767	1283	
		Отношение:		-	-	4,1	2,35	2,01
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 400 + 18000 \cdot a_{\text{crc}}$	-	2200	3100	4000	4900	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 15500 \cdot a_{\text{crc}} - 1300$	-	250	1025	1800	2575	
		Отношение:		-	8,8	3,02	2,22	1,90
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 400 + 18000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	-	1300	1750	2200	2650	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 15500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 1300$	-	-	250	767	1283	
		Отношение:		-	-	7	2,87	2,07

При увеличении a_{crc} в 1,5 раза с начала испытания при постоянной изгибающей нагрузке значение кинетики максимального роста $a_T^{\text{прод}}$ составляет 3,33 раза для $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм, с последующим его снижением по линейной зависимости до минимального значения 1,90 раза при $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм.

Переменная изгибающая нагрузка по отношению к постоянной изгибающей нагрузке вызывает в соответствующих a_{crc} увеличение относительных значений $a_T^{\text{прод}}$, при уменьшении кинетики их роста с повышением a_{crc} . Этот относительный показатель для $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм имеет величину 8,75 раза, а для $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм – 1,99 раза.

Влияние переменной изгибающей нагрузки, по сравнению с постоянной изгибающей нагрузкой, на $a_T^{\text{прод}}$ увеличивается при приведении a_{crc} к первоначальному раскрытию, с максимальным значением в $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм – 57 % и минимальной величиной в $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм – 17 %.

Для средней функциональной прямой в табл.2.12, при росте a_{crc} в 2 раза с начала испытания при переменной изгибающей нагрузке, $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$ увеличивается в среднем в 1,47 раза для $a_{\text{crc}} = 0,10; 0,15; 0,20; 0,25$ мм.

Увеличение a_{crc} в 1,5 раза с начала испытания при постоянной изгибающей нагрузке способствует росту значений a_T^{prod} в среднем в 1,12 раза. Переменная изгибающая нагрузка, по отношению к постоянной изгибающей нагрузке, в среднем увеличивает значения a_T^{prod} в 2,75 раза в $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, при максимальной величине в 3,89 раза.

При приведении к первоначальному раскрытию a_{crc} переменная изгибающая нагрузка, по сравнению с постоянной изгибающей нагрузкой, как и объективно должно быть, уменьшает своё влияние на изменение a_T^{prod} , составляя для $a_{crc} = 0,10$ мм – 35 %, а для $a_{crc} = 0,25$ мм – 3,7 %.

Для верхней функциональной прямой в табл. 2.12, при росте a_{crc} в 2 раза с начала испытания при переменной изгибающей нагрузке, $a_T^{prod} = f(a_{crc}, \rho_{кор}^{сред}, \delta_{кор}^{max})$ увеличивается в среднем в 1,78 раза для $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм.

Рост значений a_{crc} в 1,5 раза с начала испытания при постоянной изгибающей нагрузке для $a_{crc} = 0,15 \div 0,25$ мм в среднем увеличивает a_T^{prod} в 2,82 раза, с максимальной величиной в 4,1 раза для $a_{crc} = 0,15$ мм. Переменная изгибающая нагрузка, по отношению к постоянной изгибающей нагрузке, в $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в среднем увеличивает a_T^{prod} в 4 раза, с максимальным значением в 8,8 раза для $a_{crc} = 0,10$ мм.

При приведении к первоначальному раскрытию a_{crc} переменная изгибающая нагрузка, по сравнению с постоянной изгибающей нагрузкой, уменьшает своё влияние на относительной изменение a_T^{prod} , составляя соответственно для $a_{crc} = 0,15$ мм – 57 %, а для $a_{crc} = 0,25$ мм – 8,2 %.

Для нижней функциональной прямой (рис.1.26) в табл.2.13, при увеличении a_{crc} в 2 раза с начала испытания при переменной изгибающей нагрузке, ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{prod} = f(a_{crc}, \rho_{кор}^{сред}, \delta_{кор}^{сред})$ увеличивается с убывающей кинетикой роста от минимальных a_{crc} к максимальным a_{crc} и составляет для $a_{crc} = 0,15$ мм – 15,71 раза, для $a_{crc} = 0,20$ мм – 4,34 раза и для $a_{crc} = 0,25$ мм – 3,26 раза.

При увеличении a_{crc} в 1,5 раза с начала испытания при постоянной изгибающей нагрузке ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} для $a_{crc} = 0,20$ мм и $a_{crc} = 0,25$ мм в среднем увеличивается в 2,63 раза.

Переменная изгибающая нагрузка, по отношению к постоянной нагрузке, в интервале значений $a_{crc} = 0,10; 0,15; 0,20$ и $0,25$ мм в среднем увеличивает значение a_T^{prod} в 2,28 раза.

При приведении $a_{crc} = 0,20$ мм и $a_{crc} = 0,25$ мм к первоначальному раскрытию ширины поперечных трещин в начале испытания значение

отношения $a_T^{\text{прод}}$ при переменной и постоянной изгибающей нагрузке в среднем увеличивается соответственно в 1,44 раза.

Т а б л и ц а 2.13

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения изменения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, для зависимости $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, в том числе к началу испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n=2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n=1,5$, при трёхкратном увеличении продуктов коррозии арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	$a_{\text{crc}}, \text{ мм}$				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{crc}} - 233$	-	100	267	434	600
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 233$	-	-	17	100	184
		Отношение:	-	-	15,11	4,34	3,26
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$	-	0	100	200	300
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 200$	-	-	-	67	133
		Отношение:	-	-	-	2,99	2,26
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{crc}} - 233$	-	100	267	434	600
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$	-	0	100	200	300
		Отношение:	-	-	2,67	2,17	2
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 233$	-	-	17	100	184
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 200$	-	-	-	67	133
		Отношение:	-	-	-	1,49	1,38
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 7500 \cdot a_{\text{crc}} - 625$	-	125	500	875	1250
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 7500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 625$	-	-	-	125	313
		Отношение:	-	-	-	7,0	3,99
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 400$	-	0	200	400	600
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 400$	-	-	0	133	267
		Отношение:	-	-	-	3,01	2,25

Окончание табл. 2.13

1	2	3	4	5	6	7	8	
Верхняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 7500 \cdot a_{crc} - 625$	-	125	500	875	1250	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{crc} - 400$	-	0	200	400	600	
		Отношение:		-	-	2,5	2,19	2,08
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 7500 \cdot \frac{a_{crc}}{2} - 625$	-	-	-	125	313	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 400$	-	-	0	133	267	
		Отношение:		-	-	-	0,94	1,17
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 10667 \cdot a_{crc} - 767$	-	300	833	1366	1900	
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 10667 \cdot \frac{a_{crc}}{2} - 767$	-	-	33	300	566	
		Отношение:		-	-	25,2	4,55	3,36
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6500 \cdot a_{crc} - 725$	-	-	250	575	900	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6500 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 725$	-	-	-	142	358	
		Отношение:		-	-	-	4,05	2,51
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 10667 \cdot a_{crc} - 767$	-	300	833	1366	1900	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6500 \cdot a_{crc} - 725$	-	-	250	575	900	
		Отношение:		-	-	3,33	2,38	2,11
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 10667 \cdot \frac{a_{crc}}{2} - 767$	-	-	33	300	566	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6500 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 725$	-	-	-	142	358	
		Отношение:		-	-	-	2,11	1,58

Для средней функциональной прямой в табл.2.13, при увеличении a_{crc} в 2 раза с начала испытания при переменной изгибающей нагрузке, увеличение $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ для $a_{crc} = 0, 20$ мм составляет 7,0, раза, а для $a_{crc} = 0, 25$ мм – 3,99 раза.

При увеличении a_{crc} в 1,5 раза с начала испытания при постоянной изгибающей нагрузке значения $a_T^{\text{прод}}$ для величин $a_{crc} = 0, 20$ и $a_{crc} = 0, 25$ мм в среднем возрастает в 2,63 раза.

Переменная изгибающая нагрузка по отношению к постоянной изгибающей нагрузке в интервале значений $a_{crc} = 0,10; 0,15; 0, 20$ и $0,25$ мм в среднем увеличивает относительное изменение ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в 2,26 раза.

При приведении a_{crc} к первоначальной ширине раскрытия в начале испытания, увеличение влияния переменной изгибающей нагрузки по отношению к постоянной изгибающей нагрузке на ширину раскрытия коррозионных продольных трещин не отмечено.

Для верхней функциональной прямой в табл.2.13 при увеличении a_{crc} в 2 раза с начала испытания при переменной изгибающей нагрузке, значение $a_T^{prod} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{сред}, \delta_{кор}^{сред})$ возрастает для $a_{crc} = 0, 15$ мм в 25,2 раза, а для $a_{crc} = 0, 20$ и $a_{crc} = 0, 25$ мм в среднем в 4,0 раза.

При увеличении a_{crc} в 1,5 раза с начала испытания при постоянной изгибающей нагрузке, значение a_T^{prod} увеличиваются для $a_{crc} = 0, 20$ мм в 4,05 раза, а для $a_{crc} = 0, 25$ мм – в 2,51 раза.

Переменная изгибающая нагрузка, по отношению к постоянной изгибающей нагрузке, в интервале значений $a_{crc} = 0,10; 0,15; 0,20$ и $0,25$ мм, вызывает относительное увеличение a_T^{prod} , с уменьшением кинетики роста относительного увеличения по линейному закону с 3,33 до 2,11 раза.

При приведении a_{crc} к первоначальному раскрытию рост влияния переменной изгибающей нагрузки, с увеличением абсолютных значений a_{crc} , по отношению к постоянной изгибающей нагрузке на величину a_T^{prod} не отмечено.

В табл. 2.14 представлены абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона железобетонных опытных балок с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм для четырёх случаев зависимости значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} от $\ell_{кор}$, с учётом $\ell_{кор}^{max}, \delta_{кор}^{max}, \ell_{кор}^{сред}, \delta_{кор}^{сред}, \ell_{кор}^{мин}, \delta_{кор}^{мин}$ и $\ell_{кор}^{сред}, \delta_{кор}^{сред}$, в зависимости от воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.1.26), при трёхкратном увеличении продуктов коррозии металла арматуры.

На рис.2.35, на основании данных табл. 2.14, представлены графические изображения относительного изменения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин и длины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин (n), в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин, с учётом значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, рассчитанных, по нижней функциональной прямой, согласно рис.1.26, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Результаты исследования, отмеченные на рис.2.35, показывают, что влияние переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки по отношению к постоянной изгибающей нагрузке на ширину раскрытия a_T^{prod} , при среднеарифметическом значении $\bar{n} = 3,22$, уменьшается с увеличением a_{crc} , принимая значения от $\bar{n} = 7,5$ до $\bar{n} = 1,94$. Относительное влияние переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки по отношению к постоянной изгибающей нагрузке на длину коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин с повышением значений a_{crc} в среднем составляет $\bar{n} = 1,42$ раза, при максимальном значении – $\bar{n} = 2,5$ раза.

Т а б л и ц а 2. 14

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения $a_T^{\text{прод}}$ на опытных железобетонных балках с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III в $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, с учётом длины и глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин бетона, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Место расположения прямой на рис. 1.26 [257]	Вид нагрузки	Абсолютные и относительные (n) значения	$a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}}); a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}});$ $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}); a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$			
			0,10	0,15	0,20	0,25
Нижняя	Переменная	Абсолютные	750(16); 100(16) 100(11);750(11)	1100(32);250(32) 200(18);1100(18)	1350(39);500(39) 500(27);1400(27)	1600(55);600(55) 600(38);1550(38)
	Постоянная	Абсолютные	100(14); – – ;100(7)	400(19);50(19) 100(14);400(18)	600(25);200(25) 200(21);600(21)	800(36);300(36) 300(28);800(28)
	<u>Переменная</u> Постоянная	Относительные	7,5(1,14); – – ;7,5(1,57)	2,75(1,68); 5(1,68) 2(1,29);2,75(1)	2,25(1,56);2,5(1,56) 2,5(1,29);2,33(1,29)	2(1,53);2(1,53) 2(1,36);1,94(1,36)
Средняя	Переменная	Абсолютные	1500(16); 200(16) 2000(11);1500(11)	2200(32);500(32) 500(18);2200(18)	2700(39);1000(39) 750(27);2700(27)	3100(55);1250(55) 1250(38);3100(38)
	Постоянная	Абсолютные	200(14); – – ; 200(7)	800(19);360(19) 200(14);800(18)	1200(25);560(25) 400(21);1200(21)	1550(36);650(36) 600(28);1500(28)
	<u>Переменная</u> Постоянная	Относительные	7,5(1,14); – – ;7,5(1,57)	2,75(1,68);1,39(1,68) 2,5(1,29);2,75(1)	2,25(1,56);1,79(1,56) 1,88 (1,29);2,25(1,29)	2(1,53);1,92(1,53) 2,08(1,36);2,07(1,36)
Верхняя	Переменная	Абсолютное	2200(16); 300(16) 300(11); 2200(11)	3350(32);750(32) 750(18);3300(18)	4000(39);1500(39) 1500(27);4000(27)	4600(55);1900(55) 1900(38);4600(38)
	Постоянная	Абсолютные	400(11); – – ;250(7)	1200(19);250(19) 250(14);1200(18)	1800(25);650(25) 650(21);1800(21)	2300(36);950(36) 900(28);2300(28)
	<u>Переменная</u> Постоянная	Относительные	5,5(1,14); – – ;8,8(1,57)	2,79(1,68);3(1,68) 3(1,29);2,75(1)	2,22(1,56);2,31(1,56) 2,31(1,29);2,22(1,29)	2(1,53);2(1,53) 2,11(1,36);2(1,36)

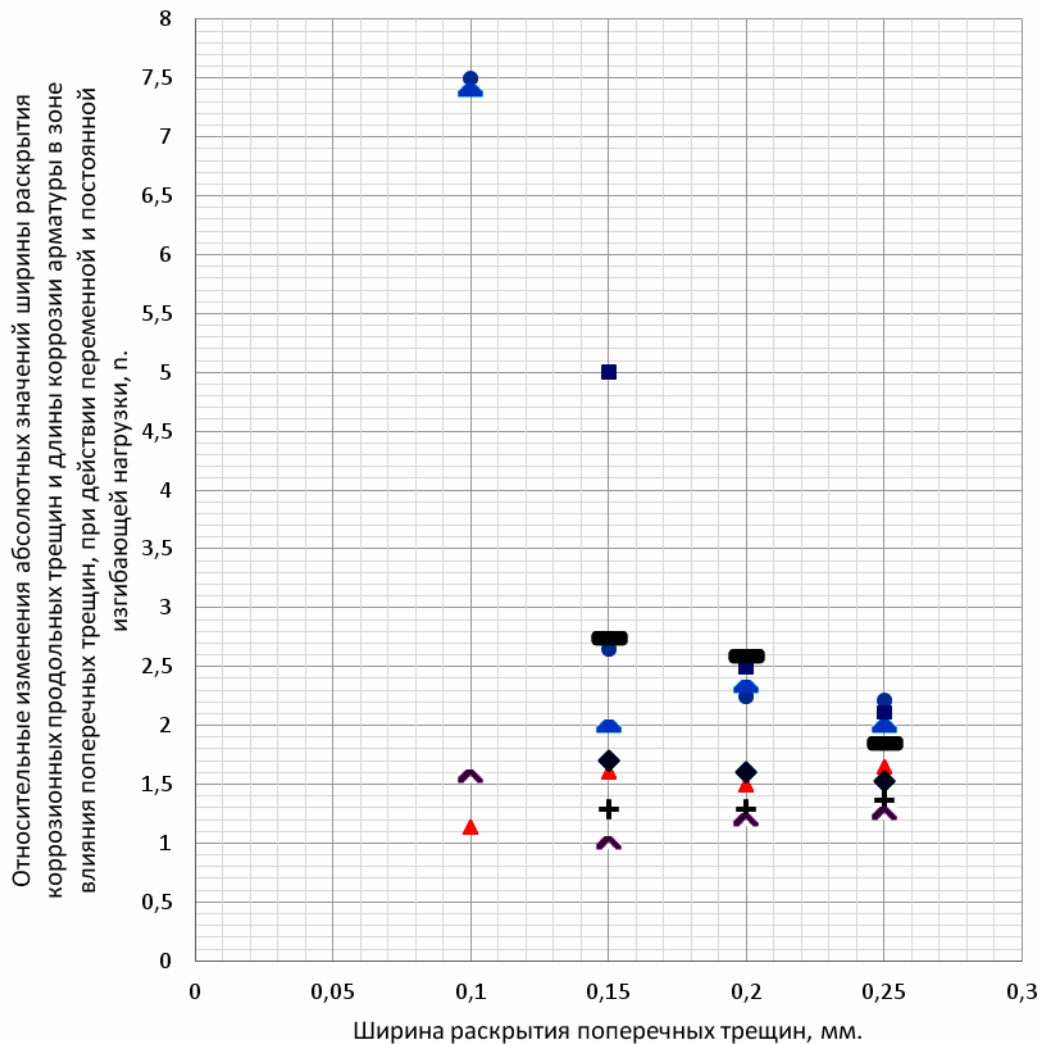


Рис. 2.35. Влияние вида нагрузки на относительное изменение a_T^{prod} и $\ell_{кор}$, с учётом $\delta_{кор}$ в $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, на железобетонных опытных образцах $1500 \times 200 \times 70$ мм с арматурой диаметром 12 мм класса А-III $n = a_T^{prod} / a_{Тпер}^{prod}$, $n = \ell_{кор}^{пер} / \ell_{кор}^{пост}$, в зависимости от действия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки при нижней функциональной прямой (рис.1.26) согласно данным табл.2.14

Условные обозначения относительного изменения a_T^{prod} и $\ell_{кор}$, учётом рассмотрения соответствующих абсолютных значений:

окружность: $a_T^{prod} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$. Координаты точек окружности – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 7,5), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 2,75), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 2,25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 2).

Треугольник: $\ell_{кор}^{max} = f(a_{crc}, \delta_{кор}^{max})$. Координаты точек треугольника – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 1,14), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 1,68), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1,56), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 1,53).

Квадрат: $a_T^{prod} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{сред})$. Координаты точек квадрата – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 5), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 2,5), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 2).

Ромб: $\ell_{кор}^{max} = f(a_{crc}, \delta_{кор}^{сред})$. Координаты точек ромба – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;1,68), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1,56), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1,53) – $\ell_{кор}^{max} = 1,905 - 1,5 \cdot a_{crc}$.

Прямоугольник: $a_T^{прод} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{сред})$. Координаты точек прямоугольника – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;2,75), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;2,33), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1,94) – $a_T^{прод} = 3,97 - 8,1 \cdot a_{crc}$

Засечка: $\ell_{кор}^{сред} = f(a_{crc}, \delta_{кор}^{сред})$. Координаты точек засечки – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;1,29), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1,29), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1,36) – $\ell_{кор}^{сред} = 1,19 + 0,7 \cdot a_{crc}$.

Сегмент: $a_T^{прод} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$. Координаты точек сегмента – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10; 7,5), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;2), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;2,5), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;2).

Угол: $\ell_{кор}^{сред} = f(a_{crc}, \delta_{кор}^{max})$. Координаты точек угла – $a_{crc} = 0, 10$ мм (0,10;1,57), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;1), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1,29), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1,36).

На рис.2.35, согласно табл.2.14, с учётом нижней функциональной прямой, для значений $a_T^{прод} = f(a_{crc}, \ell_{кор})$ и $a_T^{прод} = f(a_{crc}, \delta_{кор})$ принимаются следующие условные обозначения и зависимости n , относительного изменения $a_T^{прод}$ и $\ell_{кор}$ для соответствующих величин a_{crc} , с учётом вида действующей нагрузки:

○ – n для $a_T^{прод} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{max}, \delta_{кор}^{max})$ – экспоненциальная зависимость, показывающая уменьшение значений $n_{a_T^{прод}}$ с увеличением a_{crc} ;

△ – n для $\ell_{кор}^{max} = f(a_{crc}, \delta_{кор}^{max})$ – экспоненциальная зависимость, свидетельствующая об увеличении значений $n_{\ell_{кор}^{max}}$ при росте a_{crc} ;

□ – n для $a_T^{прод} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{max}, \delta_{кор}^{сред})$ – экспоненциальная зависимость, показывающая уменьшение значений $n_{a_T^{прод}}$ с увеличением a_{crc} ;

◇ – n для $\ell_{кор}^{max} = f(a_{crc}, \delta_{кор}^{сред})$ – линейная зависимость $n_{\ell_{кор}^{сред}} = 1,905 - 1,5 \cdot a_{crc}$;

— – n для $a_T^{прод} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{сред})$ – линейная зависимость $n_{a_T^{прод}} = 3,97 - 8,1 \cdot a_{crc}$;

+ – n для $\ell_{кор}^{сред} = f(a_{crc}, \delta_{кор}^{сред})$ – линейная зависимость $n_{\ell_{кор}^{сред}} = 1,19 + 0,7 \cdot a_{crc}$;

△ – n для $a_T^{прод} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$ – экспоненциальная зависимость, показывающая уменьшение значений $n_{a_T^{прод}}$ с увеличением a_{crc} ;

□ – n для $\ell_{кор}^{сред} = f(a_{crc}, \delta_{кор}^{max})$ – не установлена соответствующая зависимость.

На рис.2.36 согласно данным табл.2.14 с учётом средней функциональной прямой, принимаемой для расчёта по рис.1.26, для значений $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}})$ и $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \delta_{\text{кор}})$, представлены графические значения относительного изменения $a_T^{\text{прод}}$ и $\ell_{\text{кор}}$ (n) для соответствующих величин a_{crc} , в зависимости от вида действующей нагрузки.

Результаты, отмеченные на рис. 2.36, показывают уменьшение относительного влияния переменной изгибающей нагрузки по отношению к постоянной изгибающей нагрузке на ширину раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$, с увеличением абсолютных значений a_{crc} составляющие величины относительных показателей от $n = 7,5$ до $n = 1,39$, со среднеарифметическим значением 2,81. Влияние переменной изгибающей нагрузки, по отношению к постоянной изгибающей нагрузке, на длину коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин имеет аналогичное количественное значение, что и на рис.2.35.

На рис. 2.36 согласно данным табл. 2.14 с учётом средней функциональной прямой (рис.1.26), для значений $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}})$ и $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \delta_{\text{кор}})$ приводятся следующие условные обозначения и зависимости n относительного изменения $a_T^{\text{прод}}$ и $\ell_{\text{кор}}$ для соответствующих значений a_{crc} , с учётом вида действующей нагрузки:

○ – n для $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$ – экспоненциальная зависимость, показывающая уменьшение значений $n_{a_T^{\text{прод}}}$ с увеличением a_{crc} ;

△ – n для $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}} = f(a_{\text{crc}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$ – экспоненциальная зависимость, свидетельствующая об увеличении значений $n_{\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}}$ при росте a_{crc} ;

□ – n для $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ – экспоненциальная зависимость, показывающая уменьшение значений $n_{a_T^{\text{прод}}}$ с ростом a_{crc} ;

◇ – n для $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}} = f(a_{\text{crc}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ – экспоненциальная зависимость, показывающая уменьшение значений $n_{\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}}$ при увеличении a_{crc} ;

— – n для $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ – экспоненциальная зависимость, показывающая уменьшение значений $n_{a_T^{\text{прод}}}$ с ростом a_{crc} ;

+ – n для $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} = f(a_{\text{crc}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ – линейная зависимость $n_{\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}} = 1,19 + 0,7 \cdot a_{\text{crc}}$;

△ – n для $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$ – экспоненциальная зависимость, показывающая увеличение значений $n_{a_T^{\text{прод}}}$ с ростом a_{crc} ;

□ – n для $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} = f(a_{\text{crc}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$ – линейная зависимость $n_{\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}} = 1,71 - 1,4 \cdot a_{\text{crc}}$.

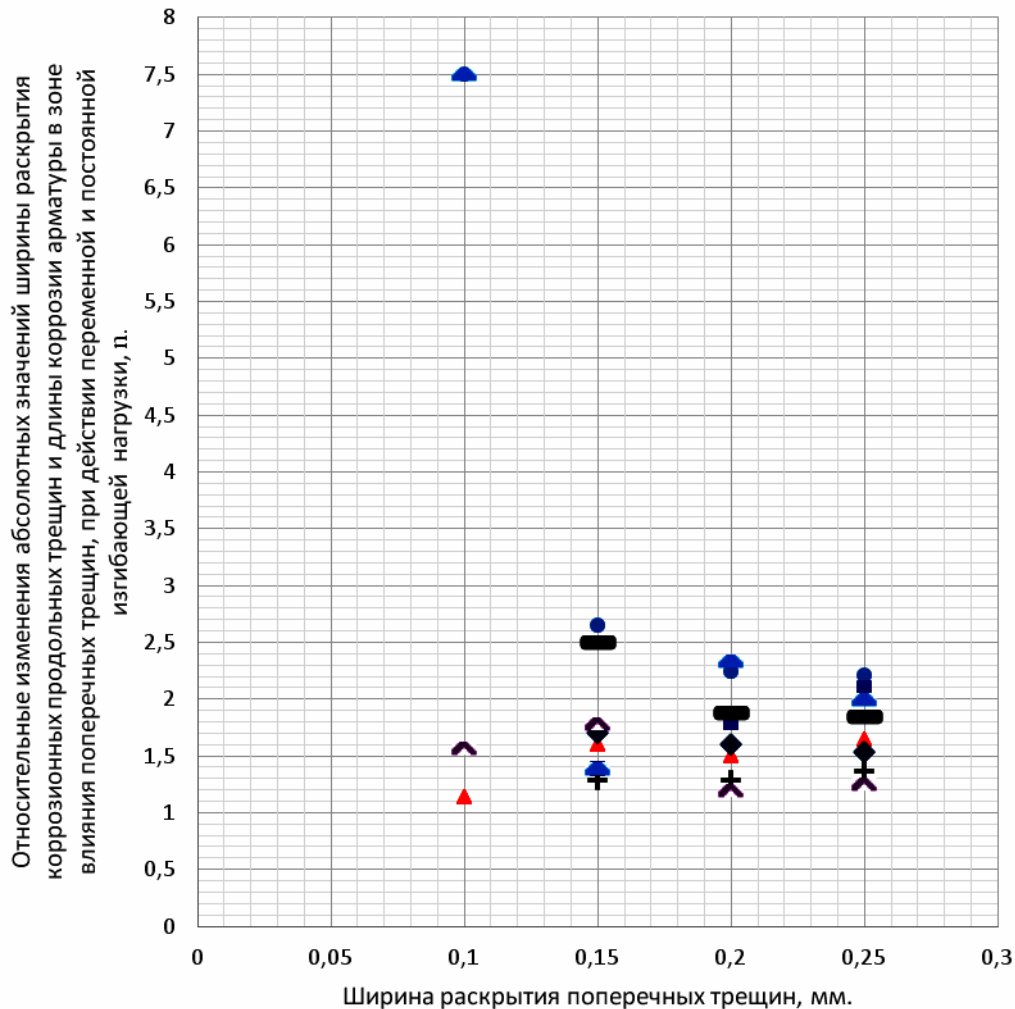


Рис. 2.36 Влияние вида нагрузки на относительное изменение $a_T^{\text{прод}}$ и $\ell_{\text{кор}}$, с учётом $\delta_{\text{кор}}$ в $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, на железобетонных опытных образцах $1500 \times 200 \times 70$ мм с арматурой диаметром 12 мм класса А-III $n = a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} / a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}}$, $n = \ell_{\text{кор}}^{\text{пер}} / \ell_{\text{кор}}^{\text{пост}}$, в зависимости от действия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки, при средней функциональной прямой (рис.1.26) согласно данным табл.2.14

Условные обозначения относительного изменения $a_T^{\text{прод}}$ и $\ell_{\text{кор}}$, с учётом рассмотрения соответствующих абсолютных значений:

окружность: $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ от $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$). Координаты точек окружности – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (0,1; 7,5), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (0,15;2,75), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (0,20;2,25), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (0,25;2).

Треугольник: $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}} = f(a_{\text{crc}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$. Координаты точек треугольника – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (0,1; 1,14), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (0,15;1,68), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (0,20;1,56), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (0,25;1,53).

Квадрат: $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ от $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$). Координаты точек квадрата – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (0,15;1,39), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (0,20;1,79), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (0,25;1,92).

Ромб: $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}} = f(a_{\text{crc}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$. Координаты точек ромба – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (0,15;1,68), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (0,20;1,56), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (0,25;1,53).

Прямоугольник: $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$. Координаты точек прямоугольника – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;2,5), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1,88), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;2,08).

Засечка: $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} = f(a_{crc}, \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$. Координаты точек засечки – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;1,29), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1,29), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1,36) – $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} = 1,19 + 0,7 \cdot a_{crc}$.

Сегмент: $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{макс}})$. Координаты точек сегмента – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;1,39), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;2,25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;2,07).

Угол: $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} = f(a_{crc}, \delta_{\text{кор}}^{\text{макс}})$. Координаты точек угла – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1,57), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;1,68), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1,29), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1,36) – $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} = 1,71 - 1,4 \cdot a_{crc}$.

На рис.2.37 согласно данным табл. 2.14 с учётом верхней функциональной прямой, принимаемой для расчёта из рис. 1.26, для значений $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \ell_{\text{кор}})$ и $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \delta_{\text{кор}})$ показаны графические значения относительного изменения $a_T^{\text{прод}}$ и $\ell_{\text{кор}}$ (n) для соответствующих величин a_{crc} , в зависимости от вида действующей нагрузки.

Результаты, представленные на рис. 2.37, демонстрируют уменьшение относительного влияния переменной изгибающей нагрузки, по отношению к постоянной изгибающей нагрузке, на ширину раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$, с увеличением абсолютных значений a_{crc} , которые составляют величины от $n = 8,8$ до $n = 2$, со среднеарифметическим значением $\bar{n} = 3,07$. Влияние переменной изгибающей нагрузки по отношению к постоянной изгибающей нагрузке на длину коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин имеет равную величину, что на рис.2.35 и 2.36.

На рис 2.37 согласно табл. 2.14 с учётом верхней функциональной прямой для значений $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \ell_{\text{кор}})$ и $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \delta_{\text{кор}})$, отмечаются следующие условные обозначения и зависимости n относительного изменения $a_T^{\text{прод}}$ и $\ell_{\text{кор}}$ для соответствующих значений a_{crc} , с учётом вида действующей нагрузки:

○ – n для $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \delta_{\text{кор}}^{\text{макс}})$ – экспоненциальная зависимость, показывающая уменьшение значений $n_{a_T^{\text{прод}}}$ с увеличением a_{crc} ;

Δ – n для $\ell_{\text{кор}}^{\text{макс}} = f(a_{crc}, \delta_{\text{кор}}^{\text{макс}})$ – экспоненциальная зависимость, свидетельствующая об увеличении значений $n_{\ell_{\text{кор}}^{\text{макс}}}$ с ростом a_{crc} ;

□ – n для $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}, \ell_{\text{кор}}^{\text{макс}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ – линейная зависимость $n_{a_T^{\text{прод}}} = 4,5 - 10 \cdot a_{crc}$;

◇ – n для $\ell_{кор}^{max} = f(a_{crc}, \delta_{кор}^{сред})$ – экспоненциальная зависимость, показывающая уменьшение значений $n_{\ell_{кор}^{max}}$ с увеличением a_{crc} ;

— – n для $a_{Т}^{прод} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{сред})$ – линейная зависимость $n_{a_{Т}^{прод}} = 4,34 - 8,9a_{crc}$;

+ – n для $\ell_{кор}^{сред} = f(a_{crc}, \delta_{кор}^{сред})$ – линейная зависимость $n_{\ell_{кор}^{сред}} = 1,19 - 0,7 \cdot a_{crc}$;

△ – n для $a_{Т}^{прод} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$ – экспоненциальная зависимость, показывающая уменьшение значений $n_{a_{Т}^{прод}}$ с ростом a_{crc} ;

∧ – n для $\ell_{кор}^{сред} = f(a_{crc}, \delta_{кор}^{max})$ – линейная зависимость $n_{\ell_{кор}^{сред}} = 0,46 + 3,6 \cdot a_{crc}$.

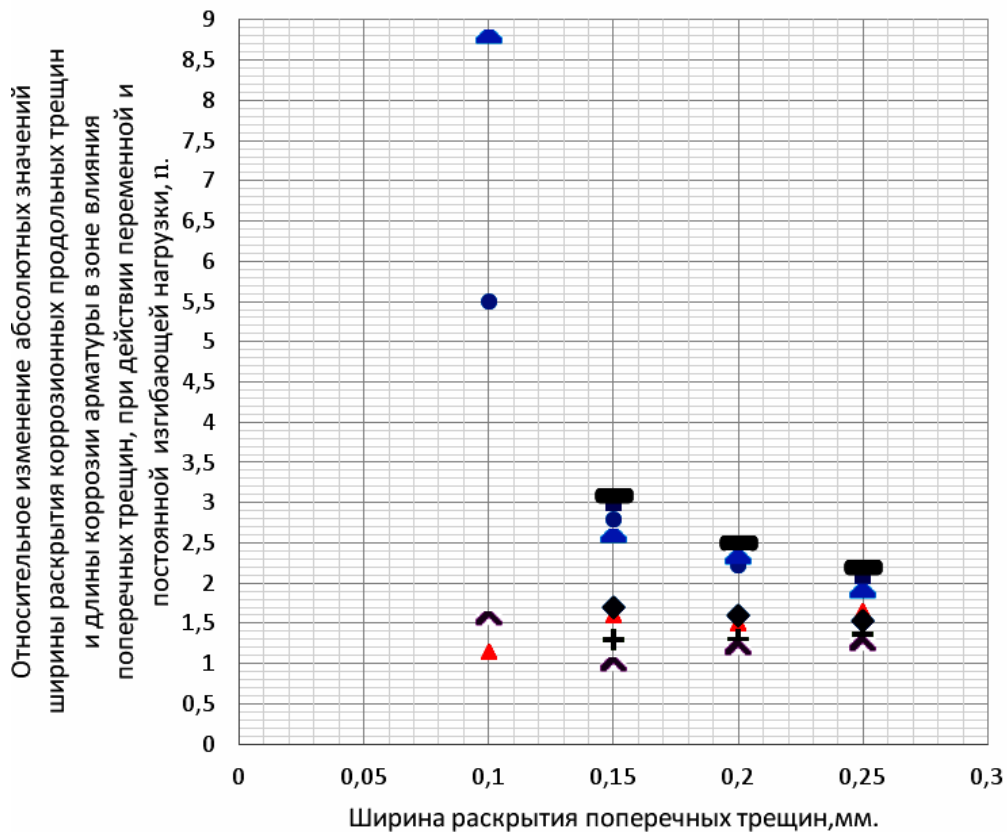


Рис. 2.37. Влияние вида нагрузки на относительное изменение $a_{Т}^{прод}$ и $\ell_{кор}$, с учётом, $\delta_{кор}$ в $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, на железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III $n = a_{Тпер}^{прод} / a_{Тпост}^{прод}$ $n = \ell_{кор}^{пер} / \ell_{кор}^{пост}$, в зависимости от действия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки, при верхней функциональной прямой (рис.1.26) согласно данным табл. 2.14

Условные обозначения относительного изменения $a_T^{\text{прод}}$ и $\ell_{\text{кор}}$, с учётом рассмотрения соответствующих абсолютных значений:

Окружность: $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$. Координаты точек окружности – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (0,1; 5,5), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (0,15;2,79), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (0,20;2,22), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (0,25;2).

Треугольник: $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}} = f(a_{\text{crc}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$. Координаты точек треугольника – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (0,1; 1,14), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (0,15;1,68), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (0,20;1,56), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (0,25;1,53).

Квадрат: $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$. Координаты точек квадрата – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (0,15;3), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (0,20;2,31), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (0,25;2) - $n_{a_T} = 4,5 - 10 \cdot a_{\text{crc}}$.

Ромб: $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}} = f(a_{\text{crc}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$. Координаты точек ромба – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (0,15;1,68), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (0,20;1,56), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (0,25;1,53).

Прямоугольник: $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$. Координаты точек прямоугольника – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (0,15;3), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (0,20;2,31), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (0,25;2,11) - $n_{a_T} = 4,34 - 8,9 \cdot a_{\text{crc}}$.

Засечка: $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} = f(a_{\text{crc}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$. Координаты точек засечки – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (0,15;1,29), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (0,20;1,29), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (0,25;1,36) - $n_{\ell_{\text{кор}}} = 1,19 + 0,7 \cdot a_{\text{crc}}$.

Сегмент: $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$. Координаты точек сегмента – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (0,1; 8,8), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (0,15;2,75), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (0,20;2,22), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (0,25).

Угол: $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} = f(a_{\text{crc}}, \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$. Координаты точек угла – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (0,10;1,57), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (0,15;1), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (0,20;1,29), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (0,25;1,36) - $n_{\ell_{\text{кор}}} = 0,46 + 3,6 \cdot a_{\text{crc}}$.

2.1.3. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали

На рис. 2.38 согласно данным рис. 2.3 показано графическое изображение максимальной длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{\text{crc}} = 0,05 \div 0,25$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии, при 2,25-кратном увеличении их толщины.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в бетоне в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры с максимальной глубиной коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рис.1.26 и 2.38, отмечена на рис. 2.39–2.41.

В сводной табл. 2.15 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и от максимальной длины коррозии арматуры, при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.42 и 2.43), при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.



Рис. 2.38. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III ($l_{кор}^{max}$) в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозионного поражения арматуры ($\delta_{п.к}^{max}$) в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 2,25 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки
Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (203;6), $a_{crc} = 0,10$ мм (720; 16), $a_{crc} = 0,15$ мм (968; 32), $a_{crc} = 0,20$ мм (125;39), $a_{crc} = 0,25$ мм (1260;55); треугольник – максимальная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (203;6), $a_{crc} = 0,10$ мм (270; 14), $a_{crc} = 0,15$ мм (495; 19), $a_{crc} = 0,20$ мм (630;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (743;36).

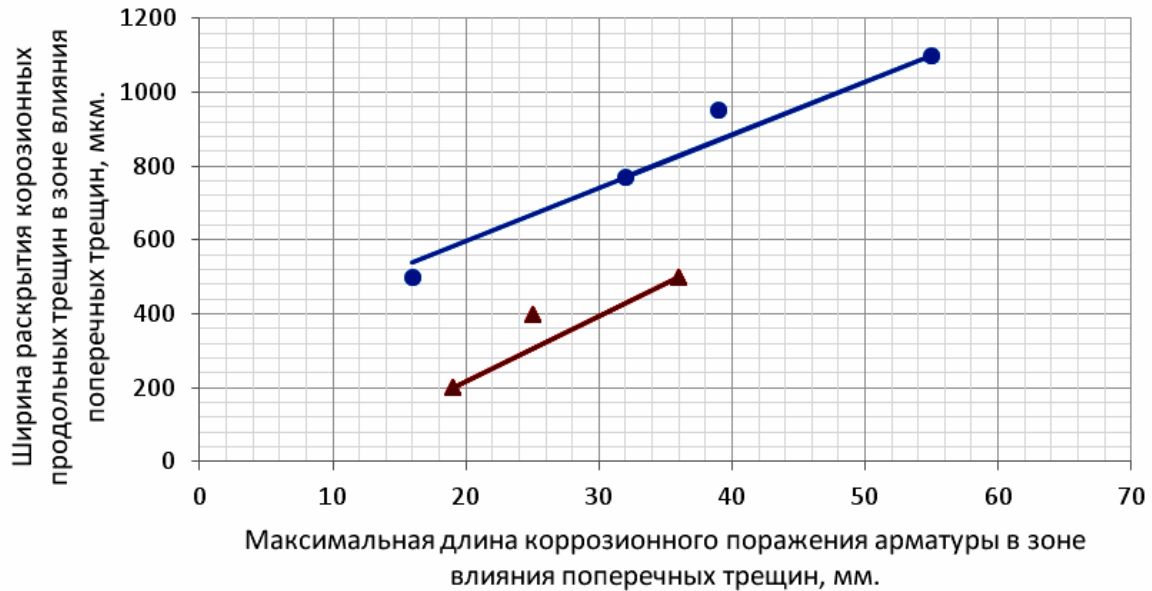


Рис. 2.39. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры ($\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$) в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом

максимальной глубины коррозионного поражения $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры, по сравнению с арматурной сталью, при нижней функциональной прямой (рис. 1.26), с учётом воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка с соответствующими координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (16;500), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (32;770), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (39;950), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (55;1100); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка с соответствующими координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (19;200), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (25;400), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (36;500).

Уравнения регрессии: окружность: $a_T^{\text{прод}} = 311 + 1,43 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; треугольник: $a_T^{\text{прод}} = 17,65 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 135$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

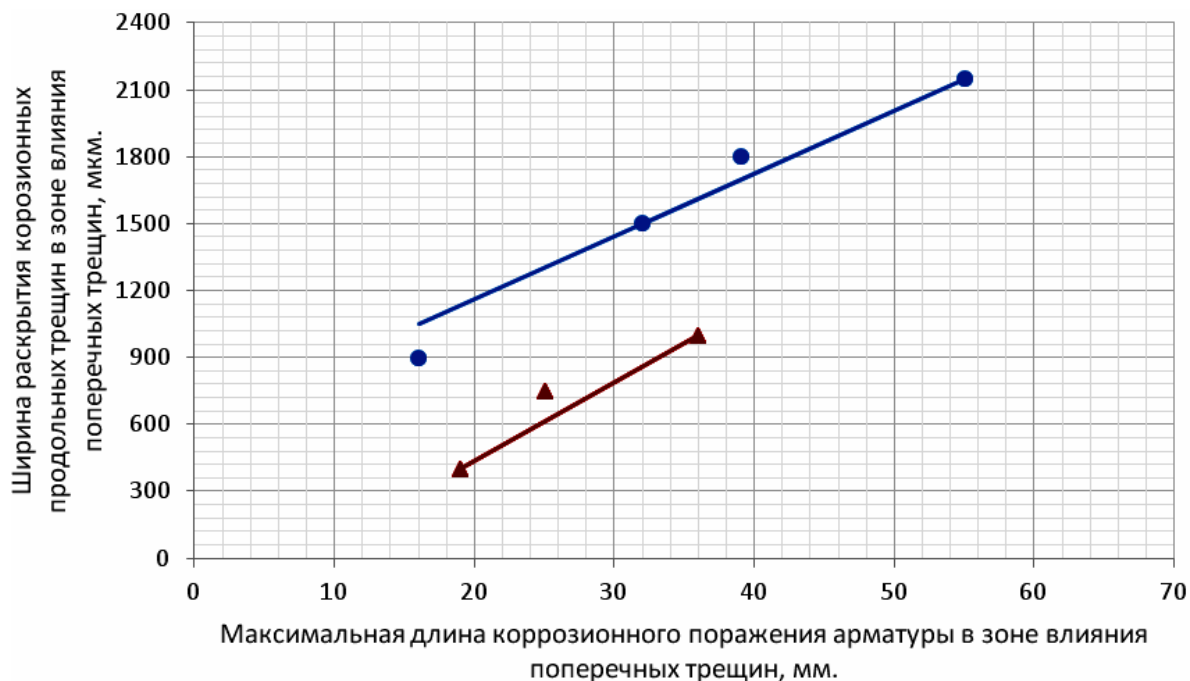


Рис. 2.40. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм и классом А-III, в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры ($\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$) в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры, по сравнению с арматурной сталью, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), с учётом воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (16;900), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (32;1500), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (39;1800), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (55;2150); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (19;400), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (25;700), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (36;1000).

Уравнения регрессии: окружность: $a_T^{\text{прод}} = 596 + 28,26 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; треугольник: $a_T^{\text{прод}} = 35,29 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 271$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

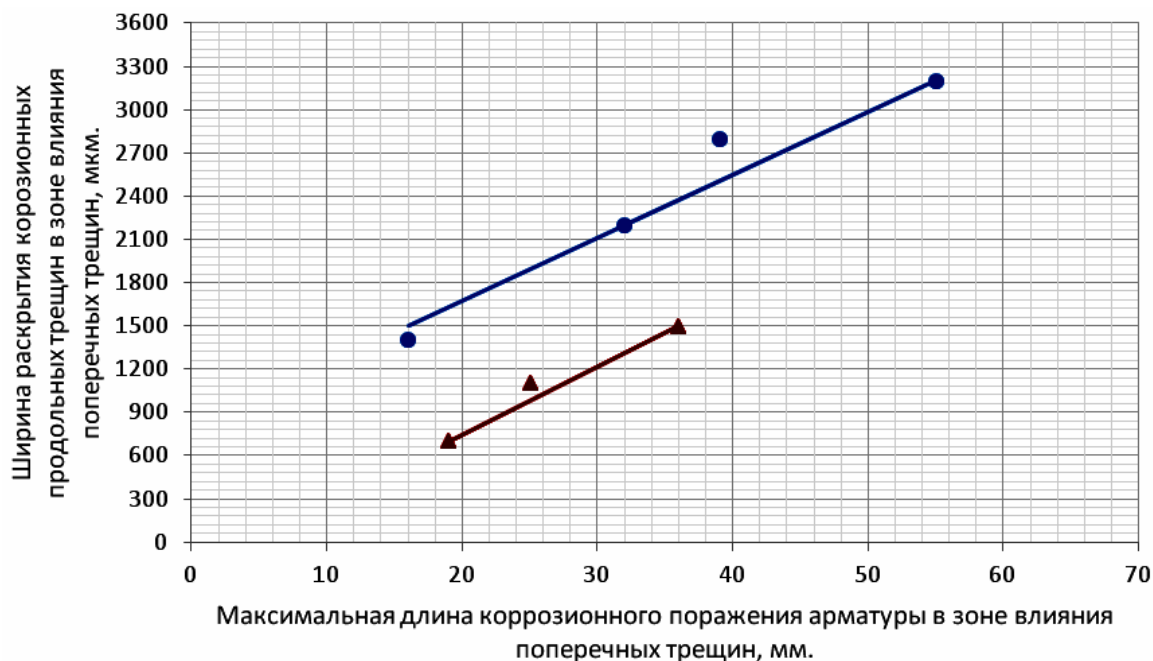


Рис. 2.41. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм и классом А-III, в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры ($\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$) в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры, по сравнению с арматурной сталью, при верхней функциональной прямой (рис. 1.26), с учётом воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (16;1400), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (32;2200), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (39;2800), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (55;3200); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (19;700), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (25;1100), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (36;1500).

Уравнения регрессии: окружность: $a_T^{\text{прод}} = 809 + 43,48 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; треугольник: $a_T^{\text{прод}} = 47,06 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 194$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

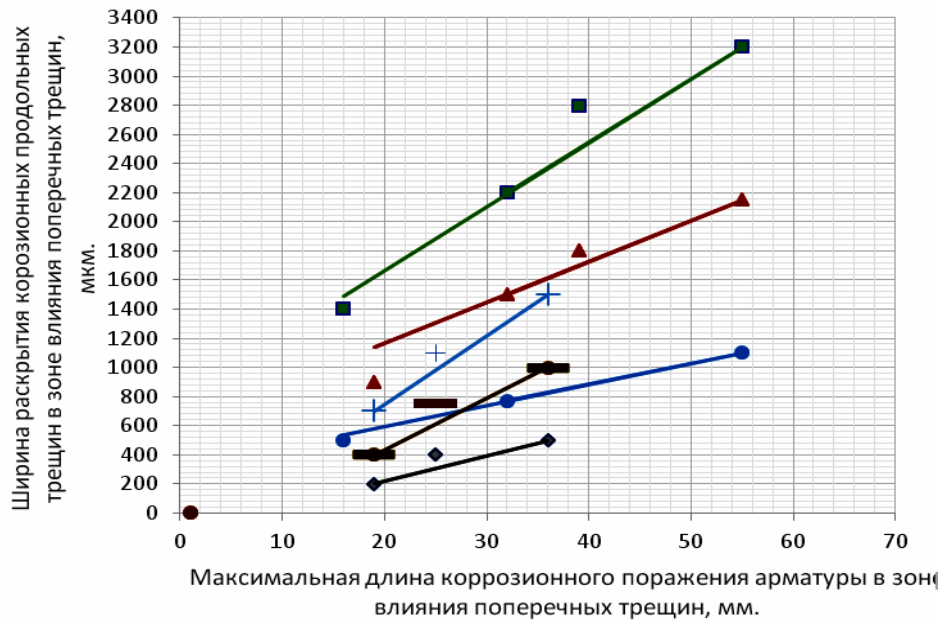


Рис. 2.42. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры с диаметром 12 мм класса А-III в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, треугольник и квадраты, а также ромбы, прямоугольники и засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает снизу вверх по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии:

Окружность – переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (16;500); $a_{crc} = 0,15$ мм (32;770); $a_{crc} = 0,20$ мм (39;950); $a_{crc} = 0,25$ мм (55;1100) – $a_T^{\text{прод}} = 311 + 14,3 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$.

Треугольник, переменная нагрузка средняя функциональная прямая: $a_{crc} = 0,10$ мм (16;900) $a_{crc} = 0,15$ мм (32;1500); $a_{crc} = 0,20$ мм (39;1800); $a_{crc} = 0,25$ мм (55;2150) – $a_T^{\text{прод}} = 596 + 28,06 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$.

Квадрат, переменная нагрузка верхняя функциональная прямая: $a_{crc} = 0,10$ мм (16;1400) $a_{crc} = 0,15$ мм (32;2200); $a_{crc} = 0,20$ мм (39;2800); $a_{crc} = 0,25$ мм (55;3200) – $a_T^{\text{прод}} = 809 + 43,48 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (19;200), $a_{crc} = 0,20$ мм (35;400); $a_{crc} = 0,25$ мм (36;500) – $a_T^{\text{прод}} = 17,65 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 135$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (19;400), $a_{crc} = 0,20$ мм (25;750); ($a_{crc} = 0,25$ мм 36;100) – $a_T^{\text{прод}} = 35,29 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 271$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0$, (19;700), 15 мм $a_{crc} = 0,20$ мм (25;1100); $a_{crc} = 0,25$ мм (36;1500) – $a_T^{\text{прод}} = 47,06 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 194$.

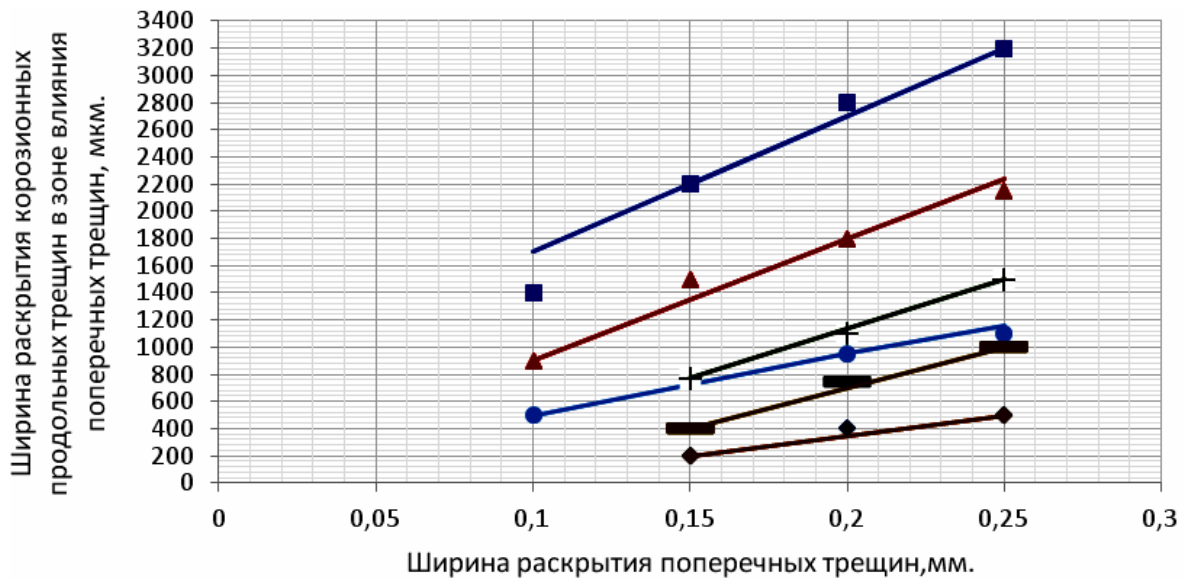


Рис. 2.43. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм и арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{\text{max}}$

от $\delta_{кор}^{\text{max}}$ при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки
 Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 500; 16), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 770; 32), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 950; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 1100; 55) – $a_T^{\text{прод}} = 50 + 4500 \cdot a_{crc}$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 900; 16), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 1500; 32), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20; 1800; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 2150; 55) – $a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{crc}$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 1400; 16), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 2200; 32), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20; 2800; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 3200; 55) – $a_T^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot a_{crc}$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 200; 19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 400; 25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 500; 36) – $a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{crc} - 250$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 400; 19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 750; 25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 1000; 36) – $a_T^{\text{прод}} = 6000 \cdot a_{crc} - 500$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 770; 19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1000; 25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 1500; 36) – $a_T^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$. Третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{\text{max}}$ в мм.

Т а б л и ц а 2.15

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{прод} = f(a_{crc}) / a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{max})$, при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{max})$.
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
Нижняя	Переменная	-	500(16)	725(32)	950(39)	1175(55)	$a_T^{прод} = 50 + 4500 \cdot a_{crc}$
		-	500(16)	770(32)	950(39)	1100(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 311 + 14,3 \cdot \ell_{кор}^{max}$
	Постоянная	-	-	200(19)	350(26)	500(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 250$
		-	-	200(19)	400(25)	500(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 17,65 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 135$
Средняя	Переменная	-	900(16)	1350(32)	1800(39)	2250(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 9000 \cdot a_{crc}$
		-	900(16)	1500(32)	1800(39)	2250(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 596 + 28,26 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$
	Постоянная	-	-	400(19)	700(25)	1000(28)	$a_{Тпост}^{прод} = 6000 \cdot a_{crc} - 500$
		-	-	400(19)	750(25)	1000(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 35,29 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 271$
Верхняя	Переменная	-	1700(16)	2200(32)	2700(39)	3200(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 700 + 10000 \cdot a_{crc}$
		-	1400(16)	2200(32)	2800(39)	3200(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 809 + 43,48 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$
	Постоянная	-	-	700(19)	1100(25)	1500(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$
		-	-	700(19)	1100(25)	1500(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 47,06 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 194$

Примечание. $a_T^{прод}$ в мкм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{max}$ в мм; a_{crc} в мм.

На рис. 2.44 согласно данным рис. 2.11 приведено графическое изображение максимальной длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматурной стали, при 2,25-кратном увеличении их толщины.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины корро-

зионного поражения арматуры со средней глубиной коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.44 рассмотрена на рис. 2.45–2.47.

В сводной табл. 2.16 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.48 и 2.49), при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

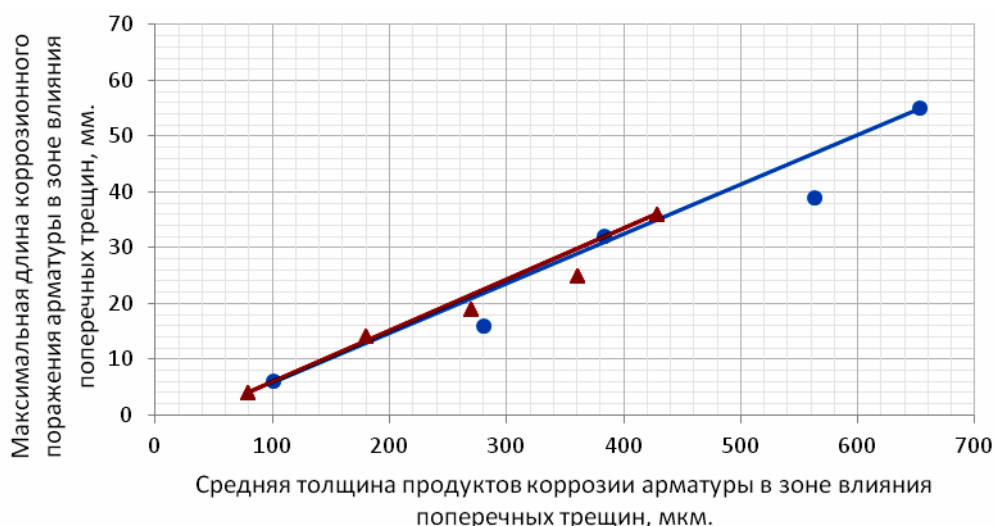


Рис. 2.44. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III в зоне влияния поперечных трещин ($\ell_{кор}^{max}$) на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозионного поражения арматуры ($\delta_{п.к}^{сред}$), при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 2,25 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (101;6), $a_{crc} = 0,10$ мм (281;16), $a_{crc} = 0,15$ мм (383;32), $a_{crc} = 0,20$ мм (563;39), $a_{crc} = 0,25$ мм (653;55); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (79;4), $a_{crc} = 0,10$ мм (180;14), $a_{crc} = 0,15$ мм (270;19), $a_{crc} = 0,20$ мм (360;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (428;36).

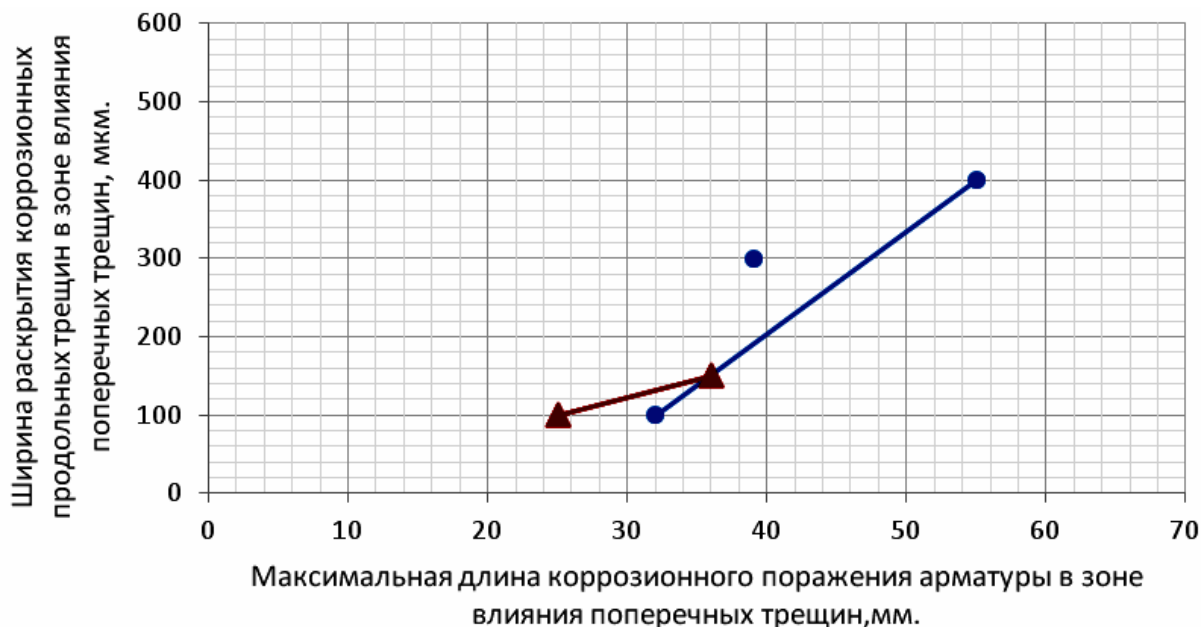


Рис.2.45. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{\text{сред}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,15$ мм (32;100), $a_{crc} = 0,20$ мм (39;306), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;400); треугольники – $a_{crc} = 0,20$ мм (25;100), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;150).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 13,04 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 4,55 \cdot \ell_{кор.пост}^{\text{max}} - 14$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

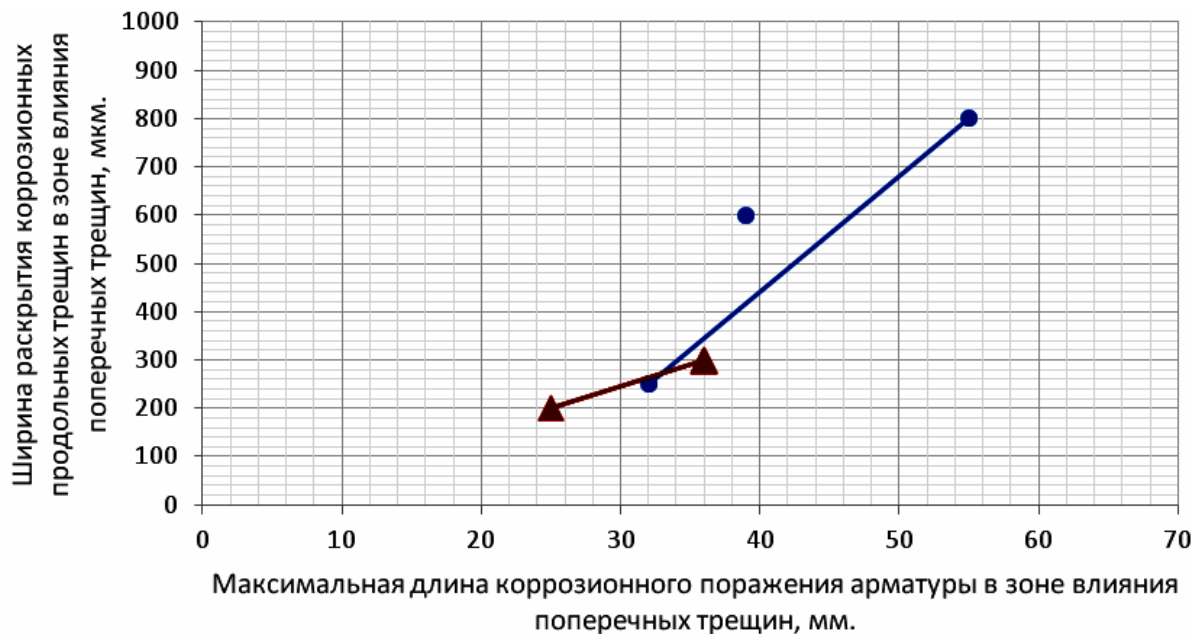


Рис.2.46. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм и классом А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{\text{сред}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,15$ мм (32;250), $a_{crc} = 0,20$ мм (39;600), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;800); треугольники – $a_{crc} = 0,20$ мм (25;200), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;300).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 23,91 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{max}} - 515$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 9,9 \cdot \ell_{кор.пост}^{\text{max}} - 27$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

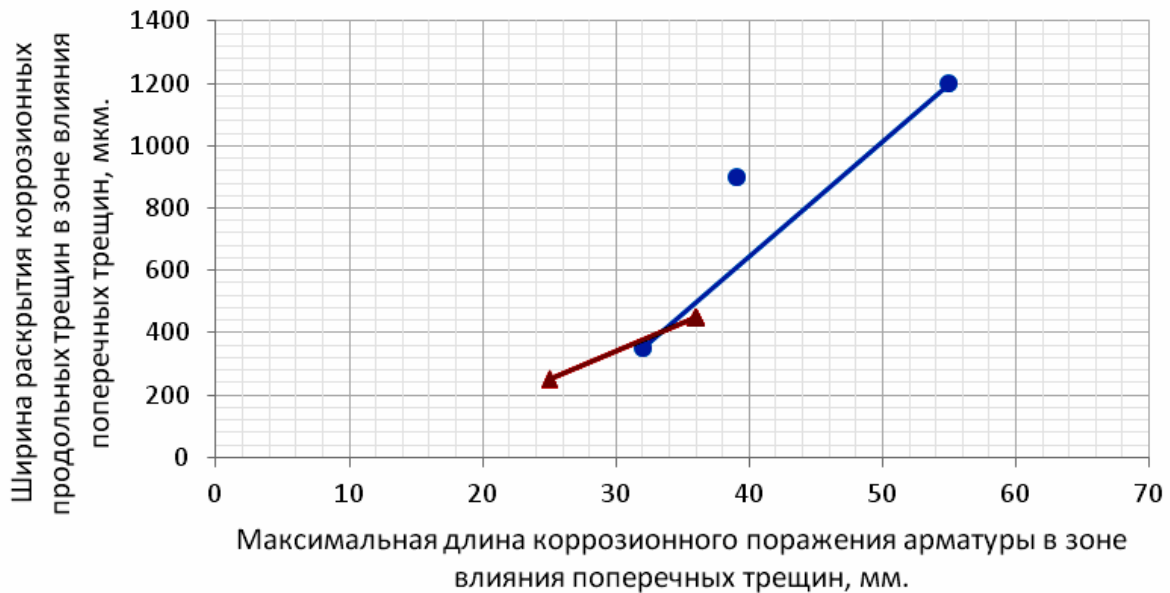


Рис.2.47. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм и классом А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{\text{сред}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,15$ мм (32;350), $a_{crc} = 0,20$ мм (39;900), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;1200); треугольники – $a_{crc} = 0,20$ мм (25;250), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;450).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 37,0 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{max}} - 833$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 18,18 \cdot \ell_{кор.пост}^{\text{max}} - 205$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

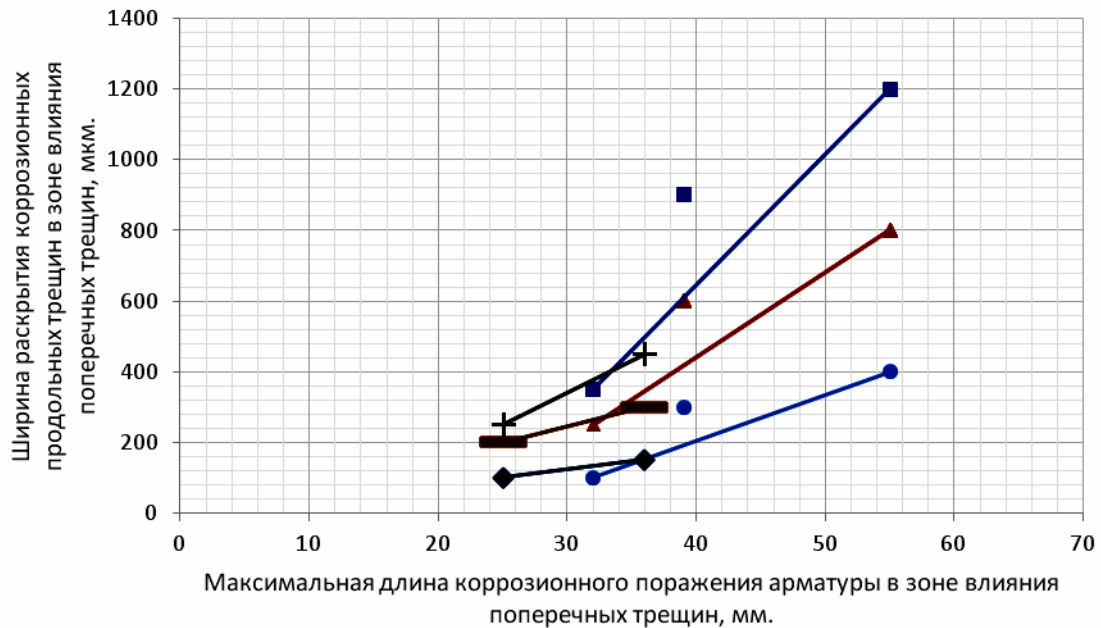


Рис. 2.48. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рис. 2.45–2.47, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности, треугольники и квадраты, а также ромбы, прямоугольники и засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает снизу вверх по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (32;100), $a_{crc} = 0,2$ мм (39;300), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;400) – $a_T^{прод} = 13,04 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 31$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (32;250), $a_{crc} = 0,2$ мм (39;600), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;800) – $a_T^{прод} = 23,91 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 515$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (32;350), $a_{crc} = 0,2$ мм (39;900), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;1200) – $a_T^{прод} = 37,0 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 83$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (25;100), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;150) – $a_T^{прод} = 4,55 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 14$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (25;200), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;300) – $a_T^{прод} = 9,09 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 27$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (25;250), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;450) – $a_T^{прод} = 18,18 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 205$. В координатах условных обозначений первое значение – $\ell_{кор}^{max}$ с учётом $\delta_{кор}^{сред}$.

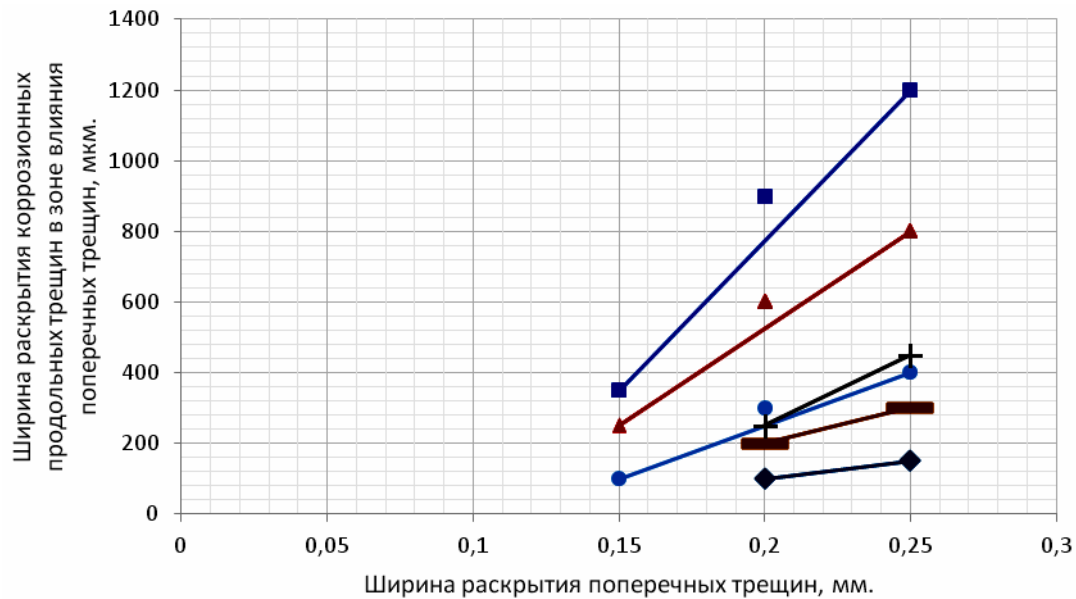


Рис. 2.49. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{\text{max}}$ от $\delta_{кор}^{\text{сред}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;100;32), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;300; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 400;55) – $a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{crc} - 350$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;250;32), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;600;39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;800;55) – $a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{crc} - 575$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;350;32), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;900;39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1200;55) – $a_T^{\text{прод}} = 8500 \cdot a_{crc} - 925$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;100;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;300;36) – $a_T^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;200;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;300; 36) – $a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – 1200;19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;250;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;450;36) – $a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{crc} - 550$.

Третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{\text{max}}$, с учётом $\delta_{кор}^{\text{сред}}$, в мм.

Т а б л и ц а 2.16

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$, при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$.
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
Нижняя	Переменная	-	-	100	250	400	$a_{Tпер}^{prod} = 3000 \cdot a_{crc} - 350$
		-	-	100(32)	300(39)	400(55)	$a_{Tпер}^{prod} = 13,04 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 317$
	Постоянная	-	-	-	-	100(32)	$a_{Tпост}^{prod} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$
		-	-	-	-	100(32)	$a_{Tпост}^{prod} = 4,55 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 14$
Средняя	Переменная	-	-	250(3)	525	800	$a_T^{prod} = 5500 \cdot a_{crc} - 575$
		-	-	250(32)	600(39)	800(55)	$a_{Tпост}^{prod} = 23,91 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 515$
	Постоянная	-	-	-	-	300(36)	$a_{Tпост}^{prod} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$
		-	-	-	-	300(36)	$a_{Tпост}^{prod} = 9,09 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 27$
Верхняя	Переменная	-	-	350(32)	775(39)	1200(55)	$a_{Tпер}^{prod} = 8500 \cdot a_{crc} - 925$
		-	-	350(32)	900(39)	1200(55)	$a_{Tпер}^{prod} = 37,0 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 833$
	Постоянная	-	-	-	-	450(36)	$a_{Tпост}^{prod} = 4000 \cdot a_{crc} - 500$
		-	-	-	-	450(36)	$a_{Tпост}^{prod} = 18,18 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 205$

Примечание. a_T^{prod} в мкм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{max}$ в мм; a_{crc} в мм.

На рис. 2.50 согласно данным рис. 2.20 показано графическое изображение средней длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при 2,25-кратном увеличении их толщины.

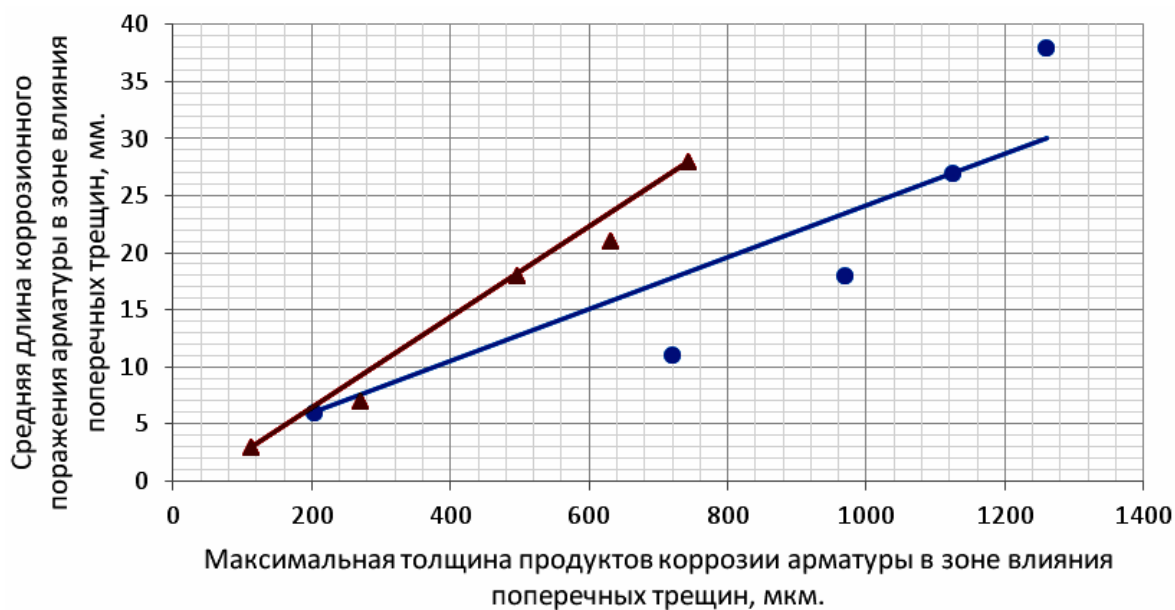


Рис. 2.50. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III в зоне влияния поперечных трещин ($\ell_{кор}^{сред}$) на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозионного поражения арматуры ($\delta_{п.к}^{max}$), при 2,25-кратном увеличении их толщины, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (203;6), $a_{crc} = 0,10$ мм (720;16), $a_{crc} = 0,15$ мм (968;18), $a_{crc} = 0,20$ мм (1125;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (1260;38); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (113;13), $a_{crc} = 0,10$ мм (720;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (968;18), $a_{crc} = 0,20$ мм (1125;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (1260;38).

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры с максимальной глубиной коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.50 показаны на рис. 2.51–2.53.

В сводной табл. 2.17 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от средней длины коррозии арматуры, при

максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.54 и 2.55), при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

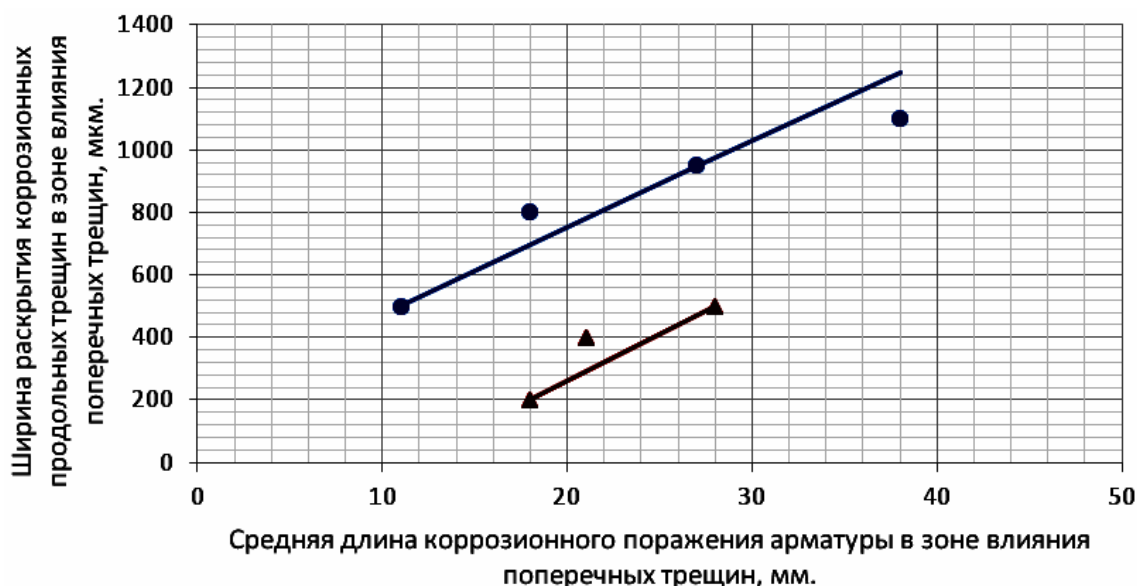


Рис.2.51. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{\text{max}}$, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 2,25 раза, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (11;500), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;800), $a_{crc} = 0,20$ мм (27;950), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;1100); треугольники – $a_{crc} = 0,15$ мм (18;200); $a_{crc} = 0,20$ мм (21;400), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;500).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 191 + 28,13 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 30 \cdot \ell_{кор.пост}^{\text{сред}} - 340$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

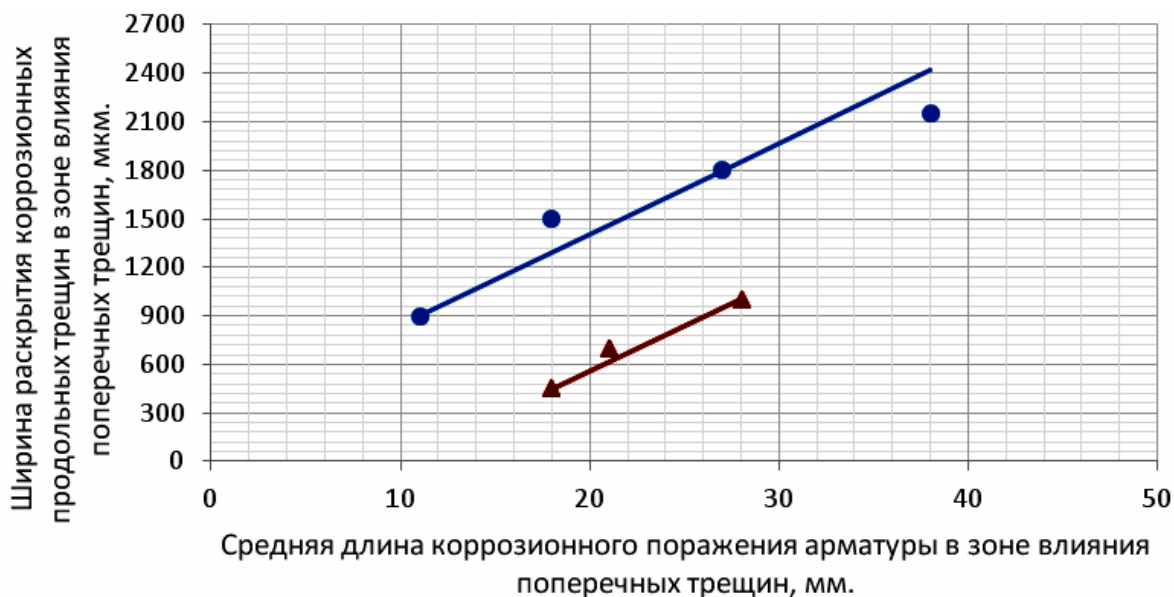


Рис.2.52. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{3.c.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{\text{max}}$, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 2,25 раза, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (11;900), $a_{crc} = 0,15$ мм (18;1500), $a_{crc} = 0,20$ мм (27;1800), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;2150); треугольники – $a_{crc} = 0,15$ мм (18;450), $a_{crc} = 0,20$ мм (21;700), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;1000).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 1281 + 56,25 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 55 \cdot \ell_{кор.пост}^{\text{сред}} - 540$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

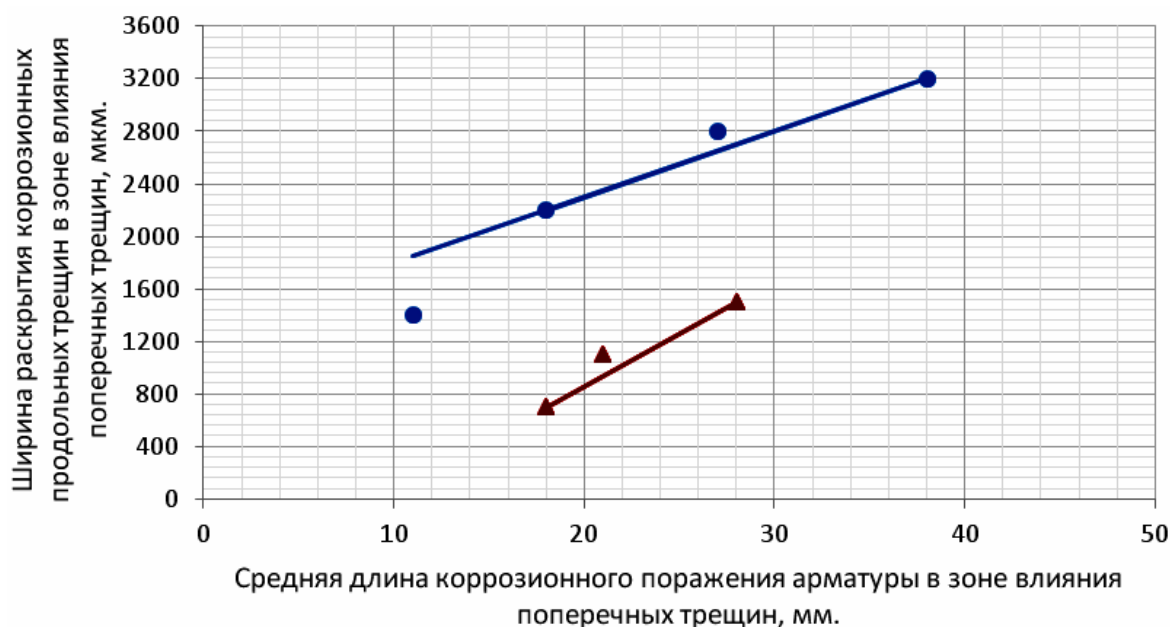


Рис.2.53. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 2,25 раза, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (11;1400), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;2200), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27;2800), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;3200); треугольники – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;700), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (21;1100), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (28;1500).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 1300 + 150 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 80 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 740$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

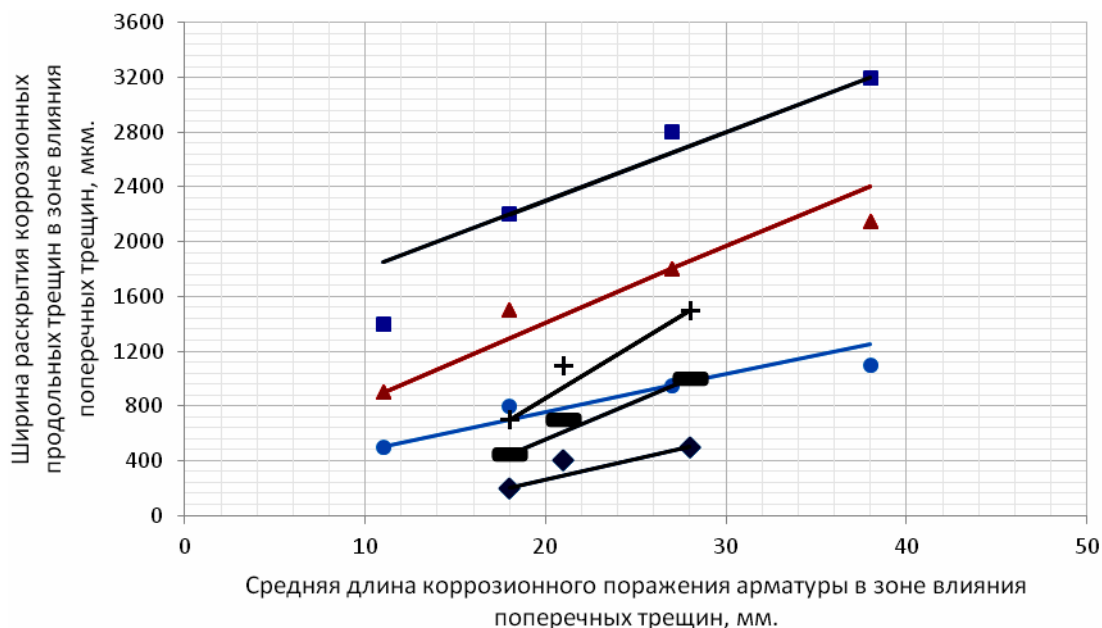


Рис. 2.54. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,05 \div 0,25$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 2.51–2.53 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности, треугольники и квадраты, а также ромбы, прямоугольники и засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает снизу вверх по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (11;500), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;800), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (27;950), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;1100) – $a_T^{\text{прод}} = 191 + 28,13 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (11;900), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;1500), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (27;1800), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;2150) – $a_T^{\text{прод}} = 281 + 56,25 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (11;1400), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;2200), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (27;2800), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;3200) – $a_T^{\text{прод}} = 1300 + 50 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;200), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (21;400), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (28;500) – $a_T^{\text{прод}} = 30 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 340$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;450), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (21;700), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (28;1000) – $a_T^{\text{прод}} = 55 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 540$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (18;700), $a_{crc} = 0,20$ мм (21;1100), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;1500) – $a_T^{prod} = 47,06 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 194$.
 Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

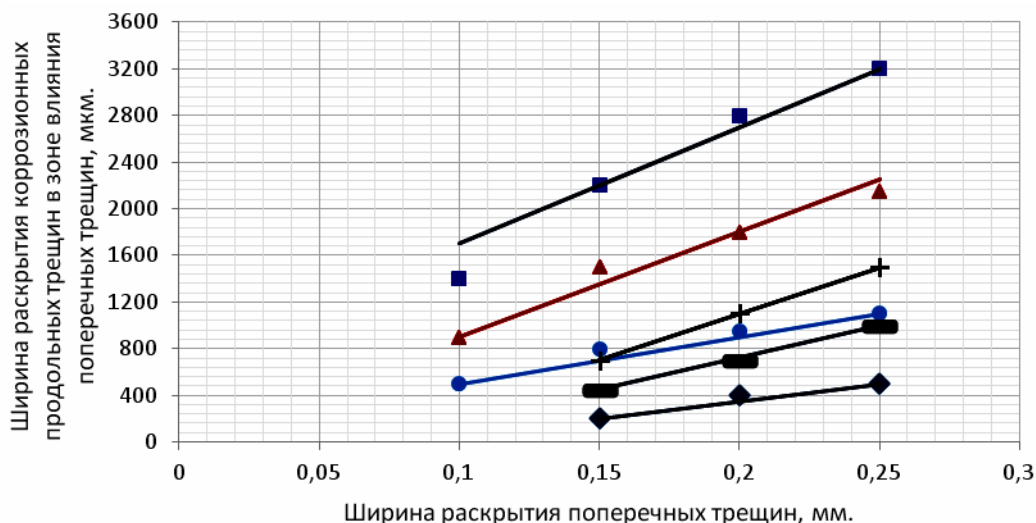


Рис. 2.55. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм и классом А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 500; 11), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 800; 18), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1100; 27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 1100; 38) – $a_T^{prod} = 100 + 4000 \cdot a_{crc}$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 900; 11), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 1500; 18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20; 2800; 27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 2150; 38) – $a_T^{prod} = 9000 \cdot a_{crc}$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 1400; 11), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 2200; 18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20; 2800; 27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 3200; 38) – $a_T^{prod} = 700 + 10000 \cdot a_{crc}$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 200; 18), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 400; 21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 500; 28) – $a_T^{prod} = 3000 \cdot a_{crc} - 250$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 450; 18), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 700; 21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 1000; 28) – $a_T^{prod} = 5500 \cdot a_{crc} - 375$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 700; 18), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1100; 21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 1500; 28) – $a_T^{prod} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$. Третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{сред}$ в мм, с учётом $\delta_{кор}^{max}$.

Таблица 2.17

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона в железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм с $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{прод} = f(a_{crc}) / a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$, при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$.
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
Нижняя	Переменная	300(6)	500	700	900	1100	$a_{Тпер}^{прод} = 100 + 4000 \cdot a_{crc}$
		-	500(11)	800(18)	950(27)	1100(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 191 + 28,13 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	-	50(7)	200	350	500	$a_{Тпост}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 250$
		-	-	200(18)	400(21)	500(38)	$a_{Тпост}^{прод} = 30 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 340$
Средняя	Переменная	450	900	1350	1800	2250	$a_{Тпер}^{прод} = 9000 \cdot a_{crc}$
		-	900(11)	1500(18)	1800(27)	2150(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 281 + 56,25 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	-	175	450	725	1000	$a_{Тпост}^{прод} = 5500 \cdot a_{crc} - 375$
		-	-	450(16)	700(21)	1000(38)	$a_{Тпост}^{прод} = 55 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 540$
Верхняя	Переменная	1200	1700	2200	2700	3200	$a_{Тпер}^{прод} = 700 + 10000 \cdot a_{crc}$
		-	1400(11)	2200(18)	2800(27)	1500	$a_{Тпер}^{прод} = 1300 + 50 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	-	300(7)	700	1100	1500(28)	$a_{Тпост}^{прод} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$
		-	-	700(18)	1100(21)	450(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 47,06 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 194$

Примечание. $a_T^{прод}$ в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{сред}$ в мм, учёт $\delta_{кор}^{max}$.

На рис. 2.56 согласно данным рис. 2.28 показано графическое изображение и уравнения регрессии средней длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, при 2,25-кратном увеличении их толщины.

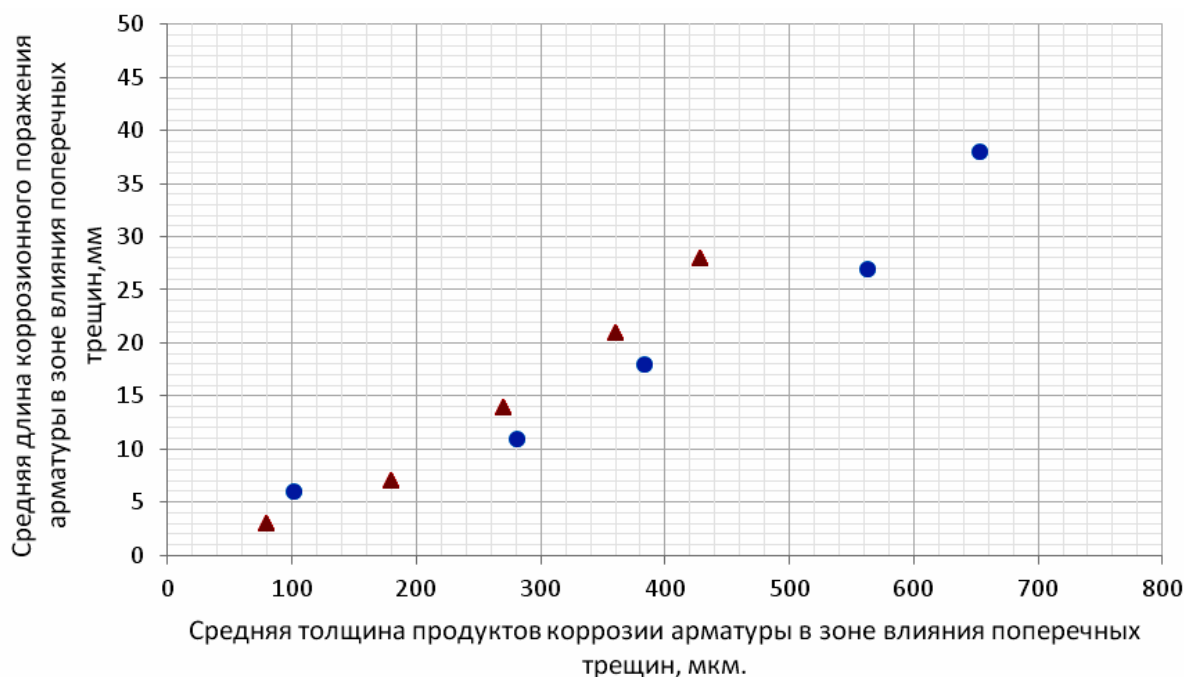


Рис. 2.56. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозионного поражения арматуры $\delta_{п.к}^{сред}$, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,15$ (18;100), $a_{crc} = 0,20$ мм (27;300), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;400); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (21;100), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;200).

Уравнения регрессии: окружность $a_T^{прод} = 15 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 170$; треугольник – $a_T^{прод} = 14,29 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 200$.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры со средней глубиной коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.50 отмечена на рисунках 2.57–2.59.

В сводной табл. 2.18 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от средней длины коррозии арматуры, при средней

глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.60 и 2.61) при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

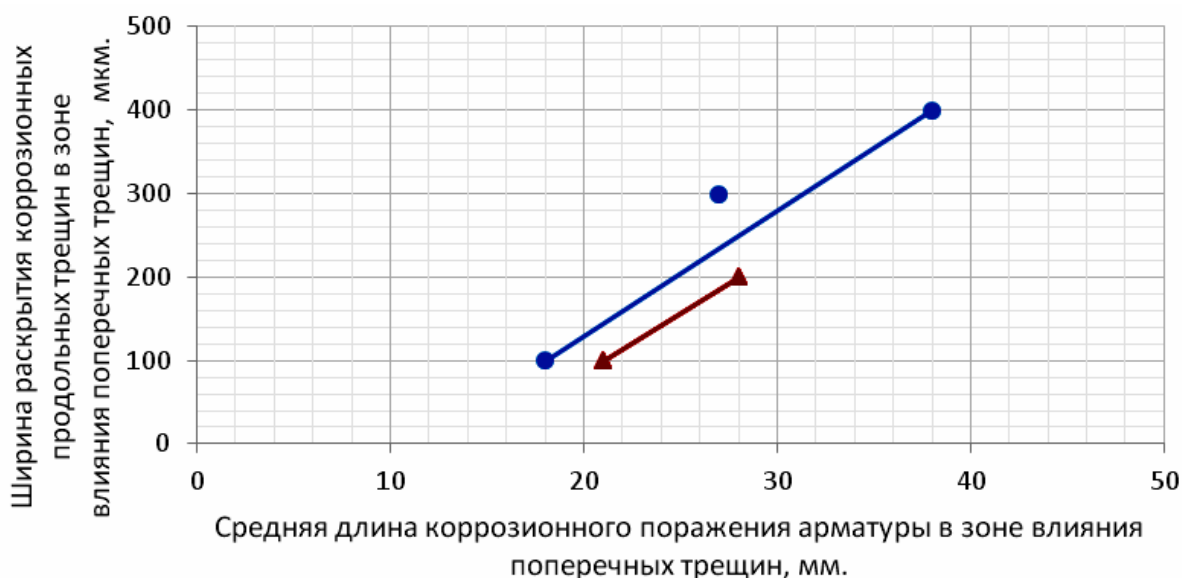


Рис. 2.57. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин арматуры диаметром 12 мм класса А-III $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки
Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (11;750), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;1100), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27;1400), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;1550); треугольники – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (7;100), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;400), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (21;600), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (28;800).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 695 + 22,5 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 33,33 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 133$. В уравнениях регрессии $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

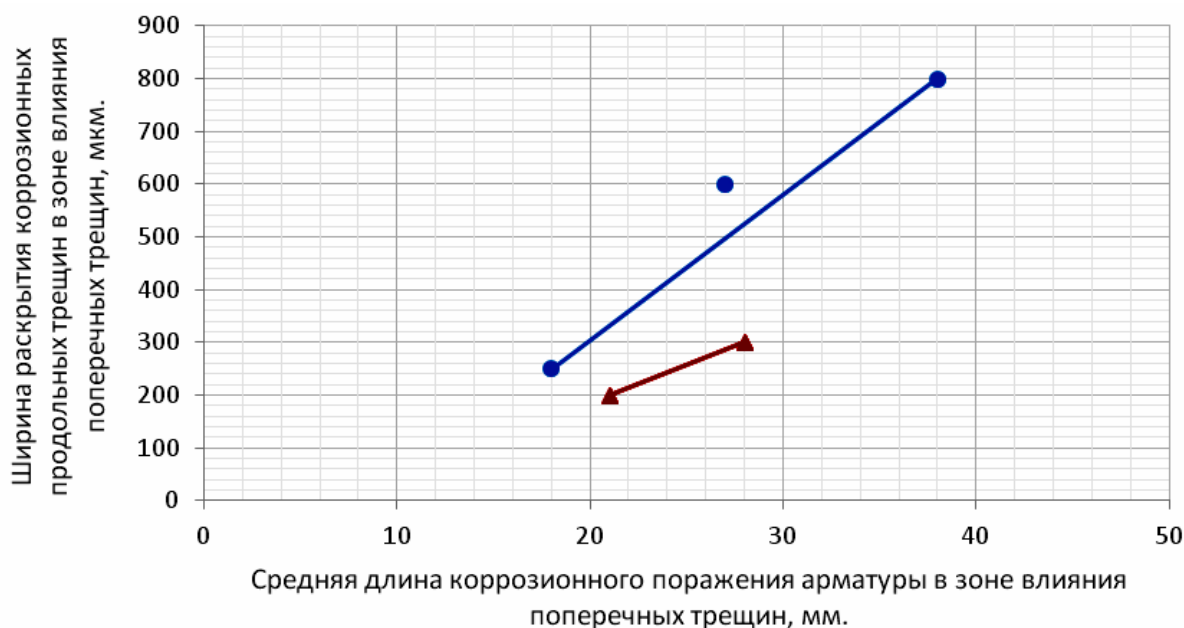


Рис. 2.58. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{срс} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{\text{сред}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{срс} = 0,15$ мм (18;250), $a_{срс} = 0,20$ мм (27;600), $a_{срс} = 0,25$ мм (38;800); треугольники – $a_{срс} = 0,20$ мм (21;200), $a_{срс} = 0,25$ мм (28;300).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 27,5 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{сред}} - 245$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 14,29 \cdot \ell_{кор.пост}^{\text{сред}} - 100$. В уравнениях регрессии $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в мм. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.



Рис. 2.59. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, при верхней функциональной прямой (рис. 1.26), при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;300), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27;900), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;1200); треугольники – $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (21;250), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (28;450).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 45 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 510$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 28,57 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 350$. В уравнениях регрессии $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

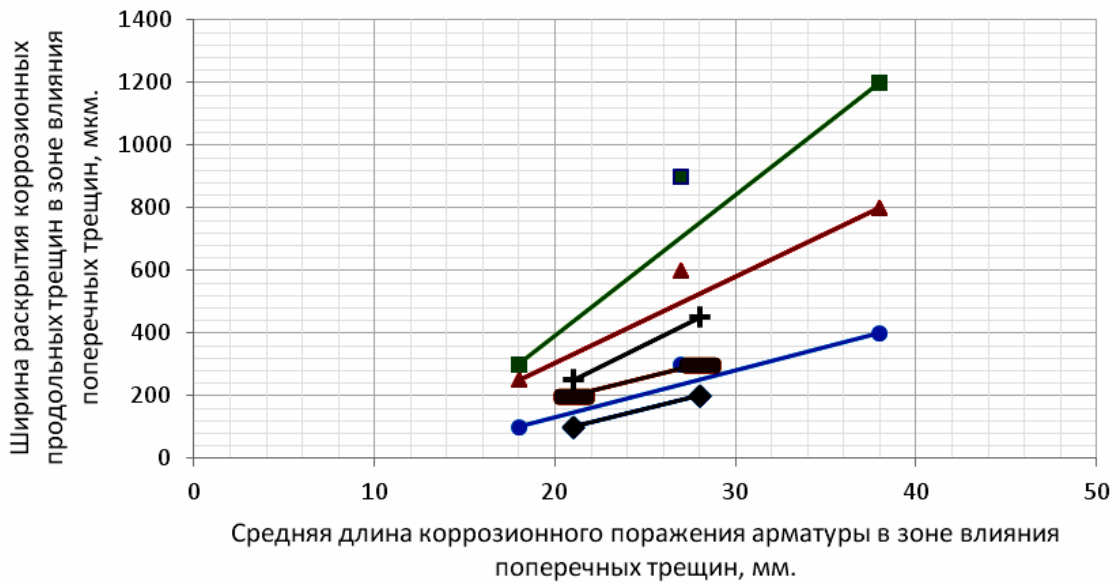


Рис. 2.60. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рис. 2.57–2.59, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности, треугольники и квадраты, а также ромбы, прямоугольники и засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает снизу вверх по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (18;100), $a_{crc} = 0,2$ мм (27;300), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;400) – $a_T^{прод} = 15 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 170$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (18;250), $a_{crc} = 0,2$ мм (27;600), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;800) – $a_T^{прод} = 27,5 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 245$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (18;300), $a_{crc} = 0,2$ мм (27;900), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;1200) – $a_T^{прод} = 45 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 510$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (21;100), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;200) – $a_T^{прод} = 14,29 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 200$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (21;200), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;300) – $a_T^{прод} = 14,29 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 100$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (21;250), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;450) – $a_T^{прод} = 28,57 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 350$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

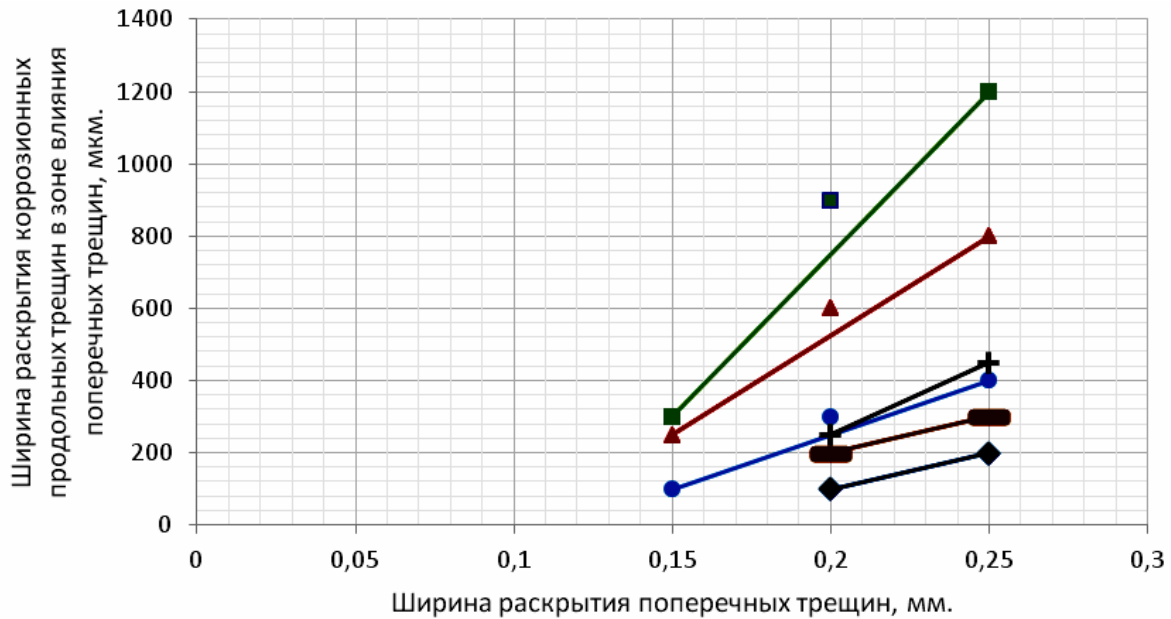


Рис.2.61. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $l_{кор}^{\text{сред}}$ от $\delta_{кор}^{\text{сред}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;100; 18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;300; 27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;400; 38) – $a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{crc} - 350$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;250;18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;600;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;800;28) – $a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{crc} - 57$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;300;18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;900;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1200;38) – $a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{crc} - 1050$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;100;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;200;28) – $a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 300$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;200;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;300;28) – $a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;250;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;450;28) – $a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{crc} - 550$. В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – это $l_{кор}^{\text{сред}}$ в мм, с учётом $\delta_{кор}^{\text{сред}}$.

Т а б л и ц а 2.18

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис. 1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}) / a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}})$, $a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}})$
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
Нижняя	Переменная	-	-	100	250	400	$a_{\text{Тпер}}^{\text{про}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 350$
		-	-	100(18)	300(27)	400(38)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 15 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 170$
	Постоянная	-	-	0	100	200	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$
		-	-	-	100(21)	200(28)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 14,29 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 200$
Средняя	Переменная	-	-	250	525	800	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{crc}} - 575$
		-	-	250(18)	600(27)	800(38)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 27,5 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 245$
	Постоянная	-	-	-	200	300	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$
		-	-	-	200(21)	300(38)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 14,29 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 100$
Верхняя	Переменная	-	-	300	750	1200	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{crc}} - 1050$
		-	-	300(18)	900(27)	1200(38)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 45 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 510$
	Постоянная	-	-	-	250	450(28)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 550$
		-	-	-	250(21)	450(28)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 28,57 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 350$

Примечание. $a_T^{\text{прод}}$ в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм, учётом $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$.

В сводной табл. 2,19 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} , с учётом максимальной и средней длины коррозии, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры.

Таблица 2.19

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона a_{crc} , с учётом максимальной и средней длины коррозии, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры, с учётом воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Место положения прямой на рис. 1.26[257].	Вид нагрузки	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{max}); a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{сред});$ $a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{сред}); a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$					Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(a_{crc}),$ $a_T^{прод} = f(\ell_{кор})$
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	-; - -; 300(0,05;6)	500(0,10;16); - -; 500(0,10;11)	725(0,15;32); 100(0,15;32) 100(0,15;18); 700(0,15;18)	950(0,20;39); 250(0,20;39) 300(0,20;27); 900(0,20;27)	1175(0,25;55); 400(0,25;55) 400(0,25;38); 1100(0,25;38)	$a_T^{прод} = 50 + 4500 \cdot a_{crc}; a_T^{прод} = 3000 \cdot a_{crc.пер} - 350$ $a_T^{прод} = 3000 \cdot a_{crc.пер} - 350; a_T^{прод} = 100 + 4000 \cdot a_{crc.пер}$
		-; - -; -	500(0,10;16); - -; 500(0,10;11)	770(0,15;32); 100(0,15;32) 100(0,15;18); 800(0,15;18)	950(0,20;39); 300(0,20;39) 300(0,20;27); 950(0,20;27)	1100(0,25;55); 400(0,25;55) 400(0,25;38); 1100(0,25;38)	$a_T^{прод} = 311 + 14,3 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}; a_T^{прод} = 13,04 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 317;$ $a_T^{прод} = 15 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 170; a_T^{прод} = 191 + 28,13 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	-; - -; -	-; - -; 50(0,10;7)	200(0,15;19); - 0; 200(0,15;18)	350(0,20;25); - 100(0,20;21); 350(0,20;21)	500(0,25;36); 100(0,25;32) 200(0,25;28); 500(0,25;28)	$a_T^{прод} = 3000 \cdot a_{crc.пост} - 250; -$ $a_T^{прод} = 2000 \cdot a_{crc.пост} - 390; a_T^{прод} = 3000 \cdot a_{crc.пост} - 250$
		-; - -; -	-; - -; -	200(0,15;19); - -; 200(0,15;18)	400(0,20;25); - 100(0,20;21); 400(0,20;21)	500(0,25;36); 100(0,25;36) 200(0,25;28); 500(0,25;28)	$a_T^{прод} = 17,65 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 135; -$ $a_T^{прод} = 14,29 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 200; a_T^{прод} = 30 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 340$

Окончание табл. 2.19

1	2	3	4	5	6	7	8
Средняя	Переменная	-; - -; 450(0,05;6)	900(0,10;16); - -;900(0,10;11)	1500(0,15;32);250(0,15;32) 250(0,15;18);1500(0,15;18)	1800(0,20;39);525(0,20;39) 600(0,20;27);1800(0,20;27)	2250(0,25;55);800(0,25;55) 800(0,25;38);2250(0,25;38)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{crc.пер}} ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{crc.пер}} - 575$ $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{crc.пер}} - 575 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{crc.пер}}$
		-; - -; -	900(0,10;16); - -; 900(0,10;11)	1500(0,15;32);250(0,15;32) 250(0,15;18);1500(0,15;18)	1800(0,20;39);600(0,20;39) 600(0,20;27);1800(0,20;27)	2150(0,25;55);800(0,25;55) 800(0,25;38);2150(0,25;38)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 596 + 28,26 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 23,91 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 515 ;$ $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 27,5 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 245 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 281 + 56,25 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$
	Постоянная	-; - --	-; - -;175(0,10;7)	400(0,15;19); - -; 450(0,15;18)	750(0,20;25); - 200(0,20;21);725(0,20;21)	1000(0,25;36);300(0,25;36) 300(0,25;28);1000(0,25;28)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 6000 \cdot a_{\text{crc.пост}} - 500 ;$ - $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc.пост}} - 200 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{crc.пост}} - 375$
		-; - -; -	-; - -; -	400(0,15;19); - -; 450(0,15;18)	2700(0,20;25); - 200(0,20;21);2700(0,20;21)	1000(0,25;36);300(0,25;36) 300(0,25;28);1000(0,25;28)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 35,29 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 271 ;$ - $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 14,29 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 100 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 55 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 540$
Верхняя	Переменная	-; - -; 1200(0,05;6)	1700(0,10;16); - -;1700(0,10;11)	2200(0,15;32);350(0,15;32) 300(0,15;18);2200(0,15;18)	2700(0,20;39);775(0,20;39) 750(0,20;27);2700(0,20;27)	3200(0,25;55);1200(0,25;55) 1200(0,25;38);3200(0,25;38)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot a_{\text{crc.пер}} ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 8500 \cdot a_{\text{crc.пер}} - 925$ $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 8900 \cdot a_{\text{crc.пер}} - 1050 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot a_{\text{crc.пер}}$
		-; - -; -	1400(0,10;16);- -;1400(0,10;11)	2200(0,15;32);350(0,15;32) 300(0,15;18);2200(0,15;18)	2800(0,20;39);900(0,20;39) 900(0,20;27);2800(0,20;27)	3200(0,25;55);1200(0,25;55) 1200(0,25;38);3200(0,25;38)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 809 + 43,48 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 37,0 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 833$ $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 45 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 510 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1300 + 50 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$
	Постоянная	-; - -; -	-; - -300(0,10;7)	700(0,15;19); - -;700(0,15;18)	1100(0,20;25); - 250(0,20;21);1100(0,20;21)	1500(0,25;36);450(0,25;36) 450(0,25;28);1500(0,25;28)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{\text{crc.пост}} - 500 ;$ - $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc.пост}} - 550 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{\text{crc.пост}} - 500$
		-; - -; -	-; - -; -	700(0,15;19); - -;700(0,15;18)	1100(0,20;25); - 250(0,20;21);1100(0,20;21)	1500(0,25;36);450(0,25;36) 450(0,25;28);1500(0,25;28)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 47,06 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 194 ;$ - $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 28,57 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 350 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 47,06 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 194$

Примечание в координатах второе значение в круглых скобках $\ell_{\text{кор}}$ в мм; $a_{\Gamma}^{\text{прод}}$ в мкм; a_{crc} в мм.

В табл. 2.20–2,23 показаны уравнения регрессии и, рассчитанные с помощью их, значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин $a_T^{прод}$, отражающие влияние переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки на абсолютные и относительные значения $a_T^{прод}$, в том числе в начале испытания, для соответствующих зависимостей:

$$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{max}), a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{сред}),$$

$$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max}), a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{сред}).$$

Т а б л и ц а 2.20

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения изменения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности двадцати опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{прод} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	$a_T^{прод} = 50 + 4500 \cdot a_{crc}$	275	500	725	950	1175
	Переменная	$a_T^{прод} = 50 + 4500 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	163	275	388	500	613
	Отношение:		1,69	1,82	1,87	1,90	1,92
	Постоянная	$a_T^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 250$	-	50	200	350	500
	Постоянная	$a_T^{прод} = 3000 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 250$	-	-	50	150	250
	Отношение:		-	-	4	2,33	2
	Переменная	$a_T^{прод} = 50 + 4500 \cdot a_{crc}$	275	500	725	950	1175
	Постоянная	$a_T^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 250$	-	50	200	350	500
	Отношение:		-	10	3,63	2,71	2,35
	Переменная	$a_T^{прод} = 50 + 4500 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	163	275	388	500	613
	Постоянная	$a_T^{прод} = 3000 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 250$	-	-	50	150	250
	Отношение:		-	-	7,76	3,33	2,45

Окончание табл. 2.20

1	2	3	4	5	6	7	8
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{срс}}$	450	900	1350	1800	2250
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	225	450	680	900	1125
	Отношение:		2	2	2	2	2
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6000 \cdot a_{\text{срс}} - 500$	-	100	400	700	1000
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 500$	-	-	100	300	500
	Отношение:		-	-	4	2,33	2
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{срс}}$	450	900	1350	1800	2250
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6000 \cdot a_{\text{срс}} - 500$	-	100	400	700	1000
	Отношение:		-	9	3,38	2,57	2,25
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	225	450	680	900	1125
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 500$	-	-	100	300	500
	Отношение:		-	-	6,8	3	2,25
Верхняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot a_{\text{срс}}$	1200	1700	2200	2700	3200
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	950	1200	1450	1700	1950
	Отношение:		1,26	1,42	1,52	1,59	1,64
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{\text{срс}} - 500$	-	300	700	1100	1500
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 8000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 500$	-	33	300	567	833
	Отношение:		-	9,09	2,33	1,94	1,80
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot a_{\text{срс}}$	1200	1700	2200	2700	3200
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{\text{срс}} - 500$	-	300	700	1100	1500
	Отношение:		-	5,67	3,14	2,45	2,13
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	950	1200	1450	1700	1950
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 8000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 500$	-	33	300	567	833
	Отношение:		-	36,36	4,83	3,0	2,34

Таблица 2.21

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности двадцати опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от вида действующей нагрузки,

при $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, мкм, в том числе в начале испытания,

с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис. 1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 350$	-	-	100	250	400
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 350$	-	-	-	-	25
	Отношение:		-	-	-	-	16
	Постоянная	-	-	-	-	-	
	Постоянная	-	-	-	-	-	
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 350$	-	-	100	250	400
	Постоянная	-	-	-	-	-	
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 350$	-	-	-	-	25
	Постоянная	-	-	-	-	-	
	Отношение:		-	-	-	-	-
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{crc}} - 575$	-	-	250	525	800
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 575$	-	-	-	-	113
	Отношение:		-	-	-	-	7,08
	Постоянная	-	-	-	-	-	
	Постоянная	-	-	-	-	-	
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{crc}} - 575$	-	-	250	525	800
	Постоянная	-	-	-	-	-	
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 575$	-	-	-	-	113
	Постоянная	-	-	-	-	-	
	Отношение:		-	-	-	-	-

Окончание табл. 2.21

1	2	3	4	5	6	7	8
Верхняя	Переменная	$a_T^{prod} = 8500 \cdot a_{crc} - 925$	-	-	350	775	1200
	Переменная	$a_T^{prod} = 8500 \cdot \frac{a_{crc}}{2} - 925$	-	-	-	-	138
	Отношение:		-	-	-	-	8,7
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_T^{prod} = 8500 \cdot a_{crc} - 925$	-	-	350	775	1200
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_T^{prod} = 8500 \cdot \frac{a_{crc}}{2} - 925$	-	-	-	-	138
Постоянная	-	-	-	-	-	-	
Отношение:		-	-	-	-	-	

Таблица 2.22

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности двадцати опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от вида воздействующей нагрузки, при $a_T^{prod} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n=2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n=1,5$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис. 1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	$a_T^{prod} = 100 + 4000 \cdot a_{crc}$	300	500	700	900	1100
	Переменная	$a_T^{prod} = 100 + 4000 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	200	300	400	500	600
	Отношение:		1,5	1,67	1,75	1,8	1,83
	Постоянная	$a_T^{prod} = 3000 \cdot a_{crc} - 250$	-	50	200	350	500
	Постоянная	$a_T^{prod} = 3000 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 250$	-	-	50	150	250
	Отношение:		-	-	4	2,33	2
	Переменная	$a_T^{prod} = 100 + 4000 \cdot a_{crc}$	300	500	700	900	1100
	Постоянная	$a_T^{prod} = 3000 \cdot a_{crc} - 250$	-	50	200	350	500
	Отношение:		-	10	3,5	2,57	2,2

Окончание табл. 2.22

1	2	3	4	5	6	7	8
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 100 + 4000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	200	300	400	500	600
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 250$	-	-	50	150	250
	Отношение:		-	-	8	3,33	2,4
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{срс}}$	450	900	1350	1800	2250
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	225	450	675	900	1125
	Отношение:		2	2	2	2	2
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{срс}} - 375$	-	175	450	725	1000
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 375$	-	-	175	358	542
	Отношение:		-	-	2,57	2,03	1,85
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{срс}}$	450	900	1350	1800	2250
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{срс}} - 375$	-	175	450	725	1000
	Отношение:		-	5,14	3	2,48	2,25
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	225	450	675	900	1125
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 375$	-	-	175	358	542
	Отношение:		-	-	3,86	2,51	2,08
Верхняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot a_{\text{срс}}$	1200	1700	2200	2700	3200
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	950	1200	1450	1700	1950
	Отношение:		1,26	1,42	1,52	1,59	1,64
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{\text{срс}} - 500$	-	300	700	1100	1500
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 8000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 500$	-	33	300	567	833
	Отношение:		-	9,1	2,33	1,94	1,80
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot a_{\text{срс}}$	1200	1700	2200	2700	3200
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{\text{срс}} - 500$	-	300	700	1100	1500
	Отношение:		-	5,67	3,14	2,45	2,13
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	950	1200	1450	1700	1950
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 8000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 500$	-	33	300	567	833
	Отношение:		-	36,4	4,83	3,0	2,34

Т а б л и ц а 2.23

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от вида воздействующей нагрузки, при $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{cpc}}, \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{cpc} , в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры.

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{cpc} , мм				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{cpc}} - 350$	-	-	100	250	400
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{cpc}}}{2} - 350$	-	-	-	-	25
	Отношение:		-	-	-	-	16,0
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{cpc}} - 300$	-	-	50	100	200
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{cpc}}}{1,5} - 300$	-	-	-	-	33
	Отношение:		-	-	-	-	6,06
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{cpc}} - 350$	-	-	100	250	400
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{cpc}} - 300$	-	-	50	100	200
	Отношение:		-	-	2	2	2
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{cpc}}}{2} - 350$	-	-	-	-	25
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{cpc}}}{1,5} - 300$	-	-	-	-	33
	Отношение:		-	-	-	-	0,76
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{cpc}} - 575$	-	-	250	525	800
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot \frac{a_{\text{cpc}}}{2} - 575$	-	-	-	-	113
	Отношение:		-	-	-	-	7,08
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{cpc}} - 200$	-	0	100	200	300
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{cpc}}}{1,5} - 200$	-	-	0	67	113
	Отношение:		-	-	-	2,99	2,26
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{cpc}} - 575$	-	-	250	525	800
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{cpc}} - 200$	-	0	100	200	300
	Отношение:		-	-	2,5	2,63	2,67

Окончание табл. 2.23

1	2	3	4	5	6	7	8
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 575$	-	-	-	-	113
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 200$	-	-	0	67	133
	Отношение:		-	-	-	-	0,85
Верхняя	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{crc}} - 1050$	-	-	300	750	1200
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 9000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 1050$	-	-	-	-	75
	Отношение:		-	-	-	-	16,0
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 550$	-	-	50	250	450
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 550$	-	-	-	-	117
	Отношение:		-	-	-	-	3,85
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{crc}} - 1050$	-	-	300	750	1200
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 550$	-	-	50	250	450
	Отношение:		-	-	6,0	3,0	2,67
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 9000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 1050$	-	-	-	-	75
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 550$	-	-	-	-	117
Отношение		-	-	-	-	0,64	

2.1.4. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали

На рис. 2.62 согласно данным рис. 2.3 построено графическое изображение максимальных значений длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в области чистого изгиба с $a_{\text{crc}} = 0,05 \div 0,25$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при полуторократном увеличении их толщины.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в бетоне в зоне влияния поперечных трещин в зависимости от максимальных значений длины коррозионного поражения арматуры с максимальной глубиной коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.62 показаны на рис. 2.63–2,65.

В сводной табл. 2.24 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и от максимальной длины коррозии арматуры, при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис. 2.66 и 2.67), при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки.



Рис. 2.62. Максимальная длина коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин диаметром 12 мм класса А-III $l_{кор}^{max}$ на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозионного поражения арматуры $\delta_{п.к}^{max}$, при увеличении их толщины в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки
Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (135;6), $a_{crc} = 0,10$ мм (180;14), $a_{crc} = 0,15$ мм (330;19), $a_{crc} = 0,20$ мм (420;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (495;36); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (135;4), $a_{crc} = 0,10$ мм (180;14), $a_{crc} = 0,15$ мм (330;19), $a_{crc} = 0,20$ мм (420;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (495;36). Индекс п.к – продукты коррозии.

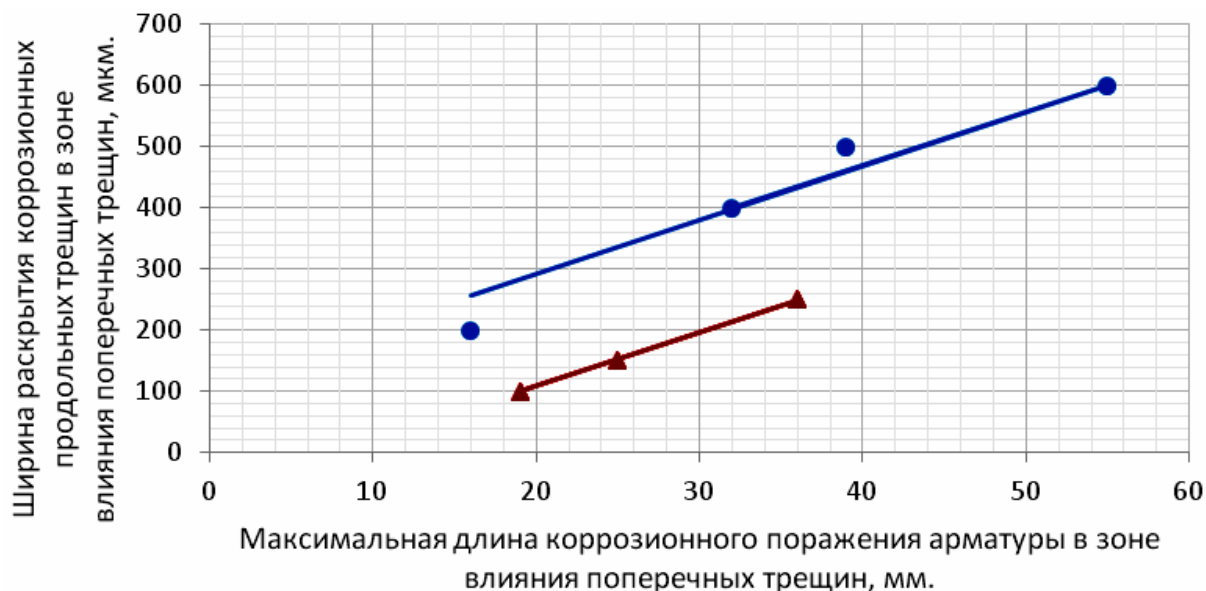


Рис.2.63. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (16;200), $a_{crc} = 0,15$ мм (32;400), $a_{crc} = 0,20$ мм (39;500), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;600); треугольники – $a_{crc} = 0,15$ мм (19;100); $a_{crc} = 0,20$ мм (25;150), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;250).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 121 + 8,7 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 8,82 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 68$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

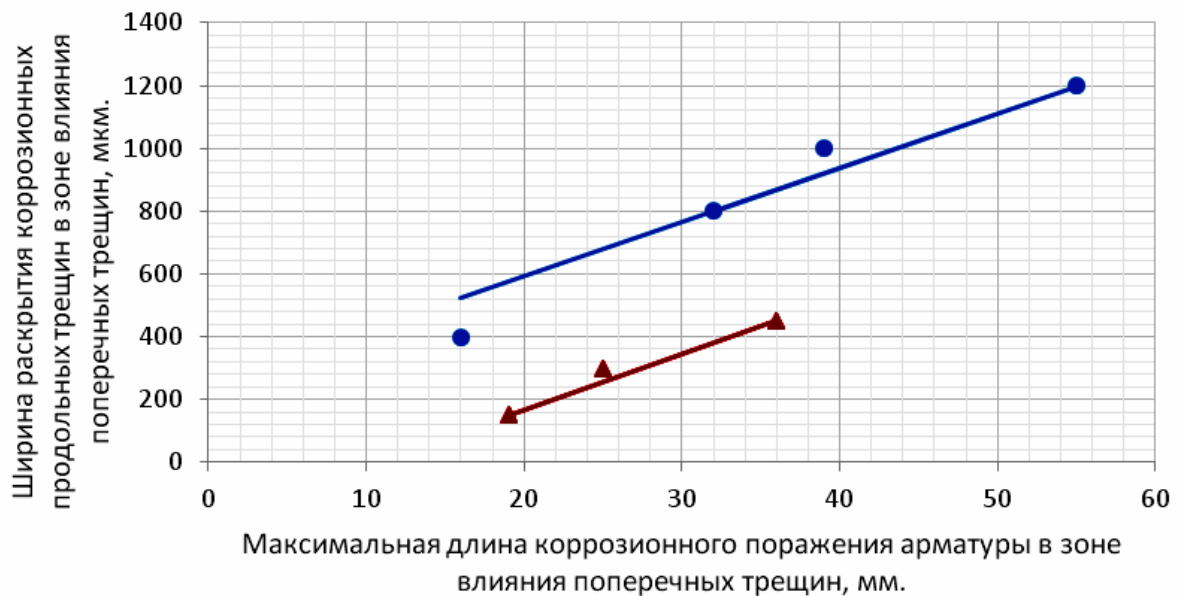


Рис. 2.64. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (16;400), $a_{crc} = 0,15$ мм (32;800), $a_{crc} = 0,20$ мм (39;1000), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;1200); треугольники – $a_{crc} = 0,15$ мм (19;150), $a_{crc} = 0,20$ мм (25;300), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;450).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 243 + 17,39 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 17,65 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 185$. Индексы пер. и пост.- соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

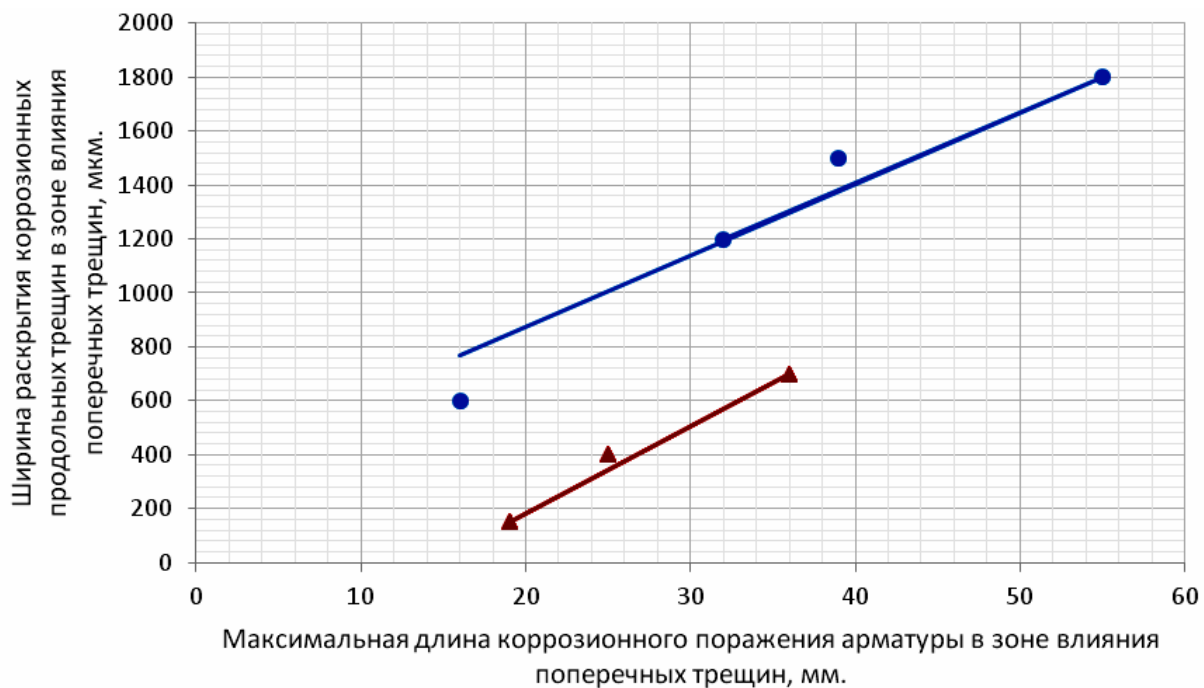


Рис. 2.65. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой (рис 1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (16;600), $a_{crc} = 0,15$ мм (32;1200), $a_{crc} = 0,20$ мм (39;1500), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;1800); треугольники – $a_{crc} = 0,15$ мм (19;150), $a_{crc} = 0,20$ мм (25;400), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;700).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 365 + 28,09 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 32,35 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 465$. Индексы пер. и пост.- соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

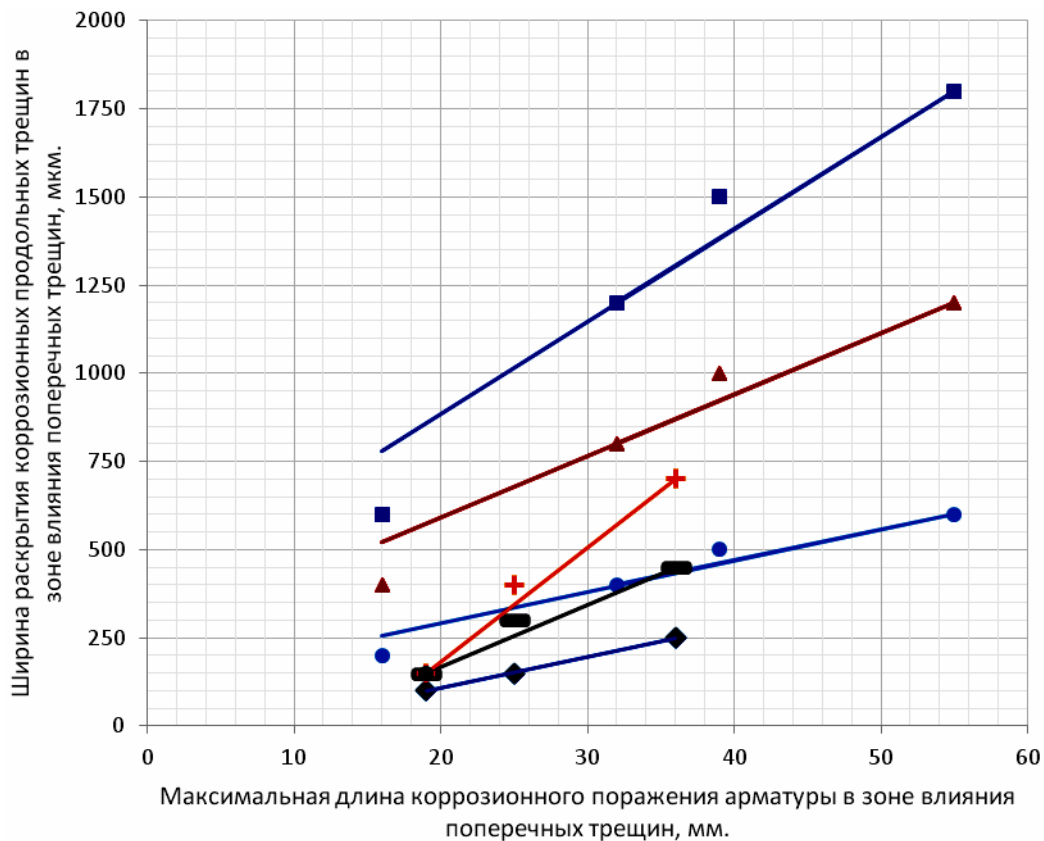


Рис. 2.66. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 2.63–2.65 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности, треугольники и квадраты, а также ромбы, прямоугольники и засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает снизу вверх по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (16;200), $a_{crc} = 0,15$ мм (32;400), $a_{crc} = 0,2$ мм (39;500), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;600) – $a_T^{прод} = 121 + 8,7 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (16;400), $a_{crc} = 0,15$ мм (32;800), $a_{crc} = 0,2$ мм (39;1000), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;1200) – $a_T^{прод} = 243 + 17,39 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (16;600), $a_{crc} = 0,15$ мм (32;1200), $a_{crc} = 0,2$ мм (39;1500), $a_{crc} = 0,25$ мм (55;1800) – $a_T^{прод} = 365 + 26,09 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (19;100), $a_{crc} = 0,2$ мм (25;150), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;250) – $a_T^{prod} = 8,82 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 68$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (19;150), $a_{crc} = 0,2$ мм (25;300), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;450) – $a_T^{prod} = 17,65 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 185$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (19;150), $a_{crc} = 0,20$ мм (25;400), $a_{crc} = 0,25$ мм (36;700) – $a_T^{prod} = 32,35 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 465$.
В координатах условных обозначений первое значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$ в мм, с учётом $\delta_{кор}^{max}$.

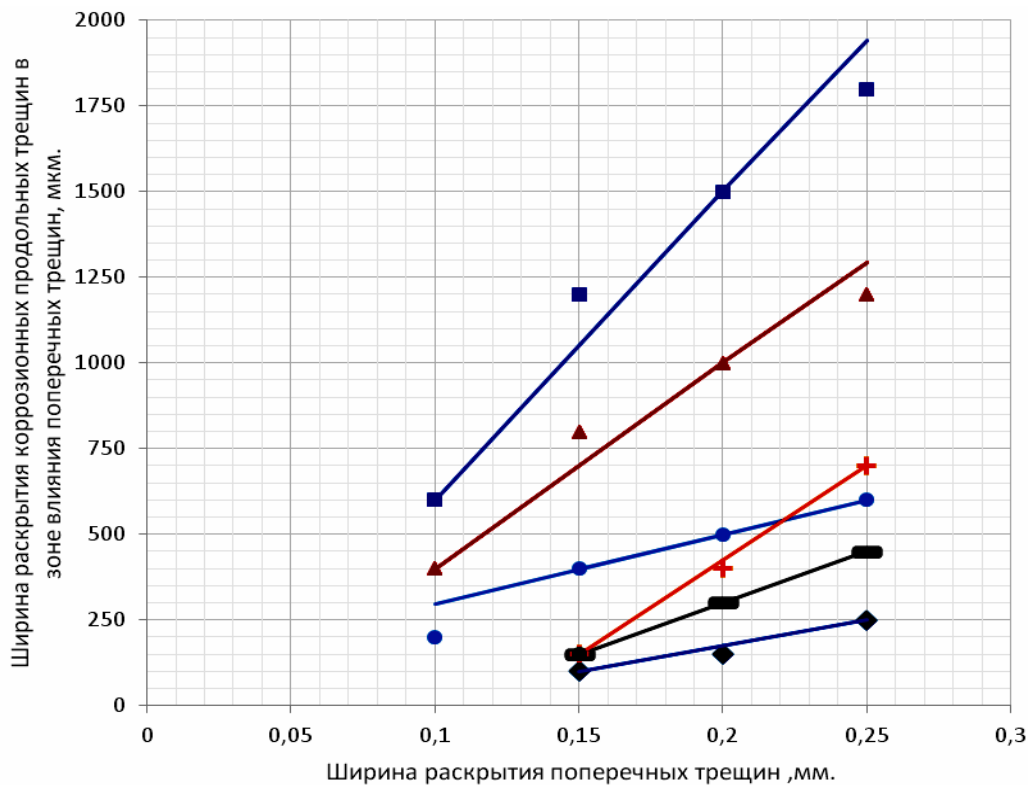


Рис. 2.67. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 20 0; 16), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 400; 32), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 500; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 600; 55) – $a_T^{prod} = 100 + 2000 \cdot a_{crc}$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 400; 16), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 800; 32), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20; 1000; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25; 1200; 55) – $a_T^{prod} = 6000 \cdot a_{crc} - 200$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1;600;16), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;1200;32), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;1500;39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1800;55) – $a_T^{прод} = 9000 \cdot a_{crc} - 300$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;100;19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;150;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;250;36) – $a_T^{прод} = 1500 \cdot a_{crc} - 125$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;150;19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;300;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;450; 36) – $a_T^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15; 150;19), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;400;25), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;450;36) – $a_T^{прод} = 5500 \cdot a_{crc} - 675$. В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$, в мм, с учётом $\delta_{кор}^{max}$.

Т а б л и ц а 2.24

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{прод} = f(a_{crc}) / a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{max})$, при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{max})$.
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	-	300(16)	400(32)	50(39)0	600(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 100 + 2000 \cdot a_{crc}$
		-	200(16)	400(32)	500(39)	600(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 121 + 8,7 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$
	Постоянная	-	-	100(19)	175(25)	250(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 1500 \cdot a_{crc} - 125$
		-	-	100(19)	150(25)	250(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 8,82 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 68$
Средняя	Переменная	-	400(16)	700(32)	1000(39)	1200(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 6000 \cdot a_{crc} - 200$
		-	400(16)	800(32)	1000(39)	1200(55)	$a_{кор.пер}^{прод} = 243 + 17,39 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$
	Постоянная	-	-	150(19)	300(25)	450(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$
		-	-	150(19)	300(25)	450(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 17,65 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 185$

1	2	3	4	5	6	7	8
Верхняя	Переменная	-	600(16)	1200(32)	1500(39)	1800(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 9000 \cdot a_{crc} - 300$
		-	600(16)	1200(32)	1500(39)	1800(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 365 + 26,09 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$
	Постоянная	-	-	150(19)	400(25)	700(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 5500 \cdot a_{crc} - 675$
		-	-	150(19)	400(25)	700(36)	$a_{Тпост}^{прод} = 32,35 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 465$

Примечание. $a_{Т}^{прод}$ в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

На рис. 2.68 согласно данным рис 2.11 показаны графические изображения максимальных значений длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры при полуторократном увеличении их толщины.

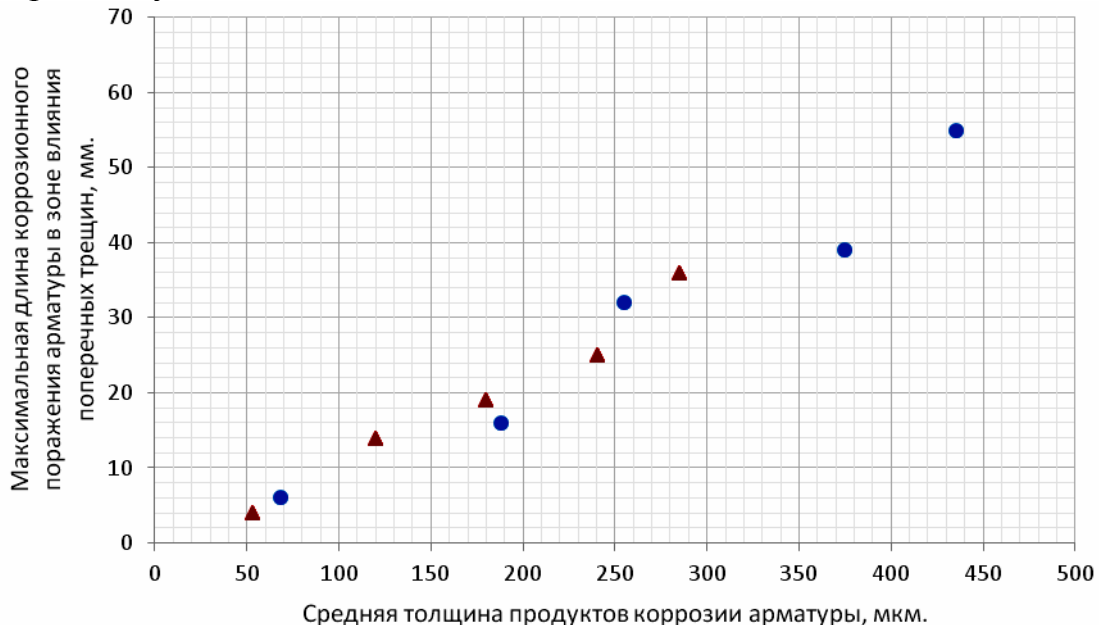


Рис. 2.68. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозионного поражения арматуры $\delta_{п.к}^{сред}$, при увеличении их толщины в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (68; 6), $a_{crc} = 0,10$ мм (188; 16), $a_{crc} = 0,15$ (255; 32), $a_{crc} = 0,20$ мм (375; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (435; 55); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (53; 4), $a_{crc} = 0,10$ мм (120; 14), $a_{crc} = 0,15$ (180; 19), $a_{crc} = 0,20$ мм (240; 32,5), $a_{crc} = 0,25$ мм (285; 36). Индекс п.к. – продукты коррозии арматуры.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от максимальных значений длины коррозионного поражения арматуры со средней глубиной коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.68 приведена на рис. 2.69–2,71.

В сводной табл. 2.25 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.72 и 2.73), при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки.

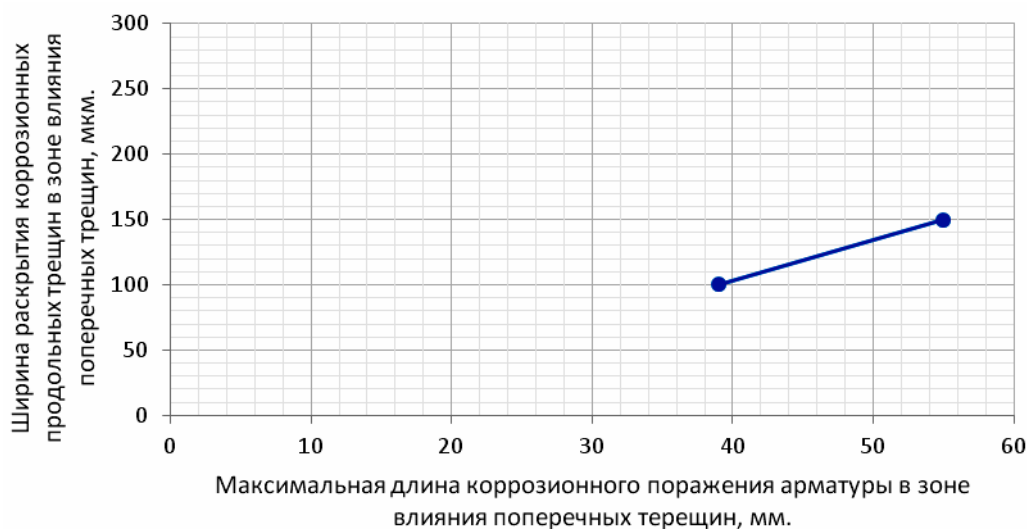


Рис. 2.69. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $l_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), с учётом воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (39; 100), $a_{crc} = 0,25$ мм (55; 150).

Уравнение регрессии: окружность – $a_T^{prod} = 3,13 \cdot l_{кор.пер}^{max} - 22$. Индекс пер. – переменная изгибающая нагрузка.

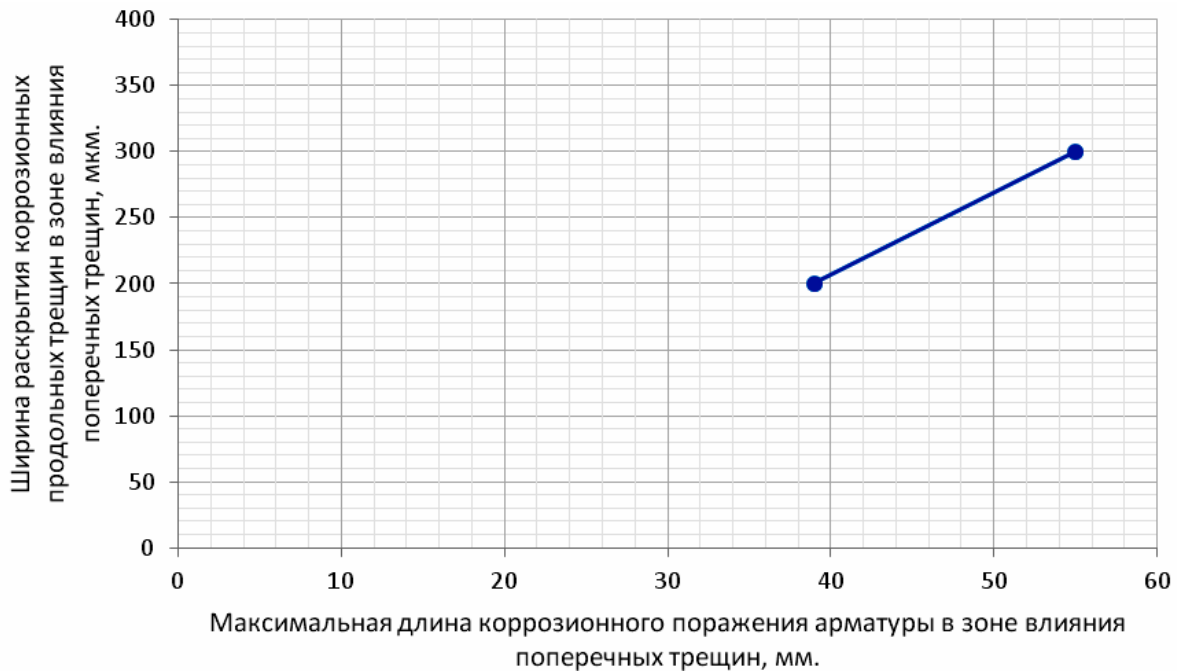


Рис. 2.70. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), с учётом воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (39; 200), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (55; 300).

Уравнение регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 6,25 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 44$. Индекс пер. – переменная изгибающая нагрузка.

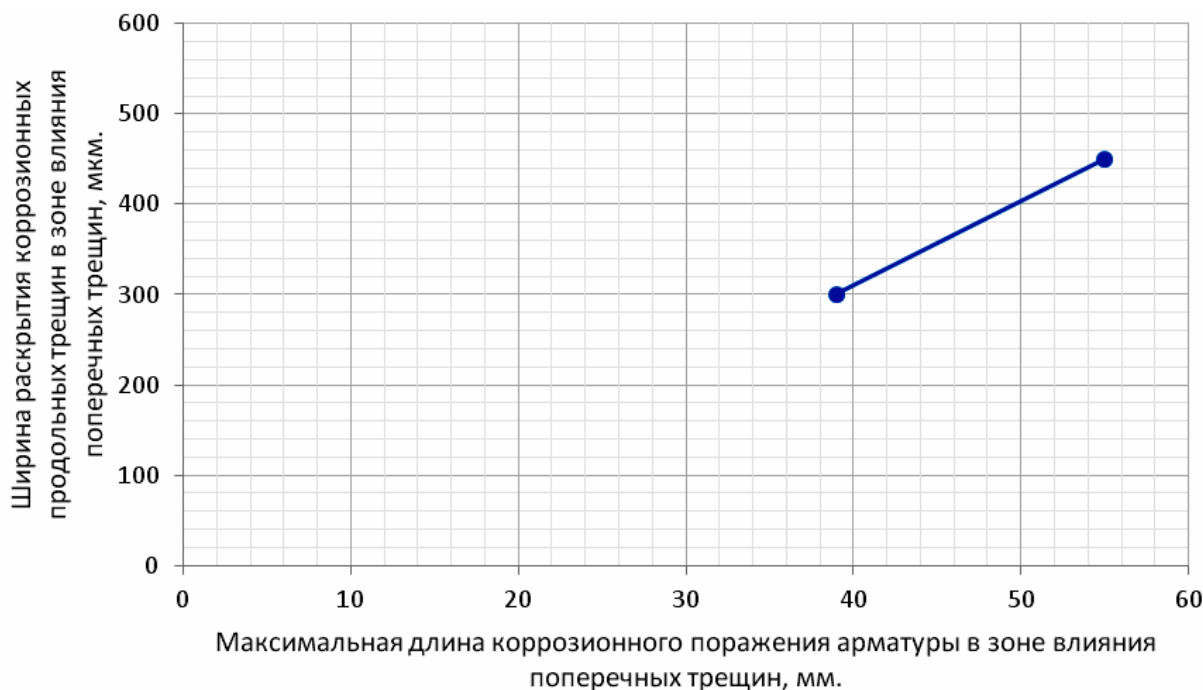


Рис. 2.71. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой (рис. 1.26), с учётом воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (39; 300), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (55; 450).

Уравнение регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 9,38 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 66$. Индекс пер. – переменная изгибающая нагрузка.

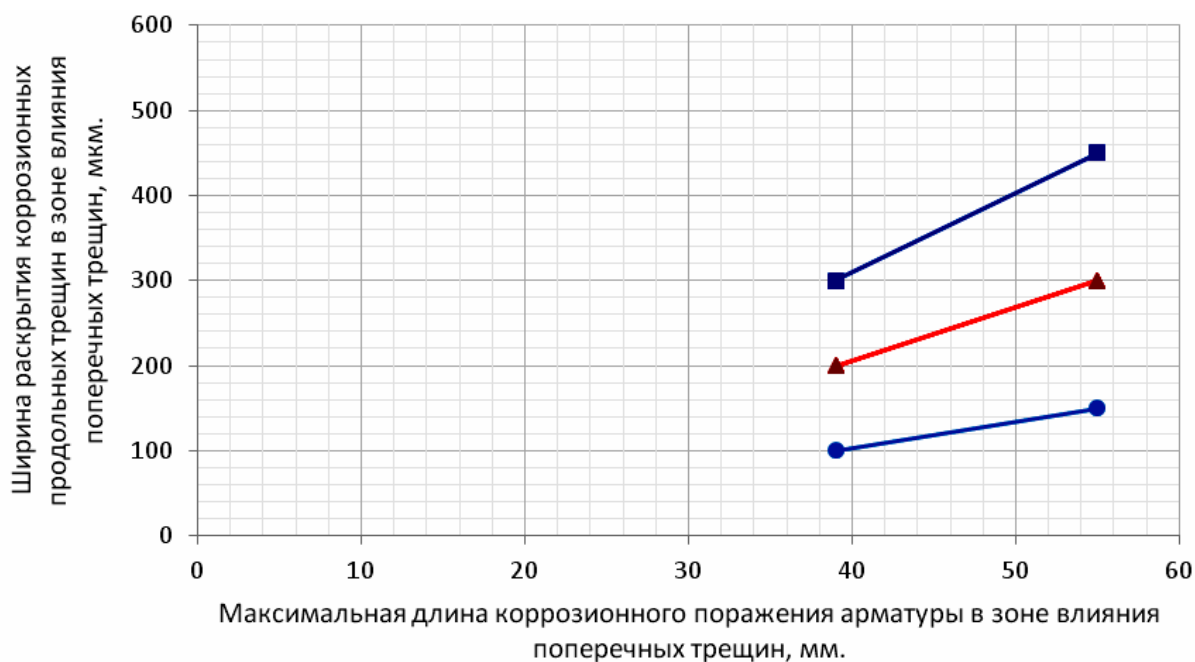


Рис. 2.72. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры $l_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом средней глубины поражения арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 1.26 по данным рис. 2,69–2,71 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники и засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (39;100), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (55;100) – $a_T^{\text{прод}} = 3,13 \cdot l_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 22$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (39;200), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (55;300) – $a_T^{\text{прод}} = 6,25 \cdot l_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 44$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (39;300), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (55;450) – $a_T^{\text{прод}} = 9,38 \cdot l_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 66$.

В координатах условных обозначений первое значение в круглых скобках – $l_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм, с учётом $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$.

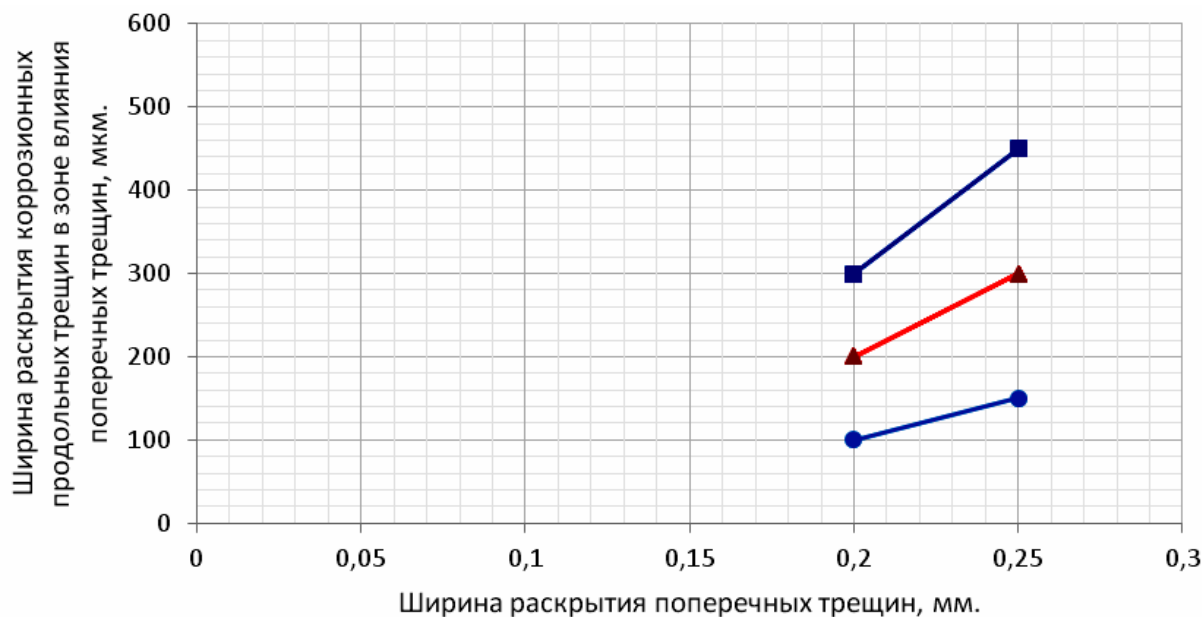


Рис. 2.73. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{сред}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;100; 39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;150; 55) – $a_T^{prod} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;200;39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;300;55) – $a_T^{prod} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;300;39), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;450;55) – $a_T^{prod} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$.

В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$ в мм, с учётом $\delta_{кор}^{сред}$.

Таблица 2.25

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм с $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис. 1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{прод} = f(a_{crc}) / a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{max})$, при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{max})$
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
Нижняя	Переменная	-	-	-	100(39)	150(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$
		-	-	-	100(39)	150(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 3,13 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 22$
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
Средняя	Переменная	-	-	-	200(39)	300(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$
		-	-	-	200(39)	300(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 6,25 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 44$
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
Верхняя	Переменная	-	-	-	300(39)	450(55)	$a_T^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$
		-	-	-	300(39)	450(55)	$a_{Тпер}^{прод} = 9,38 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 66$
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-

Примечание. В круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{max}$ в мм; a_{crc} в мм; $a_T^{прод}$ в мкм.

На рис. 2.74 согласно данным рис. 2.20 показаны графические изображения средних значений длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при полуторократном увеличении их толщины.

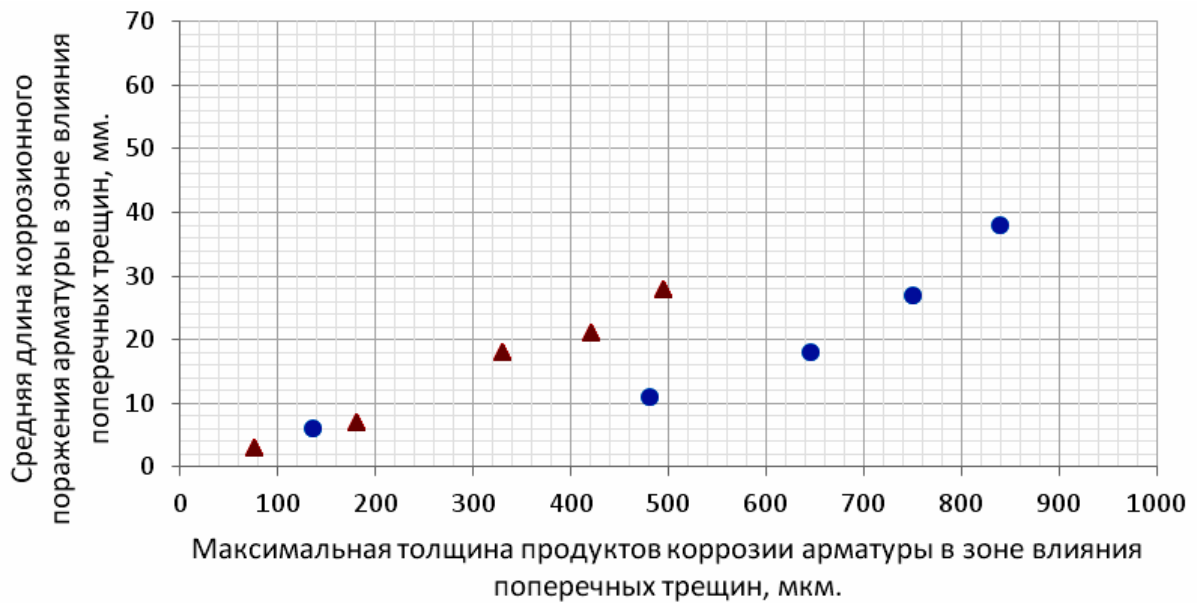


Рис. 2.74. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $l_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм и классе бетона В=40, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозионного поражения арматуры $\delta_{п.к.}^{max}$, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (135; 6), $a_{crc} = 0,10$ мм (480; 11), $a_{crc} = 0,15$ (645; 18), $a_{crc} = 0,20$ мм (750; 27), $a_{crc} = 0,25$ мм (840; 38); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (75; 3), $a_{crc} = 0,10$ мм (180; 7), $a_{crc} = 0,15$ (330; 18), $a_{crc} = 0,20$ мм (420; 21), $a_{crc} = 0,25$ мм (495; 28). Индекс п.к. – продукты коррозии арматуры.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от средних значений длины коррозионного поражения арматуры с максимальной глубиной коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 1.26 и 2.74 приведена на рис. 2.75–2.77.

В сводной табл. 2.26 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм и в зависимости от средней длины коррозии арматуры, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис. 2.78 и 2.79), при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

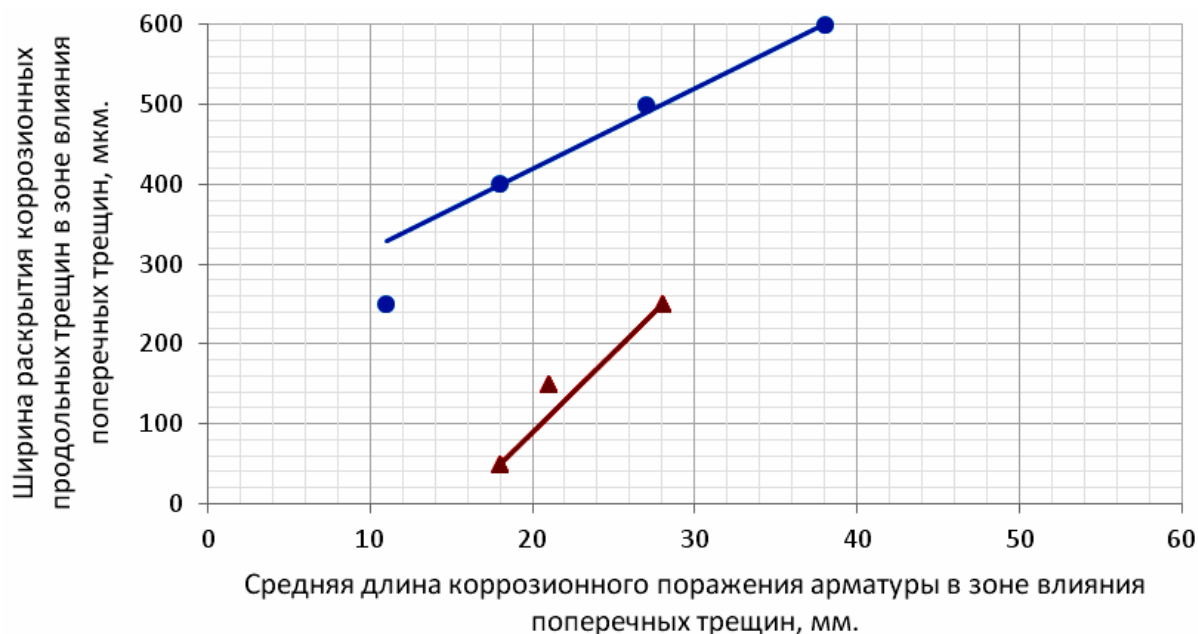


Рис. 2.75. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{3.c.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{срс}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность-переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{срс}} = 0,1$ мм (11;250), $a_{\text{срс}} = 0,15$ мм (18;400), $a_{\text{срс}} = 0,20$ мм (27;500), $a_{\text{срс}} = 0,25$ мм (38;600); треугольники – $a_{\text{срс}} = 0,15$ мм (18;50), $a_{\text{срс}} = 0,20$ мм (21;150), $a_{\text{срс}} = 0,25$ мм (28;250).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 220 + 10 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 44,5 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 751$. В уравнениях регрессии $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

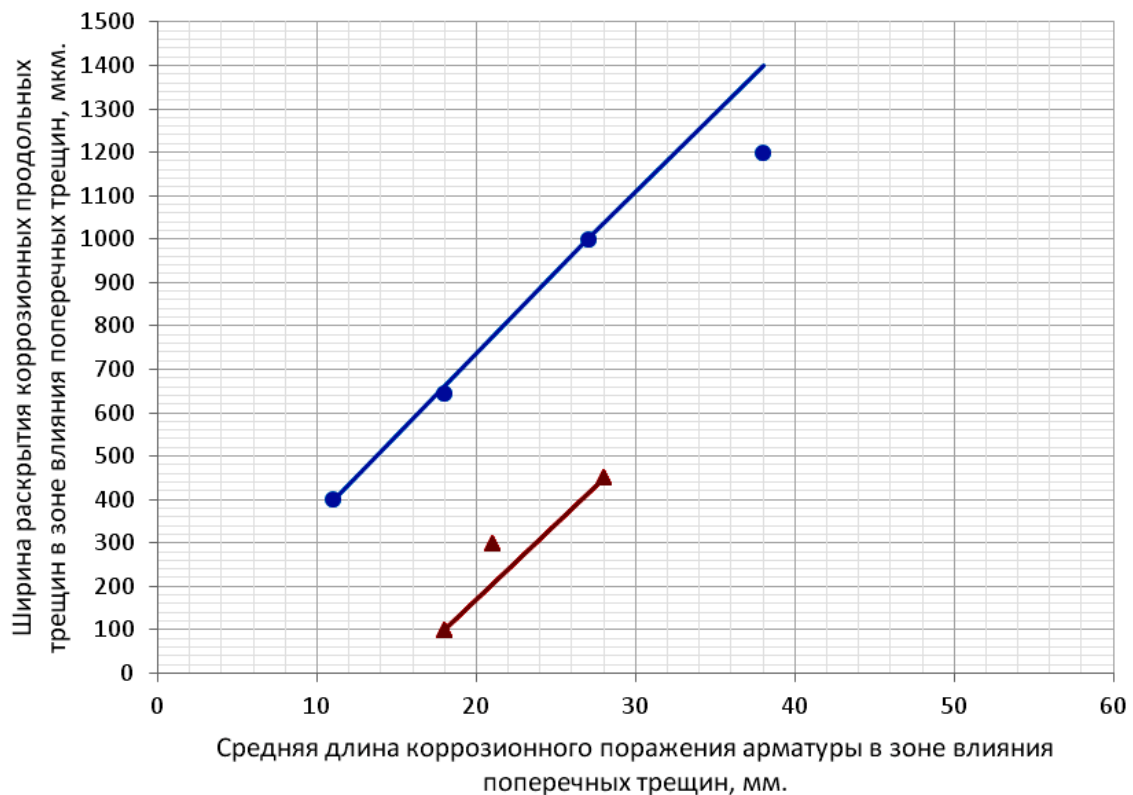


Рис. 2.76. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (11;400), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;645), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27;1000), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;1200); треугольники – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;100), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (21;300), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (28;540).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 37,5 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 13$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 35 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 530$. В уравнениях регрессии $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

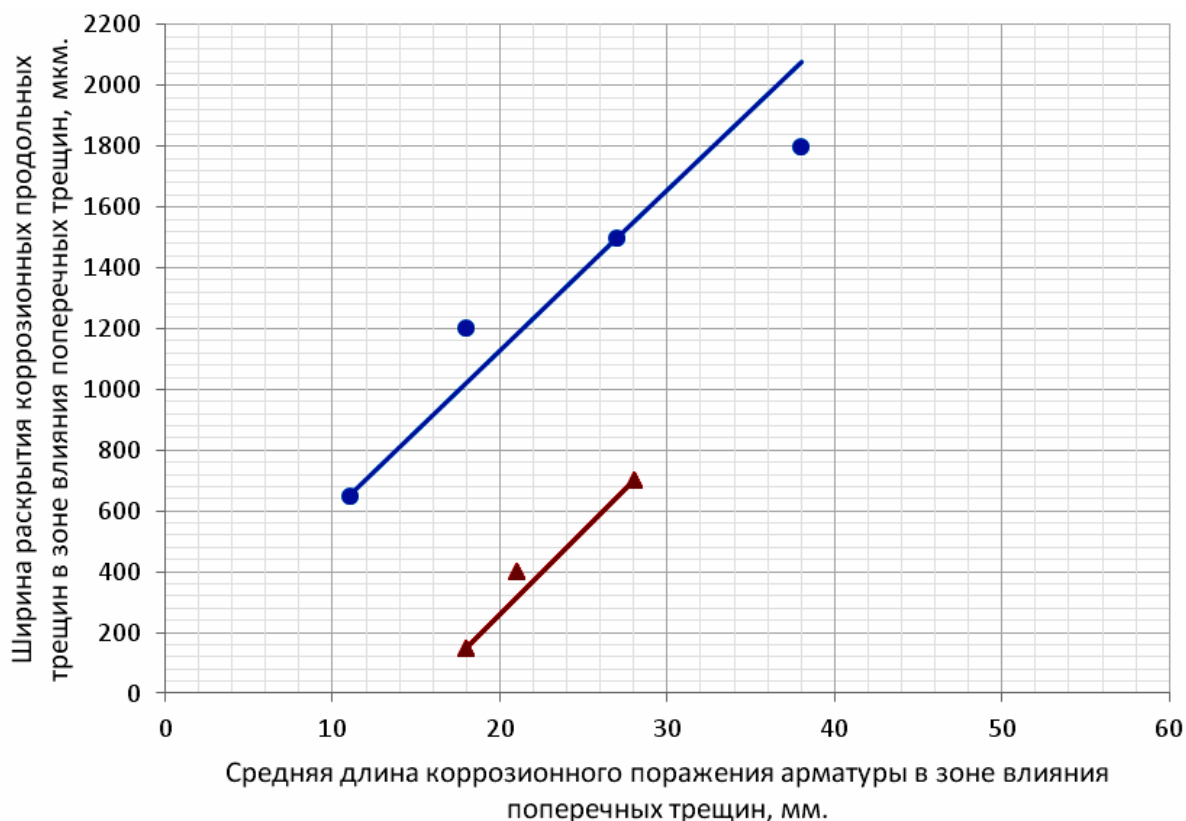


Рис.2.77. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (11;650), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;1200), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27;1500), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;1800); треугольники – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;150), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (21;400), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (28;700).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 66 + 55,13 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 55 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 840$. В уравнениях регрессии $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

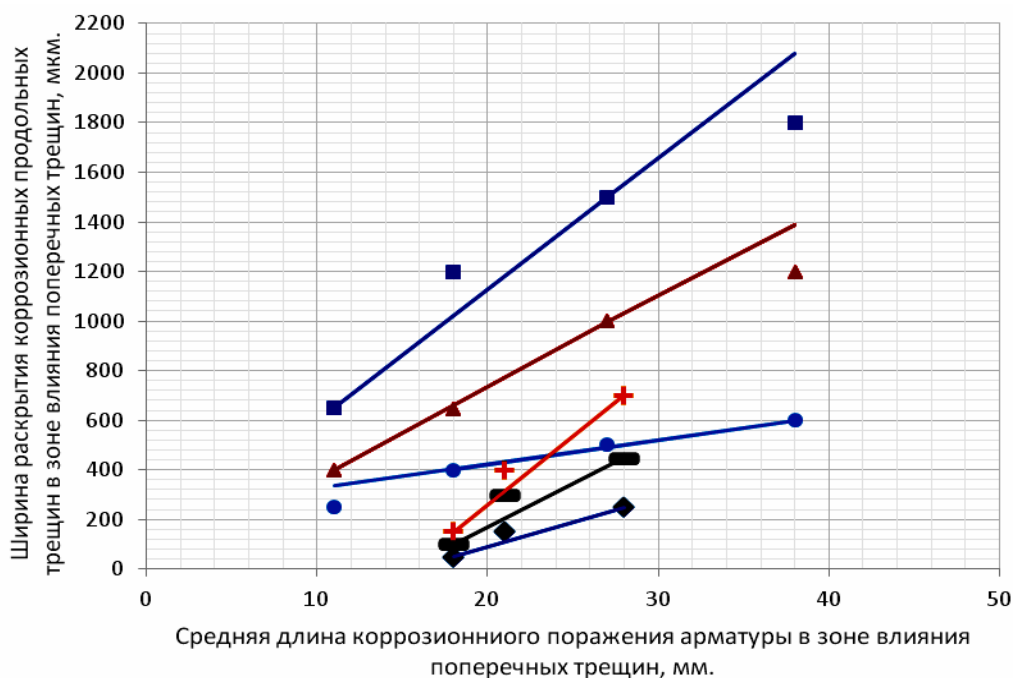


Рис. 2.78. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 по данным рис.в 2,75; 2,76 и 2,77 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности, треугольники и квадраты, а также ромбы, прямоугольники и засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает снизу вверх по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (11;250), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;400),

$$a_{\text{crc}} = 0,2 \text{ мм (27;500), } a_{\text{crc}} = 0,25 \text{ мм (38;600)} - a_T^{\text{прод}} = 220 + 10 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}.$$

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (11;400), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;645), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (27;1000), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;1200) – $a_T^{\text{прод}} = 37,5 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 13$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (11;650), $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;1200), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (27;1500), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;1800) – $a_T^{\text{прод}} = 66 + 55,13 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;50), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (21;150), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (28;250) – $a_T^{\text{прод}} = 44,5 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 751$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,15$ мм (18;100), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (21;300), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (28;450) – $a_T^{\text{прод}} = 35 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 530$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (18;150), $a_{crc} = 0,20$ мм (21;400), $a_{crc} = 0,25$ мм (28;700) – $a_T^{prod} = 55 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 840$.

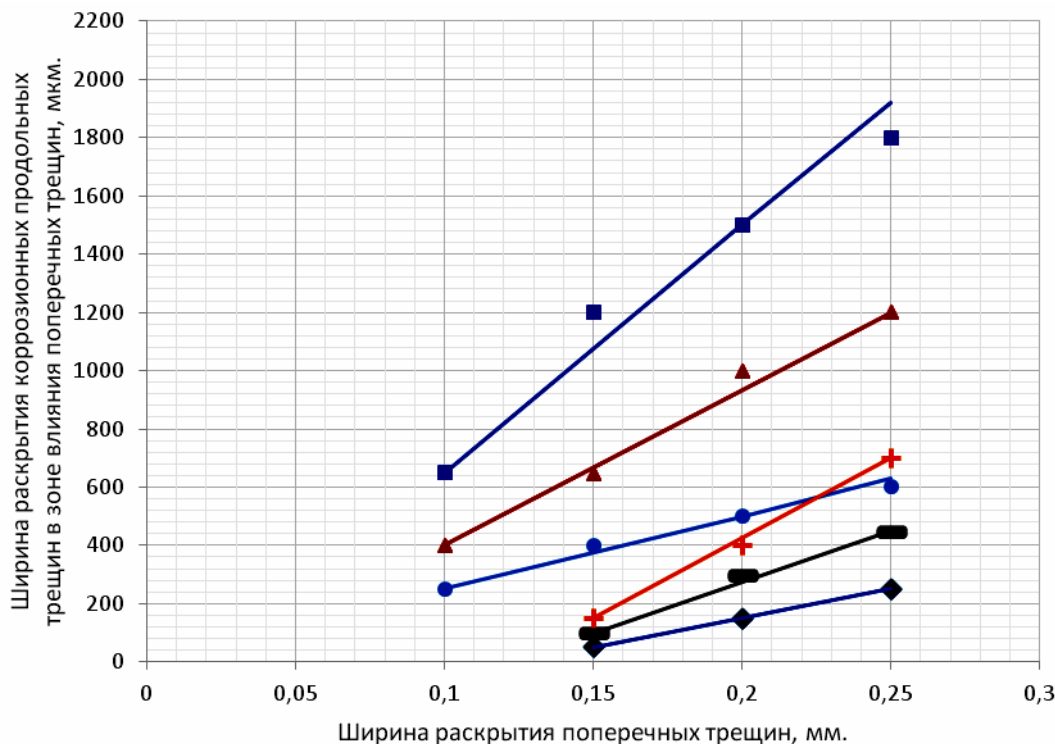


Рис. 2.79. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при 1,5-кратном увеличении

толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии согласно рис. 2.78 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,10; 250;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;400; 18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;500; 27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;600; 38) – $a_T^{prod} = 2500 \cdot a_{crc}$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1;400;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;645;18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;1000;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1200;28) – $a_T^{prod} = 5333 \cdot a_{crc} - 133$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1;650;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;1200;18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;1500;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;1800;38) – $a_T^{prod} = 8500 \cdot a_{crc} - 200$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;50;18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;150;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;250;28) – $a_T^{prod} = 2000 \cdot a_{crc} - 250$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;100;18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;300;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;450;28) – $a_T^{prod} = 3500 \cdot a_{crc} - 423$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,15$ мм (0,15;150;18), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;400;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;450;28) – $a_T^{prod} = 5500 \cdot a_{crc} - 675$. В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{сред}$ в мм, с учётом $\delta_{кор}^{max}$.

Т а б л и ц а 2.26

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$, в соответствующих a_{crc}					Уравнения регрессии: $\frac{a_T^{prod}}{a_T^{prod}} = f(a_{crc})$ $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
Нижняя	Переменная	-	250(11)	375(18)	500(27)	625(38)	$a_T^{prod} = 2500 \cdot a_{crc}$
		-	250(11)	400(18)	500(27)	600(38)	$a_{Tпер}^{prod} = 220 + 10 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	-	-	50(18)	150(21)	250(28)	$a_{Tпост}^{prod} = 2000 \cdot a_{crc} - 250$
		-	-	50(18)	150(21)	250(28)	$a_{Tпост}^{prod} = 14,5 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 751$
Средняя	Переменная	-	400(11)	667(18)	934(27)	1200(38)	$a_{Tпер}^{prod} = 5333 \cdot a_{crc} - 133$
		-	400(11)	667(18)	934(27)	1200(38)	$a_{Tпер}^{prod} = 37,5 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 13$
	Постоянная	-	-	100(18)	275(21)	450(28)	$a_{Tпост}^{prod} = 3500 \cdot a_{crc} - 425$
		-	-	1075(18)	300(21)	450(28)	$a_{Tпост}^{prod} = 35 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 530$
Верхняя	Переменная	-	650(11)	1075(18)	1500(27)	1925(38)	$a_{Tпер}^{prod} = 8500 \cdot a_{crc} - 200$
		-	650(11)	1200(18)	1500(27)	1000(38)	$a_{Tпер}^{prod} = 66 + 53,13 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	-	-	150(18)	425(21)	700(28)	$a_{Tпост}^{prod} = 5500 \cdot a_{crc} - 675$
		-	-	150(18)	400(21)	700(28)	$a_T^{prod} = 55 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 840$

Примечание. В круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{сред}$ в мм; a_{crc} в мм, a_T^{prod} в мкм.

На рис. 2.80 согласно данным рис. 2.28 показаны графические изображения средней длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,05 \div 0,25$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, при полуторократном увеличении их толщины.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры со средней глубиной коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.80 приведены на рис. 2.81–2.83.

В сводной табл. 2.27 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от средней длины коррозии арматуры, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.84 и 2.85), при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

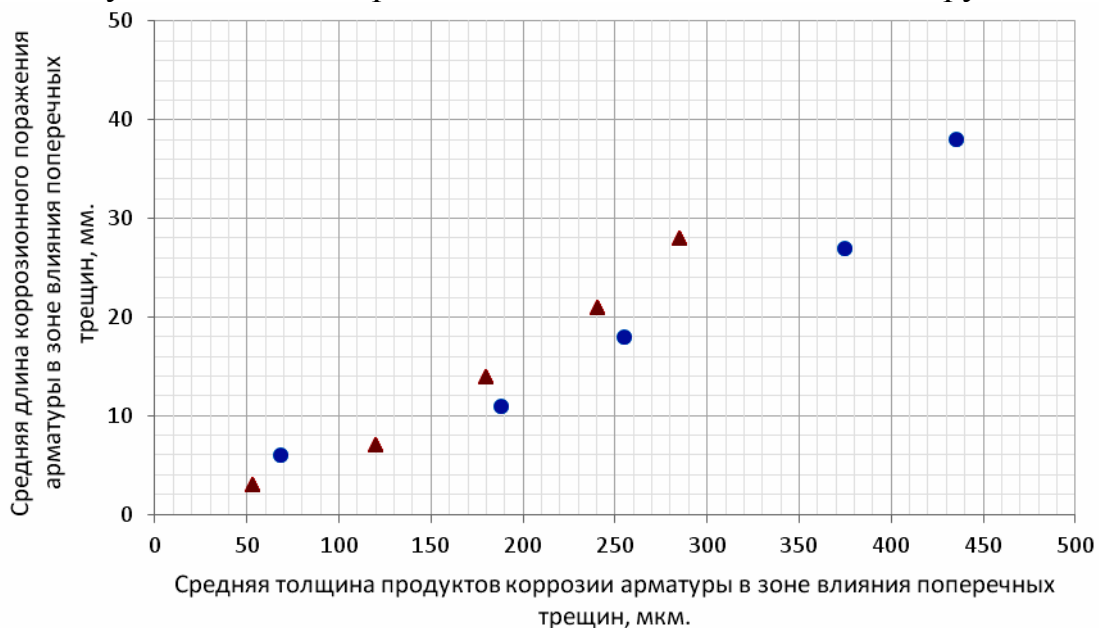


Рис. 2.80. Средняя длина коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин диаметром 12 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры $\delta_{п.к}^{сред}$, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (68;6), $a_{crc} = 0,1$ мм (188;11), $a_{crc} = 0,15$ мм (255;18), $a_{crc} = 0,20$ мм (375;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (435;38); треугольник – постоянная изгибающая нагрузка, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,05$ мм (53;3), $a_{crc} = 0,10$ мм (120;7), $a_{crc} = 0,15$ мм (180;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (240;21), $a_{crc} = 0,25$ мм (285;28).



Рис. 2.81. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры, при нижней функциональной прямой (рис. 1.26), при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (27;100), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;200).

Уравнение регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 9,1 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{сред}} - 146$.



Рис. 2.82. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (27;150), $a_{crc} = 0,25$ мм (38;300).

$$\text{Уравнение регрессии: окружность} - a_T^{\text{прод}} = 13,64 \cdot \ell_{кор.пер}^{\text{сред}} - 218.$$



Рис. 2.83. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_{\Gamma}^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{срс}} = 0,1 \div 0,25$ мм, с учетом средней глубины коррозии арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{срс}} = 0,20$ мм (27;200), $a_{\text{срс}} = 0,25$ мм (38;450).

$$\text{Уравнение регрессии: } a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 22,73 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 414.$$



Рис. 2.84. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на двадцати опытных железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от средней длины коррозии $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,05 \div 0,25$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры, в зоне влияния поперечных трещин и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональной прямой согласно рис. 1.26 по данным рис. 2,81–2,83 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности, треугольники и квадраты, а также ромбы, прямоугольники и засечка – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает снизу вверх по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (27;100), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;200) – $a_T^{\text{прод}} = 9,1 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 146$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (27;150), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;300) – $a_T^{\text{прод}} = 13,64 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 218$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (27;200), $a_{\text{crc}} = 0,25$ мм (38;450) – $a_T^{\text{прод}} = 22,73 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 414$.

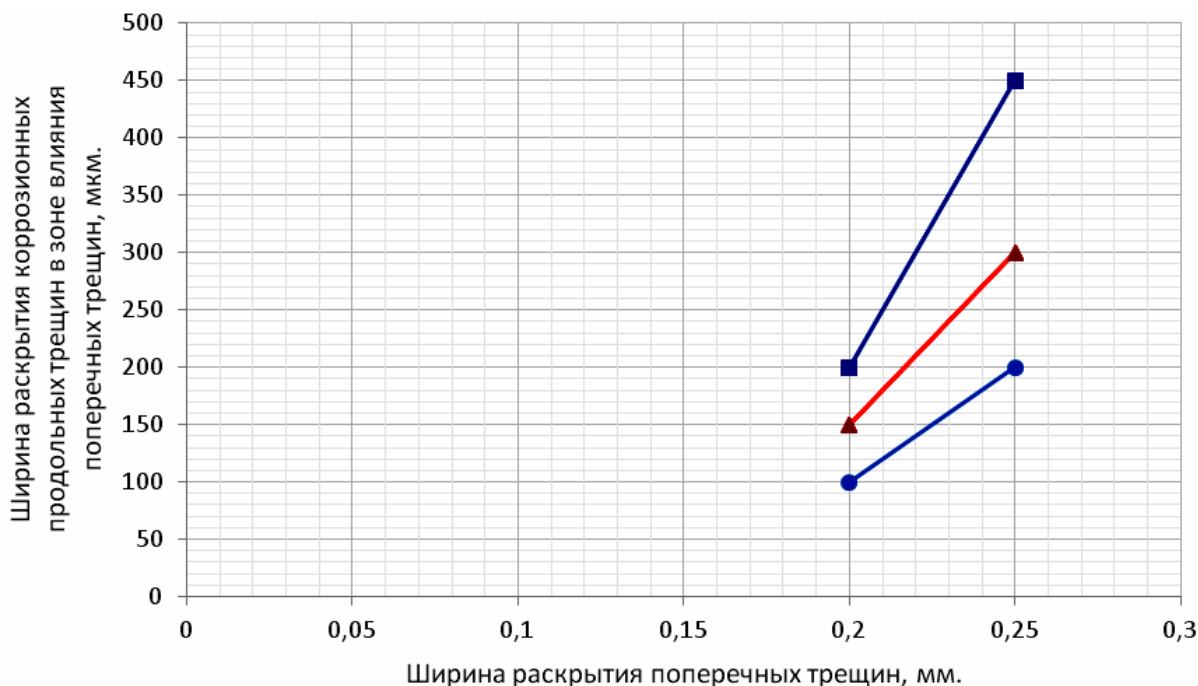


Рис. 2.85. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм двадцати опытных железобетонных образцов с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,25$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ от $\delta_{кор}^{\text{сред}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии согласно рис. 2.84 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;100; 27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;200; 38) – $a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 300$;

треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;150;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;300;38) – $a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{crc} - 450$;

квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;200;27), $a_{crc} = 0,25$ мм (0,25;450;38) – $a_T^{\text{прод}} = 5000 \cdot a_{crc} - 800$;

В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{\text{сред}}$, мм, с учётом $\delta_{кор}^{\text{сред}}$.

Т а б л и ц а 2.27

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин на двадцати железобетонных образцах с размерами 1500×200×70 мм с $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{прод} = f(a_{crc}) / a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$, в соответствующих a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
Нижняя	Переменная	-	-	-	100(27)	200(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 2000 \cdot a_{crc} - 300$
		-	-	-	100(27)	200(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 9,1 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 146$
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
Средняя	Переменная	-	-	-	150(27)	300(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 450$
		-	-	-	150(27)	300(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 13,64 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 218$
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
Верхняя	Переменная	-	-	-	200(27)	450(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 5000 \cdot a_{crc} - 800$
		-	-	-	200(27)	450(38)	$a_{Тпер}^{прод} = 22,73 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 414$
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-

Пр и м е ч а н и е . В круглых скобках $\ell_{кор}^{сред}$ в мм; a_{crc} в мм; $a_T^{прод}$ в мкм.

В сводной табл. 2.28 представлены уравнения регрессии значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} , с учётом максимальной и средней длины коррозии, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные значения $a_T^{прод}$ в поперечных трещинах бетона, с соответствующими a_{crc} , при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры.

Т а б л и ц а 2.28

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_{\Gamma}^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на железобетонных образцах с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм с арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона a_{crc} , с учётом максимальной и средней длины коррозии, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры, в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Место положения прямой на рис.1.26 [257].	Вид нагрузки	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}}); a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}});$ $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}); a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$					Уравнения регрессии: $\frac{a_{\Gamma}^{\text{прод}}}{a_{\Gamma}^{\text{прод}}} = f(a_{crc})$ $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}})$	
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	8	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Нижняя	Переменная	–; –	300(16); –	400(32); –	500(39); 100(39)	600(55); 150(55)	$a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot a_{crc}; a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$	
		–; –	–; 250(11)	–; 375(18)	100(27); 500(27)	200(38); 625(38)	$a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 300; a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 2500 \cdot a_{crc}$	
		–; –	200(16); –	400(32); –	500(39); 100(39)	600(55); 150(55)	$a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 121 + 8,7 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}; a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 3,13 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 22$	
	–; –	–; 250(11)	–; 400(18)	100(27); 500(27)	200(38); 600(38)	$a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 9,1 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 146; a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 220 + 10 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$		
	Постоянная	–; –	–; –	100(19); –	175(25); –	250(36); –	$a_{\Gamma_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 1500 \cdot a_{crc} - 125; –$	
		–; –	–; –	–; 50(18)	–; 150(21)	–; 250(28)	$–; a_{\Gamma_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 250$	
Средняя	Переменная	–; –	400(16); –	700(32); –	1000(39); 200(39)	1200(55); 300(55)	$a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 6000 \cdot a_{crc} - 200; a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$	
		–; –	–; 400(11)	–; 667(18)	150(27); 934(27)	300(38); 1200(38)	$a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{crc} - 450; a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 5333 \cdot a_{crc} - 133;$	

Окончание табл. 2.28

1	2	3	4	5	6	7	8	
		–; –	400(16);	800(32); –	1000(39); 200(39)	1200(55); 300(55)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 243 + 17,39 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; $a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 6,25 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 44$	
		–; –	–; 400(11)	–; 645(18)	150(27); 1000(27)	300(38); 1200(38)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 13,64 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$ – 218; $a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 37,5 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$ – 13	
	Постоянная	–; –	–; –	150(19) –	300(25); –	450(36); –	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$; –	
		–; –	–; –	–; 100(18)	–; 275(21)	–; 450(28)	–; $a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3500 \cdot a_{\text{crc}} - 425$	
			–; –	–; –	150(19); –	300(25); –	450(36); –	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 17,65 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}}$ – 185; –
			–; –	–; –	–; 100(18)	–; 300(21)	–; 450(28)	–; $a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 35 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}}$ – 540
Верхняя	Переменная	–; –	600(16); –	1200(32); –	1500(39); 300(39)	1800(55); 450(55)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$; $a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	
		–; –	–; 650(11)	–; 1075(18)	200(27); 1500(27)	450(38); 1925(38)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 5000 \cdot a_{\text{crc}} - 800$; $a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 8500 \cdot a_{\text{crc}} - 200$	
			–; –	600(16); –	1200(32); –	1500(39); 300(39)	1800(55); 450(55)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 365 + 26,09 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; $a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 9,38 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 66$
			–; –	–; 650(11)	–; 1200(18)	200(27); 1500(27)	450(38); 1800(38)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 22,73 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$ – 414; $a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 66 + 55,13 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$
	Постоянная	–; –	–; –	150(19); –	400(25); –	700(36); –	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{crc}} - 675$; –	
		–; –	–; –	–; 150(18)	–; 425(21)	–; 425(28)	–; $a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{crc}} - 675$	
		–; –	–; –	150(19); –	400(25); –	700(36); –	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 32,35 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}}$ – 465; –	
		–; –	–; –	–; 150(18)	–; 400(21)	–; 700(28)	–; $a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 55 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}}$ – 840	

Примечание. $\ell_{\text{кор}}$ и a_{crc} в мм; $a_{\text{Т}}^{\text{прод}}$ и $\delta_{\text{кор}}$ в мкм.

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от переменной и постоянной нагрузки при $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ и $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, в том числе в начале испытания, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, приведены в соответствующих табл. 2.29–2.32.

Т а б л и ц а 2.29

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин на поверхности двадцати опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от вида воздействующей изгибающей нагрузки, при $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	$a_{\text{crc}}, \text{ мм}$				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot a_{\text{crc}}$	-	300	400	500	600
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	150	200	250	300	350
	Отношение:		-	1,50	1,60	1,67	1,71
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 1500 \cdot a_{\text{crc}} - 125$	-	-	100	175	250
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 1500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 125$	-	-	25	75	125
	Отношение:		-	-	4,0	2,33	2,00
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot a_{\text{crc}}$	-	300	400	500	600
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 1500 \cdot a_{\text{crc}} - 125$	-	-	100	175	250
	Отношение:		-	-	4,0	2,86	2,40
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	150	200	250	300	350
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 1500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 125$	-	-	25	75	125
	Отношение:		-	-	10,0	4,0	2,8
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 6000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$	-	400	700	1000	1200
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 6000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 200$	-	100	250	400	550
	Отношение:		-	4,0	2,8	2,5	2,2

Окончание табл. 2.29

1	2	3	4	5	6	7	8
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{срс}} - 300$	-	-	150	300	450
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 300$	-	-	0	100	200
	Отношение:		-	-	-	3	2,25
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 6000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 200$	-	400	700	1000	1200
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 300$	-	-	150	300	450
	Отношение:		-	-	4,67	3,33	2,67
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 6000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 200$	-	100	250	400	550
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 300$	-	-	0	100	200
	Отношение:		-	-	-	4	2,75
	Верхняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{срс}} - 300$	-	600	1200	1500
Переменная		$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 300$	-	150	375	600	825
Отношение:		-	4	3,2	2,5	2,2	
Постоянная		$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{срс}} - 675$	-	-	150	400	700
Постоянная		$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 675$	-	-	-	58	242
Отношение:		-	-	-	6,9	2,89	
Переменная		$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{срс}} - 300$	-	600	1200	1500	1800
Постоянная		$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{срс}} - 675$	-	-	150	400	700
Отношение:		-	-	8,0	3,75	2,57	
Переменная		$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 300$	-	150	375	600	825
Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 675$	-	-	-	58	242	
Отношение		-	-	-	10,3	3,4	

Т а б л и ц а 2.30

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин на поверхности двадцати опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от вида действующей изгибающей нагрузки, при $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n=2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n=1,5$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 100$	-	-	-	100	150
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 100$	-	-	-	0	25
	Отношение:		-	-	-	-	6
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 100$	-	-	-	100	150
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 100$	-	-	-	0	25
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
Средняя	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$	-	-	-	200	300
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 200$	-	-	-	0	50
	Отношение:		-	-	-	-	6
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$	-	-	-	200	300
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 200$	-	-	-	0	50
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-

Окончание табл. 2.30

1	2	3	4	5	6	7	8	
Верхняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	-	-	300	450	
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 300$	-	-	-	0	75	
	Отношение:			-	-	-	-	6
	Постоянная	-	-	-	-	-	-	
	Постоянная	-	-	-	-	-	-	
	Отношение:			-	-	-	-	-
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	-	-	300	450	
	Постоянная	-	-	-	-	-	-	
	Отношение:			-	-	-	-	-
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 300$	-	-	-	0	75	
	Постоянная	-	-	-	-	-	-	
	Отношение			-	-	-	-	-

Таблица 2.31

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин на поверхности двадцати опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от вида воздействующей изгибающей нагрузки, при $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n=2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n=1,5$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис. 1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	$a_{\text{crc}}, \text{ мм}$					
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Нижняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 2500 \cdot a_{\text{crc}}$	-	250	375	500	625	
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 2500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	-	125	188	250	313	
	Отношение:			-	2	2	2	2
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 250$	-	-	50	150	250	
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 250$	-	-	-	17	83	
	Отношение:			-	-	-	8,8	3

Окончание табл. 2.31

1	2	3	4	5	6	7	8
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 2500 \cdot a_{\text{срс}}$	-	250	375	500	625
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{срс}} - 250$	-	-	50	150	250
	Отношение:		-	-	7,5	3,3	2,5
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 2500 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	-	125	188	250	313
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 250$	-	-	-	17	83
	Отношение:		-	-	-	14,7	3,8
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 5333 \cdot a_{\text{срс}} - 133$	-	400	667	934	1200
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 5333 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 133$	1	134	267	400	534
	Отношение:		-	3	2,5	2,3	2,25
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3500 \cdot a_{\text{срс}} - 425$	-	-	100	275	450
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3500 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 425$	-	-	-	42	158
	Отношение:		-	-	-	6,5	2,85
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 5333 \cdot a_{\text{срс}} - 133$	-	400	667	934	1200
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3500 \cdot a_{\text{срс}} - 425$	-	-	100	275	450
	Отношение:		-	-	6,67	3,4	2,67
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 5333 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 133$	1	134	267	400	534
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3500 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 425$	-	-	-	42	158
	Отношение:		-	-	-	9,5	3,38
Верхняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 8500 \cdot a_{\text{срс}} - 200$	-	650	1075	1500	1925
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 8500 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 200$	-	225	438	650	863
	Отношение:		-	2,9	2,45	2,31	2,23
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{срс}} - 675$	-	-	150	425	700
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 675$	-	-	-	58	242
	Отношение:		-	-	-	7,3	2,9
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 8500 \cdot a_{\text{срс}} - 200$	-	650	1075	1500	1925
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{срс}} - 675$	-	-	150	425	700
	Отношение:		-	-	7,2	3,5	2,75
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 8500 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 200$	-	225	438	650	863
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 675$	-	-	-	58	242
	Отношение:		-	-	-	11,2	3,6

Таблица 2.32

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин на поверхности двадцати опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, в зависимости от вида действующей изгибающей нагрузки, при $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	-	-	100	200
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 300$	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	-	-	100	200
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 300$	-	-	-	-	-
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 450$	-	-	-	150	300
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 450$	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 450$	-	-	-	150	300
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 450$	-	-	-	-	-
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8
Верхняя	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5000 \cdot a_{\text{crc}} - 800$	-	-	-	200	450
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 800$	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5000 \cdot a_{\text{crc}} - 800$	-	-	-	200	450
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-	-
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 800$	-	-	-	-	-
	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	Отношение		-	-	-	-	-

Влияние прироста толщины продуктов коррозии арматуры, соответственно в 1,5; 2,25 и 3 раза, при различном положении функциональных прямых (рис.1.26) для зависимостей $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ и $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$ на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин показывают данные теоретических исследований, результаты которых включены в соответствующие табл. 2.33–2.36. Содержание этих таблиц показывает, что переменная ступенчатая повторная изгибающая нагрузка, по сравнению с постоянной изгибающей нагрузкой, способствует более интенсивному увеличению ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зонах влияния равных по величине a_{crc} .

Таблица 2.33

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности двадцати опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, мкм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки, с учётом увеличения толщины продуктов коррозии арматуры в 1,5; 2,25 и 3 раза, при соответствующим расположении функциональных прямых на рис.1.26 [257]

Расположение функциональной прямой рис.1.26 [257]	Относительное увеличение продуктов коррозии арматуры	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм				
				0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нижняя	1,5	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot a_{\text{crc}}$	-	300	400	500	600
	2,25	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 50 + 4500 \cdot a_{\text{crc}}$	275	500	725	950	1175
	3	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 150 + 6000 \cdot a_{\text{crc}}$	450	750	1050	1350	1650
	Отношение:			1/1,64	1/1,67/2,5	1/1,81/2,63	1/1,9/2,7	1/1,96/2,75
	1,5	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1500 \cdot a_{\text{crc}} - 125$	-	-	100	175	250
	2,25	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 250$	-	50	200	350	500
	3	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5000 \cdot a_{\text{crc}} - 400$	-	100	350	600	850
Отношение:			-	1/2	1/2/3,5	1/2/3,4	1/2/3,4	
Средняя	1,5	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 6000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$	-	400	700	1000	1200
	2,25	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{crc}}$	450	900	1350	1800	2250
	3	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot a_{\text{crc}}$	1300	1750	2200	2650	3100
	Отношение:			1/2,9	1/2,25/4,38	1/1,93/3,14	1/1,8/2,65	1/1,88/2,58

Окончание табл. 2.33

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	1,5	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	-	150	300	450	
	2,25	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 6000 \cdot a_{\text{crc}} - 500$	-	100	400	700	1000	
	3	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 10000 \cdot a_{\text{crc}} - 800$	-	200	700	1200	1700	
		Отношение:			-	1/2	1/2,67/4,67	1/ 2,33/4	1/2,22/3,78
Верхняя	1,5	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	600	1200	1500	1800	
	2,25	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot a_{\text{crc}}$	1200	1700	2200	2700	3200	
	3	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 400 + 18000 \cdot a_{\text{crc}}$	1300	2200	3100	4000	4900	
		Отношение:			1/1,08	1/2,83/3,67	1/1,83/2,58	1/1,8/2,67	1/1,78/2,72
	1,5	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{crc}} - 675$	-	-	150	400	700	
	2,25	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{\text{crc}} - 500$	-	300	700	1100	1500	
	3	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 14000 \cdot a_{\text{crc}} - 1000$	-	400	1100	1800	2500	
		Отношение:			-	1/1,33	1/4,67/1,57	1/2,75/1,64	1/2,14/3,57

Таблица 2.34

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности двадцати опытных железобетонных балок с размерами 1500×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, мкм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки, с учётом увеличения толщины продуктов коррозии арматуры в 1,5; 2,25 и 3 раза, при соответствующим расположении функциональных прямых на рис.1.26 [257]

Расположение функциональной прямой рис.1.26 [257]	Относительное увеличение продуктов коррозии арматуры	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм				
				0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нижняя	1,5	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 100$	-	-	-	100	150
	2,25	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 350$	-	-	100	250	400
	3	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{crc}} - 233$	-	100	267	434	600
			Отношение:	-	-	1/2,67	1/2,5/4,34	1/2,67/4
	1,5	Постоянная	-	-	-	-	-	
	2,25	Постоянная	-	-	-	-	-	
	3	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2500 \cdot a_{\text{crc}} - 325$	-	-	50	175	300
			Отношение:	-	-	-	-	-
Средняя	1,5	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$	-	-	-	200	300
	2,25	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 350$	-	-	100	250	400
	3	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{crc}} - 500$	-	200	550	900	1250
			Отношение:	-	-	1/5,5	1/1,25/4,5	1/1,33/4,17
	1,5	Постоянная	-	-	-	-	-	
	2,25	Постоянная	-	-	-	-	-	
	3	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4500 \cdot a_{\text{crc}} - 515$	-	-	160	385	610
			Отношение:	-	-	-	-	-

Окончание табл. 2.34

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Верхняя	1,5	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$	-	-	-	300	450	
	2,25	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 8500 \cdot a_{crc} - 925$	-	-	350	775	1200	
	3	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 10667 \cdot a_{crc} - 767$	-	300	833	1366	1900	
			Отношение:		-	-	1/2,38	1/2,58/4,55	1/2,67/4,22
	1,5	Постоянная	-	-	-	-	-	-	
	2,25	Постоянная	-	-	-	-	-	-	
	3	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 7000 \cdot a_{crc} - 800$	-	-	250	600	950	
			Отношение:		-	-	-	-	-

Таблица 2.35

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности двадцати опытных железобетонных балок с размерами 1500x200x70мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$, мкм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки, с учётом увеличения толщины продуктов коррозии арматуры в 1,5; 2,25 и 3 раза, при соответствующем расположении функциональных прямых на рис.1.26 [257].

Расположение функциональной прямой рис.1.26 [257]	Относительное увеличение продуктов коррозии арматуры	Вид нагрузки	Уравнения регрессии.	$a_{crc}, \text{ мм}$				
				0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нижняя	1,5	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 2500 \cdot a_{crc}$	-	250	375	500	625
	2,25	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 100 + 4000 \cdot a_{crc}$	300	500	700	900	1100
	3	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 425 + 4500 \cdot a_{crc}$	-	250	1025	1800	2575
			Отношение:		-	1/2/1	1/2/2,73	1/1,8/3,6

Окончание табл. 2.35

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1,5	Постоянная	$a_{Тносм}^{прод} = 2000 \cdot a_{срс} - 200$	-	-	50	150	250
	2,25	Постоянная	$a_{Тносм}^{прод} = 3000 \cdot a_{срс} - 250$	-	50	200	350	500
	3	Постоянная	$a_{Тносм}^{прод} = 4667 \cdot a_{срс} - 367$	-	100	333	566	780
	Отношение:			-	1/2	1/4/6,7	1/2,33/3,77	1/2/3,12
Средняя	1,5	Переменная	$a_{Тнеп}^{прод} = 5333 \cdot a_{срс} - 133$	-	400	667	934	1200
	2,25	Переменная	$a_{Тнеп}^{прод} = 9000 \cdot a_{срс}$	450	900	1350	1800	2250
	3	Переменная	$a_{Тнеп}^{прод} = 850 + 9000 \cdot a_{срс}$	1300	1750	2200	2650	3100
	Отношение:			1/2,9	1/2,25/4,4	1/ 2/3,3	1/1,93/2,84	1/1,88/2,58
	1,5	Постоянная	$a_{Тносм}^{прод} = 3500 \cdot a_{срс} - 425$	-	-	100	275	450
	2,25	Постоянная	$a_{Тносм}^{прод} = 5500 \cdot a_{срс} - 375$	-	175	450	725	1000
	3	Постоянная	$a_{Тносм}^{прод} = 7000 \cdot a_{срс} - 250$	100	450	800	1150	1500
	Отношение:			-	1/ 2,57	1/4,5/8	1/2,64/4,18	1/2,2/3,33
Верхняя	1,5	Переменная	$a_{Тнеп}^{прод} = 8500 \cdot a_{срс} - 200$	-	650	1075	1500	1925
	2,25	Переменная	$a_{Тнеп}^{прод} = 700 + 10000 \cdot a_{срс}$	1200	1700	2200	2700	3200
	3	Переменная	$a_{Тнеп}^{прод} = 400 + 10000 \cdot a_{срс}$	1300	2200	3100	4000	4900
	Отношение:			1/1,08	1/2,6/3,4	1/2,1/2,91	1/1,8/2,7	1/1,77/2,55
	1,5	Постоянная	$a_{Тносм}^{прод} = 5500 \cdot a_{срс} - 675$	-	-	150	425	700
	2,25	Постоянная	$a_{Тносм}^{прод} = 8000 \cdot a_{срс} - 500$	-	300	700	1100	1500
	3	Постоянная	$a_{Тносм}^{прод} = 15500 \cdot a_{срс} - 1300$	-	250	1025	1800	2575
	Отношение:			-	1/1	1/4,7/6,8	1/2,6/4,24	1/2,14/3,7

Таблица 2.36

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности двадцати опытных железобетонных балок с размерами 1500x200x70мм, с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, мкм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки, с учётом увеличения толщины продуктов коррозии арматуры в 1,5; 2,25 и 3 раза, при соответствующим расположении функциональных прямых на рис.1.26 [257]

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Относительное увеличение продуктов коррозии арматуры	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	$a_{\text{crc}}, \text{ мм}$				
				0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нижняя	1,5	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	-	-	100	200
	2,25	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 350$	-	-	100	250	400
	3	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{crc}} - 233$	-	100	267	434	600
			Отношение:	-	-	1/2,67	1/2,5/4,34	1/ 2/ 3
	1,5	Постоянная	-	-	-	-	-	-
	2,25	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	-	50	100	200
	3	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$	-	0	100	200	300
		Отношение:	-	-	1/ 2	1/ 2	1/ 1,5	
Средняя	1,5	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 450$	-	-	-	150	300
	2,25	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{crc}} - 575$	-	-	250	525	800
	3	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 7500 \cdot a_{\text{crc}} - 625$	-	125	500	875	1250
			Отношение:	-	-	1/ 2	1/3,5/5,8	1/2,7/4,2

Окончание табл. 2.36

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	1,5	Постоянная	-	-	-	-	-	-	
	2,25	Постоянная	$a_{\text{Гпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$	-	0	100	200	300	
	3	Постоянная	$a_{\text{Гпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 400$	-	0	200	400	600	
		Отношение:			-		1/2	1/2	1/2
Верхняя	1,5	Переменная	$a_{\text{Гпер}}^{\text{прод}} = 5000 \cdot a_{\text{crc}} - 800$	-	-	-	200	450	
	2,25	Переменная	$a_{\text{Гпер}}^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{crc}} - 1050$	-	-	300	750	1200	
	3	Переменная	$a_{\text{Гпер}}^{\text{прод}} = 10667 \cdot a_{\text{crc}} - 767$	-	300	833	1366	1900	
		Отношение:			-	-	1/2,8	1/3,75/6,83	1/2,66/4,22
	1,5	Постоянная	-	-	-	-	-	-	
	2,25	Постоянная	$a_{\text{Гпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 550$	-	-	50	250	450	
	3	Постоянная	$a_{\text{Гпост}}^{\text{прод}} = 6500 \cdot a_{\text{crc}} - 725$	-		250	575	900	
		Отношение:			-	-	1/5	1/2,3	1/2

2.2. Методика и результаты второго этапа теоретического исследования ширины раскрытия коррозионных продольных трещин

2.2.1. Общие сведения

Второй этап теоретических исследований определения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, основывается на анализе результатов длительных экспериментальных испытаний, проведённых на шести прямых моделях обычных железобетонных конструкций, соответственно по три балки на действие переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки [260, 261].

Опытные образцы с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм изготовлены из тяжёлого бетона с одиночной рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III и толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм.

Максимальная и минимальная составляющие ступенчатой повторной нагрузки приняты для всех образцов, испытывающих воздействие переменной нагрузки, соответственно равными $M_{\max} = 0,70M_p$ и $M_{\min} = 0,40M_p$, где M_p – величина разрушающего изгибающего момента. Продолжительность цикла действия переменной нагрузки составляет $t_{ц} = 60$ суток. Относительное симметричное время действия минимальной нагрузки в периоде цикла равняется $\eta = t_{M_{\min}} / t_{ц} = 0,5$.

Контрольные железобетонные балки испытывали воздействие постоянной нагрузки, с уровнем загрузения $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}$.

Длительные экспериментальные исследования проводились в натуральных атмосферных условиях с дополнительным воздействием жидкой агрессивной среды, в виде периодического увлажнения поверхности опытных образцов водным раствором 3 %-го хлористого натрия, не менее шести раз в сутки. Общий период экспериментальных испытаний составил полтора года, до момента появления коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона балок, испытывающих воздействие переменной нагрузки.

На рис. 2.86 и 2.87 показаны соответственно максимальная, средняя длина и максимальная, средняя глубина коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона.

По данным рис. 2.86 и 2.87 в табл.2.37 представлены максимальные и средние значения характеристик коррозионного поражения арматуры

диаметром 14 мм класса А-III на опытных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона 25 мм в поперечных трещинах с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в зоне чистого изгиба, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами $t_{Ц} = 60$ суток, $\eta = t_{Mmin} / t_{Ц} = 0,5$, $\rho = 0,4M_{разр} / 0,7M_{разр}$ и постоянной изгибающей нагрузки с $M_{пост} = 0,7 M_{разр}$.

На рис. 2.88–2.91 по данным табл. 2.37 приведены графические и функциональные зависимости соответственно для максимальных и средних значений длины коррозионного поражения арматуры от максимальных и средних значений глубины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

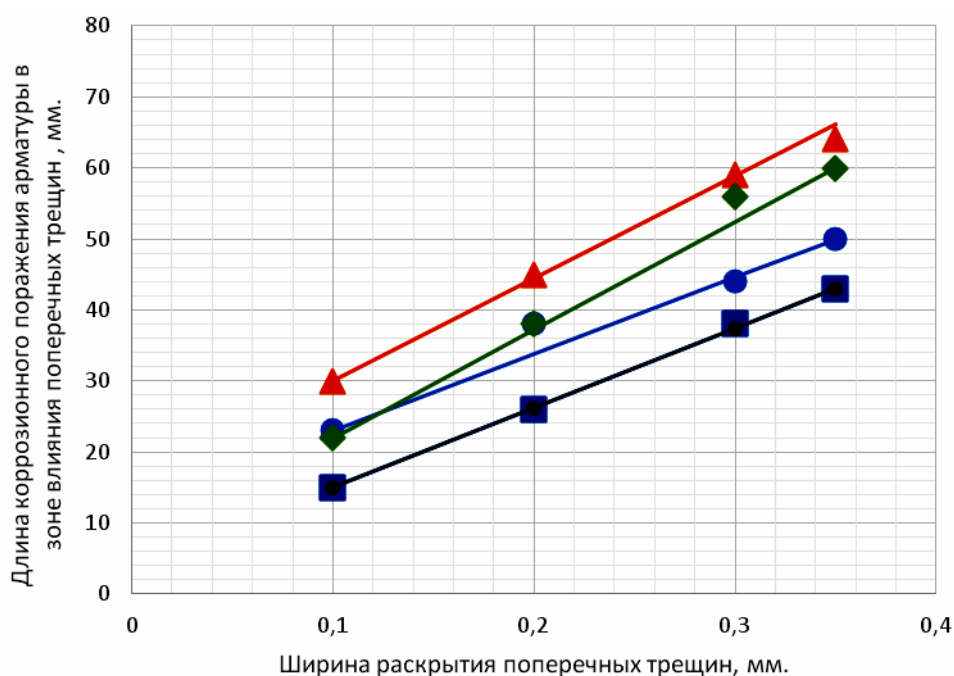


Рис.2.86. Максимальная $\ell_{кор}^{max}$ и средняя $\ell_{кор}^{сред}$ длина коррозионного поражения арматуры диаметром 14 мм класса А-III на опытных железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно постоянная и переменная нагрузка для $\ell_{кор}^{max}$; квадраты и ромбы – соответственно постоянная и переменная нагрузка для $\ell_{кор}^{сред}$.

Уравнения регрессии: переменная нагрузка (треугольник) – $\ell_{кор,пер}^{max} = 15,5 + 145 \cdot a_{crc}$; постоянная нагрузка (окружность) – $\ell_{кор,пост}^{сред} = 12,2 + 108 \cdot a_{crc}$; переменная нагрузка (ромб) – $\ell_{кор,пер}^{сред} = 6,8 + 152 \cdot a_{crc}$; постоянная нагрузка (квадрат) – $\ell_{кор,пост}^{сред} = 3,8 + 112 \cdot a_{crc}$, где $\ell_{кор}$ в мм, a_{crc} в мм.

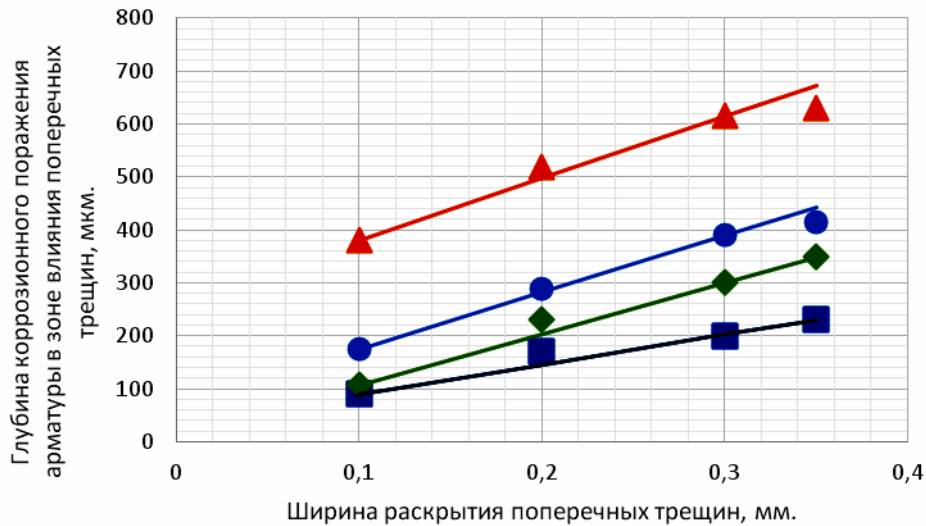


Рис.2.87. Максимальная $\delta_{кор}^{max}$ и средняя $\delta_{кор}^{сред}$ глубина коррозионного поражения арматуры диаметром 14 мм класса А-III на опытных железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно постоянная и переменная изгибающая нагрузка для $\delta_{кор}^{max}$, квадраты и ромбы – соответственно постоянная и переменная изгибающая нагрузка для $\delta_{кор}^{сред}$.

Уравнения регрессии: переменная нагрузка (треугольник) – $\delta_{кор.пер}^{max} = 262,5 + 1175 \cdot a_{crc}$; постоянная нагрузка (окружность) – $\delta_{кор.пост}^{max} = 67,5 + 1075 \cdot a_{crc}$; переменная нагрузка (ромб) – $\delta_{кор.пер}^{max} = 10,5 + 965 \cdot a_{crc}$; постоянная нагрузка (квадрат) – $\delta_{кор.пост}^{сред} = 34 + 560 \cdot a_{crc}$, где δ в мкм, a_{crc} в мм.

Т а б л и ц а 2.37

Характеристики коррозионного поражения арматуры диаметром 14 мм класса А-III на опытных железобетонных образцах 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона 25 мм, в зоне чистого изгиба, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами $t_{ц} = 60$ суток, $\eta = t_{Mmin} / t_{ц} = 0,5$, $\rho = 0,4 M_{разр} / 0,7 M_{разр}$ и постоянной нагрузки с $M_{пост} = 0,7 M_{разр}$

a_{crc} , мм	$\zeta_{кор}^{max}$, мм			$\delta_{кор.ч.м}^{max}$, мкм			$\zeta_{кор}^{сред}$, мм			$\delta_{кор.ч.м}^{сред}$, мм		
	Перем. нагр, (Пр.)	Пост. нагр, (Пс.)	$\frac{Пр}{Пс}$	Перем. нагр, (Пр.)	Пост. нагр, (Пс.)	$\frac{Пр}{Пс}$	Перем. нагр, (Пр.)	Пост. нагр, (Пс.)	$\frac{Пр}{Пс}$	Перем. нагр, (Пр.)	Пост. нагр, (Пс.)	$\frac{Пр}{Пс}$
0,1	30	23	1,30	380	175	2,17	22	15	1,47	107	90	1,19
0,2	45	38	1,18	520	290	1,79	38	26	1,46	230	170	1,35
0,3	59	44	1,34	615	390	1,58	56	38	1,48	300	200	1,5
0,35	64	50	1,28	630	415	1,52	60	43	1,40	350	230	1,52

Условные обозначения к табл.2.37: $t_{ц}$ – длительность цикла загрузки максимальной и минимальной изгибающей нагрузкой; η – относительное время загрузки максимальной изгибающей нагрузкой в периоде цикла; ρ – уровень загрузки минимальной изгибающей нагрузкой в цикле переменной нагрузки; кор.ч.м – коррозия чистого металла арматуры.

На рис. 2.88–2.91 по данным табл. 2.37 приведены графические и функциональные зависимости соответственно для максимальных и средних значений длины коррозии, с учётом средних величин глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.



Рис.2.88. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зависимости от максимальной глубины коррозии металла арматуры в поперечных трещинах с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная нагрузка; треугольник – постоянная нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин по возрастающей высоте ординат с координатами $a_{crc} = 0,10$ мм (380;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (520;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (615;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (630;64). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин по возрастающей высоте ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (175;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (290;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (390;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (415;50).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{max} = 0,123 \cdot \delta_{кор}^{max} - 16,6$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{max} = 3,91 + 0,109 \cdot \delta_{кор}^{max}$, где ℓ^{max} в мм, δ^{max} в мкм. Индексы пост. и пер. – соответственно постоянная и переменная изгибающая нагрузка.

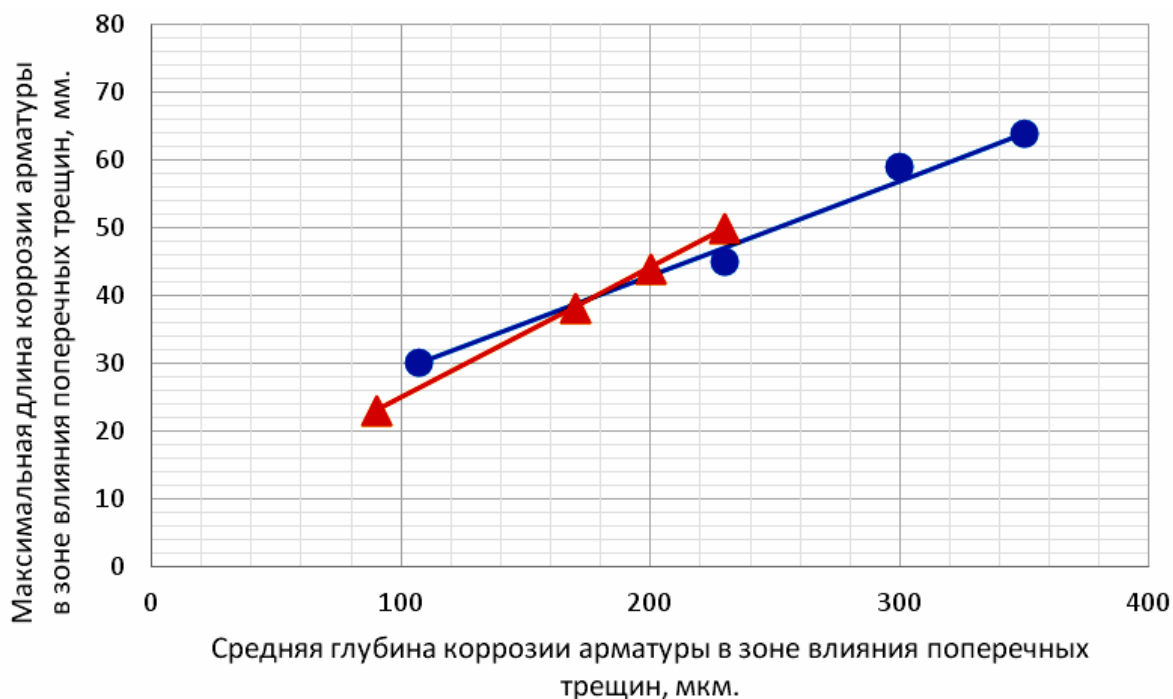


Рис.2.89. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зависимости от средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная нагрузка; треугольник – постоянная нагрузка; Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте оси ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм $a_{crc} = 0$, (107;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (230;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (300;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (350;64). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте оси ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (90;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (170;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (200;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (230;64).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{max} = 15,00 + 0,193 \cdot \delta_{кор}^{сред}$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{max} = 5,64 + 0,193 \cdot \delta_{кор}^{сред}$, где ℓ^{max} в мм, $\delta^{сред}$ в мкм. Индексы пост. и пер. – соответственно постоянная и переменная изгибающая нагрузка.

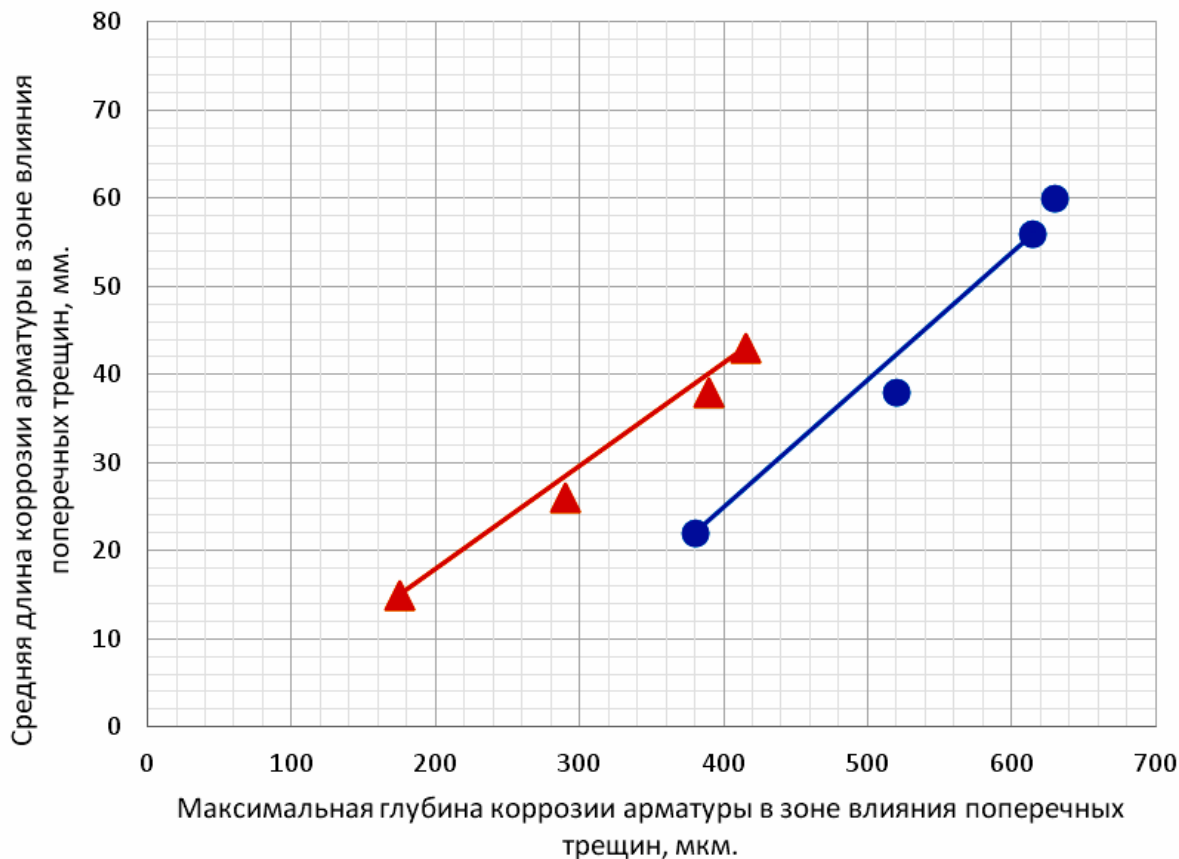


Рис. 2.90. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от максимальной глубины коррозионного поражения арматуры $\delta_{кор}^{max}$ в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка, треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (380;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (520;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (615;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (630;60); треугольники – $a_{crc} = 0,10$ мм (175;15), $a_{crc} = 0,20$ мм (290;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (390;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (415;43).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{сред} = 0,145 \cdot \delta_{п.к.пер}^{max} - 33$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{сред} = 0,117 \cdot \delta_{п.к.пост}^{max} - 5$. В уравнениях регрессии $\delta_{кор}^{max}$ в мкм, $\ell_{кор}^{сред}$ в мм. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

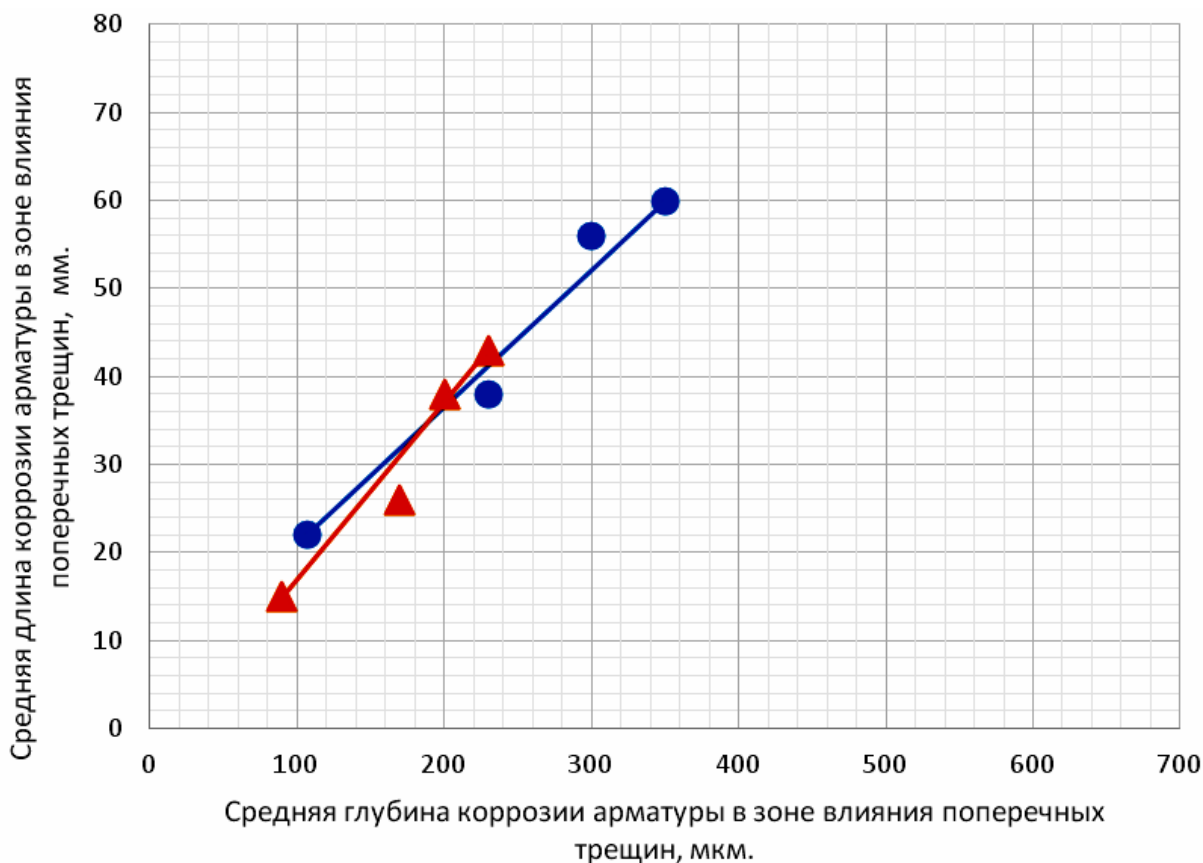


Рис.2.91. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зависимости от средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная нагрузка; треугольник – постоянная нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (107;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (230;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (300;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (350;60). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (90;15), $a_{crc} = 0,20$ мм (170;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (200;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (230;43).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{сред} = 0,156 \cdot \delta_{кор}^{сред} + 5,3$, треугольник – $\ell_{кор.пост}^{сред} = 0,2 \cdot \delta_{кор}^{сред} - 3$, где $\ell_{кор}^{сред}$ в мм, $\delta_{кор}^{сред}$ в мкм. Индексы пост. и пер. – соответственно постоянная и переменная изгибающая нагрузка.

2.2.2. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали

На рис. 2.92–2.95 согласно данным рис. 2.88–2.91 показаны графические и функциональные зависимости максимальной и средней длины коррозии арматуры в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм от максимальной и средней толщины продуктов коррозии арматуры в зоне влияния расчётных поперечных трещин, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

В сводной табл. 2.38 представлены численные значения характеристик коррозионного поражения арматуры диаметром 14 мм класса А-III и продуктов коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм и рассчитанные с помощью этих значений соответствующие уравнения регрессии.

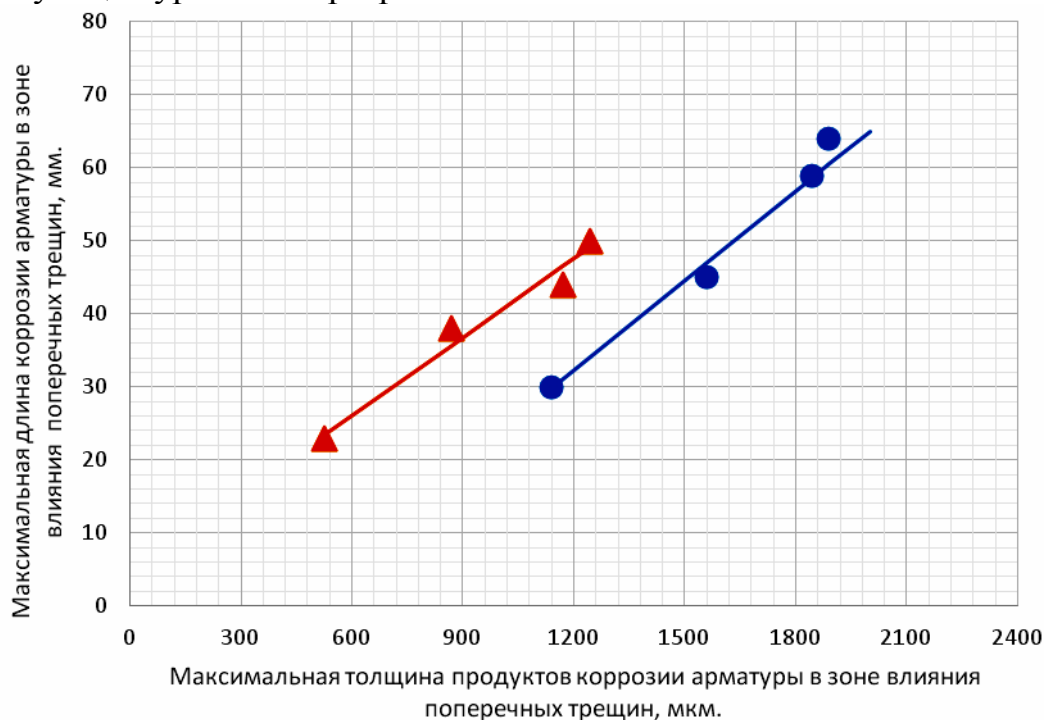


Рис.2.92. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при максимальной глубине коррозионного поражения арматурного стержня в зоне влияния поперечных трещин, с учётом трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная нагрузка; треугольник – постоянная нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (1140;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (1560;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (1845;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (1890;64). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (525;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (870;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (1170;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (1245;50).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{max} = 0,041 \cdot \delta_{п.к.пер}^{max} - 16,9$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{max} = 4,4 + 0,036 \cdot \delta_{п.к.пост}^{max}$, где ℓ^{max} в мм, $\delta_{п.к.}^{max}$ в мкм. Индексы пост. и пер. – соответственно постоянная и переменная изгибающая нагрузка, п.к. – продукты коррозии арматуры.

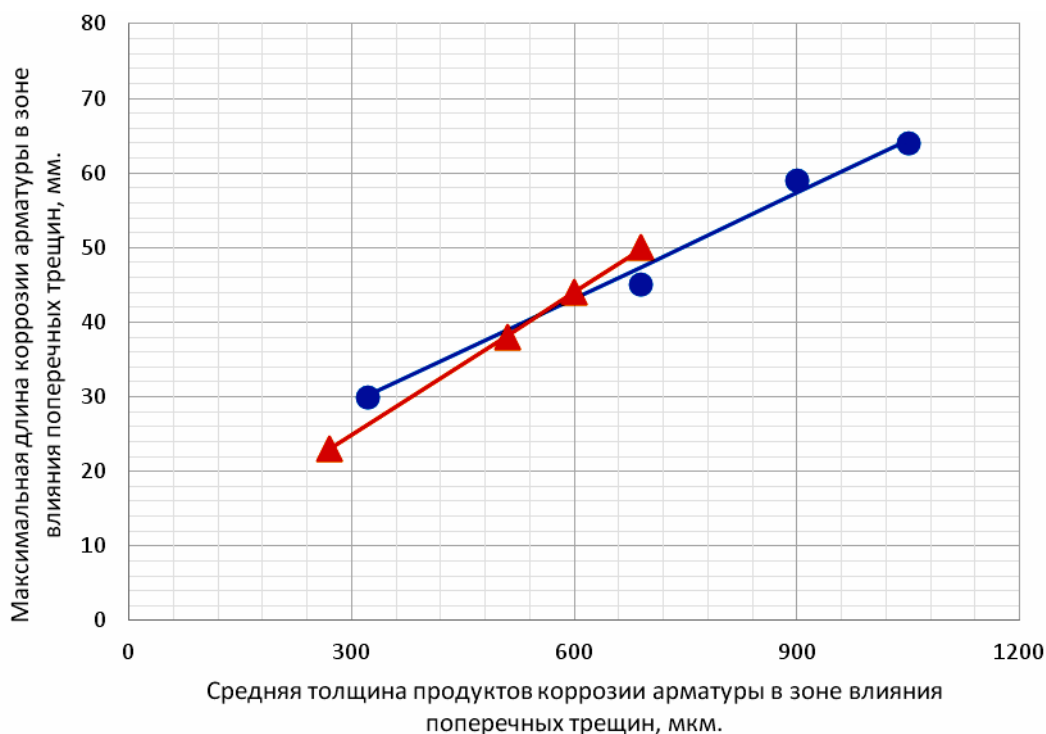


Рис.2.93. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, при средней глубине коррозионного поражения арматурного стержня в зоне влияния поперечных трещин, с учетом трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная нагрузка; треугольник – постоянная нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте оси ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (321;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (690;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (900;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (1050;64). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте оси ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (270;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (510;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (600;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (690;50).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{max} = 15,03 + 0,047 \cdot \delta_{п.к.пер}^{сред}$; для треугольника – $\ell_{кор.пост}^{max} = 5,64 + 0,64 \cdot \delta_{п.к.пост}^{сред}$, где ℓ^{max} в мм, $\delta^{сред}$ в мкм. Индексы пост. и пер. – соответственно постоянная и переменная изгибающая нагрузка, п.к. – продукты коррозии арматуры.

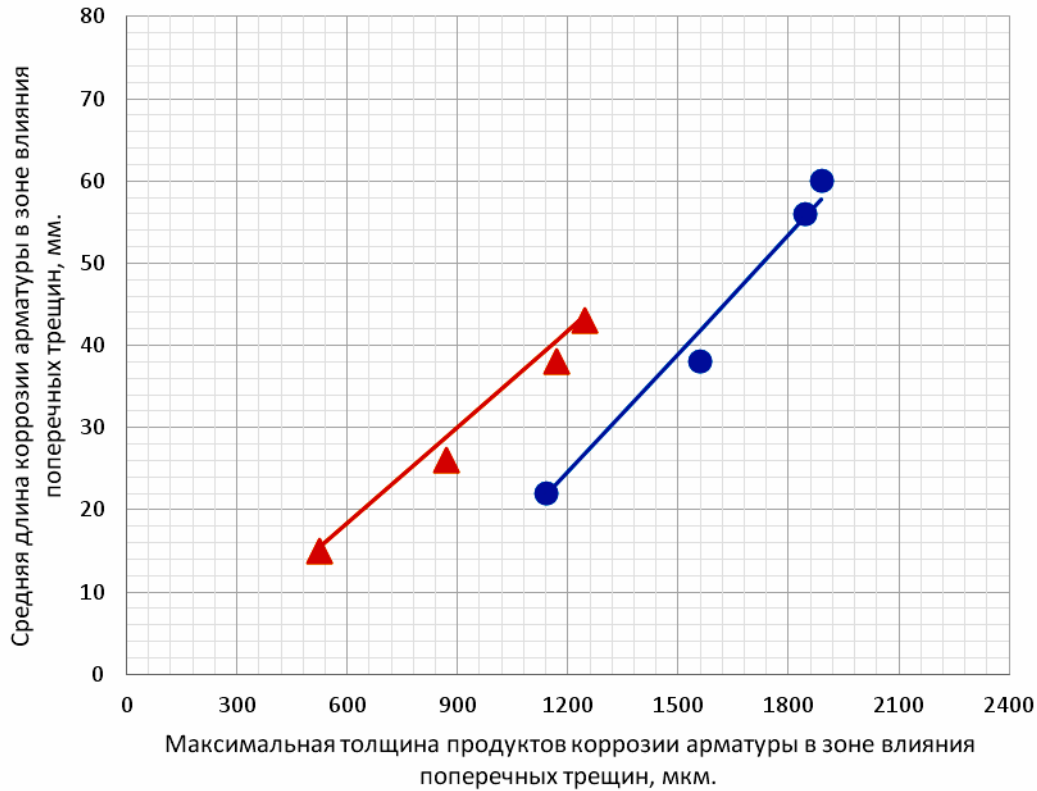


Рис. 2.94. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при максимальной глубине коррозионного поражения арматурного стержня в зоне влияния поперечных трещин, с учетом трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная нагрузка; треугольник – постоянная нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте оси ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (1140;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (1560;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (1845;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (1890;60). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте оси ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (525;15), $a_{crc} = 0,20$ мм (870;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (1170;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (1245;43).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{сред} = 0,048 \cdot \delta_{кор.пер}^{max} - 33$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{сред} = 0,039 \cdot \delta_{кор.пер}^{max} - 5$, где $\ell^{сред}$ в мм, δ^{max} в мкм. Индексы пост. и пер. – соответственно постоянная и переменная изгибающая нагрузка, п.к. – продукты коррозии арматуры.

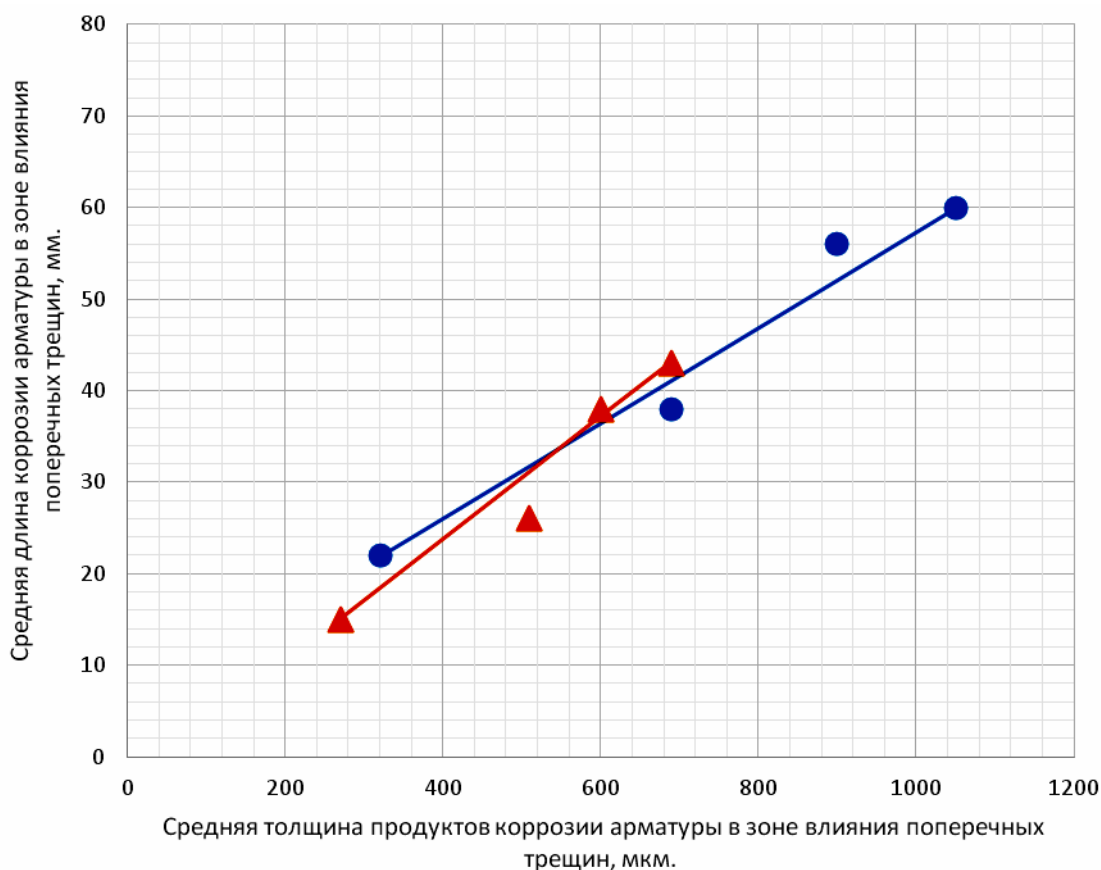


Рис.2.95. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, при средней глубине коррозионного поражения арматурного стержня в зоне влияния поперечных трещин, с учётом трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная нагрузка; треугольник – постоянная нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (324;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (690;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (900;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (1050;60). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (270;15), $a_{crc} = 0,20$ мм (510;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (600;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (690;43).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор.пер}^{сред} = 5,3 + 0,052 \cdot \delta_{п.к.пер}^{сред}$; треугольник – $\ell_{кор.пост}^{сред} = 0,067 \cdot \delta_{п.к.пост}^{сред} - 3$, где $\ell_{кор}^{сред}$ в мм, $\delta_{кор}^{сред}$ в мкм. Индексы пост. и пер. – соответственно постоянная и переменная изгибающая нагрузка, п.к. – продукты коррозии арматуры.

Таблица 2.38

Характеристики коррозионного поражения арматуры диаметром 14 мм класса А-III, в виде коррозии чистого металла арматуры и отложения продуктов коррозии арматурной стали в расчётных поперечных трещинах железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зоне чистого изгиба, при действии ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами $t_{ц} = 60$ суток, $\eta = 0,5$, $\rho = M_{\min}/M_{\max} = 0,4M_{\text{разр}}/0,7M_{\text{разр}}$ и постоянной изгибающей нагрузки с $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}$

$\ell_{\text{кор}}^{\max}$, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, $\delta_{\text{ч.м.}}^{\max}$, $\delta_{\text{п.к.}}^{\max}$, $\delta_{\text{ч.м.}}^{\text{сред}}$, $\delta_{\text{п.к.}}^{\text{сред}}$	$a_{\text{срс}}$, мм				Уравнение регрессии
	0,1	0,2	0,30	0,35	
$\ell_{\text{кор.пер}}^{\max}$, мм $\delta_{\text{ч.м.пер}}^{\max}$, мм	30 380	45 520	59 615	64 630	$\ell_{\text{кор.пер}}^{\max} = 0,123 \cdot \delta_{\text{ч.м.пер}}^{\max} - 16,6$
$\ell_{\text{кор.пост}}^{\max}$, мм $\delta_{\text{ч.м.пост}}^{\max}$, мм	23 175	38 290	44 390	50 415	$\ell_{\text{кор.пост}}^{\max} = 3,91 + 0,109 \cdot \delta_{\text{ч.м.пост}}^{\max}$
$\ell_{\text{кор.пер}}^{\max}$, мм $\delta_{\text{п.к.пер}}^{\max}$, МКМ	30 1140	45 1560	59 1845	64 1890	$\ell_{\text{кор.пер}}^{\max} = 0,041 \cdot \delta_{\text{п.к.пер}}^{\max} - 16,9$
$\ell_{\text{кор.пост}}^{\max}$, мм $\delta_{\text{п.к.пост}}^{\max}$, МКМ	23 525	38 870	44 1170	50 1145	$\ell_{\text{кор.пост}}^{\max} = 4,4 + 0,036 \cdot \delta_{\text{п.к.пост}}^{\max}$
$\ell_{\text{кор.пер}}^{\max}$, мм $\delta_{\text{ч.м.пер}}^{\text{сред}}$, МКМ	30 107	45 230	59 300	64 350	$\ell_{\text{кор.пер}}^{\max} = 15,00 + 0,14 \cdot \delta_{\text{ч.м.пер}}^{\text{сред}}$
$\ell_{\text{кор.пер}}^{\max}$, мм $\delta_{\text{ч.м.пер}}^{\text{сред}}$, МКМ	23 90	38 170	44 200	50 230	$\ell_{\text{кор.пер}}^{\max} = 5,64 + 0,193 \cdot \delta_{\text{ч.м.пер}}^{\text{сред}}$
$\ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$, мм $\delta_{\text{ч.м.пер}}^{\text{сред}}$, МКМ	22 107	38 230	56 300	60 350	$\ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} = 0,156 \cdot \delta_{\text{ч.м.пер}}^{\text{сред}} + 5,3$
$\ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$, мм $\delta_{\text{ч.м.пер}}^{\text{сред}}$, МКМ	22 321	38 690	56 900	60 1050	$\ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} = 5,3 + 0,052 \cdot \delta_{\text{п.к.пер}}^{\text{сред}}$
$\ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}}$, мм $\delta_{\text{ч.м.пост}}^{\text{сред}}$, МКМ	15 90	26 170	38 200	43 230	$\ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} = 0,2 \cdot \delta_{\text{ч.м.пост}}^{\text{сред}} - 3$
$\ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}}$, мм $\delta_{\text{п.к.пост}}^{\text{сред}}$, МКМ	15 270	26 510	38 600	43 690	$\ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} = 0,067 \cdot \delta_{\text{п.к.пост}}^{\text{сред}} - 3$

Примечание: кор – коррозия; ч.м. – чистый металл арматуры; п.к. – продукты коррозии арматурной стали; увеличение продуктов коррозии металла по толщине в три раза по сравнению с чистым металлом арматуры; пер – переменная изгибающая нагрузка; пост – постоянная изгибающая нагрузка.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры с максимальной глубиной коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин, при трёхкратном увеличении продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.92 отмечена соответственно на рис. 2.96–2.98.

В сводной табл. 2.39 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры, при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.99 и 2.100), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

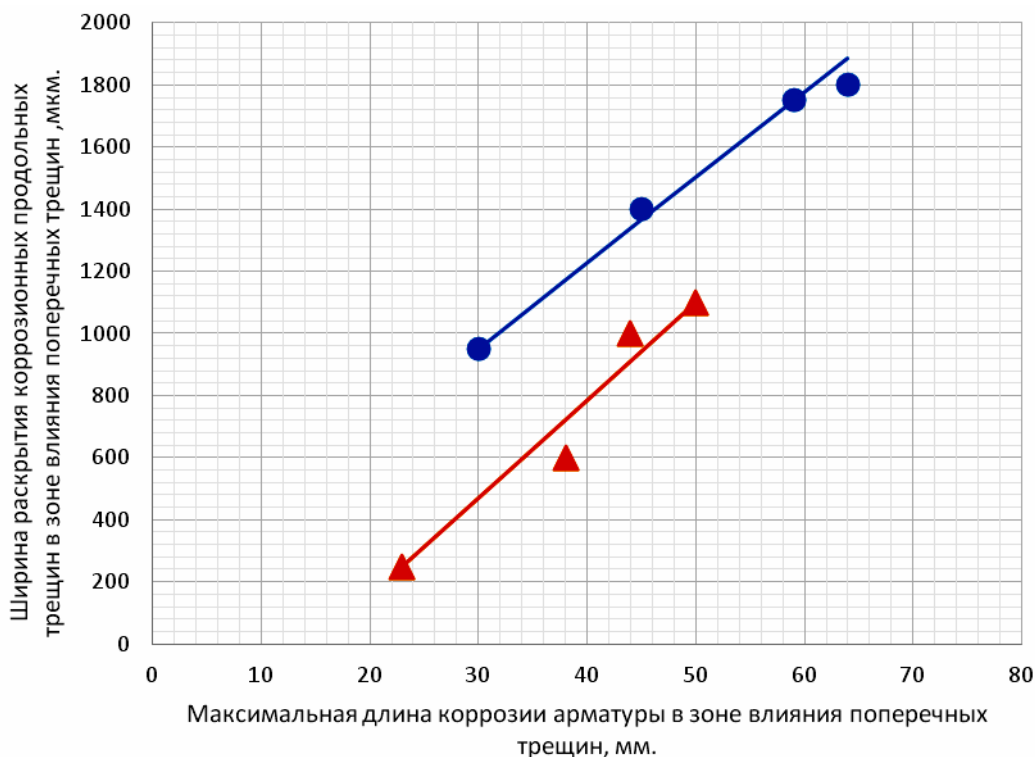


Рис.2.96. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{срс}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при воздействии переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники-соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (30;950), $a_{crc} = 0,20$ мм (45;1400), $a_{crc} = 0,30$ мм (59;1750), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;1800). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (30;950), $a_{crc} = 0,20$ мм (45;1400), $a_{crc} = 0,30$ мм (59;1750), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;1800).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{прод} = 122 + 27,59 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$; треугольник – $a_T^{прод} = 31,5 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 474$, где $a_T^{прод}$ в МКМ, $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

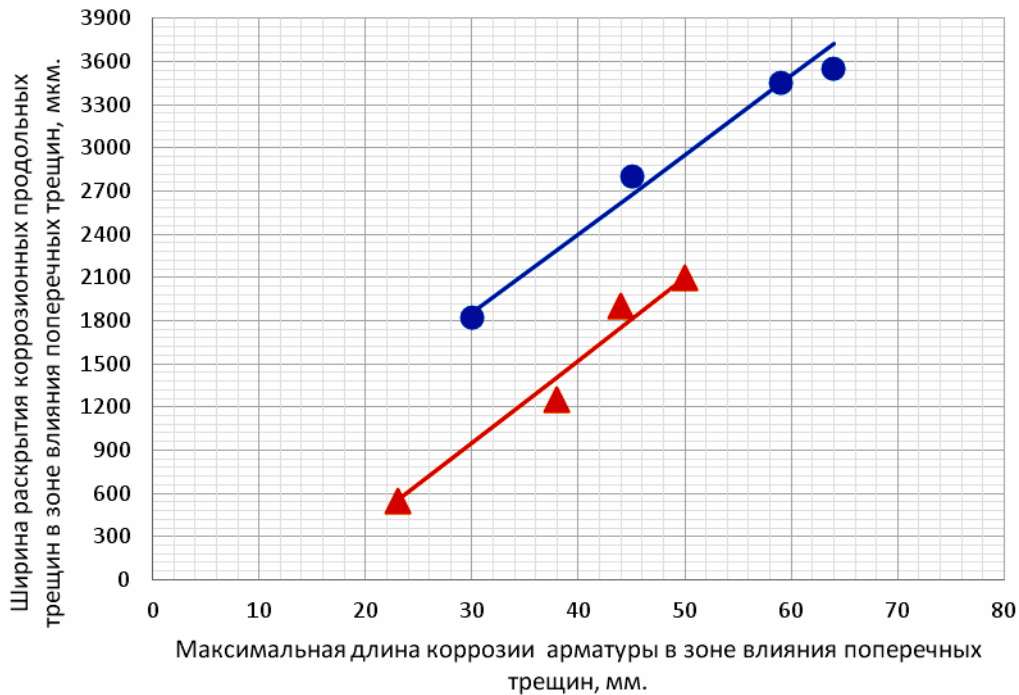


Рис.2.97. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (30;1850), $a_{crc} = 0,20$ мм (45;2800), $a_{crc} = 0,30$ мм (59;3450), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;3550). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (23;550), $a_{crc} = 0,20$ мм (38;1250), $a_{crc} = 0,30$ мм (44;1900), $a_{crc} = 0,35$ мм (50;2100).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{прод} = 195 + 55,17 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$; треугольник – $a_T^{прод} = 57,4 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 770$, где $a_T^{прод}$ в МКМ, $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

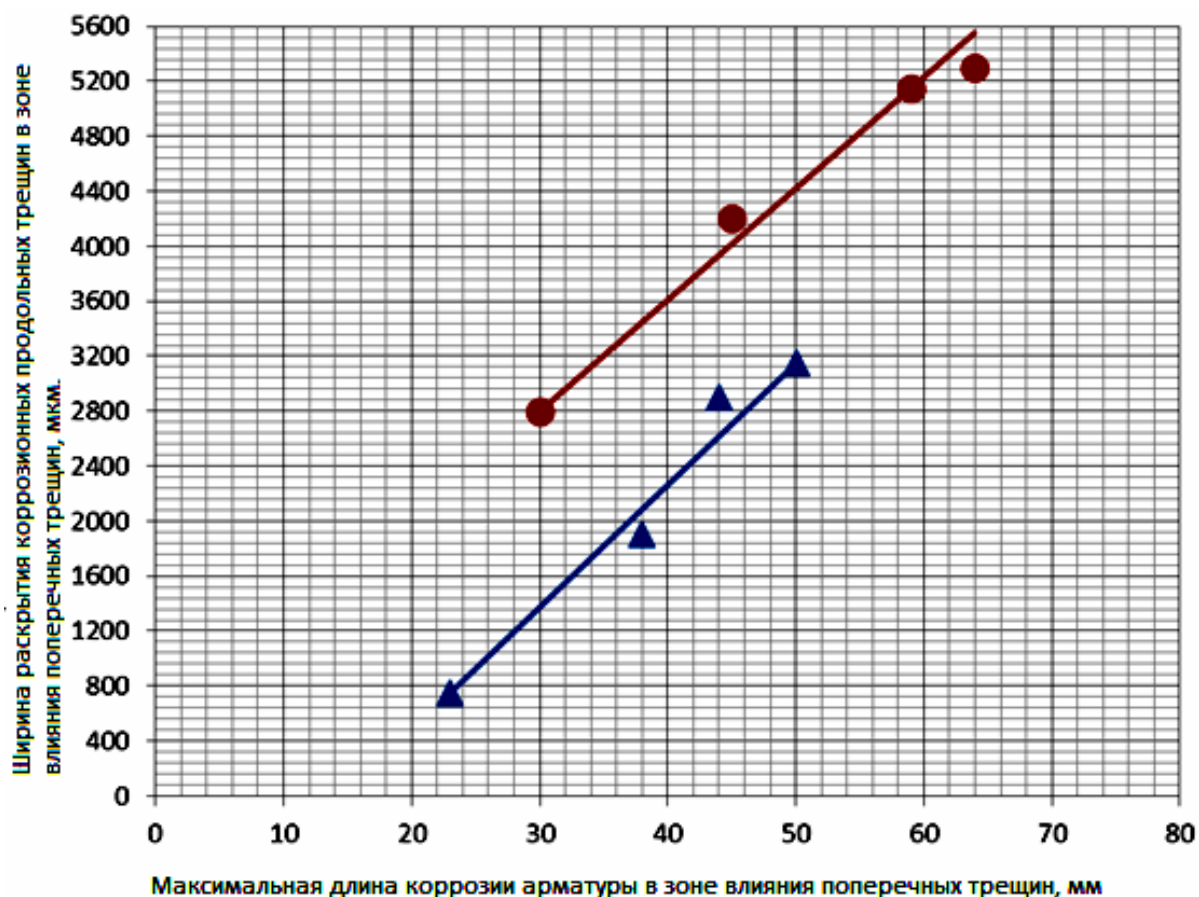


Рис.2.98. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм(30;2800), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм(45;4200), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм(59;5150) $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;5300). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм(23;750), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм(38;1900), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (44;2900), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (50;3150).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 369 + 81,03 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 88,9 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 1294$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.



Рис.2.99. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{cpc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 2.96–2.98 и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники, засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{cpc}} = 0,1$ мм (30;950), $a_{\text{cpc}} = 0,2$ мм (45;1400), $a_{\text{cpc}} = 0,3$ мм (58;1750), $a_{\text{cpc}} = 0,35$ мм (64;1800) – $a_T^{\text{прод}} = 122 + 27,59 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{cpc}} = 0,1$ мм (30;1850), $a_{\text{cpc}} = 0,2$ мм (45;2800), $a_{\text{cpc}} = 0,3$ мм (59;3450), $a_{\text{cpc}} = 0,35$ мм (64;3550) – $a_T^{\text{прод}} = 195 + 55,17 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{cpc}} = 0,1$ мм (30;2800), $a_{\text{cpc}} = 0,2$ мм (45;4200), $a_{\text{cpc}} = 0,3$ мм (59;5150), $a_{\text{cpc}} = 0,35$ мм (64;5300) – $a_T^{\text{прод}} = 369 + 81,03 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{cpc}} = 0,1$ мм (23;250), $a_{\text{cpc}} = 0,2$ мм (38;600), $a_{\text{cpc}} = 0,3$ мм (44;1000), $a_{\text{cpc}} = 0,35$ мм (50;1100) – $a_T^{\text{прод}} = 31,5 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 474$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{cpc}} = 0,1$ мм (23;550), $a_{\text{cpc}} = 0,2$ мм (38;1250), $a_{\text{cpc}} = 0,3$ мм (44;1900), $a_{\text{cpc}} = 0,35$ мм (50;2100) – $a_T^{\text{прод}} = 57,4 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 770$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (23;750), $a_{crc} = 0,2$ мм (38;1900), $a_{crc} = 0,3$ мм (44;2900), $a_{crc} = 0,35$ мм (50;3150) – $a_T^{prod} = 88,8 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 1294$. В уравнениях a_T^{prod} в мкм, $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

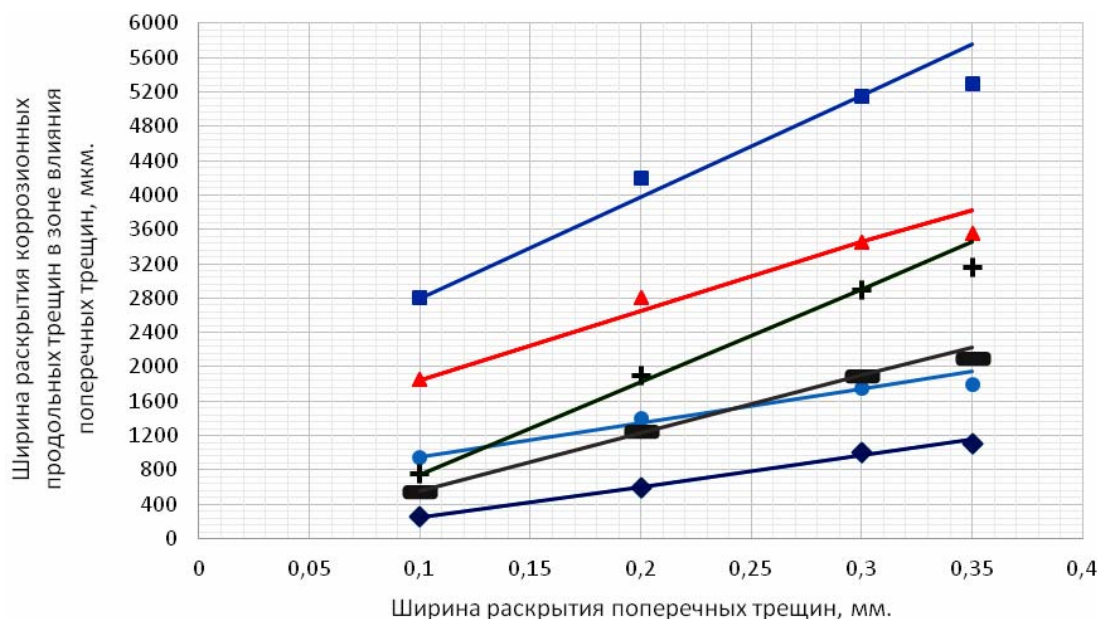


Рис.2.100. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм с арматурой диаметром 14 мм класса А-III в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при трехкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии согласно рис. 2.99 при действии переменной повторной ступенчатой и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 950; 30), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;1400;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1750; 58), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 1800;64) – $a_T^{prod} = 550 + 4000 \cdot a_{crc}$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 1850;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 2800;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;3450;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 3550;64) – $a_T^{prod} = 1050 + 8000 \cdot a_{crc}$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1;2800;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;4200;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;5150;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;5300;64) – $a_T^{prod} = 1625 + 11750 \cdot a_{crc}$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 250;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;600;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1000;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;1100;50) – $a_T^{prod} = 3500 \cdot a_{crc} - 100$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,10;550;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1250;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1900;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;2100; 50) – $a_T^{prod} = 6750 \cdot a_{crc} - 125$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 750;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1900;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;2900;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;3150;50) – $a_T^{prod} = 10750 \cdot a_{crc} - 325$. Третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

Т а б л и ц а 2.39

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$ и трёхкратного увеличения продуктов коррозии арматурной стали, и полученные уравнения регрессии $a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}}^{\text{max}})$, $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}})$, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{\text{прод}}(\ell_{\text{кор}}^{\text{max}})$, в соответствующих a_{crc}				Уравнения регрессии: $a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}}^{\text{max}})$, $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
Нижняя	Переменная	950(30)	1400(45)	1750(58)	1800(64)	$a_{T_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 122 + 27,59 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$ $a_{T_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$
		950(30)	1400(45)	1750(58)	1800(64)	
	Постоянная	250(23)	600(38)	1000(44)	1100(50)	$a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 31,5 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 474$ $a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 3500 \cdot a_{\text{crc}} - 100$
		250(23)	600(38)	1000(44)	1100(50)	
Средняя	Переменная	1850(30)	2800(45)	3450(59)	3550(64)	$a_{T_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 195 + 55,17 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$ $a_{T_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 1050 + 8000 \cdot a_{\text{crc}}$
		1850(30)	2800(45)	3450(59)	3550(64)	
	Постоянная	550(23)	1250(38)	1900(44)	2100(50)	$a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 57,4 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 770$ $a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 6750 \cdot a_{\text{crc}} - 125$
		550(23)	1250(38)	1900(44)	2100(50)	
Верхняя	Переменная	2800(30)	4200(45)	5150(59)	5300(64)	$a_{T_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 396 + 81,03 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$ $a_{T_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot a_{\text{crc}}$
		2800(30)	4200(45)	5150(59)	5300(64)	
	Постоянная	750(23)	1900(38)	2900(44)	3150(50)	$a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 88,9 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 1294$ $a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 10750 \cdot a_{\text{crc}} - 325$
		750(23)	1900(38)	2900(44)	3150(50)	

П р и м е ч а н и е . В круглых скобках – $\ell_{\text{кор}}$; $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, a_{crc} и $\ell_{\text{кор}}$ в мм.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры со средней глубиной коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, при трёхкратном увеличении продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.93 показаны соответственно на рис. 2.101–2.103.

В сводной табл. 2.40 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от ширины раскрытия

расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.104 и 2.105), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

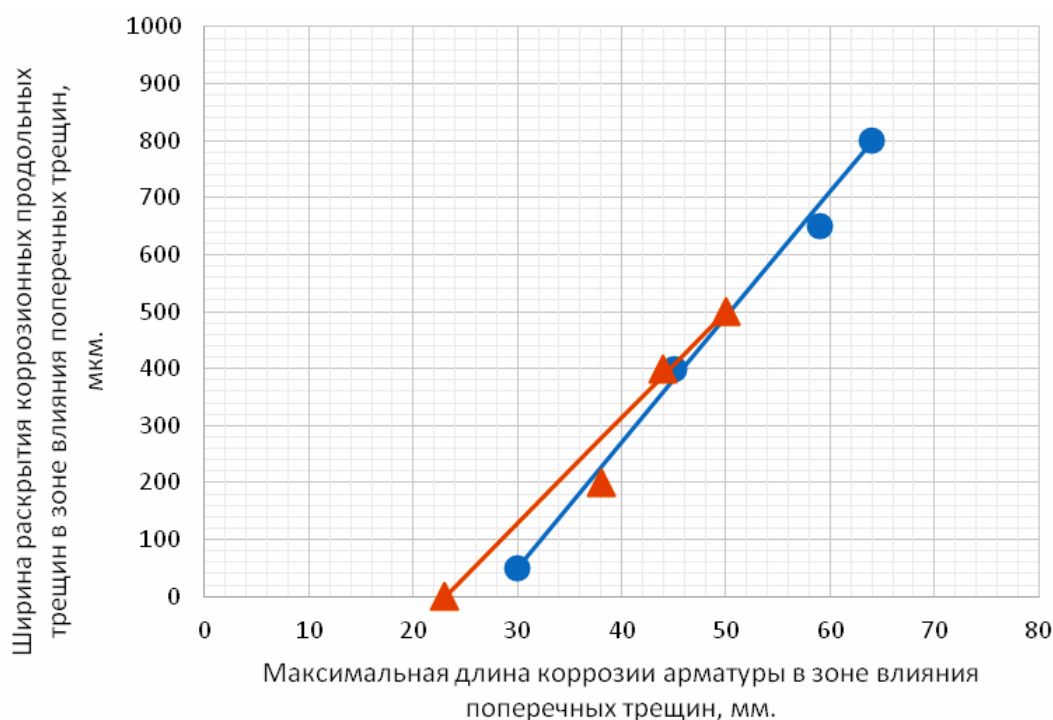


Рис.2.101. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$

в зоне влияния поперечных трещинах с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом средней глубины коррозионного поражения арматуры и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте оси ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (30;50), $a_{crc} = 0,20$ мм (45;400), $a_{crc} = 0,30$ мм (59;650), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;800). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте оси ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (23;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (38;200), $a_{crc} = 0,20$ мм (44;400), $a_{crc} = 0,35$ мм (50;500).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 22,059 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 612$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 18,52 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 426$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

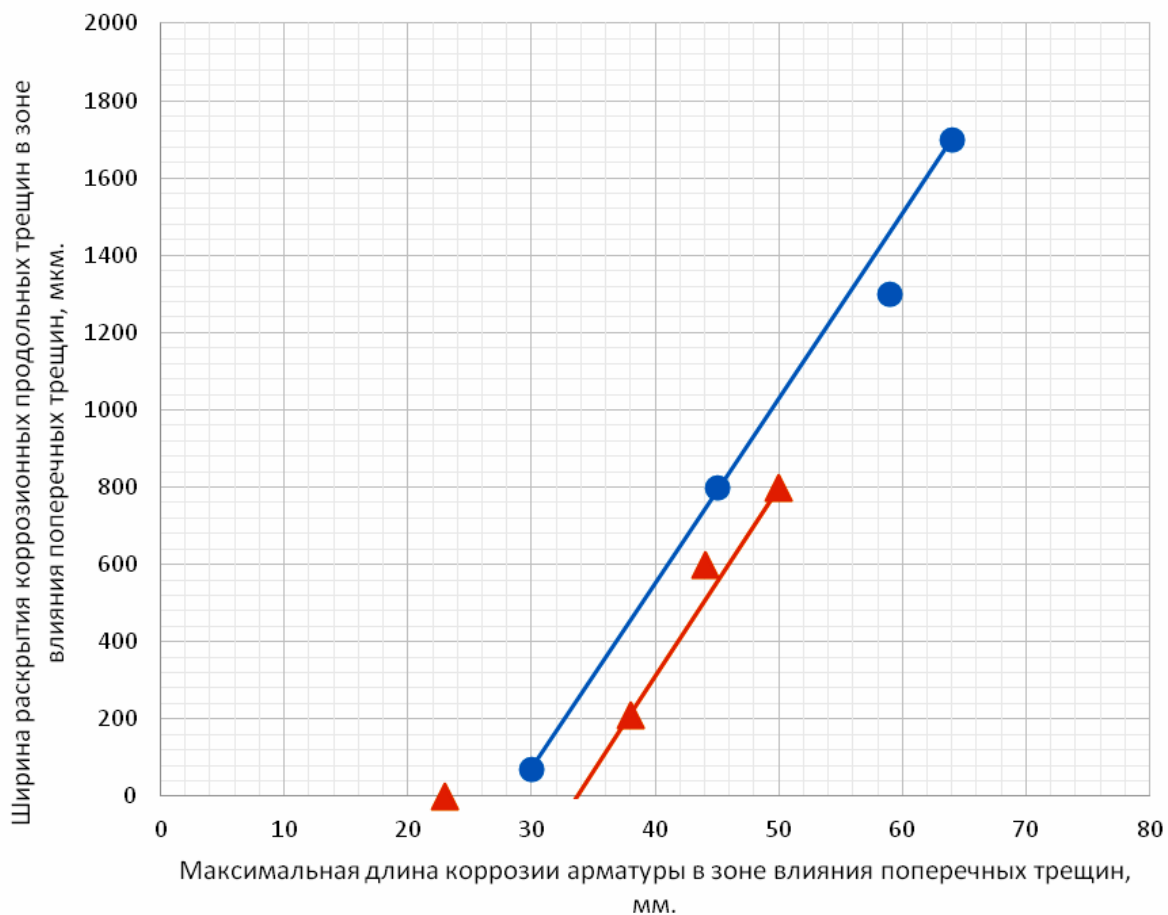


Рис.2.102. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$

с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом средней глубины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте оси ординат с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (30;70), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (45;800), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (59;1300), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;1700). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте оси ординат с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (23;0), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;220), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (44;600), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (50;800).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 47,94 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 1368$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 49,17 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 1658$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

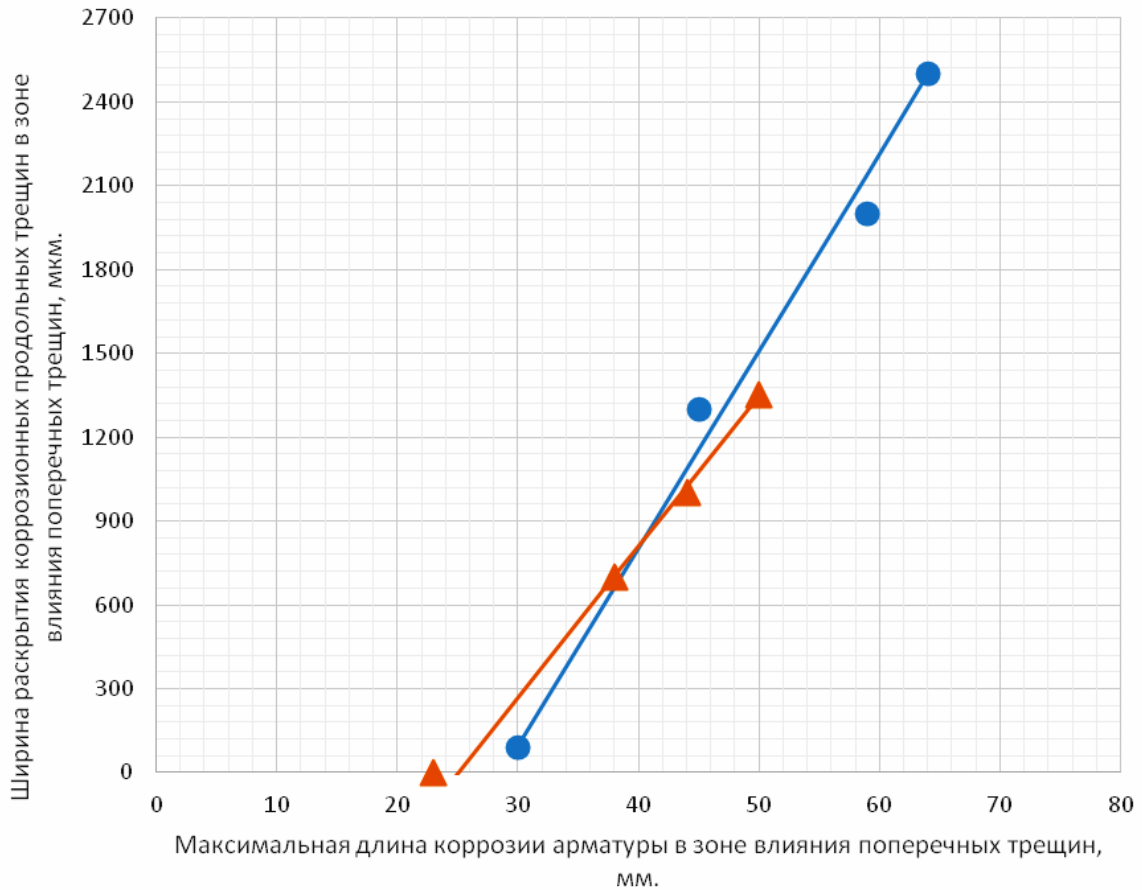


Рис.2.103. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$

в зоне влияния поперечных трещинах с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом средней глубины коррозионного поражения арматуры и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой (рис. 1.26), в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте оси ординат с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (30;90), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (45;1300), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (59;2000), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;2500). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте оси ординат с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (23;0), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;700), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (44;1000), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (50;1350).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 70,88 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 2036$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 54,17 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 1338$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

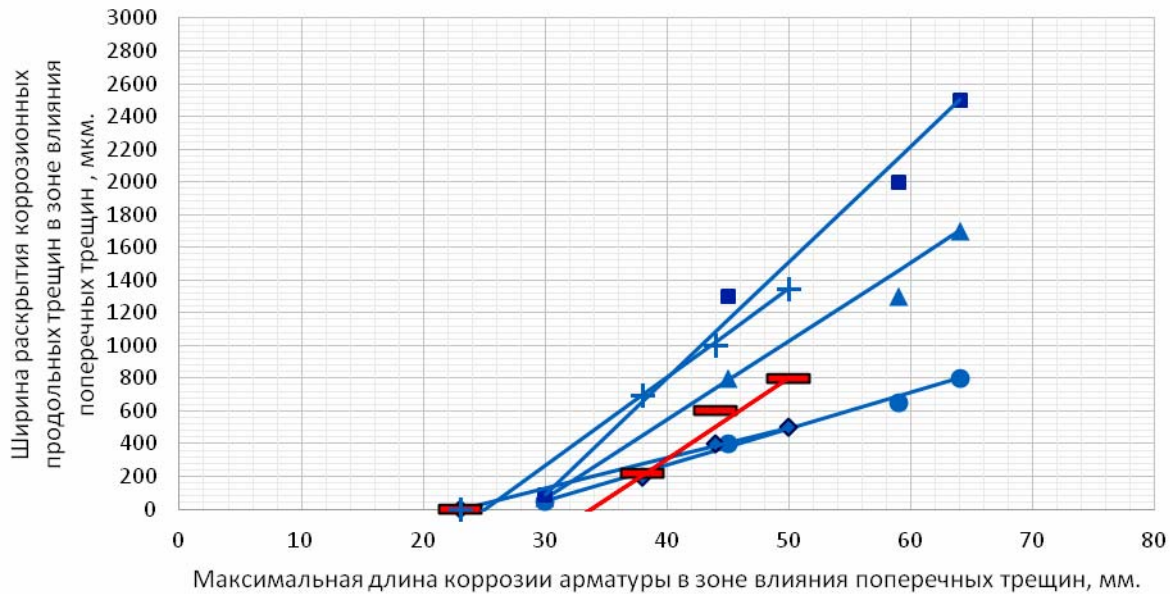


Рис. 2.104. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния

поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 2.101–2.103, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки с параметрами $t_{ц} = 60$ суток, $\eta = t_{Mmin} / t_{ц} = 0,5$, $\rho = 0,4 M_{разр} / 0,7 M_{разр}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{пост} = 0,7 M_{разр}$

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (30;50), $a_{crc} = 0,2$ мм (45;400), $a_{crc} = 0,3$ мм (58;650), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;800) – $a_T^{прод} = 22,059 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 612$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (30;70), $a_{crc} = 0,2$ мм (45;800), $a_{crc} = 0,3$ мм (59;1300), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;1700) – $a_T^{прод} = 47,94 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 1368$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (30;90), $a_{crc} = 0,2$ мм (45;1300), $a_{crc} = 0,3$ мм (59;2000), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;2500) – $a_T^{прод} = 70,88 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 2036$

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (23;0), $a_{crc} = 0,2$ мм (38;200), $a_{crc} = 0,3$ мм (44;400), $a_{crc} = 0,35$ мм (50;500) – $a_T^{прод} = 18,52 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 426$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (23;0), $a_{crc} = 0,2$ мм (38;220), $a_{crc} = 0,3$ мм (44;600), $a_{crc} = 0,35$ мм (50;800) – $a_T^{прод} = 49,17 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 1658$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (23;0), $a_{crc} = 0,2$ мм (38;700), $a_{crc} = 0,3$ мм (44;1000), $a_{crc} = 0,35$ мм (50;1350) – $a_T^{прод} = 54,17 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 1358$. В уравнениях $a_T^{прод}$ в мкм, $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

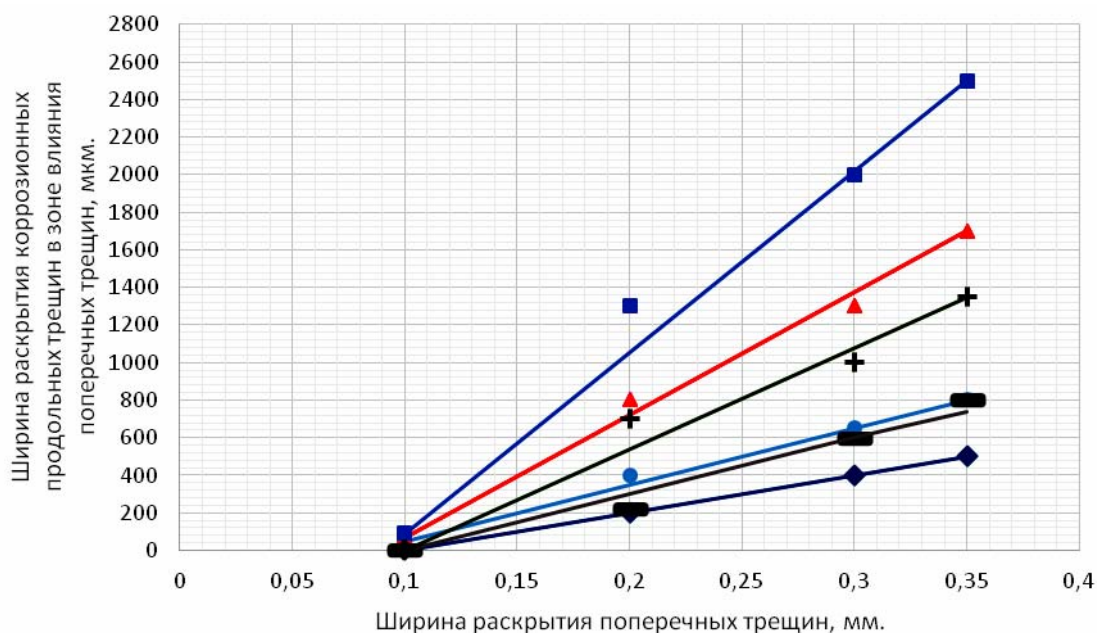


Рис. 2.105. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{сред}$, при трехкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии согласно рис. 2.104 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 50; 30), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20;400;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;650; 58), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 800;64) – $a_T^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 250$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 70;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 800;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1300;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 1700;64) – $a_T^{прод} = 6520 \cdot a_{crc} - 852$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1;90;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1300;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;2000;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;2500;64) – $a_T^{прод} = 9640 \cdot a_{crc} - 874$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 0;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;200;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;400;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;500;50) – $a_T^{прод} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,10;0;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;220;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;600;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;800; 50) – $a_T^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 0;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 700;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1000;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;1350;50) – $a_T^{прод} = 5400 \cdot a_{crc} - 540$. Третье значение в скобках – $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

Т а б л и ц а 2.40

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, и полученные уравнения регрессии

$$a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}), \quad a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}), \quad \text{при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки}$$

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{\text{прод}}(\ell_{\text{кор}}^{\text{max}})$, в соответствующих a_{crc}				Уравнения регрессии: $a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}}^{\text{max}})$, $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
Нижняя	Переменная	50(30)	400(45)	650(58)	800(64)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 22,059 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 612$
		50(30)	400(45)	650(58)	800(64)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 250$
	Постоянная	0(23)	200(38)	400(44)	500(50)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 18,52 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 426$
		0(23)	200(38)	400(44)	500(50)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$
Средняя	Переменная	70(30)	800(45)	1300(59)	1700(64)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 47,94 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 1368$
		70(30)	800(45)	1300(59)	1700(64)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 6520 \cdot a_{\text{crc}} - 852$
	Постоянная	0(23)	220(38)	600(44)	800(50)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 47,17 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 1658$
		0(23)	220(38)	600(44)	800(50)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$
Верхняя	Переменная	90(30)	1300(45)	2000(59)	2500(64)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 79,88 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 2036$
		90(30)	1300(45)	2000(59)	2500(64)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 9640 \cdot a_{\text{crc}} - 874$
	Постоянная	0(23)	700(38)	1000(44)	1350(50)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 54,17 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 1358$
		0(23)	700(38)	1000(44)	1350(50)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5400 \cdot a_{\text{crc}} - 540$

П р и м е ч а н и е . a_{crc} в мм, в круглых скобках – значения $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры с максимальной глубиной коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.94 показаны соответственно на рис. 2.106–2.108.

В сводной табл. 2.41 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от средней длины коррозии арматуры, при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.109 и 2.110), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

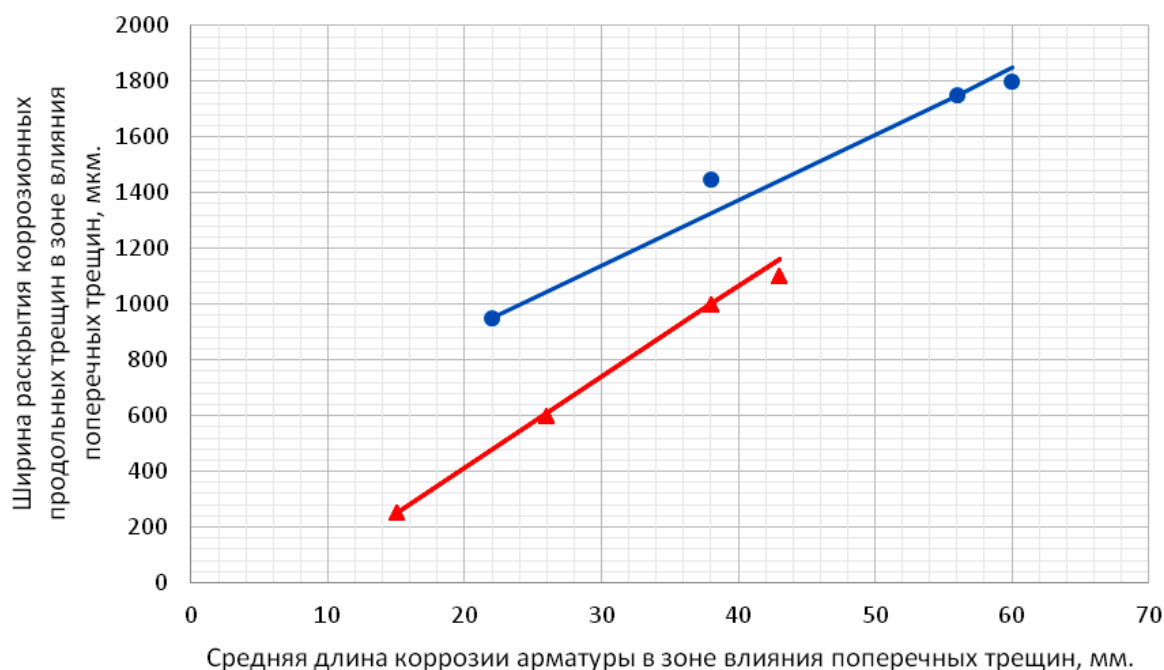


Рис. 2.106. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (22; 950), $a_{crc} = 0,20$ (38; 1450), $a_{crc} = 0,30$ мм (56; 1750), $a_{crc} = 0,35$ мм (60; 1800). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (15; 920), $a_{crc} = 0,20$ (26; 600), $a_{crc} = 0,30$ мм (38; 1000), $a_{crc} = 0,35$ мм (43; 1100).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 432 + 32,53 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 32,609 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 239$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

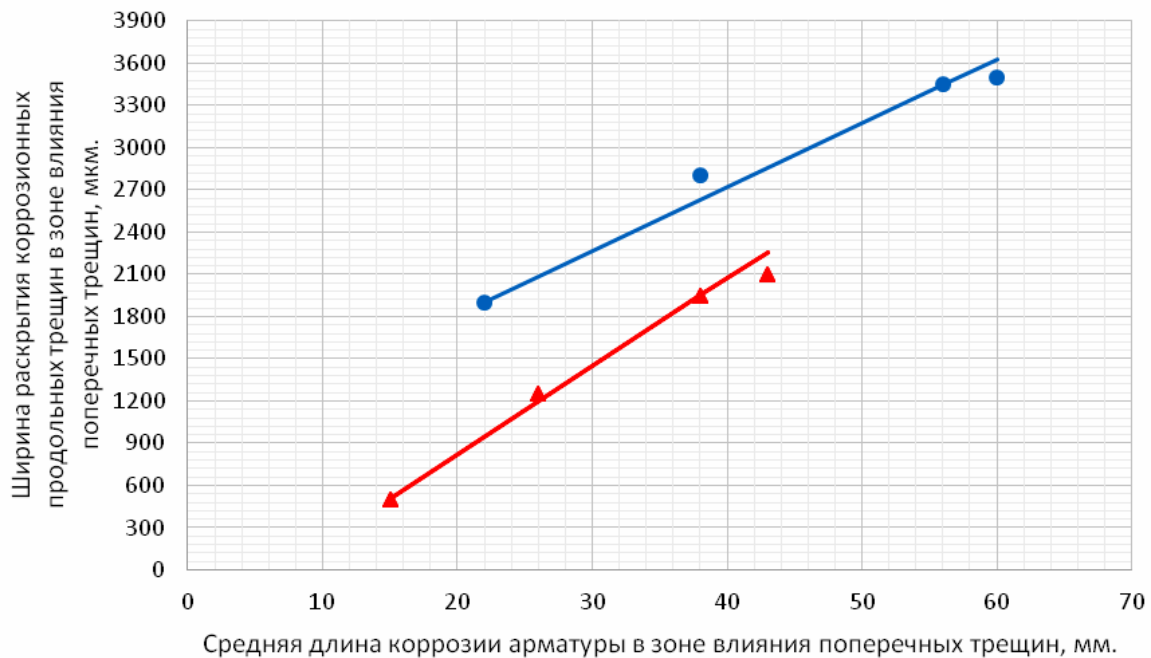


Рис. 2.107. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (22; 1900), $a_{\text{crc}} = 0,20$ (38; 2800), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (56; 3450), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60; 3500). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (15; 500), $a_{\text{crc}} = 0,20$ (26; 1250), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (38; 1950), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43; 2100).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 897 + 45,59 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 63,04 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 446$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

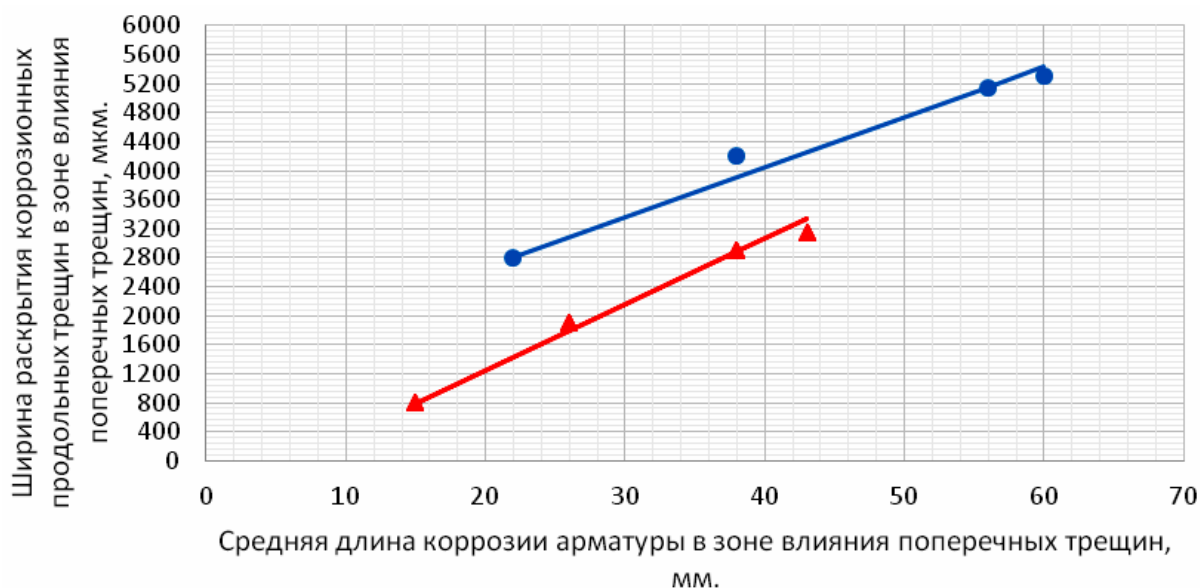


Рис. 2.108. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=40, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры, и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (22; 2800), $a_{\text{crc}} = 0,20$ (38; 4200), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (56; 5150), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60; 5300). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (15; 800), $a_{\text{crc}} = 0,20$ (26; 1900), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (38; 2900), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43; 3150).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 1279 + 69,12 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 9,13 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 569$. Индексы пер. и пост. – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка.

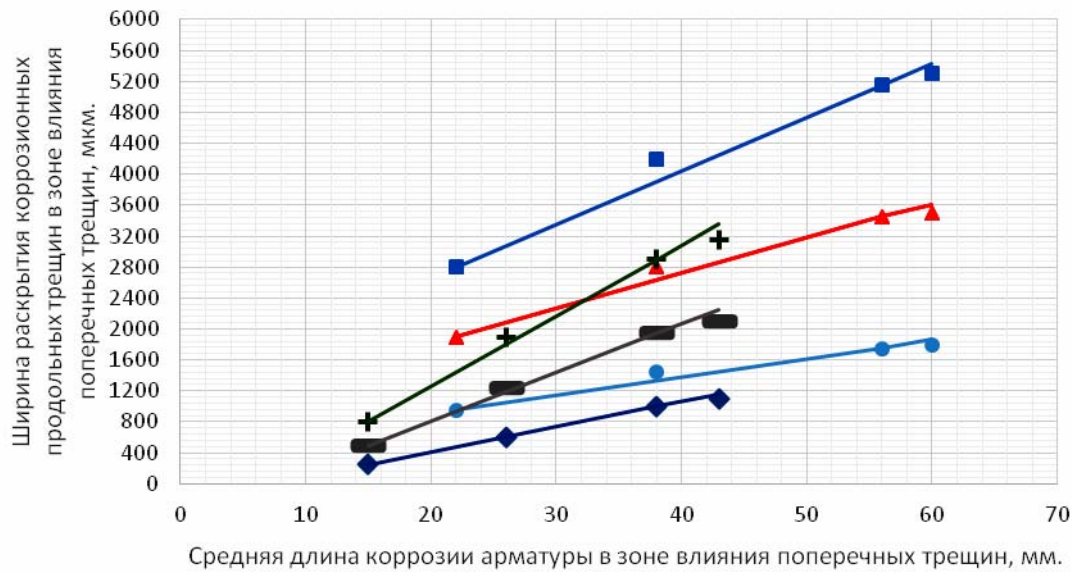


Рис. 2.109. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III

$\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 2.106–2.108, и полученные уравнения регрессии, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{II} = 60$ суток, $\eta = t_{M_{\text{max}}} / t_{II} = 0,5$, $\rho = 0,4M_{\text{разр}} / 0,7M_{\text{разр}}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}$

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники, засечка – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (22;950), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (38;1450), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (56;1750), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;1800) – $a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 432 + 23,53 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (22;1900), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (38;2800), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (56;3450), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;3500) – $a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 897 + 45,59 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (22;2800), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (38;4200), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (56;5150), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;5300) – $a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1279 + 69,12 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (15;250), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (26;600), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (38;1000), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;1100) – $a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 32,609 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 239$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (15;500), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (26;1250), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (38;1950), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;2100) – $a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 63,04 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 446$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (15;800), $a_{crc} = 0,2$ мм (26;1900), $a_{crc} = 0,3$ мм (38;2900), $a_{crc} = 0,35$ мм (43;3150) – $a_{Т^{прод}}^{прод} = 91,3 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 569$. В уравнениях $a_{Т^{прод}}^{прод}$ в мкм, $\ell_{кор}^{сред}$ в мм.

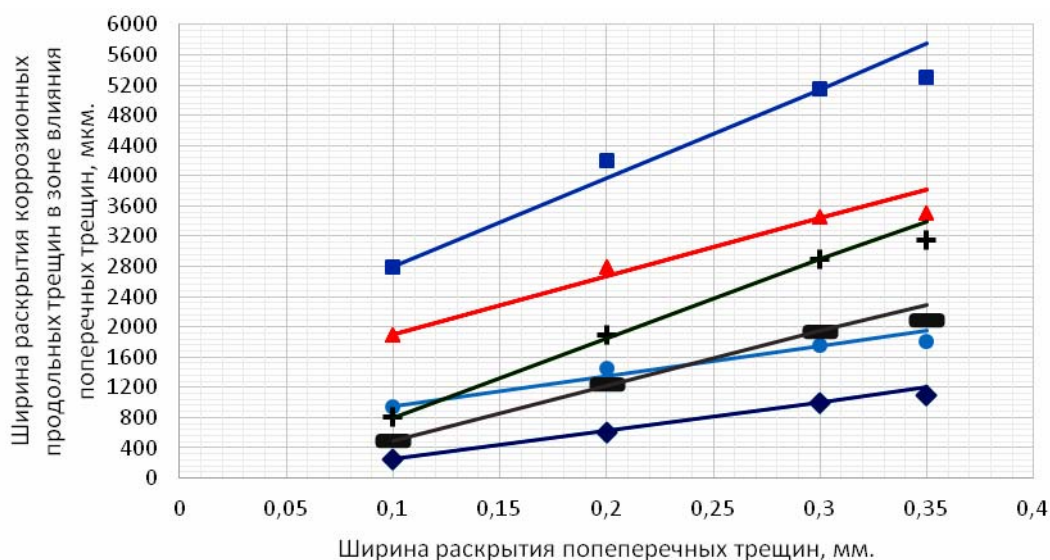


Рис. 2.110. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_{Т^{прод}}^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при трехкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии согласно рис. 2.109 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 950; 22), $a_{crc} = 0,2$ мм (0,20; 1450; 38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30; 1750; 56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 1800; 60) – $a_{Т^{прод}}^{прод} = 550 + 4000 \cdot a_{crc}$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 1900; 22), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 2800; 38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30; 3450; 56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 3500; 60) – $a_{Т^{прод}}^{прод} = 1125 + 7750 \cdot a_{crc}$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 2800; 22), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 4200; 38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30; 5150; 56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 5300; 60) – $a_{Т^{прод}}^{прод} = 1625 + 11750 \cdot a_{crc}$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 250; 15), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 600; 26), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30; 1000; 38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 1100; 43) – $a_{Т^{прод}}^{прод} = 3750 \cdot a_{crc} - 125$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,10; 500; 15), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1250; 26), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30; 1950; 38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 2100; 43) – $a_{Т^{прод}}^{прод} = 7250 \cdot a_{crc} - 225$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 800; 15), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1900; 26), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30; 2900; 38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 3150; 43) – $a_{Т^{прод}}^{прод} = 10500 \cdot a_{crc} - 250$. Третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{сред}$ в мм.

Т а б л и ц а 2.41

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин и в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$ и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, и полученные уравнения регрессии $a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}})$, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{\text{прод}}(\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, в соответствующих a_{crc}				Уравнения регрессии: $a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
Нижняя	Переменная	950(22)	1450(38)	1750(56)	1800(60)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 432 + 23,53 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$
		950(22)	1450(38)	1750(56)	1800(60)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$
	Постоянная	250(15)	600(26)	1000(38)	1100(43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 32,609 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 239$
		250(15)	600(26)	1000(38)	1100(43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3750 \cdot a_{\text{crc}} - 125$
Средняя	Переменная	1900(22)	2800(38)	3450(56)	3500(60)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 897 + 45,59 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$
		1900(22)	2800(38)	3450(56)	3500(60)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1125 + 7750 \cdot a_{\text{crc}}$
	Постоянная	500(15)	1250(26)	1950(38)	2100(43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 64,04 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 446$
		500(15)	1250(26)	1950(38)	2100(43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 7250 \cdot a_{\text{crc}} - 225$
Верхняя	Переменная	2800(22)	4200(38)	5150(56)	5300(60)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1279 + 69,12 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$
		2800(22)	4200(38)	5150(56)	5300(60)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot a_{\text{crc}}$
	Постоянная	800(15)	1900(26)	2900(38)	3150(43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 9,13 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 569$
		800(15)	1900(26)	2900(38)	3150(43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 10500 \cdot a_{\text{crc}} - 250$

П р и м е ч а н и е . $a_T^{\text{прод}}$ в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках – значения $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин $a_T^{\text{прод}}$, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры со средней глубиной коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней

функциональных прямых согласно рис.1.26, 2.91 и 2.95 показана соответственно на рис. 2.111– 2.113.

В сводной табл. 2.42 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от средней длины коррозии арматуры, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис. 2.111–2.113), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

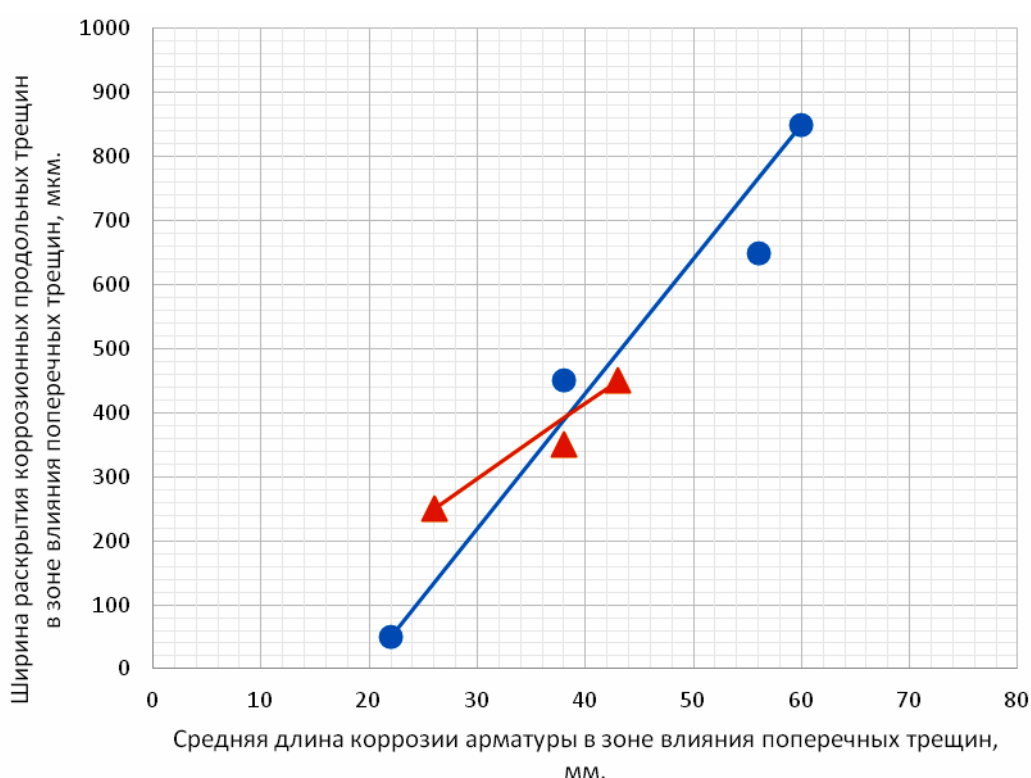


Рис. 2.111. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_{Т}^{прод}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозии арматуры, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой согласно рис. 1.26 и 2.95, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{crc} = 10$ мм (22;50), $a_{crc} = 20$ мм (38;450), $a_{crc} = 30$ мм (56;650), $a_{crc} = 35$ мм (60;850). Треугольники имеют сле-

дующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{crc} = 20$ мм (26;250), $a_{crc} = 30$ мм (38;350), $a_{crc} = 35$ мм (43;450).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{прод} = 21,06 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 413$; треугольник – $a_T^{прод} = 11,76 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 56$, где $a_T^{прод}$ в мкм, $\ell_{кор}^{сред}$ в мм.

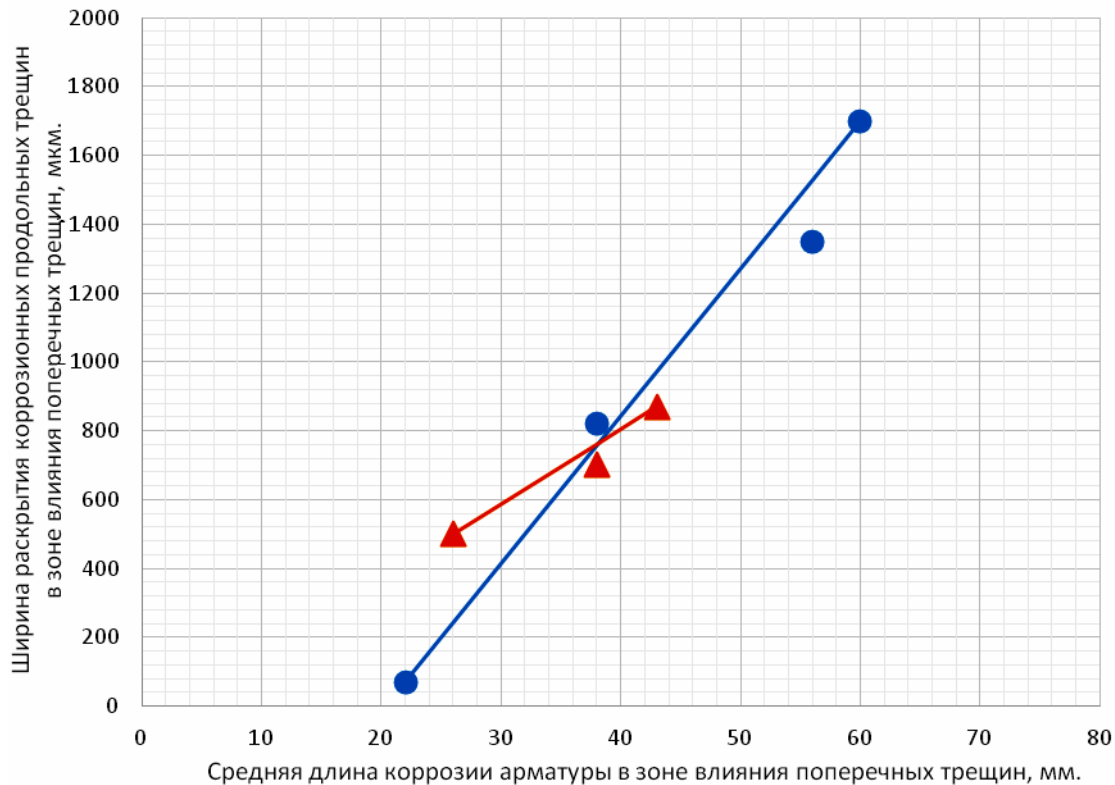


Рис.2.112. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещинах с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозии арматуры, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой согласно рис.1.26 и 2.95, при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 10$ мм (22;70), $a_{crc} = 20$ мм (38;850), $a_{crc} = 30$ мм (56;1350), $a_{crc} = 35$ мм (60;1700). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 20$ мм (26;500), $a_{crc} = 30$ мм (38;700), $a_{crc} = 35$ мм (43;870).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{прод} = 42,89 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 874$; треугольник – $a_T^{прод} = 21,76 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 66$, где $a_T^{прод}$ в мкм, $\ell_{кор}^{сред}$ в мм.

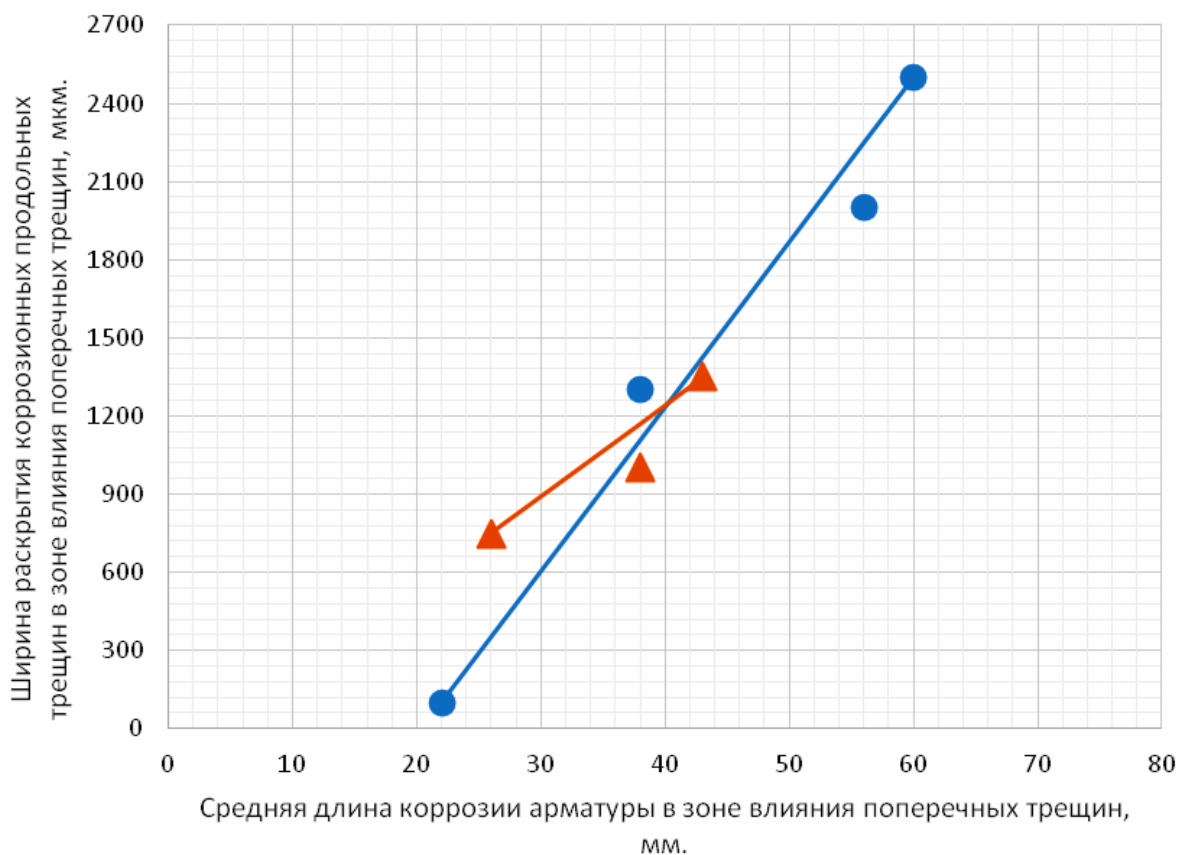


Рис.2.113. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозии арматуры, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой согласно рис.1.26 и 2.95, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 10$ мм (22;100), $a_{\text{crc}} = 20$ мм (38;1300), $a_{\text{crc}} = 30$ мм (56;2000), $a_{\text{crc}} = 35$ мм (60;2500). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 20$ мм (26;750), $a_{\text{crc}} = 30$ мм (38;1000), $a_{\text{crc}} = 35$ мм (43;1350).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 63,16 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 1289$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 35,29 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 168$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

Т а б л и ц а 2.42

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя

бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов

коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$, при действии переменной ступенчатой

повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{прод}(\ell_{кор}^{сред})$, в соответствующих a_{crc}				Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
Нижняя	Переменная	50(22)	450(38)	650(56)	850(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 3200 \cdot a_{crc} - 270$
		50(22)	450(38)	650(56)	850(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 21,05 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 413$
	Постоянная	-	250(26)	350(38)	450(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 2333 \cdot a_{crc} - 16,6$
		-	250(26)	350(38)	450(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 11,76 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 166$
Средняя	Переменная	70(22)	850(38)	1350(56)	1700(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 6440 \cdot a_{crc} - 544$
		70(22)	850(38)	1350(56)	1700(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 42,29 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 27$
	Постоянная	-	500(26)	700(38)	870(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 6,7 + 2467 \cdot a_{crc}$
		-	500(26)	700(38)	870(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 21,76 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 66$
Верхняя	Переменная	140(22)	1300(38)	2000(56)	2500(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 9950 \cdot a_{crc} - 896$
		140(22)	1300(38)	2000(56)	2500(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 63,15 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 1289$
	Постоянная	-	750(26)	1000(38)	1350(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 4000 \cdot a_{crc} - 50$
		-	750(26)	1000(38)	1350(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 35,29 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 168$

Пр и м е ч а н и е . $a_T^{прод}$ в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках – значения $\ell_{кор}^{сред}$ в мм.

Общий анализ зависимостей ширины раскрытия коррозионных продольных трещин от длины коррозии арматуры в зоне влияния расчётных поперечных трещин, при нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.1.26), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры согласно рис. 2.99; табл. 2.39; рис. 2.104; табл. 2.40;

рис. 2.109; табл. 2.41 и 2.42, проведён с помощью полученных графических линейных зависимостей и уравнений регрессии на рис. 2.114.

Общий анализ зависимостей ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин от ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.1.26), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры согласно рис. 2.100; табл. 2.39; рис. 2.105; табл. 2.40; рис. 2.110; табл. 2.41 и 2.42 рассмотрен на рис. 2.115, с помощью разработанных графических линейных зависимостей и, полученных расчётным путём, уравнений регрессий.

В сводной табл. 2.43 представлены уравнения регрессии зависимости значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин $a_T^{\text{прод}}$ от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин a_{crc} , с учётом максимальной и средней длины коррозии, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные расчётные значения $a_T^{\text{прод}}$ в соответствующих по величине ширины раскрытия расчётных поперечных трещинах a_{crc} , при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки, при $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$ и $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, в том числе в начале испытания, с учётом трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, приведены в табл. 2.44–2.47.

Результаты этих таблиц показывают, что переменная ступенчатая повторная нагрузка, по сравнению с постоянной изгибающей нагрузкой, способствует увеличению ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, с равными величинами a_{crc} , не менее полутора раз.

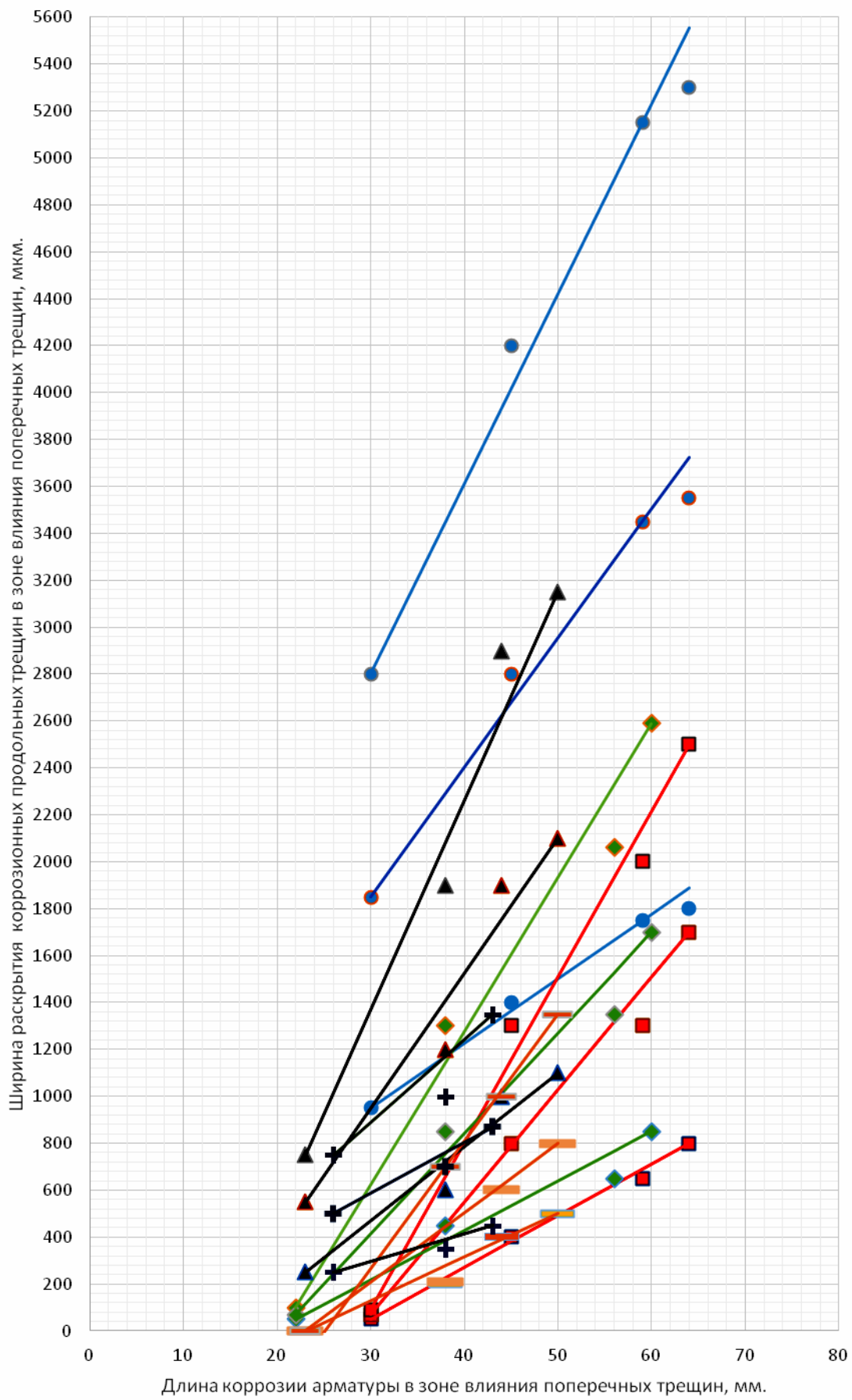


Рис.2.114. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ и средней $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ длины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, и полученные уравнения регрессии, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры согласно рис. 2.99; табл. 2.39; рис.2.104; табл. 2.40; рис 2.109; табл. 2.41 и 2.42, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{\text{Ц}} = 60$ суток, $\eta = t_{M_{\text{min}}}/t_{\text{Ц}} = 0,5$, $\rho = 0,4M_{\text{разр}}/0,7M_{\text{разр}}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}$.

Условные обозначения: окружности (уравнения регрессии 1-3) переменная нагрузка, величина $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ определяется значениями $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$; квадрат – (уравнения регрессии 4-6) переменная нагрузка, величина $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ определяется значениями $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$; ромб – (уравнения регрессии 7-9) переменная нагрузка, величина $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ определяется значениями $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$; треугольник – (уравнения регрессии 10-12) постоянная нагрузка, величина $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ определяется значениями $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$; прямоугольник – (уравнения регрессии 13-15) постоянная нагрузка, величина $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ определяется значениями $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$; засечка – (уравнения регрессии 16-18) постоянная нагрузка, величина $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ определяется значениями $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$. Номера уравнений регрессии для принятых геометрических символов располагаются снизу-вверх по оси ординат соответственно для нижней, средней и верхней функциональных прямых (1.26). Уравнения регрессии:

$$\begin{aligned} \text{окружность (№1 – нижняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 122 + 27,59 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} ; \\ \text{окружность (№2 – средняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 195 + 55,17 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} ; \\ \text{окружность (№3 – верхняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 369 + 81,03 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} ; \\ \text{квадрат (№4 – нижняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 22,59 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 612 ; \\ \text{квадрат (№5 – средняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 42,94 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 1368 ; \\ \text{квадрат (№6 – верхняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 70,88 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 2036 ; \\ \text{ромб (№7 – нижняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 21,05 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 413 ; \\ \text{ромб (№8 – средняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 42,89 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 2874 ; \\ \text{ромб (№9 – верхняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 63,16 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 1289 ; \\ \text{треугольник (№10 – нижняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 31,5 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 747 ; \\ \text{треугольник (№11 – средняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 57,4 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 770 ; \\ \text{треугольник (№12 – верхняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 88,9 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 1294 ; \\ \text{прямоугольник (№13 – нижняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 18,52 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 426 ; \\ \text{прямоугольник (№14 – средняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 26,63 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 681 ; \\ \text{прямоугольник (№15 – верхняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 54,17 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 1358 ; \\ \text{засечка (№16 – нижняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 11,76 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 56 ; \\ \text{засечка (№17 – средняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 21,76 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 66 ; \\ \text{засечка (№18 – верхняя прямая)} &- a_T^{\text{прод}} = 35,29 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 168 . \end{aligned}$$

В уравнениях: $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}$ в мм.

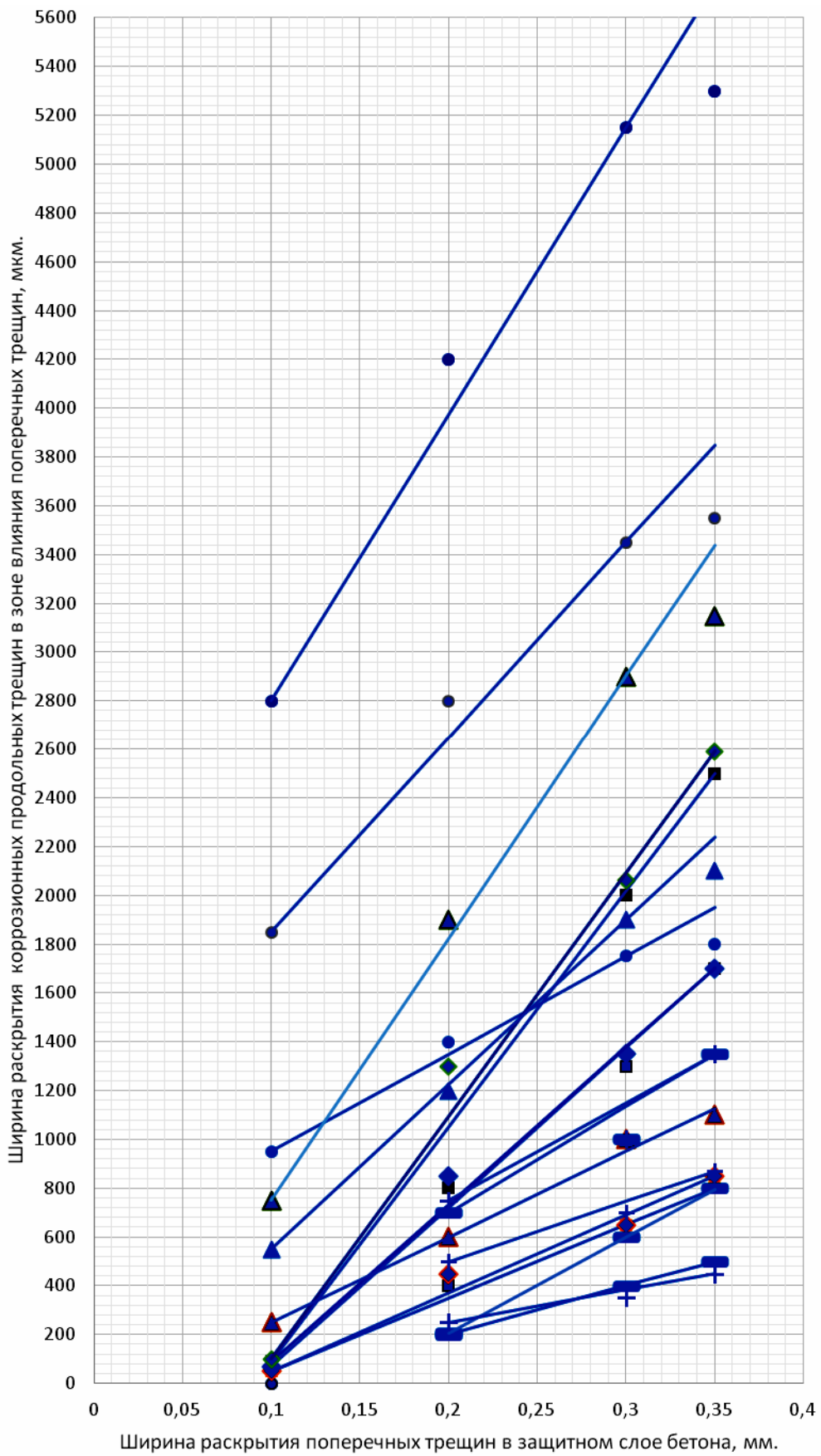


Рис.2.115 Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба балок, согласно рис.2.114, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{\text{max}}$ от $\delta_{кор}^{\text{max}}$ (уравнения регрессии $1 \div 6$; $10 \div 15$), $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ от $\delta_{кор}^{\text{сред}}$ (уравнения регрессии $7 \div 9$; $16 \div 18$), и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{ц} = 60$ суток, $\eta = t_{M_{\text{min}}} / t_{ц} = 0,5$, $\rho = 0,4 M_{\text{разр}} / 0,7 M_{\text{разр}}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}$.

Условные обозначения: окружность (уравнение регрессии 1-3) – переменная нагрузка, величина $\ell_{кор}^{\text{max}}$ определяется значениями $\delta_{кор}^{\text{max}}$; квадрат (уравнение регрессии 4-6) – переменная нагрузка, величина $\ell_{кор}^{\text{max}}$ определяется значениями $\delta_{кор}^{\text{сред}}$; ромб (уравнение регрессии 7-9) – переменная нагрузка, величина $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ определяется значениями $\delta_{кор}^{\text{сред}}$; треугольник (уравнение регрессии 10-12) – постоянная нагрузка, величина $\ell_{кор}^{\text{max}}$ определяется значениями $\delta_{кор}^{\text{max}}$; прямоугольник (уравнение регрессии 13-15) – постоянная нагрузка, величина $\ell_{кор}^{\text{max}}$ определяется значениями $\delta_{кор}^{\text{сред}}$; засечка (уравнение регрессии 16-18) – постоянная нагрузка, величина $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ определяется значениями $\delta_{кор}^{\text{сред}}$. Номера уравнений регрессии для принятых геометрических символов возрастает снизу вверх по оси ординат, соответственно для нижней, средней, и верхней функциональных прямых (1.26).

Координаты и номера уравнений регрессий для соответствующих геометрических символов:

- окружность (нижняя функциональная прямая) – №1 $a_T^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot a_{crc}$;
- окружность (средняя функциональная прямая) – №2 $a_T^{\text{прод}} = 1050 + 8000 \cdot a_{crc}$;
- окружность (верхняя функциональная прямая) – №3 $a_T^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot a_{crc}$;
- квадрат (нижняя функциональная прямая) – №4 $a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{crc} - 250$;
- квадрат (средняя функциональная прямая) – №5 $a_T^{\text{прод}} = 6250 \cdot a_{crc} - 582$;
- квадрат (верхняя функциональная прямая) – №6 $a_T^{\text{прод}} = 9640 \cdot a_{crc} - 874$;
- ромб (нижняя функциональная прямая) – №7 $a_T^{\text{прод}} = 3200 \cdot a_{crc} - 270$;
- ромб (средняя функциональная прямая) – №8 $a_T^{\text{прод}} = 6440 \cdot a_{crc} - 554$;
- ромб (верхняя функциональная прямая) – №9 $a_T^{\text{прод}} = 9960 \cdot a_{crc} - 896$;
- треугольник (нижняя функциональная прямая) – №10 $a_T^{\text{прод}} = 3500 \cdot a_{crc} - 100$;
- треугольник (средняя функциональная прямая) – №11 $a_T^{\text{прод}} = 6750 \cdot a_{crc} - 125$;
- треугольник (верхняя функциональная прямая) – №12 $a_T^{\text{прод}} = 10750 \cdot a_{crc} - 325$;
- прямоугольник (нижняя функциональная прямая) – №13 $a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$;
- прямоугольник (средняя функциональная прямая) – №14 $a_T^{\text{прод}} = 3933 \cdot a_{crc} - 580$;
- прямоугольник (верхняя функциональная прямая) – №15 $a_T^{\text{прод}} = 3433 \cdot a_{crc} - 167$;
- засечки (нижняя функциональная прямая) – №16 $a_T^{\text{прод}} = 1333 \cdot a_{crc} - 16,6$;
- засечки (средняя функциональная прямая) – №17 $a_T^{\text{прод}} = 6,7 + 2467 \cdot a_{crc}$;
- засечка (верхняя функциональная прямая) – №18 $a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{crc} - 50$.

В уравнениях: $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, a_{crc} в мм.

Т а б л и ц а 2.43

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона на опытных железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III и толщиной защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона a_{crc} в области чистого изгиба, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{Ц} = 60$ суток, $\eta = t_{M\text{min}}/t_{Ц} = 0,5$, $\rho = 0,4M_{\text{разр}}/0,7M_{\text{разр}}$ и постоянной изгибающей нагрузки с $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}$, с учётом трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла

Место положения прямой на рис. 1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}}); a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}});$ $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}); a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$				Уравнения регрессии: $a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}})$, $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc})$
		0,1	0,2	0,3	0,35	
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	950(0,1;30);50(0,1;30)	1400(0,2;45); 400(0,2;45)	1750(0,3;59);650(0,3;59)	1800(0,35;64);800(0,35;64)	$a_T^{\text{прод}} = 122 + 27,59 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}; a_T^{\text{прод}} = 22,059 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 612$
		50(0,1;22);950(0,1;22)	450(0,2;38);1450(0,2;38)	650(0,3;56);1750(0,3;56)	850(0,35;60);1800(0,35;60)	$a_T^{\text{прод}} = 21,05 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 413; a_T^{\text{прод}} = 432 + 23,53 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$
	Постоянная	950(0,1;30);50(0,1;30)	1400(0,2;45); 400(0,2;45)	1750(0,3;59);650(0,3;59)	1800(0,35;64);800(0,35;64)	$a_T^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot a_{crc}; a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{crc} - 250$
		50(0,1;22);950(0,1;22)	450(0,2;38);1450(0,2;38)	650(0,3;56);1750(0,3;56)	850(0,35;60);1800(0,35;60)	$a_T^{\text{прод}} = 3200 \cdot a_{crc} - 270; a_T^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot a_{crc}$
	Постоянная	250(0,1;23);0(0,1;23)	600(0,2;38);200(0,2;38)	1000(0,3;44);400(0,3;44)	1100(0,35;50);500(0,35;50)	$a_T^{\text{прод}} = 31,5 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 474; a_T^{\text{прод}} = 18,52 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 426$
		–; 250(0,1;15)	250(0,2;26);600(0,2;26)	350(0,3;38);1000(0,3;38)	450(0,35;43);1100(0,35;43)	$a_T^{\text{прод}} = 11,76 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 56; a_T^{\text{прод}} = 32,609 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 239$
Постоянная	250(0,1;23);0(0,1;23)	600(0,2;38);200(0,2;38)	1000(0,3;44);400(0,3;44)	1100(0,35;50);500(0,35;50)	$a_T^{\text{прод}} = 3500 \cdot a_{crc} - 100; a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$	
	–; 250(0,1;15)	250(0,2;26);600(0,2;26)	350(0,3;38);1000(0,3;38)	450(0,35;43);1100(0,35;43)	$a_T^{\text{прод}} = 1333 \cdot a_{crc} - 16,6; a_T^{\text{прод}} = 3750 \cdot a_{crc} - 125$	

Окончание табл. 2.43

1	2	3	4	5	6	7
Средняя	Переменная	1850(0,1;30);70(0,1;30)	2800(0,2;45);800(0,2;45)	3450(0,3;59);1300(0,3;59)	3550(0,35;64);1700(0,35;64)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 195 + 55,17 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 47,94 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 1368$
		70(0,1;22);1900(0,1;22)	850(0,2;38);2800(0,2;38)	1350(0,3;56);3450(0,3;56)	1700(0,35;60);3500(0,35;60)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 42,89 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 874 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 897 + 45,59 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$
	Постоянная	1850(0,1;30);0(0,1;23)	2800(0,2;45);800(0,2;45)	3450(0,3;59);1300(0,3;59)	3550(0,35;64);1700(0,35;64)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1050 + 8000 \cdot a_{\text{erc}} ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 6520 \cdot a_{\text{erc}} - 582$
		70(0,1;22);1900(0,1;22)	850(0,2;38);2800(0,2;38)	1350(0,3;56);3450(0,3;56)	1700(0,35;60);3500(0,35;60)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 6440 \cdot a_{\text{erc}} - 554 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1125 + 7750 \cdot a_{\text{erc}}$
Верхняя	Переменная	2800(0,1;30);90(0,1;30)	4200(0,2;45);1300(0,2;45)	5150(0,3;59);2000(0,3;59)	5300(0,35;64);2500(0,35;64)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 369 + 81,03 \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 70,88 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 2036$
		100(0,1;22);2800(0,1;22)	1300(0,2;38);4200(0,2;38)	2000(0,3;56);5150(0,3;56)	2500(0,35;60);5300(0,35;60)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 63,16 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 1289 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1279 + 69,12 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$
	Постоянная	2800(0,1;30);90(0,1;30)	4200(0,2;45);1300(0,2;45)	5150(0,3;59);2000(0,3;59)	5300(0,35;64);2500(0,35;64)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot a_{\text{erc}} ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 9640 \cdot a_{\text{erc}} - 874$
		100(0,1;22);2800(0,1;22)	1300(0,2;38);4200(0,2;38)	2000(0,3;56);5150(0,3;56)	2500(0,35;60);5300(0,35;60)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 9960 \cdot a_{\text{erc}} - 896 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot a_{\text{erc}}$
Постоянная	750(0,1;23);0(0,1;23)	1900(0,2;38);700(0,2;38)	2900(0,3;44);1000(0,3;44)	3150(0,35;50);1350(0,35;50)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 88,9 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 1294 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 54,17 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 1358$	
	–; 800(0,1;15)	750(0,2;26);1900(0,2;26)	1000(0,3;38);2900(0,3;38)	1350(0,35;43);3150(0,35;43)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 35,29 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 168 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 91,3 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 569$	
Постоянная	750(0,1;23);0(0,1;23)	1900(0,2;38);700(0,2;38)	2900(0,3;44);1000(0,3;44)	3150(0,35;50);1350(0,35;50)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 10750 \cdot a_{\text{erc}} - 325 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5400 \cdot a_{\text{erc}} - 540$	
	–; 800(0,1;15)	750(0,2;26);1900(0,2;26)	1000(0,3;38);2900(0,3;38)	1350(0,35;43);3150(0,35;43)	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{erc}} - 50 ; a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 10500 \cdot a_{\text{erc}} - 250$	

Примечание. $a_{\Gamma}^{\text{прод}}$ в мкм; второе значение в круглых скобках – $\ell_{\text{кор}}$ в мм; a_{erc} в мм.

Таблица 2.44

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин на поверхности опытных железобетонных балок с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при трёхкратном увеличении продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм			
			0,1	0,2	0,3	0,35
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$	950	1350	1750	1950
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	750	950	1150	1250
		Отношение:	1,27	1,42	1,52	1,56
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3500 \cdot a_{\text{crc}} - 100$	250	600	950	1125
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 100$	133	367	600	717
		Отношение:	1,88	1,63	1,58	1,57
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$	950	1350	1750	1950
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3500 \cdot a_{\text{crc}} - 100$	250	600	950	1125
		Отношение:	3,8	2,25	1,84	1,73
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	750	950	1150	1250
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 100$	133	367	600	717
		Отношение:	5,64	2,59	1,92	1,74
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 1050 + 8000 \cdot a_{\text{crc}}$	1850	2650	3450	3850
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 1050 + 8000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	1450	1850	2250	2450
		Отношение:	1,28	1,43	1,53	1,57
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6750 \cdot a_{\text{crc}} - 125$	550	1225	1900	2238
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6750 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 125$	325	775	1225	1450
		Отношение:	1,69	1,58	1,55	1,54
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 1050 + 8000 \cdot a_{\text{crc}}$	1850	2650	3450	3850
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6750 \cdot a_{\text{crc}} - 125$	550	1225	1900	2238
Отношение:		3,36	2,16	1,82	1,72	

Окончание табл. 2.44

1	2	3	4	5	6	7
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 1050 + 8000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	1450	1850	2250	2450
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6750 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 125$	325	775	1225	1450
Отношение:		4,46	2,39	1,84	1,69	
Верхняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot a_{\text{crc}}$	2800	3975	5150	5738
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	2213	2800	3388	3681
		Отношение:		1,27	1,42	1,52
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 10750 \cdot a_{\text{crc}} - 325$	750	1825	2900	3438
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 10750 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 325$	392	1108	1825	2183
		Отношение:		1,91	1,65	1,59
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot a_{\text{crc}}$	2800	3975	5150	5738
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 10750 \cdot a_{\text{crc}} - 325$	750	1825	2900	3438
		Отношение:		3,73	2,18	1,78
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	2213	2800	3388	3681
Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 10750 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 325$	392	1108	1825	2183	
	Отношение:		5,65	2,53	1,86	1,69

Таблица 2.45

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин на поверхности опытных железобетонных балок с размерами 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n=2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n=1,5$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257].	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм			
			0,10	0,20	0,30	0,35
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 250$	50	350	650	800
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 250$	-	50	200	275
		Отношение:		-	7	3,25
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$	0	200	400	500
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 200$	-	67	200	267
		Отношение:		-	2,99	2

Окончание табл. 2.45

1	2	3	4	5	6	7
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{срс}} - 250$	50	350	650	800
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{срс}} - 200$	0	200	400	500
	Отношение:		-	1,75	1,63	1,6
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 250$	-	50	200	275
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 200$	-	67	200	267
	Отношение:		-	0,75	1	1,03
Средняя	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 6520 \cdot a_{\text{срс}} - 582$	70	722	1374	1700
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 6520 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 582$	-	70	396	559
	Отношение:		-	10,3	3,47	3,04
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{срс}} - 300$	0	300	600	750
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 300$	-	100	300	400
	Отношение:		-	3	2	1,88
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 6520 \cdot a_{\text{срс}} - 582$	70	722	1374	1700
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{срс}} - 300$	0	300	600	750
	Отношение:		-	2,41	2,29	2,27
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 6520 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 582$	-	70	396	559
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 300$	-	100	300	400
	Отношение:		-	0,7	1,32	1,4
Верхняя	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 9640 \cdot a_{\text{срс}} - 874$	90	1054	2018	2500
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 9640 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 874$	-	90	572	813
	Отношение:		-	11,71	3,53	3,08
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5400 \cdot a_{\text{срс}} - 540$	0	540	1080	1350
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5400 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 540$	-	180	540	720
	Отношение:		-	3	2	1,88
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 9640 \cdot a_{\text{срс}} - 874$	90	1054	2018	2500
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5400 \cdot a_{\text{срс}} - 540$	0	540	1080	1350
	Отношение:		-	1,95	1,87	1,85
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 9640 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 874$	-	90	572	813
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 5400 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 540$	-	180	540	720
	Отношение:		-	0,5	1,06	1,13

Т а б л и ц а 2.46

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин на поверхности опытных железобетонных балок с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм			
			0,10	0,15	0,30	0,35
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$	950	1350	1750	1950
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	750	950	1150	700
	Отношение:		1,27	1,42	1,52	2,79
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3750 \cdot a_{\text{crc}} - 125$	250	625	1000	1188
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3750 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 125$	125	375	625	750
	Отношение:		2	1,67	1,6	1,58
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$	950	1350	1750	1950
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3750 \cdot a_{\text{crc}} - 125$	250	625	1000	1188
	Отношение:		3,8	2,16	1,75	1,64
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	750	950	1150	700
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3750 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 125$	125	375	625	750
	Отношение:		6	2,53	1,84	0,93
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 1125 + 7750 \cdot a_{\text{crc}}$	1900	2675	3450	3838
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 1125 + 7750 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	1513	1900	2288	2482
	Отношение:		1,26	1,41	1,51	1,55
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 7250 \cdot a_{\text{crc}} - 225$	500	1225	1950	2313
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 7250 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 225$	258	742	1225	1467
	Отношение:		1,94	1,65	1,59	1,58
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 1125 + 7750 \cdot a_{\text{crc}}$	1900	2675	3450	3838
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 7250 \cdot a_{\text{crc}} - 225$	500	1225	1950	2313
	Отношение:		3,8	2,18	1,77	1,66

Окончание табл. 2.46

1	2	3	4	5	6	7
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1125 + 7750 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	1513	1900	2288	2482
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 7250 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 225$	258	742	1225	1467
	Отношение:		5,86	2,56	1,87	1,69
Верхняя	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot a_{\text{crc}}$	2800	3975	5150	5738
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	2213	2800	3388	3681
	Отношение:		1,27	1,42	1,52	1,56
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 10500 \cdot a_{\text{crc}} - 250$	800	1850	2900	3425
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 10500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 250$	450	1150	1850	2200
	Отношение:		1,78	1,61	1,57	1,56
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot a_{\text{crc}}$	2800	3975	5150	5738
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 10500 \cdot a_{\text{crc}} - 250$	800	1850	2900	3425
	Отношение:		3,5	2,15	1,78	1,68
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	2213	2800	3388	3681
	Постоянная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 10500 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 250$	450	1150	1850	2200
	Отношение:		4,92	2,43	1,83	1,67

Таблица 2.47

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин на поверхности опытных железобетонных балок с размерами 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III, при зависимости $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n=2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n=1,5$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм			
			0,10	0,15	0,30	0,35
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3200 \cdot a_{\text{crc}} - 270$	50	370	690	850
	Переменная	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3200 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 270$	-	50	210	290
	Отношение:		-	7,4	3,29	2,93

Продолжение табл. 2.47

1	2	3	4	5	6	7
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{срс}} - 16,6$	117	250	383	450
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 16,6$	72	161	250	294
	Отношение:		1,63	1,55	1,53	1,53
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3200 \cdot a_{\text{срс}} - 270$	50	370	690	850
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{срс}} - 16,6$	117	250	383	450
	Отношение:		0,43	1,48	1,80	1,89
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 3200 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 270$	-	50	210	290
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 16,6$	72	161	250	294
	Отношение:		-	0,31	0,84	0,99
Средняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 6440 \cdot a_{\text{срс}} - 554$	90	734	1378	1700
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 6440 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 554$	-	90	142	573
	Отношение:		-	8,16	3,34	2,97
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6,7 + 2467 \cdot a_{\text{срс}}$	253	500	747	870
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6,7 + 2467 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5}$	171	336	500	582
	Отношение:		1,48	1,49	1,49	1,49
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 6440 \cdot a_{\text{срс}} - 554$	90	734	1378	1700
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6,7 + 2467 \cdot a_{\text{срс}}$	253	500	747	870
	Отношение:		0,36	1,47	1,84	1,95
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 6440 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 554$	-	90	412	573
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 6,7 + 2467 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5}$	171	336	500	582
Отношение:		-	0,27	0,82	0,98	
Верхняя	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9960 \cdot a_{\text{срс}} - 896$	100	1096	2092	2590
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9960 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2} - 896$	-	100	598	847
	Отношение:		-	1,1	3,5	3,06
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{срс}} - 50$	350	750	1150	1350
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 50$	217	483	750	883
	Отношение:		1,61	1,55	1,53	1,53

Окончание табл. 2.47

1	2	3	4	5	6	7
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9960 \cdot a_{\text{crc}} - 896$	100	1096	2092	2590
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 50$	350	750	1150	1350
	Отношение:		0,29	1,46	1,82	1,92
	Переменная	$a_T^{\text{прод}} = 9960 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 896$	-	100	598	847
	Постоянная	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 50$	217	483	750	883
	Отношение		-	0,21	0,80	0,96

В табл.2.48 приведены значения абсолютной средней глубины и относительной степени коррозионного поражения арматуры класса А-III диаметром 14 мм в зонах влияния поперечных трещин, с соответствующими величинами ширины раскрытия a_{crc} согласно данным рис.2.86, 2.87 и табл.2.37, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Таблица 2.48

Абсолютная средняя глубина и относительная степень коррозионного поражения арматуры класса А-III диаметром 14 мм в зонах влияния поперечных трещин с соответствующими величинами ширины раскрытия, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Вид нагрузки	Средняя глубина коррозии арматуры и степень относительного уменьшения диаметра арматуры в поперечных трещинах a_{crc} .							
	0,1		0,2		0,3		0,4	
	Абсолютное значение, мкм.	Степень поражения, %.	Абсолютное значение мкм.	Степень поражения, %.	Абсолютное значение, мкм.	Степень поражения, %.	Абсолютное значение, мкм.	Степень поражения, %.
Переменная	107	1,53	230	3,29	300	4,29	350	5,00
Постоянная	90	1,29	170	2,43	200	2,86	230	3,29

Наибольшая относительная величина снижения диаметра арматуры в табл.2.48 наблюдается в зонах влияния поперечных трещин с шириной раскрытия $a_{\text{crc}} = 0,5$ мм, составляющая для переменной и постоянной изгибающей нагрузки 5 % и 3,29 % соответственно. При этих значениях, в подтверждение данных рис. 1.27, на опытных железобетонных образцах на поверхности защитного слоя бетона по длине зоны влияния поперечных трещин в конце испытания наблюдались коррозионные продольные трещины с шириной раскрытия, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки, $a_T^{\text{прод}} = 400$ мкм и $a_T^{\text{прод}} = 220$ мкм соответственно.

Следовательно, данные натурных обследований технического состояния железобетонных конструкций в агрессивных средах [257], и полученные экспериментальным путём на прямых моделях железобетонных конструкций, полностью совпадают.

В тоже время, при появлении коррозионных продольных трещин с $a_T^{\text{прод}} = 400$ мкм и $a_T^{\text{прод}} = 220$ мкм в зоне влияния поперечных трещин относительное снижение диаметра арматуры на экспериментальных образцах, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки, составляет 5 % и 3,29 % соответственно, что значительно меньше 15 % значения, определяющего начало снижения механических характеристик стальной арматуры [231].

Следовательно, при появлении коррозионных продольных трещин между расчётными поперечными трещинами в железобетонных элементах, средняя глубина коррозионного поражения арматуры в зонах влияния поперечных трещин не влияет на снижение механических характеристик рабочей арматуры.

2.2.3. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали

На рис. 2.116 согласно данным рис. 2.88 показаны графические изображения максимальной длины коррозии арматуры в зоне влияния расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры с максимальной глубиной коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, при 2,25-кратном увеличении продуктов коррозии арматурной стали при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.116 приведены на рис. 2.117–2.119.

В сводной табл. 2.49 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры, при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.120 и 2.121), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

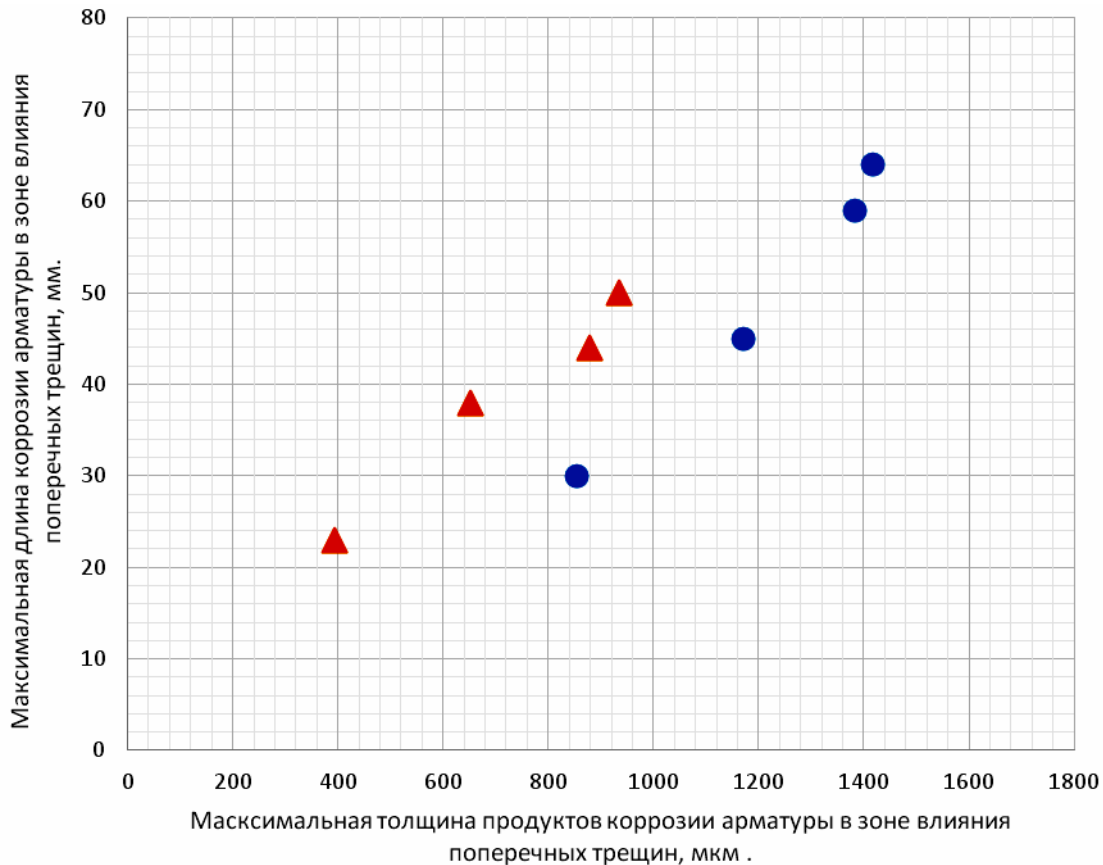


Рис.2.116. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в зоне влияния поперечных трещин в бетоне с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при максимальной глубине коррозионного поражения арматурного стержня в зоне влияния поперечных трещин, с учётом 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{Ц} = 60$ суток, $\eta = t_{Mmin} / t_{Ц} = 0,5$, $\rho = 0,4M_{разр} / 0,7M_{разр}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{пост} = 0,7 M_{разр}$

Условные обозначения: окружность – переменная нагрузка; треугольник – постоянная нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (855;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (1170;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (1384;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (1418;64). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (394;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (653;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (878;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (934;50).

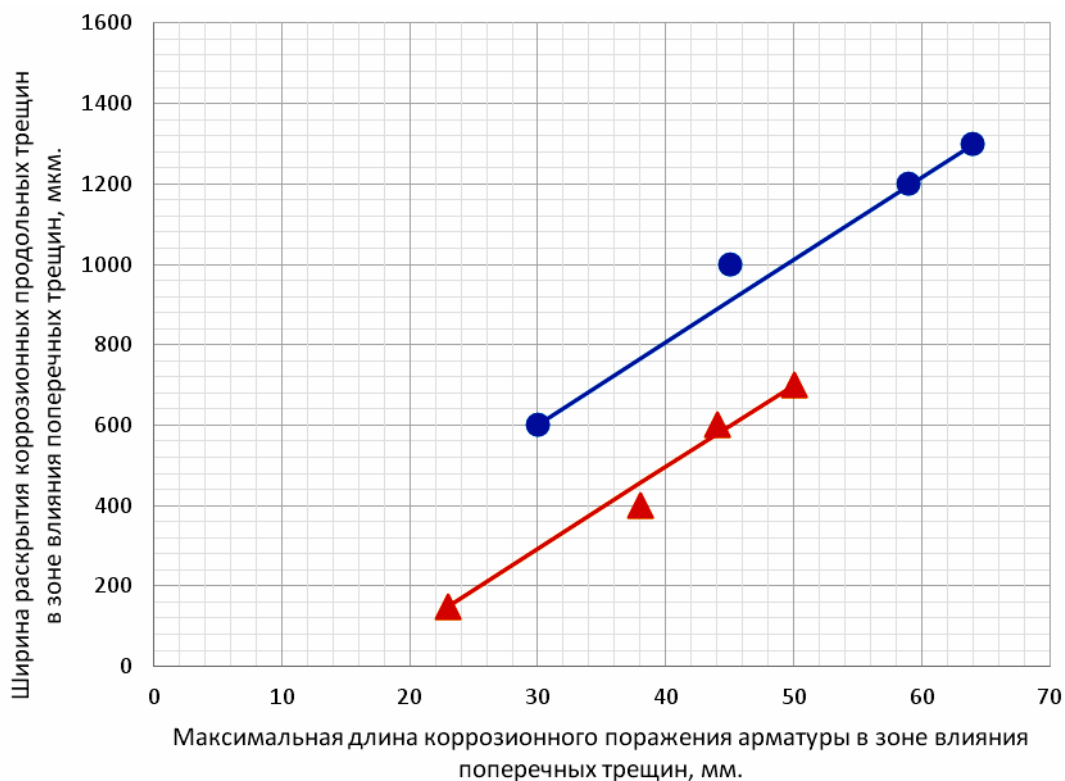


Рис. 2.117. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при воздействии переменной и постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружности и треугольники-соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (30;600), $a_{crc} = 0,20$ мм (45;1000), $a_{crc} = 0,30$ мм (59;1200), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;1300). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (23;150), $a_{crc} = 0,20$ мм (38;400), $a_{crc} = 0,30$ мм (44;600), $a_{crc} = 0,35$ мм (50;700).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{прод} = 20,59 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 18$; треугольник – $a_T^{прод} = 20,37 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 319$, где $a_T^{прод}$ в мкм, $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

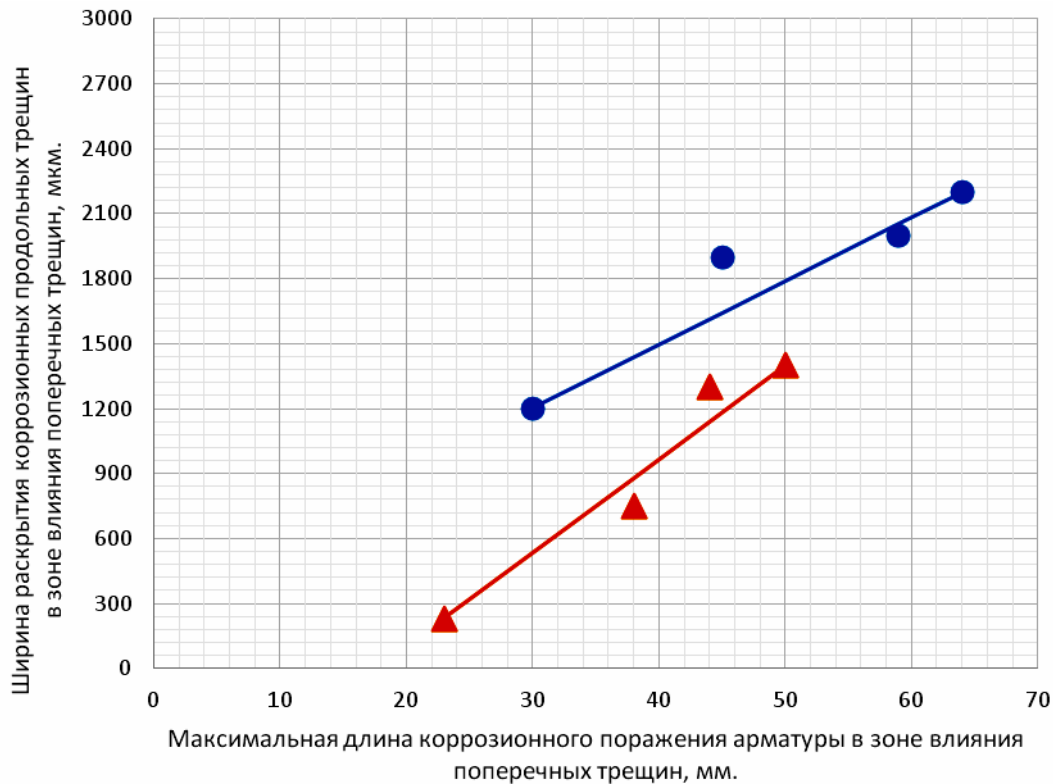


Рис. 2.18. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), с учётом воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники-соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (30;1200), $a_{crc} = 0,20$ мм (45;1900), $a_{crc} = 0,30$ мм (59;2000), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;2200). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (23;230), $a_{crc} = 0,20$ мм (38;750), $a_{crc} = 0,30$ мм (44;1300), $a_{crc} = 0,35$ мм (50;1400).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{prod} = 318 + 29,41 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$; треугольник – $a_T^{prod} = 43,33 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 767$, где a_T^{prod} в мкм, $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

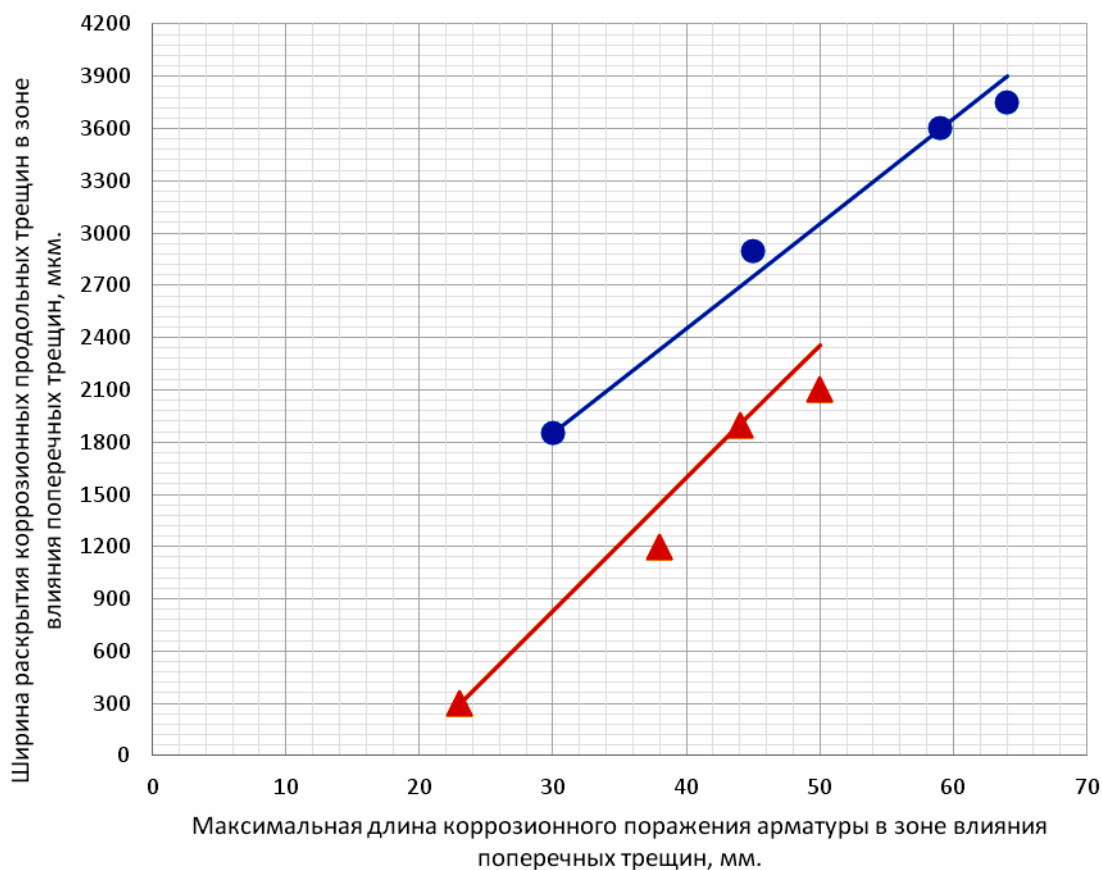


Рис. 2.119. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой (рис. 1.26), с учётом воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники-соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (30;1850), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (45;2900), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (59;3600), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;3750). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (23;300), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;1200), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (44;1900), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (50;2100).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 40 + 60,43 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 76,19 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 1452$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

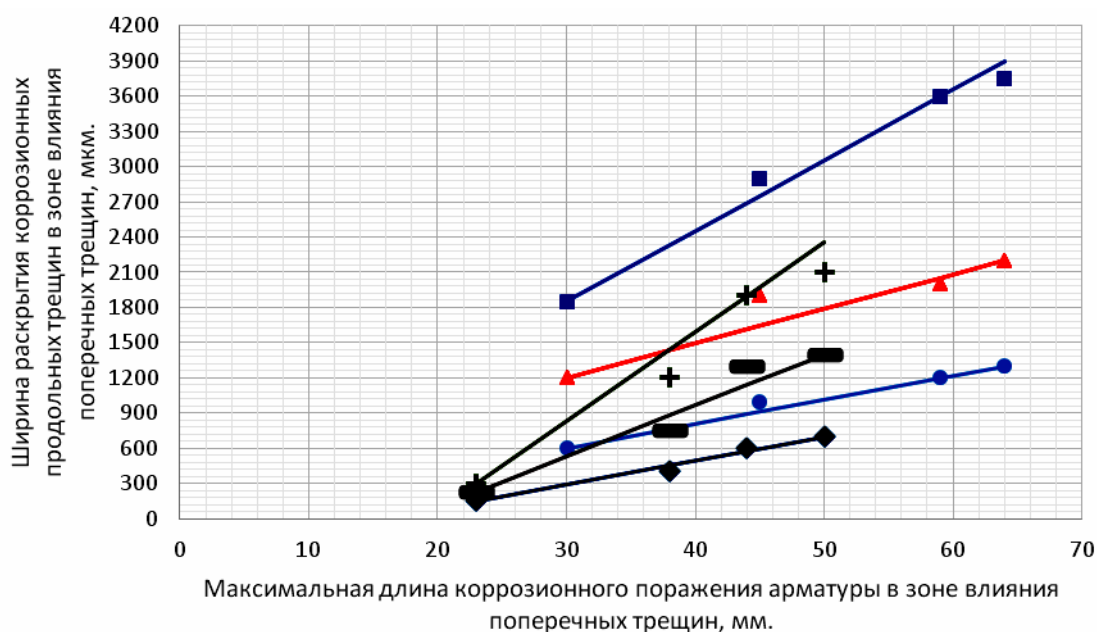


Рис.2.120. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, и полученные уравнения регрессии, согласно рисунков 2.117; 2.118 и 2.119, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{II} = 60$ суток, $\eta = t_{M_{\text{min}}} / t_{II} = 0,5$, $\rho = 0,4M_{\text{разр}} / 0,7M_{\text{разр}}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}$.

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (30;600), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (45;1000), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (59;1200), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;1300) – $a_T^{\text{прод}} = 20,59 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 18$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (30;1200), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (45;1900), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (59;2000), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;2200) – $a_T^{\text{прод}} = 318 + 21,41 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (30;1850), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (45;2900), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (59;3600), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;3750) – $a_T^{\text{прод}} = 40 + 60,34 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}}$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (23;150), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (38;400), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (44;600), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (50;700) – $a_T^{\text{прод}} = 20,37 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 319$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (23;230), $a_{crc} = 0,2$ мм (38;750), $a_{crc} = 0,3$ мм (44;1300), $a_{crc} = 0,35$ мм (50;1400) – $a_T^{прод} = 43,33 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 767$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (23;300), $a_{crc} = 0,2$ мм (38;1200), $a_{crc} = 0,3$ мм (44;1900), $a_{crc} = 0,35$ мм (50;2100) – $a_T^{прод} = 79,19 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 1452$. В уравнениях $a_T^{прод}$ в мкм, $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

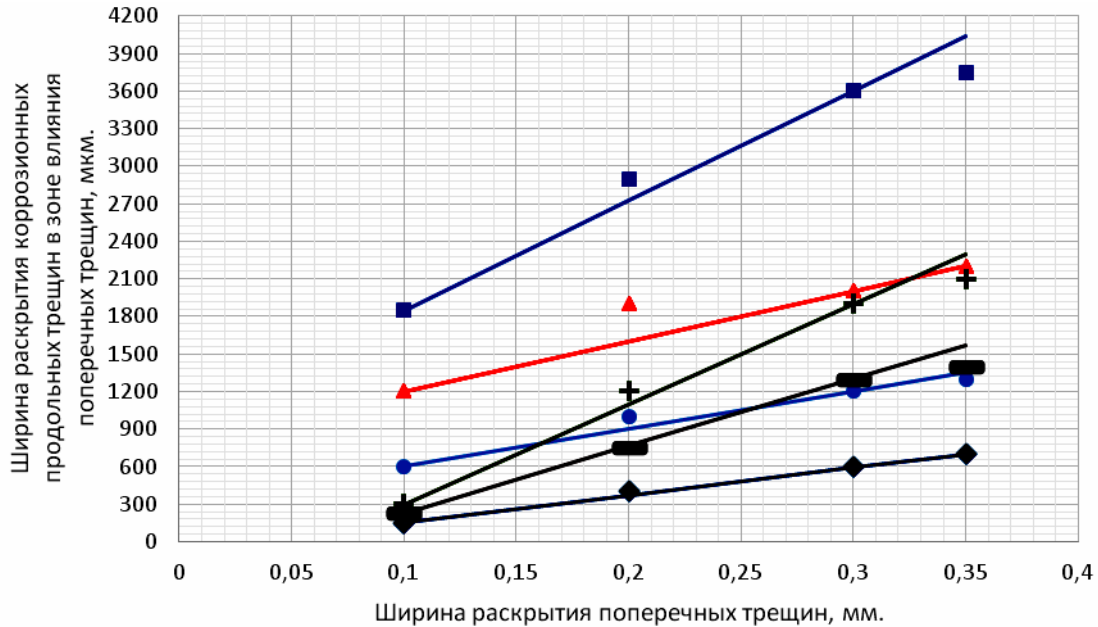


Рис. 2.121. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$

в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии согласно рис. 2.120 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 600; 30), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1000; 45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30; 1200; 59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 1300; 64) – $a_T^{прод} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 1200; 30), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1900; 45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30; 2000; 59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 2200; 64) – $a_T^{прод} = 800 + 4000 \cdot a_{crc}$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 1850; 30), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 2900; 45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30; 3600; 59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 3750; 64) – $a_T^{прод} = 975 + 8750 \cdot a_{crc}$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 150; 23), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 400; 38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30; 600; 44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 700; 50) – $a_T^{прод} = 2200 \cdot a_{crc} - 70$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,10; 230; 23), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 750; 38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30; 1300; 44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 1400; 50) – $a_T^{прод} = 5250 \cdot a_{crc} - 305$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,1$ мм (0,1; 300;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1200;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1900;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;2100;50) – $a_T^{prod} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$. В координатах условных обозначений третье значение в скобках – $\ell_{кор}^{max}$, с учётом $\delta_{кор}^{max}$, в мм.

Т а б л и ц а 2.49

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при 2,25-кратном увеличении продуктов коррозии металла арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки, и полученные уравнения регрессии

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$ при a_{crc}				Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
Нижняя	Переменная	600(30)	1000(45)	1200(59)	1300(64)	$a_T^{prod} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$
		600(30)	1000(45)	1200(59)	1300(64)	$a_T^{prod} = 20,59 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 18$
	Постоянная	150(23)	400(38)	600(44)	700(50)	$a_T^{prod} = 2200 \cdot a_{crc} - 70$
		150(23)	400(38)	600(44)	700(50)	$a_T^{prod} = 20,37 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 319$
Средняя	Переменная	1200(30)	1900(45)	2000(59)	2200(64)	$a_T^{prod} = 800 + 4000 \cdot a_{crc}$
		1200(30)	1900(45)	2000(59)	2200(64)	$a_T^{prod} = 318 + 21,41 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$
	Постоянная	230(23)	750(38)	1300(44)	1400(50)	$a_T^{prod} = 5250 \cdot a_{crc} - 305$
		230(23)	750(38)	1300(44)	1400(50)	$a_T^{prod} = 43,33 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 767$
Верхняя	Переменная	1850(30)	2900(45)	3600(59)	3750(64)	$a_T^{prod} = 975 + 8750 \cdot a_{crc}$
		1850(30)	2900(45)	3600(59)	3750(64)	$a_T^{prod} = 40 + 60,34 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$
	Постоянная	300(23)	1200(38)	1900(44)	2100(50)	$a_T^{prod} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$
		300(23)	1200(38)	1900(44)	2100(50)	$a_T^{prod} = 79,19 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 1452$

Примечание. a_T^{prod} в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

На рис. 2.122 согласно данным рис. 2.89 показаны графические изображения максимальной длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

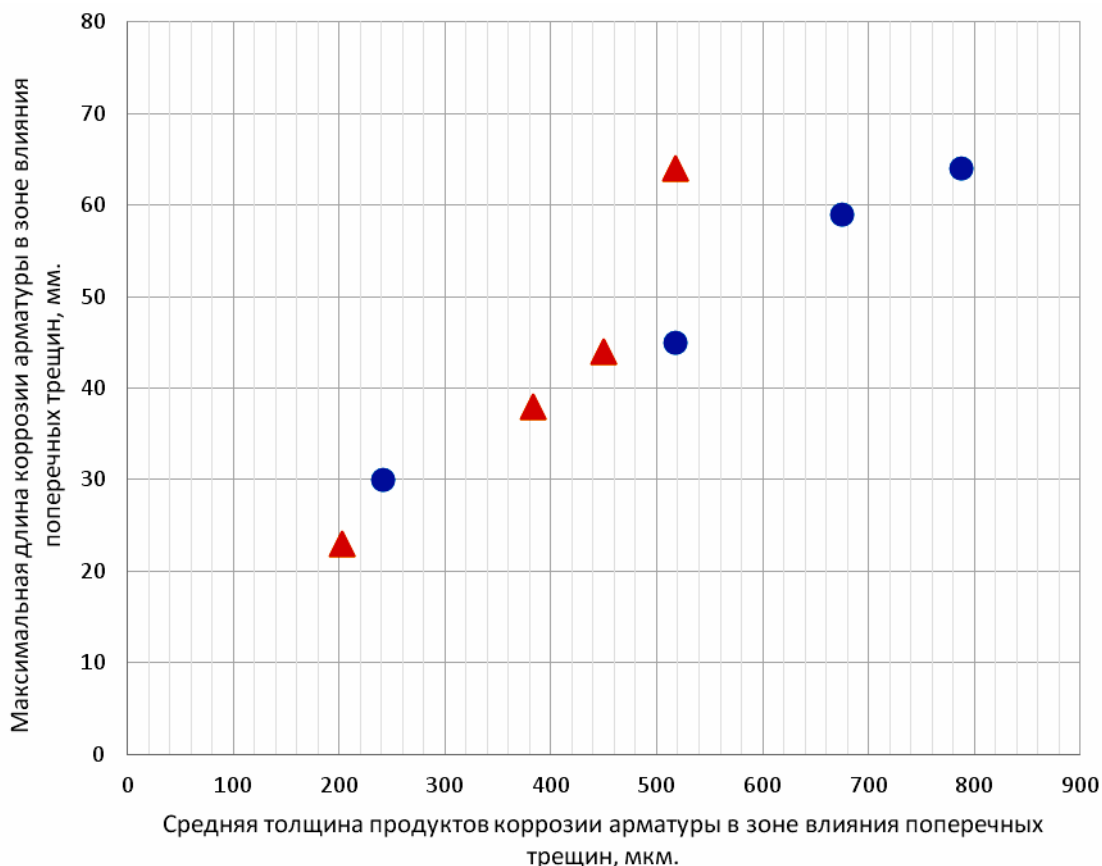


Рис.2.122. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $l_{кор}^{max}$ на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, при средней глубине коррозионного поражения арматурного стержня, с учётом 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{ц} = 60$ суток, $\eta = t_{Mmin}/t_{ц} = 0,5$, $\rho = 0,4M_{разр}/0,7M_{разр}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{пост} = 0,7 M_{разр}$.

Условные обозначения: окружность – переменная нагрузка; треугольник – постоянная нагрузка; Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (241;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (518;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (675;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (788;64). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (203;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (383;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (450;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (518;64).

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры со средней глубиной коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин, при 2,25-кратном увеличении продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.122 содержится соответственно на рис. 2.123–2.125.

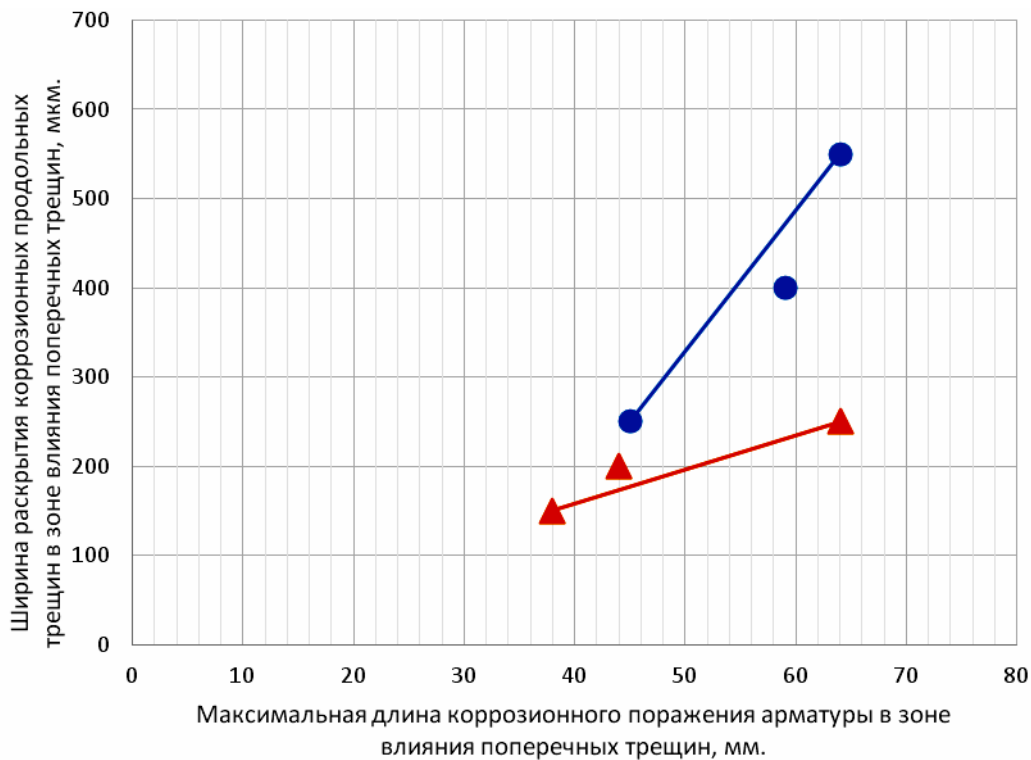


Рис. 2.123. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$

в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при воздействии переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (45;250), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (59;400), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;550). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;150), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (44;200), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;250).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 15,8 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 461$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 3,85 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} + 4$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

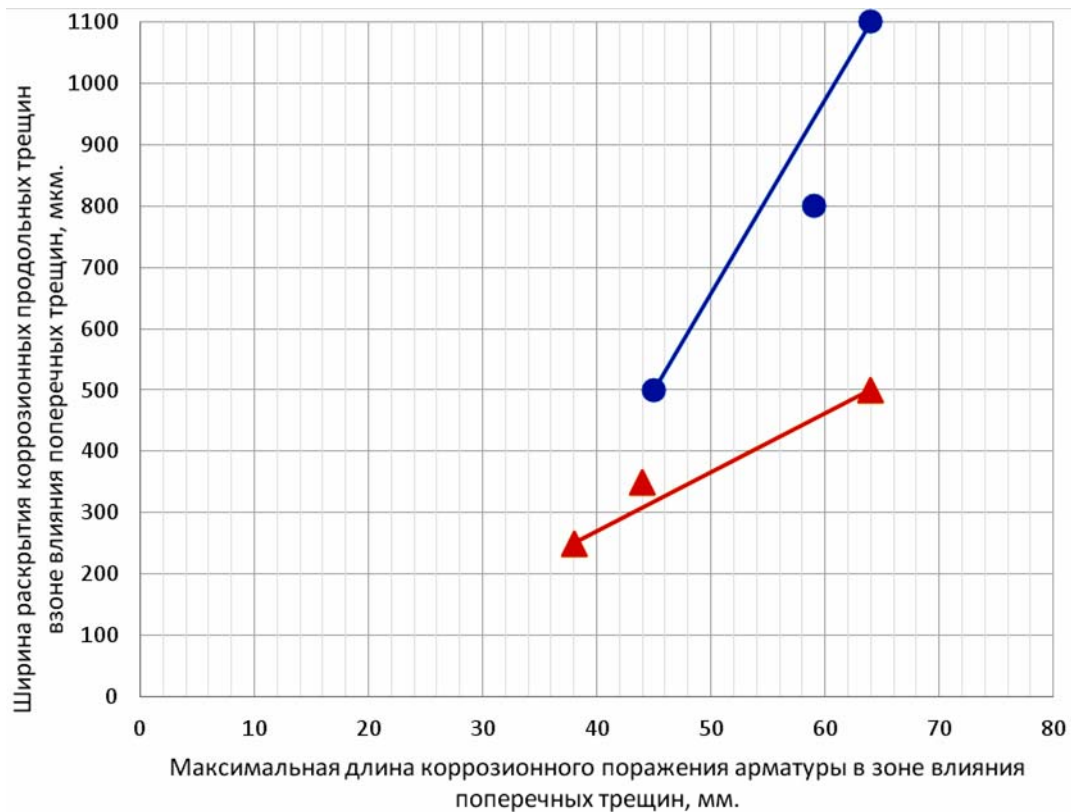


Рис. 1.124. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры $\delta_{кор}^{сред}$ и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при воздействии переменной и постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (45;500), $a_{crc} = 0,30$ мм (59;800), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;1100). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (38;250), $a_{crc} = 0,30$ мм (44;350), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;500).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{прод} = 31,58 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 921$; треугольник – $a_T^{прод} = 9,62 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 11$, где $a_T^{прод}$ в мкм, $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

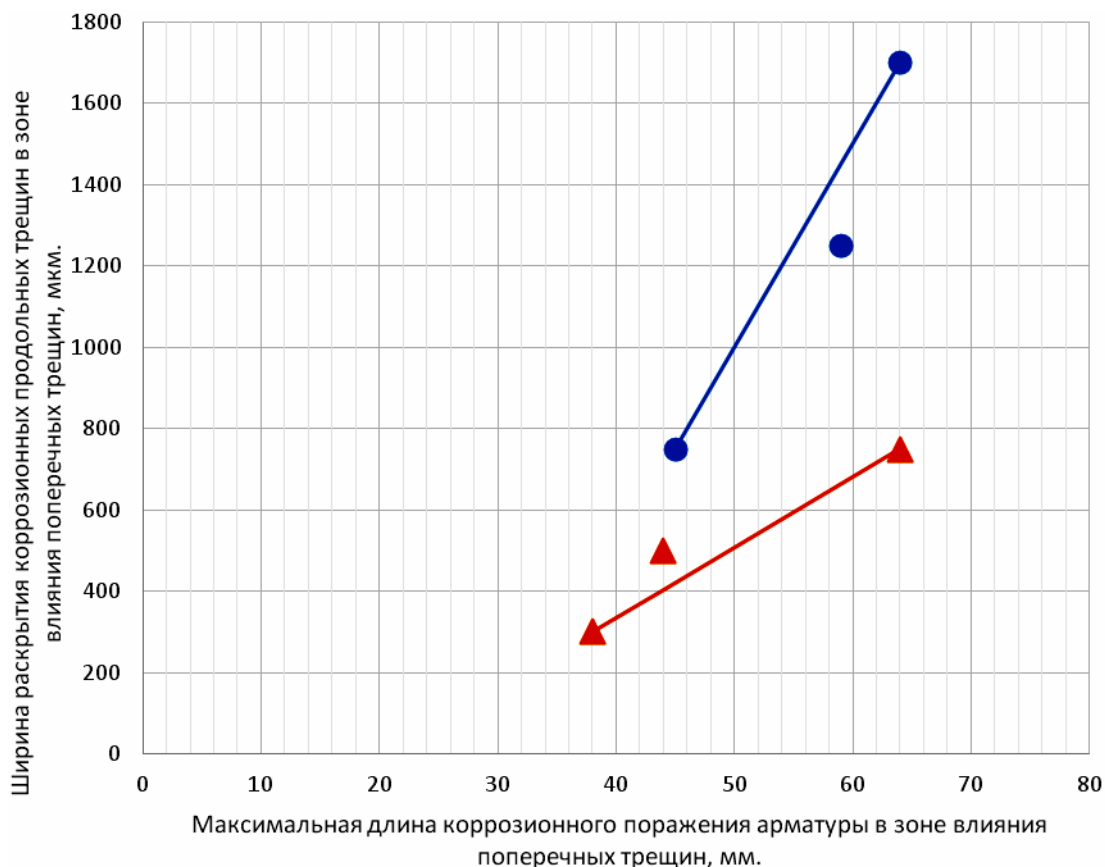


Рис. 2.125. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм,

с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры $\delta_{кор}^{сред}$ и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при воздействии переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (45;750), $a_{crc} = 0,30$ мм (59;1250), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;1700). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (38;300), $a_{crc} = 0,30$ мм (44;500), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;1750).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{прод} = 50 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 1500$; треугольник – $a_T^{прод} = 17,3 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 358$, где $a_T^{прод}$ в мкм, $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

В сводной табл. 2.50 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры, при максимальной глубине её коррозионного

поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.126 и 2.127), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

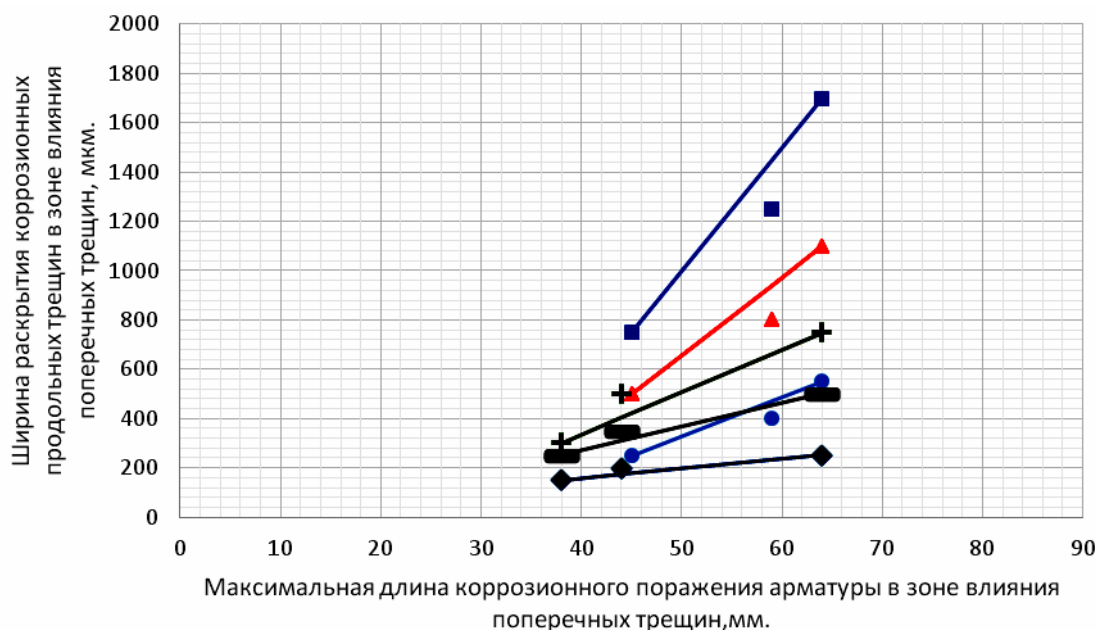


Рис. 2.126. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{max}$ в $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом средней глубины поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 2.123–2.125, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{ц} = 60$ суток, $\eta = t_{Mmin} / t_{ц} = 0,5$, $\rho = 0,4M_{разр} / 0,7M_{разр}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{пост} = 0,7 M_{разр}$.

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (45;250), $a_{crc} = 0,3$ мм (59;400), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;550) – $a_T^{прод} = 15,8 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 461$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (45;500), $a_{crc} = 0,3$ мм (59;800), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;1100) – $a_T^{прод} = 31,58 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 921$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (45;750), $a_{crc} = 0,3$ мм (59;1250), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;1700) – $a_T^{прод} = 50 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 1500$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (38;150), $a_{crc} = 0,3$ мм (44;200), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;250) – $a_T^{прод} = 3,85 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} + 4$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (38;250), $a_{crc} = 0,3$ мм (44;350), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;500) – $a_T^{prod} = 9,62 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 11$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (38;300), $a_{crc} = 0,3$ мм (44;500), $a_{crc} = 0,35$ мм (64;750) – $a_T^{prod} = 17,3 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 358$. В уравнениях a_T^{prod} в мкм, $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

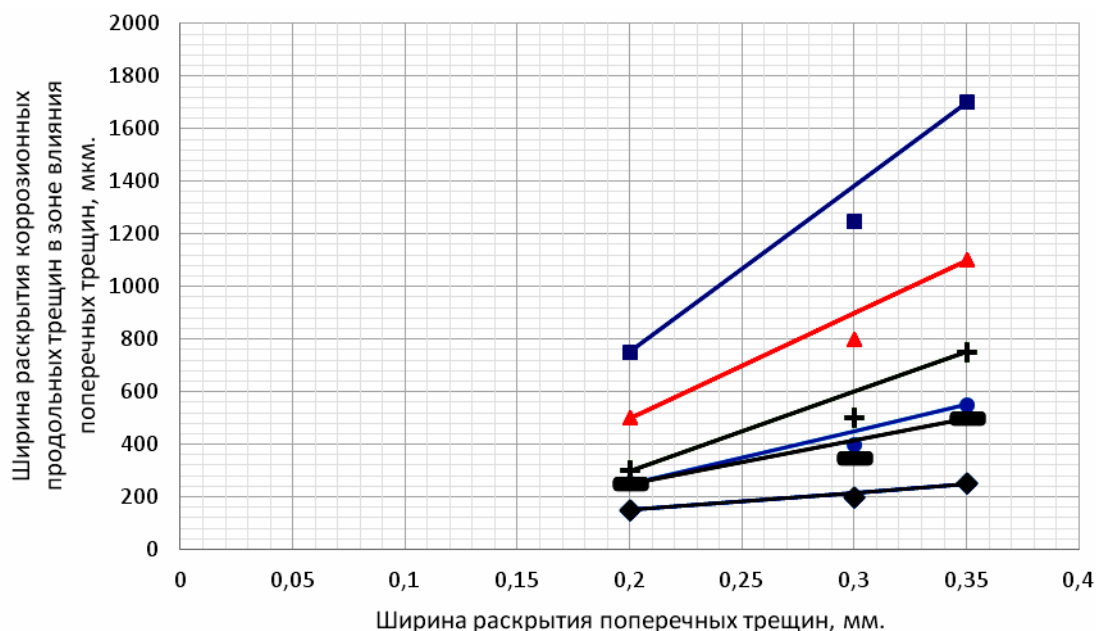


Рис. 2.127. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{сред}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии согласно рис. 2.26 при действии переменной ступенчатой и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;250;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;400; 59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 550;64) – $a_T^{prod} = 2000 \cdot a_{crc} - 150$

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 500;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;800;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 1100;64) – $a_T^{prod} = 4000 \cdot a_{crc} - 300$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;750;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1250;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;1700;64) – $a_T^{prod} = 6333 \cdot a_{crc} - 517$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;150;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;200;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;250;50) – $a_T^{prod} = 617 \cdot a_{crc} + 17$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;250;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;350;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;500;50) – $a_T^{prod} = 1617 \cdot a_{crc} - 83$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 300;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;500;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;750;64) – $a_T^{prod} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$. В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

Т а б л и ц а 2.50

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$ при a_{crc}				Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
Нижняя	Переменная	-	250 (45)	400 (59)	550 (64)	$a_T^{prod} = 2000 \cdot a_{crc} - 150$
		-	250(45)	400 (59)	550 (64)	$a_T^{prod} = 15,8 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 461$
	Постоянная	-	150(38)	200(44)	250 (64)	$a_T^{prod} = 617 \cdot a_{crc} + 17$
		-	150(38)	200(44)	250 (64)	$a_T^{prod} = 3,85 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} + 4$
Средняя	Переменная	-	500(45)	800(59)	1100(64)	$a_T^{prod} = 4000 \cdot a_{crc} - 300$
		-	500(45)	800(59)	1100(64)	$a_T^{prod} = 31,58 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 921$
	Постоянная	-	250(38)	350(44)	500(64)	$a_T^{prod} = 1617 \cdot a_{crc} - 83$
		-	250(38)	350(44)	500(64)	$a_T^{prod} = 9,62 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 11$
Верхняя	Переменная	-	750(45)	1250(59)	1700(64)	$a_T^{prod} = 6333 \cdot a_{crc} - 517$
		-	750(45)	1250(59)	1700(64)	$a_T^{prod} = 50 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 1500$
	Постоянная	-	300(38)	500(44)	750 (64)	$a_T^{prod} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$
		-	300(38)	500(44)	1700 (64)	$a_T^{prod} = 17,3 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 358$

Примечание. a_T^{prod} в мкм; a_{crc} в мм, в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

На рис. 2.128 согласно данным рис. 2.90 показаны графические изображения средней длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

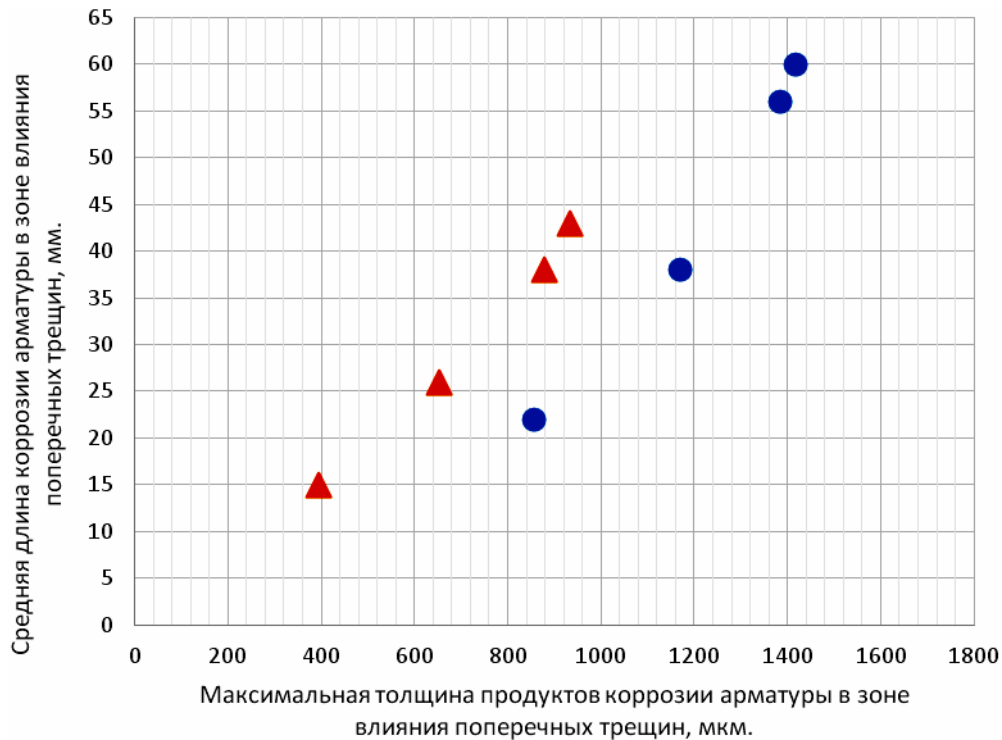


Рис.2.128. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при максимальной глубине коррозионного поражения арматурного стержня, с учётом 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами:

$$t_{ц} = 60 \text{ суток, } \eta = t_{M_{\min}} / t_{ц} = 0,5, \rho = 0,4 M_{\text{разр}} / 0,7 M_{\text{разр}} \text{ и постоянной изгибающей нагрузки } M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}.$$

Условные обозначения: окружность – переменная нагрузка; треугольник – постоянная нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (855;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (1170;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (1384;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (1418;60). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (394;15), $a_{crc} = 0,20$ мм (653;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (878;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (934;43).

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры с максимальной глубиной коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин, при 2,25-кратном увеличении

продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.128 приведена соответственно на рис. 2.129–2.131.

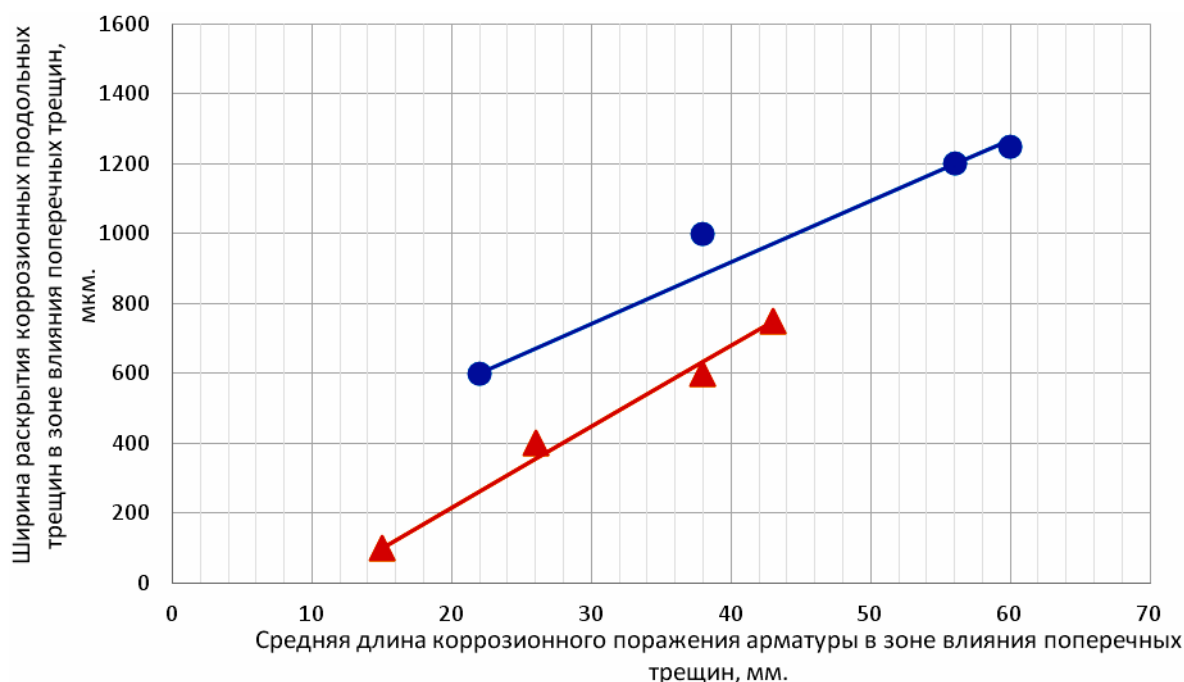


Рис. 2.129. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (22;600), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;1000), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (56;1200), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;1250). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (15;100), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (26;400), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (38;600), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;750).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 212 + 17,65 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 23,21 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 248$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

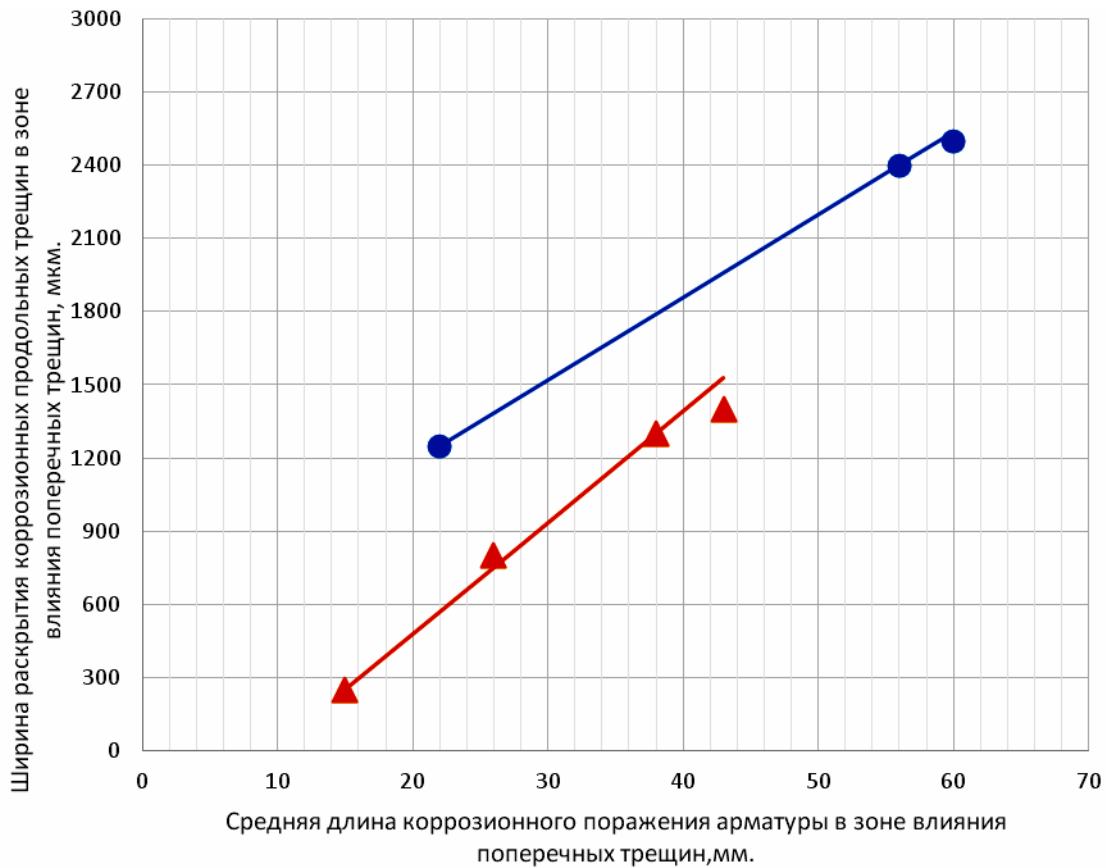


Рис. 2.130. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (22;1250), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;1900), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (56;2400), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;2500). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (15;250), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (26;800), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (38;1300), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;1400).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 506 + 33,82 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 45,65 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 434$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

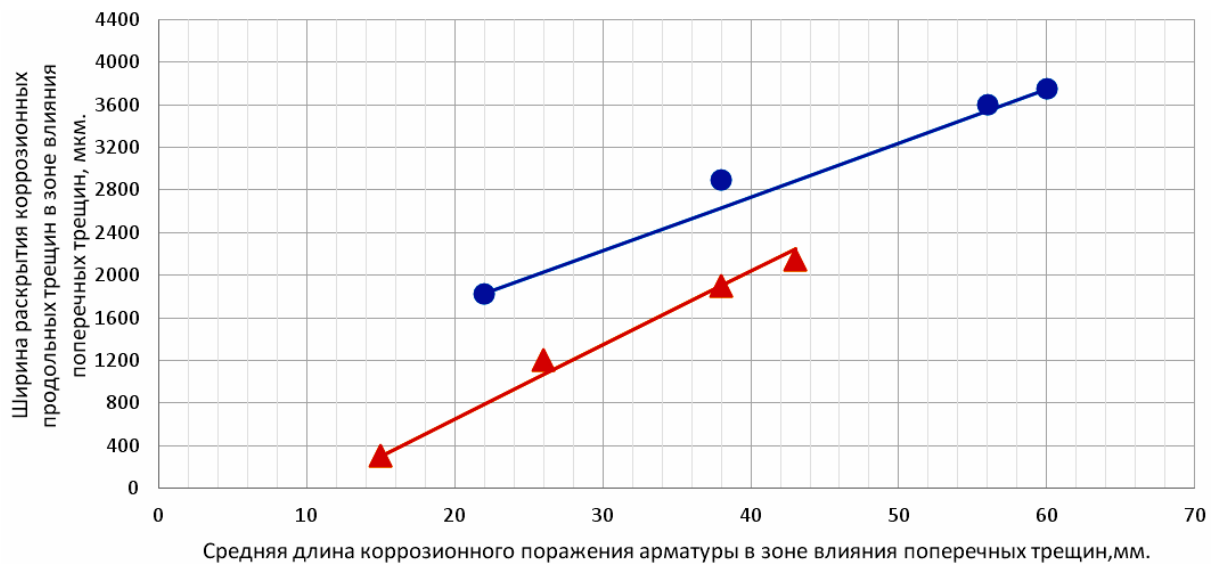


Рис. 2.131. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещи с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (22;1830), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;2900), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (56;3600), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;3750). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (15;300), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (26;1200), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (38;1900), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;2150).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 718 + 50,53 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 69,57 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 743$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

В сводной табл. 2.51 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от расчётной ширины раскрытия поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм и в зависимости от средней длины коррозии арматуры, при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.132 и 2.133), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

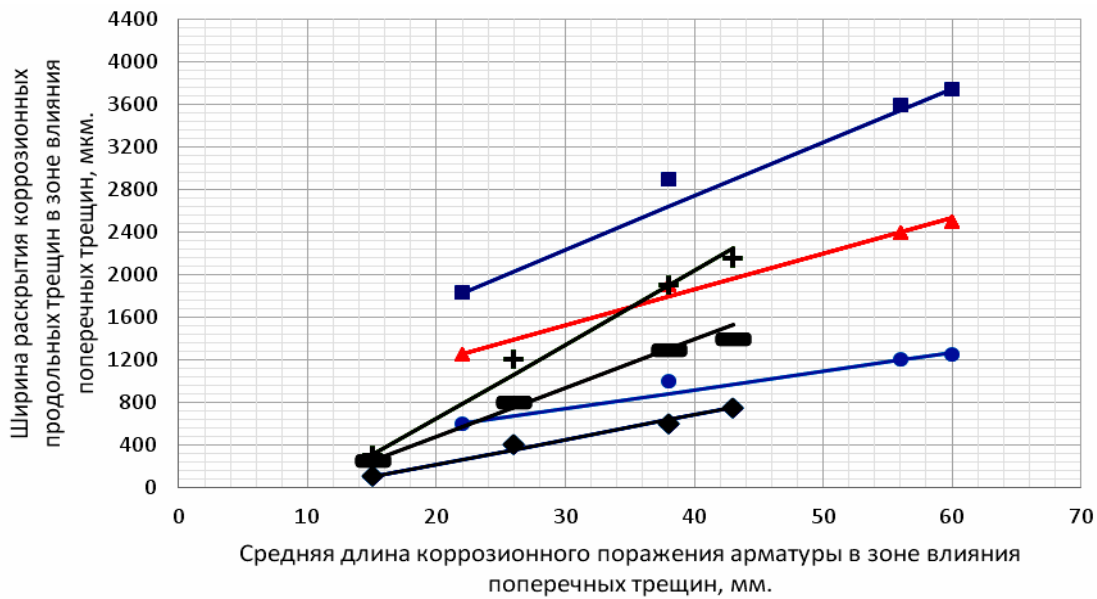


Рис. 2.132. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III

$\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом максимальной глубины поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых и полученные уравнения регрессии согласно рис. 1.129–1.131, при действии переменной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{\text{Ц}} = 60$ суток, $\eta = t_{M_{\text{min}}} / t_{\text{Ц}} = 0,5$, $\rho = 0,4 M_{\text{разр}} / 0,7 M_{\text{разр}}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}$

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (22;600), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (38;1000), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (56;1200), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;1250) – $a_T^{\text{прод}} = 212 + 17,65 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (22;1250), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (38;1900), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (56;2400), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;2500) – $a_T^{\text{прод}} = 506 + 33,82 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (22;1830), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (38;2900), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (56;3600), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;3750) – $a_T^{\text{прод}} = 718 + 50,53 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (15;100), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (26;400), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (38;600), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;750) – $a_T^{\text{прод}} = 23,21 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 248$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (15;250), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (26;800), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (38;1300), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;1400) – $a_T^{\text{прод}} = 45,65 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 434$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (15;300), $a_{crc} = 0,2$ мм (26;1200), $a_{crc} = 0,3$ мм (38;1900), $a_{crc} = 0,35$ мм (43;2150) – $a_T^{prod} = 69,57 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 743$. В уравнениях a_T^{prod} в мкм, $\ell_{кор}^{сред}$ в мм.

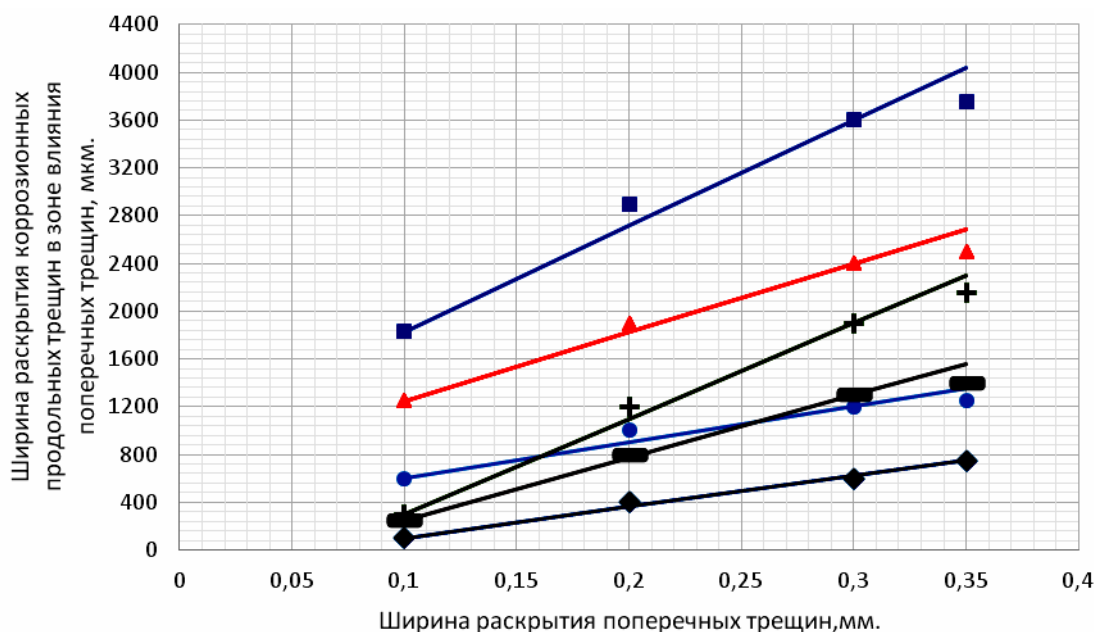


Рис. 2.133. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при 2,25-кратном увеличении

толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии согласно рис. 2.132 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;600;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1000;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1200;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;1250;60) – $a_T^{prod} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1250;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1900;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;2400;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;2500;60) – $a_T^{prod} = 675 + 5750 \cdot a_{crc}$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1830;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;2900;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;3600;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;3750;60) – $a_T^{prod} = 945 + 8850 \cdot a_{crc}$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;100;15), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;400;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;600;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;750;43) – $a_T^{prod} = 2600 \cdot a_{crc} - 160$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;250;15), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;800;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1300;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;1400;43) – $a_T^{prod} = 5250 \cdot a_{crc} - 275$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;300;15), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1200;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1900;38),

$a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;2150;43) – $a_T^{prod} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$. В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{сред}$ с учётом $\delta_{кор}^{max}$ в мм.

Т а б л и ц а 2.51

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$ при a_{crc}				Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
Нижняя	Переменная	600(22)	1000(38)	1200(56)	1250(60)	$a_T^{prod} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$
		600(22)	1000(38)	1200(56)	1250(60)	$a_T^{prod} = 212 + 17,65 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	100(15)	400(26)	600(38)	750(43)	$a_T^{prod} = 2600 \cdot a_{crc} - 160$
		100(15)	400(26)	600(38)	750(43)	$a_T^{prod} = 23,21 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 248$
Средняя	Переменная	1250(22)	1900(38)	2400(56)	2500(60)	$a_T^{prod} = 675 + 5750 \cdot a_{crc}$
		1250(22)	1900(38)	2400(56)	2500(60)	$a_T^{prod} = 506 + 33,82 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	250(15)	800(26)	1300(38)	1400(43)	$a_T^{prod} = 5250 \cdot a_{crc} - 275$
		250(15)	800(26)	1300(38)	1400(43)	$a_T^{prod} = 45,65 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 434$
Верхняя	Переменная	1830(22)	2900(38)	3600(56)	3750(60)	$a_T^{prod} = 945 + 8850 \cdot a_{crc}$
		1830(22)	2900(38)	3600(56)	3750(60)	$a_T^{prod} = 718 + 50,53 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	300(15)	1200(26)	1900(38)	2150(43)	$a_T^{prod} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$
		300(15)	1200(26)	1900(38)	2150(43)	$a_T^{prod} = 69,57 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 743$

Примечание. a_T^{prod} в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках $\ell_{кор}^{сред}$ в мм.

На рис 2.134 согласно данным рис 2.91 показаны графические изображения средней длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

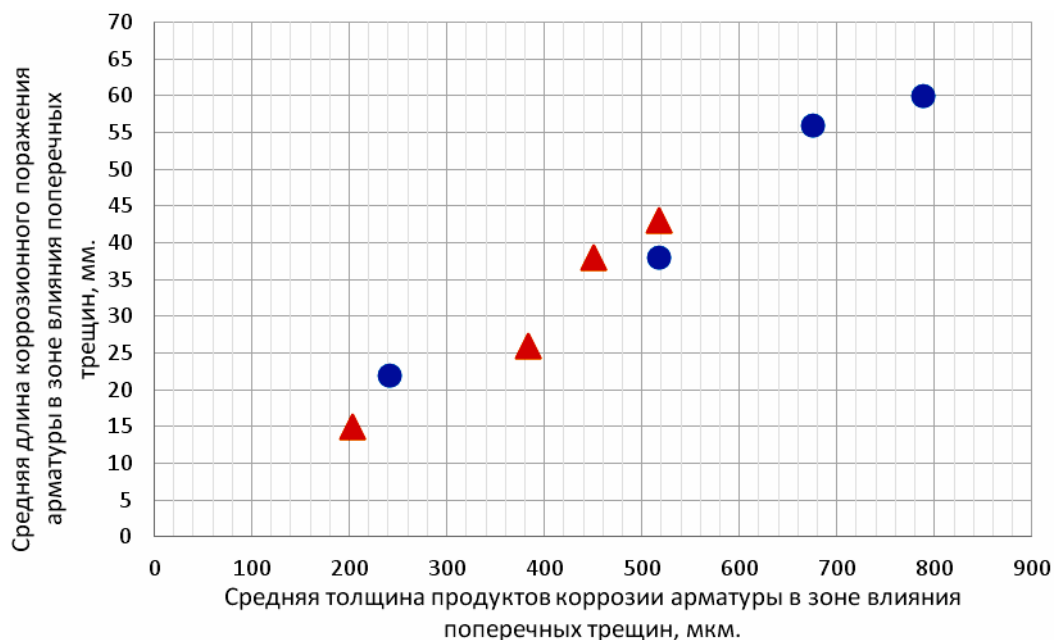


Рис.2.134. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при средней глубине коррозионного поражения арматурного стержня, с учётом 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружность – переменная нагрузка; треугольник – постоянная нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (241;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (518;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (675;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (788;60). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (203;15), $a_{crc} = 0,20$ мм (383;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (450;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (518;43).

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин со средней глубиной коррозии арматуры, при 2,25-кратном увеличении продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.134 представлены на рис. 2.135–2.137.

В сводной табл. 2.52 содержатся значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зави-

симости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от средней длины коррозии арматуры, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.138 и 2.139), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

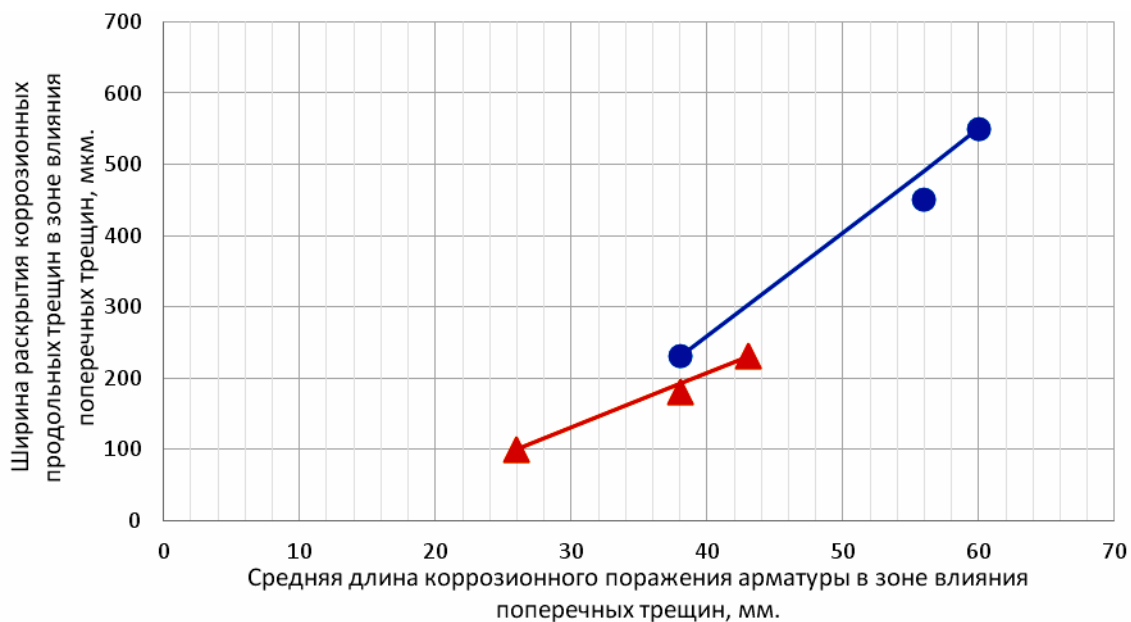


Рис. 2.135. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (38;230), $a_{crc} = 0,30$ мм (56;450), $a_{crc} = 0,35$ мм (60;550). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (26;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (38;180), $a_{crc} = 0,35$ мм (43;230).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{прод} = 14,55 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 323$; треугольник – $a_T^{прод} = 7,65 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 99$, где $a_T^{прод}$ в мкм, $\ell_{кор}^{сред}$ в мм.

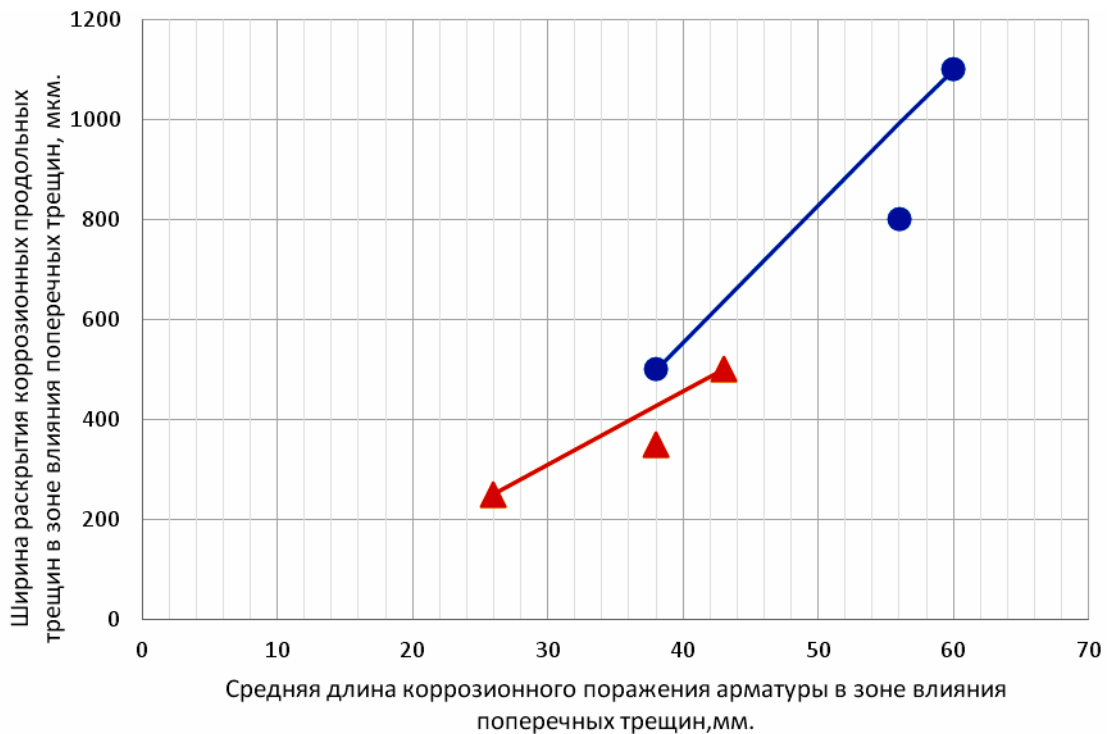


Рис. 1.136. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (38;500), $a_{crc} = 0,30$ мм (56;800), $a_{crc} = 0,35$ мм (60;1100). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (26;250), $a_{crc} = 0,30$ мм (38;350), $a_{crc} = 0,35$ мм (43;500).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{prod} = 27,27 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 536$; треугольник – $a_T^{prod} = 14,71 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 132$, где a_T^{prod} в мкм, $\ell_{кор}^{сред}$ в мм.

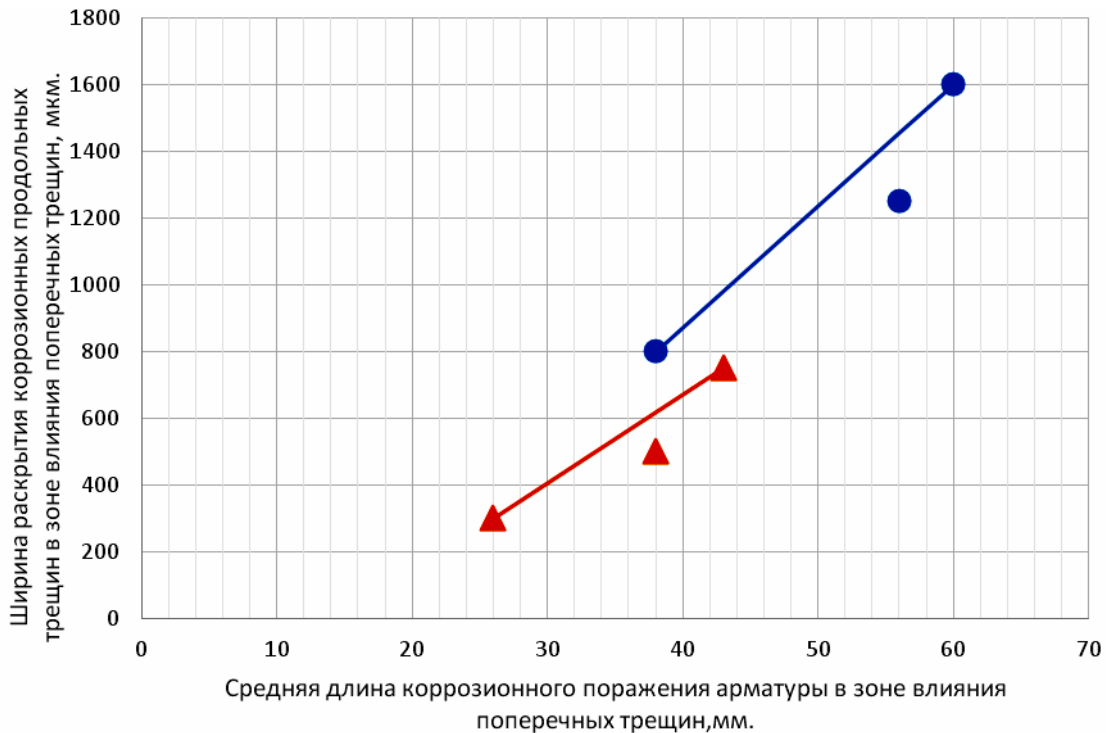


Рис. 2.137. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружности и треугольники-соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;580), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (56;1250), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;1600). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (26;300), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (38;500), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;750).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 36,36 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 582$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 26,47 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 388$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

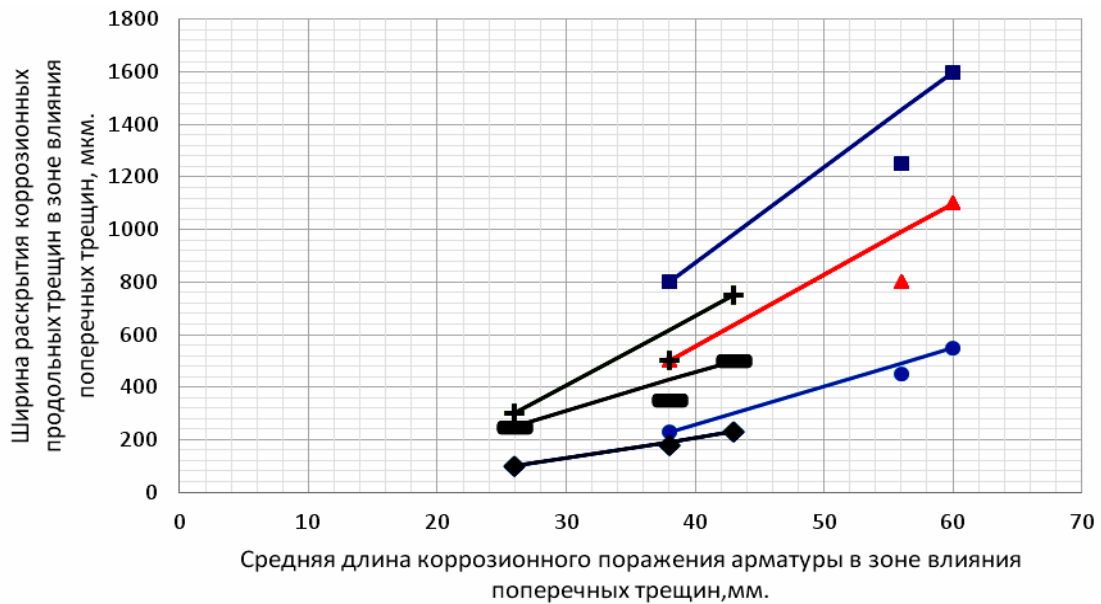


Рис. 1.238. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом средней глубины коррозионного поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рисунков 2.135; 2.136 и 2.137, в области чистого изгиба, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{II} = 60$ суток, $\eta = t_{M\text{min}}/t_{II} = 0,5$, $\rho = 0,4M_{\text{разр}}/0,7M_{\text{разр}}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}$

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники, засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (38;230), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (56;450), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;550) – $a_T^{\text{прод}} = 14,55 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 323$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (38;500), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (56;800), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;1100) – $a_T^{\text{прод}} = 27,27 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 536$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (38;800), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (56;1250), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;1600) – $a_T^{\text{прод}} = 36,36 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 582$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (26;100), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (38;180), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;230) – $a_T^{\text{прод}} = 7,65 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 99$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (26;250), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (38;350), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;500) – $a_T^{\text{прод}} = 14,71 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 132$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (26;300), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (38;500), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;750) – $a_T^{\text{прод}} = 26,47 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 388$.

В уравнениях $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

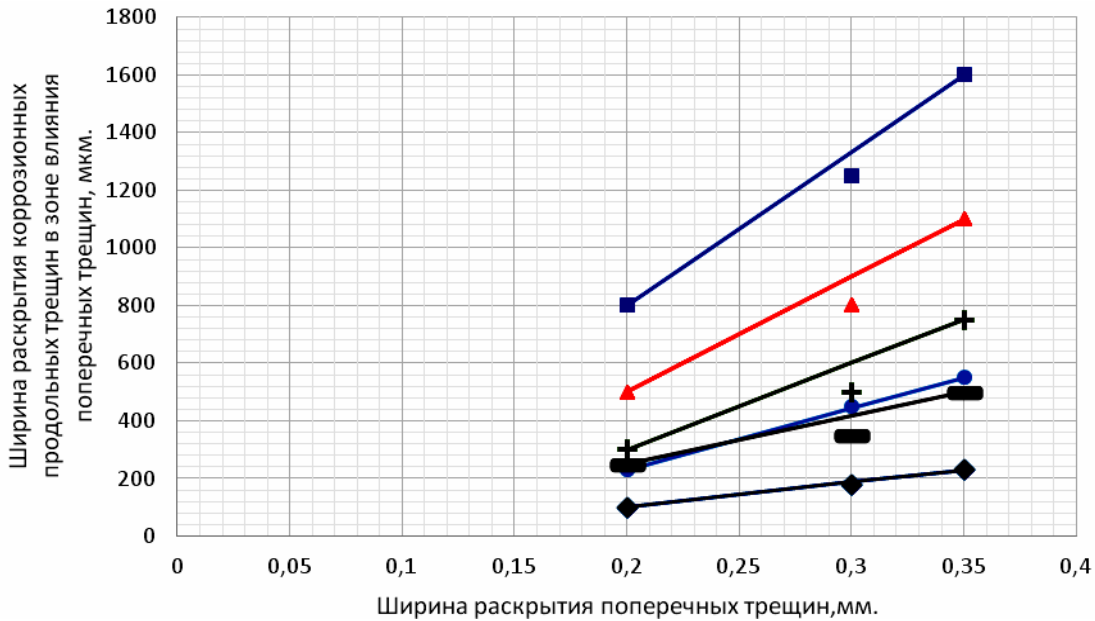


Рис. 2.139. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ от $\delta_{кор}^{\text{сред}}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии согласно рис. 2.138 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;230;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;450;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;550;60) – $a_T^{\text{прод}} = 2133 \cdot a_{crc} - 197$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;500;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;800;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;1100;60) – $a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{crc} - 300$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;800;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1200;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;1600;60) – $a_T^{\text{прод}} = 5333 \cdot a_{crc} - 267$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;100;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;180;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;230;43) – $a_T^{\text{прод}} = 867 \cdot a_{crc} - 73$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;250;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;350;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;500;43) – $a_T^{\text{прод}} = 1667 \cdot a_{crc} - 83$.

Звездочка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;300;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;500;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;750;43) – $a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$. В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{\text{сред}}$, с учётом $\delta_{кор}^{\text{сред}}$ в мкм.

Т а б л и ц а 2.52

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{прод} = f(a_{crc}) / a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$ при a_{crc}				Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
Нижняя	Переменная	-	230 (38)	450 (56)	788 (60)	$a_{Тпер}^{прод} = 3720 \cdot a_{crc} - 514$
		-	230(38)	450 (56)	788 (60)	$a_{Тпер}^{прод} = 14,55 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 323$
	Постоянная	-	100(26)	180(38)	230 (43)	$a_{Тпост}^{прод} = 867 \cdot a_{crc} - 73$
		-	100(26)	180(38)	230 (43)	$a_{Тпост}^{прод} = 7,65 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 99$
Средняя	Переменная	-	500(38)	800(56)	1100(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 4000 \cdot a_{crc} - 300$
		-	500(38)	800(56)	1100(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 27,27 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 536$
	Постоянная	-	250(26)	350(38)	500(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 1667 \cdot a_{crc} - 83$
		-	250(26)	350(38)	500(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 14,71 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 132$
Верхняя	Переменная	-	800(38)	1250(56)	1600(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 5333 \cdot a_{crc} - 267$
		-	800(38)	1250(56)	1600(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 36,36 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 582$
	Постоянная	-	300(26)	500(38)	750 (43)	$a_{Тпост}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$
		-	300(26)	500(38)	750 (43)	$a_{Тпост}^{прод} = 26,47 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 388$

Примечание. $a_T^{прод}$ в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{сред}$ в мм.

В сводной табл. 2.53 представлены уравнения регрессии зависимости значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин a_{crc} , с учётом максимальной и средней длины коррозии, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные значения $a_T^{прод}$ в соответствующих по величине ширины раскрытия поперечных трещинах a_{crc} , при трёхкратном увеличении продуктов коррозии арматурной стали.

Т а б л и ц а 2.53

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона a_{crc} , с учётом максимальной и средней длины коррозии, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Место положения прямой на рис. 1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{max}); a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{сред});$ $a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{сред}); a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$				Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = (a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	600(30); – –; 600(22)	1000(45); 250(45) 230(38); 1000(38)	1200(59); 400(59) 450(56); 1200(56)	1300(64); 550(64) 778(60); 1250(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$; $a_{Тпер}^{прод} = 2000 \cdot a_{crc} - 150$ $a_{Тпер}^{прод} = 3720 \cdot a_{crc} - 514$; $a_{Тпер}^{прод} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$
		600(30); – –; 600(22)	1000(45); 250(45) 230(38); 1000(38)	1200(59); 400(59) 450(56); 1200(56)	1300(64); 550(64) 778(60); 1250(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 20,59 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 18$; $a_{Тпер}^{прод} = 15,08 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 461$ $a_{Тпер}^{прод} = 14,55 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 323$; $a_{Тпер}^{прод} = 212 + 17,65 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	150 (23); – –; 100(15)	400(38); 150(38) 100(26); 400(26)	600(44); 200(44) 180(38); 600(38)	700(50); 250(64) 230(43); 750(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 2000 \cdot a_{crc} - 70$; $a_{Тпост}^{прод} = 667 \cdot a_{crc} + 17$ $a_{Тпост}^{прод} = 867 \cdot a_{crc} - 73$; $a_{Тпост}^{прод} = 2600 \cdot a_{crc} - 160$
		150(23); – –; 100(15)	400(38); 150(38) 100(26); 400(26)	600(44); 200(44) 180(38); 600(38)	700(50); 250(64) 230(43); 750(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 20,37 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 319$; $a_{Тпост}^{прод} = 3,85 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} + 4$ $a_{Тпост}^{прод} = 7,65 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 99$; $a_{Тпост}^{прод} = 23,21 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 248$

Окончание табл. 2.53

1	2	3	4	5	6	7
Средняя	Переменная	1200(30); – –; 1250(22)	1900(45); 500(45) 500(38); 1900(38)	2000(59); 800(59) 800(56); 2400(56)	2200(64); 1100(64) 1100(60); 2500(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 800 + 4000 \cdot a_{crc}$; $a_{Тпер}^{прод} = 4000 \cdot a_{crc} - 300$ $a_{Тпер}^{прод} = 4000 \cdot a_{crc} - 300$; $a_{Тпер}^{прод} = 675 + 5750 \cdot a_{crc}$
		1200(30); – –; 1250(22)	1900(45); 500(45) 500(38); 1900(38)	2000(59); 800(59) 800(56); 2400(56)	2200(64); 1100(64) 1100(60); 2500(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 318 + 29,41 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$; $a_{Тпер}^{прод} = 31,58 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 921$ $a_{Тпер}^{прод} = 27,27 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 536$; $a_{Тпер}^{прод} = 506 + 33,82 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	230(23); – –; 250(15)	750(38); 250(38) 250(26); 800(26)	1300(44); 350(44) 350(38); 1300(38)	1400(50); 500(64) 500(43); 1400(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 5350 \cdot a_{crc} - 305$; $a_{Тпост}^{прод} = 1667 \cdot a_{crc} - 83$ $a_{Тпост}^{прод} = 1667 \cdot a_{crc} - 83$; $a_{Тпост}^{прод} = 5260 \cdot a_{crc} - 275$
		230(23); – –; 250(15)	750(38); 250(38) 250(26); 800(26)	1300(44); 350(44) 350(38); 1300(38)	1400(50); 500(64) 500(43); 1400(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 43,33 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 767$; $a_{Тпост}^{прод} = 9,62 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 115$ $a_{Тпост}^{прод} = 14,71 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 132$; $a_{Тпост}^{прод} = 45,65 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 434$
Верхняя	Переменная	1850(30); – –; 1830(22)	2900(45); 750(45) 800(38); 2900(38)	3600(59); 1250(59) 1250(56); 3600(56)	3750(64); 1700(64) 1600(60); 3750(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 975 + 8750 \cdot a_{crc}$; $a_{Тпер}^{прод} = 6333 \cdot a_{crc} - 517$ $a_{Тпер}^{прод} = 5333 \cdot a_{crc} - 267$; $a_{Тпер}^{прод} = 945 + 8850 \cdot a_{crc}$
		1850(30); – –; 1830(22)	2900(45); 750(45) 800(38); 2900(38)	3600(59); 1250(59) 1250(56); 3600(56)	3750(64); 1700(64) 1600(60); 3750(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 40 + 60,34 \cdot \ell_{кор.пер}^{max}$; $a_{Тпер}^{прод} = 50 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 1500$ $a_{Тпер}^{прод} = 36,36 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 582$; $a_{Тпер}^{прод} = 718 + 50,53 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	300(23); – –; 300(15)	1200(38); 300(38) 300(26); 1200(26)	1900(44); 500(44) 500(38); 1900(38)	2100(50); 750(50) 750(43); 2150(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$; $a_{Тпост}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$ $a_{Тпост}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$; $a_{Тпост}^{прод} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$
		300(23); – –; 300(15)	1200(38); 300(38) 300(26); 1200(26)	1900(44); 500(44) 500(38); 1900(38)	2100(50); 1700(64) 750(43); 2150(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 76,19 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 145$; $a_{Тпост}^{прод} = 17,3 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 358$ $a_{Тпост}^{прод} = 26,47 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 388$; $a_{Тпост}^{прод} = 69,57 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 743$

П р и м е ч а н и е . В круглых скобках – $\ell_{кор}$, в мм; a_{crc} , в мм; $a_T^{прод}$ и $\delta_{кор}$, в мкм.

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от переменной и постоянной изгибающей нагрузки, при $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$ и $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, в том числе в начале испытания, с учётом трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, приведены в табл. 2.54–2.57.

Результаты этих таблиц показывают, что переменная ступенчатая повторная изгибающая нагрузка, по сравнению с постоянной изгибающей нагрузкой, способствует увеличению ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зонах влияния поперечных трещин, с равными по величине a_{crc} , не менее двух раз.

Т а б л и ц а 2.54

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром

14 мм класса А-III, при зависимости $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, мкм,

в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры.

Расположение функциональной прямой на рис.126 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм			
			0,10	0,15	0,30	0,35
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	$a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 300 + 3000 \cdot a_{\text{crc}}$	600	1000	1200	1300
	Переменная	$a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 300 + 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	450	600	750	825
	Отношение:		1,33	1,67	1,6	1,58
	Постоянная	$a_{\Gamma_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 2200 \cdot a_{\text{crc}} - 70$	150	400	600	700
	Постоянная	$a_{\Gamma_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 2200 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 70$	77	223	370	443
	Отношение:		1,95	1,79	1,62	1,58
	Переменная	$a_{\Gamma_{\text{пер}}}^{\text{прод}} = 300 + 3000 \cdot a_{\text{crc}}$	600	1000	1200	1300
	Постоянная	$a_{\Gamma_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 2200 \cdot a_{\text{crc}} - 70$	150	400	600	700
	Отношение:		4	2,5	2	1,86

Окончание табл. 2.54

1	2	3	4	5	6	7
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 300 + 3000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	450	600	750	825
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2200 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 70$	77	223	370	443
	Отношение:		5,84	2,69	2,03	1,86
Средняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 800 + 4000 \cdot a_{\text{срс}}$	1200	1900	2000	2200
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 800 + 4000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	1000	1200	1400	1500
	Отношение:		1,2	1,58	1,43	1,47
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5350 \cdot a_{\text{срс}} - 305$	230	750	1300	1400
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5350 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 305$	52	408	765	943
	Отношение:		4,42	1,84	1,7	1,48
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 800 + 4000 \cdot a_{\text{срс}}$	1200	1900	2000	2200
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5350 \cdot a_{\text{срс}} - 350$	230	750	1300	1400
	Отношение:		5,22	2,53	1,54	1,57
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 800 + 4000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	1000	1200	1400	1500
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5350 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 305$	52	408	765	943
Отношение:		19,23	2,94	1,83	1,59	
Верхняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 945 + 8750 \cdot a_{\text{срс}}$	1850	2900	3600	3750
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 945 + 8750 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	1413	1850	2288	2506
	Отношение:		1,31	1,57	1,57	1,5
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{\text{срс}} - 500$	300	1200	1900	2100
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 8000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 500$	33	567	1100	1367
	Отношение:		9,09	2,12	1,73	1,54
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 945 + 8750 \cdot a_{\text{срс}}$	1850	2900	3600	3750
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{\text{срс}} - 500$	300	1200	1900	2100
	Отношение:		6,17	2,42	1,89	1,79
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 945 + 8750 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{2}$	1413	1850	2280	2506
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 8000 \cdot \frac{a_{\text{срс}}}{1,5} - 500$	33	567	1100	1367
Отношение		42,82	3,26	2,08	1,83	

Таблица 2.55

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром

14 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, мкм,

в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм			
			0,10	0,20	0,30	0,35
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 150$	-	250	400	550
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 150$	-	-	150	200
	Отношение:		-	-	2,67	2,75
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 667 \cdot a_{\text{crc}} + 17$	-	150	200	250
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} + 17$	-	61	134	173
	Отношение:		-	2,46	1,49	1,45
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 150$	-	250	400	550
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 667 \cdot a_{\text{crc}} + 17$	-	150	200	250
	Отношение:		-	1,67	2	2,2
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 150$	-	-	150	200
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} + 17$	-	61	134	173
	Отношение:		-	-	1,12	1,16
Средняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	500	800	1100
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 300$	-	100	300	400
	Отношение:		-	5	2,67	2,75
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot a_{\text{crc}} - 83$	-	250	350	500
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 83$	-	139	250	306
	Отношение:		-	1,8	1,4	1,63
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	500	800	1100
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot a_{\text{crc}} - 83$	-	250	350	500
Отношение:		-	2	2,29	2,2	

Окончание табл. 2.55

1	2	3	4	5	6	7
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 4000 \cdot \frac{a_{crc}}{2} - 300$	-	100	300	400
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 1667 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 83$	-	139	250	306
	Отношение:		-	0,72	1,2	1,31
Верхняя	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 6333 \cdot a_{crc} - 517$	-	750	1250	1700
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 6333 \cdot \frac{a_{crc}}{2} - 517$	-	117	433	592
	Отношение:		-	6,41	2,89	2,87
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$	-	300	500	750
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 3000 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 300$	-	100	300	400
	Отношение:		-	3	1,67	1,88
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 6333 \cdot a_{crc} - 517$	-	750	1250	1700
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$	-	300	500	750
	Отношение:		-	2,5	2,5	2,27
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 6333 \cdot \frac{a_{crc}}{2} - 517$	-	117	433	592
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 3000 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 300$	-	100	300	400
Отношение		-	1,17	1,44	1,48	

Таблица 2.56

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$, мкм,

в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры.

Расположение функциональной прямой на рис. 1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм			
			0,10	0,15	0,30	0,35
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$	600	1000	1200	1250
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 300 + 3000 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	450	600	750	825
	Отношение:		1,33	1,67	1,6	1,52

Продолжение табл. 2.56

1	2	3	4	5	6	7
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 2600 \cdot a_{crc} - 160$	100	400	600	750
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 2600 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 160$	13	187	360	447
	Отношение:		7,69	2,14	1,67	1,68
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$	600	1000	1200	1250
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 2600 \cdot a_{crc} - 160$	100	400	600	750
	Отношение:		6	2,5	2	1,67
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 300 + 3000 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	450	600	750	825
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 2600 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 160$	13	187	360	447
Отношение:		34,62	3,21	2,08	1,85	
Средняя	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 675 + 5750 \cdot a_{crc}$	1250	1900	2400	2500
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 675 + 5750 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	963	1250	1537	1681
	Отношение:		1,3	1,52	1,56	1,49
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 5260 \cdot a_{crc} - 275$	250	800	1300	1400
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 5260 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 275$	75	425	775	950
	Отношение:		3,33	1,88	1,68	1,47
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 675 + 5750 \cdot a_{crc}$	1250	1900	2400	2500
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 5260 \cdot a_{crc} - 275$	250	800	1300	1400
	Отношение:		5	2,38	1,85	1,79
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 675 + 5750 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	963	1250	1537	1681
Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 5260 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 275$	75	425	775	950	
Отношение:		12,84	2,94	1,98	1,77	
Верхняя	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 945 + 8850 \cdot a_{crc}$	1830	2900	3600	3750
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 945 + 8850 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	1388	1830	2273	2494
	Отношение:		1,32	1,58	1,58	1,5
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$	300	1200	1900	2150
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 8000 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 500$	33	567	1100	1367
	Отношение:		9,09	2,12	1,73	1,57
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 945 + 8850 \cdot a_{crc}$	1830	2900	3600	3750
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$	300	1200	1900	2150
Отношение:		6,1	2,42	1,89	1,74	

1	2	3	4	5	6	7
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 945 + 8850 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	1388	1830	2273	2494
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 8000 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 500$	33	567	1100	1367
	Отношение		42,06	3,23	2,07	1,82

Таблица 2.57

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III, при зависимости $a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{сред})$, мкм,

в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры.

Расположение функциональной прямой на рис. 1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм			
			0,10	0,20	0,30	0,35
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 3720 \cdot a_{crc} - 514$	-	230	450	788
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 3720 \cdot \frac{a_{crc}}{2} - 514$	-	-	44	137
	Отношение:		-	-	10,23	5,75
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 867 \cdot a_{crc} - 73$	-	100	180	230
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 867 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 73$	-	43	100	129
	Отношение:		-	2,33	1,8	1,78
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 3720 \cdot a_{crc} - 514$	-	230	450	788
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 867 \cdot a_{crc} - 73$	-	100	180	230
	Отношение:		-	2,3	2,50	3,43
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 3720 \cdot \frac{a_{crc}}{2} - 514$	-	-	44	137
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 867 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 73$	-	43	100	129
	Отношение:		-	-	0,44	1,06
Средняя	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 4000 \cdot a_{crc} - 300$	-	500	800	1100
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 4000 \cdot \frac{a_{crc}}{2} - 300$	-	100	300	400
	Отношение:		-	5	2,67	2,75

Окончание табл. 2.57

1	2	3	4	5	6	7
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot a_{\text{crc}} - 83$	-	250	350	500
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 83$	-	139	250	306
	Отношение:		-	1,8	1,4	1,63
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	500	800	1100
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot a_{\text{crc}} - 83$	-	250	350	500
	Отношение:		-	2	2,29	2,2
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 300$	-	100	300	400
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 83$	-	139	250	306
Отношение:		-	0,72	1,2	1,31	
Верхняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 5333 \cdot a_{\text{crc}} - 267$	-	800	1250	1600
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 5333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 267$	-	267	533	666
	Отношение:		-	3	2,35	2,40
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	300	500	750
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 300$	-	100	300	400
	Отношение:		-	3	1,67	1,88
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 5333 \cdot a_{\text{crc}} - 267$	-	800	1250	1600
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	300	500	750
	Отношение:		-	2,67	2,5	2,13
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 5333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 267$	-	267	533	666
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 300$	-	100	300	400
	Отношение		-	2,67	1,78	1,67

2.2.4. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали

На рис. 2.140 согласно данным рис. 2.88 показаны графические изображения максимальной длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при полуторократном увеличении их толщины.

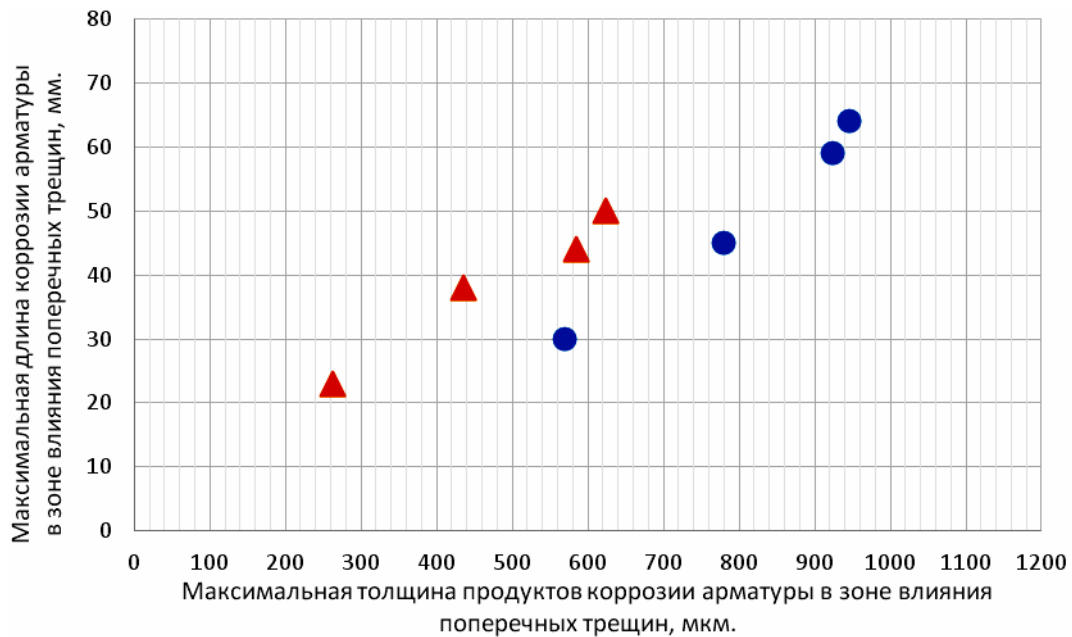


Рис. 2.140. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при максимальной глубине коррозионного поражения арматурного стержня, с учётом 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{Ц} = 60$ суток, $\eta = t_{Mmax} / t_{Ц} = 0,5$, $\rho = 0,4 M_{разр} / 0,7 M_{разр}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{пост} = 0,7 M_{разр}$

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (570;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (780;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (923;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (945;64). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (263;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (435;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (585;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (623;50).

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с максимальной глубиной коррозии арматуры, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.140 показаны на рис. 2.141–2.143.

В сводной табл. 2.58 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от мак-

симальной длины коррозии арматуры, при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.144 и 2.145), при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

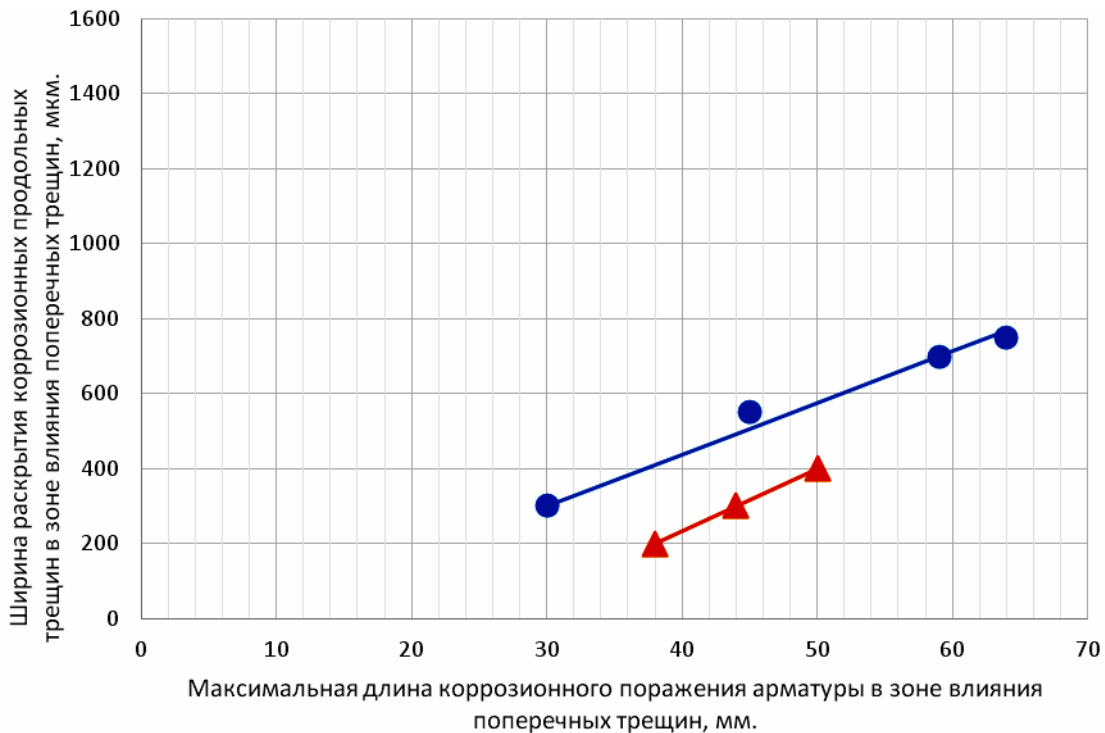


Рис. 2.141. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой рис.1.26, в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (30;300), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (45;550), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (59;700), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;750). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;200), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (44;300), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (50;400).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 13,79 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 114$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 16,67 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 433$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

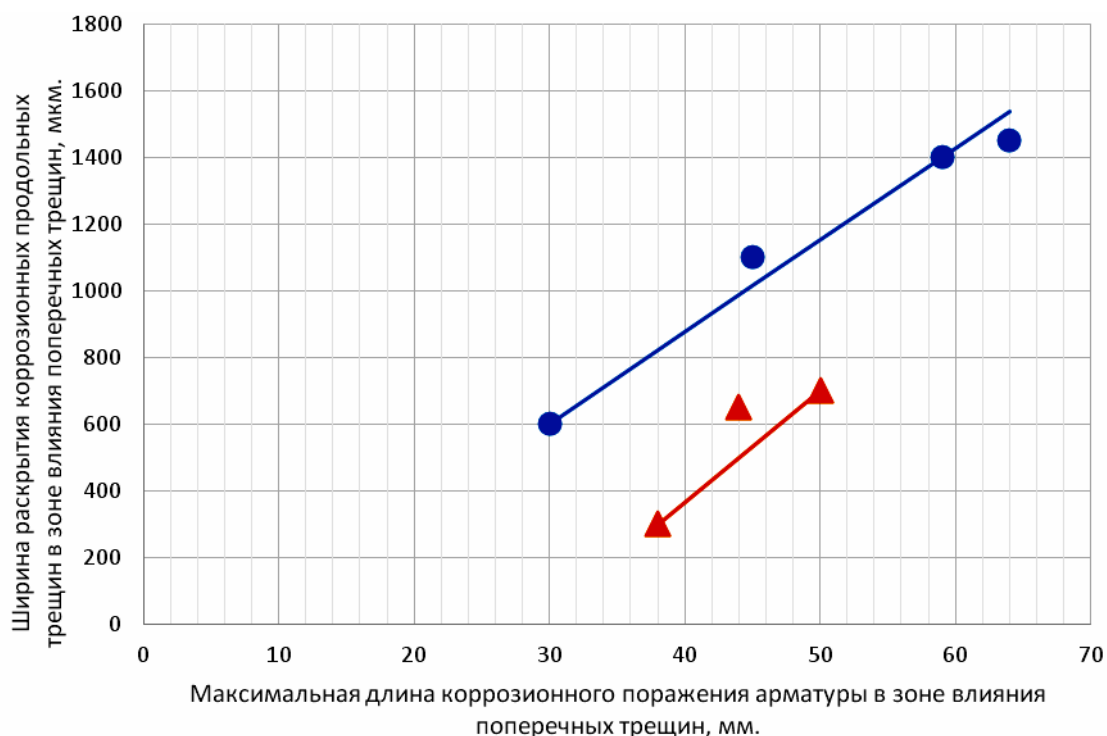


Рис. 2.142. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой рис.1.26, в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (30;600), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (45;1100), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (59;1400), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;1450). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;300), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (44;650), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (50;700).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 27,58 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 228$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 33,33 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 967$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

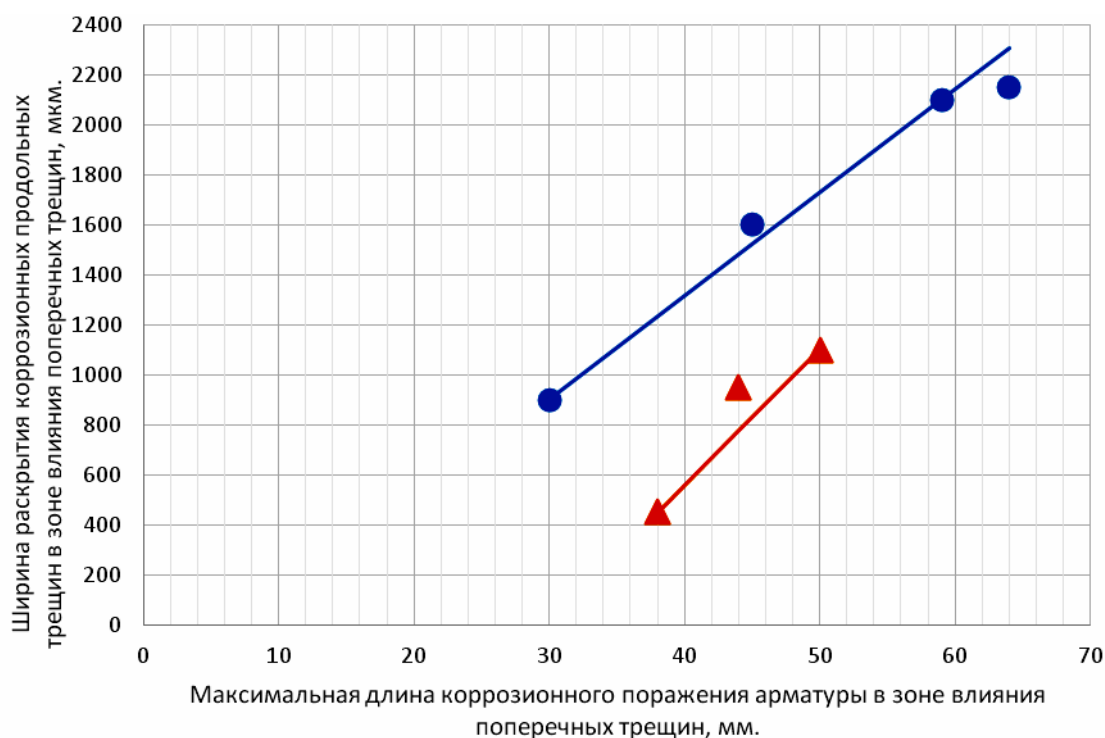


Рис. 2.143. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой рис. 1.26, в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (30;900), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (45;1600), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (59;2100), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;2150). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;450), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (44;950), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (50;1100).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 41,38 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 341$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 54,17 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 1608$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

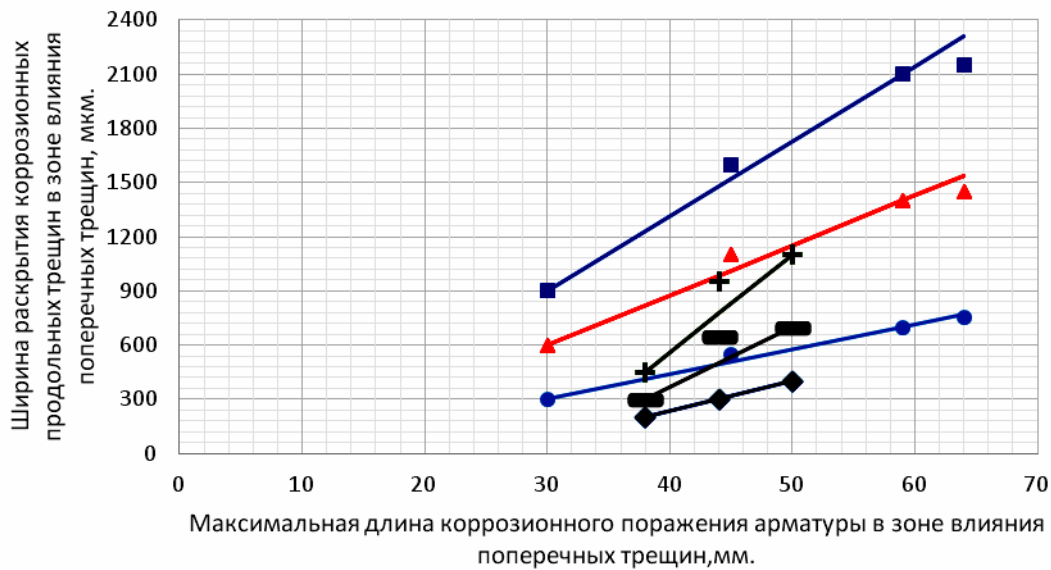


Рис. 2.144. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $l_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 2.141–2.143 и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{\text{Ц}} = 60$ суток, $\eta = t_{M_{\text{max}}} / t_{\text{Ц}} = 0,5$, $\rho = 0,4 M_{\text{разр}} / 0,7 M_{\text{разр}}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}$

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники засечки, – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (30;300), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (45;550), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (59;700), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;750) – $a_T^{\text{прод}} = 13,79 \cdot l_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 114$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (30;600), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (45;1100), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (59;1400), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;1450) – $a_T^{\text{прод}} = 27,58 \cdot l_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 228$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (30;900), $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (45;1600), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (59;2100), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;2150) – $a_T^{\text{прод}} = 41,38 \cdot l_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 341$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (38;200), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (44;300), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (50;400) – $a_T^{\text{прод}} = 16,67 \cdot l_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 433$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (38;300), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (44;650), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (50;700) – $a_T^{\text{прод}} = 33,33 \cdot l_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 967$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (38;450), $a_{crc} = 0,3$ мм (44;950), $a_{crc} = 0,35$ мм (50;1100) – $a_T^{прод} = 54,17 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 1608$.
 В уравнениях $a_T^{прод}$ в мкм, $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

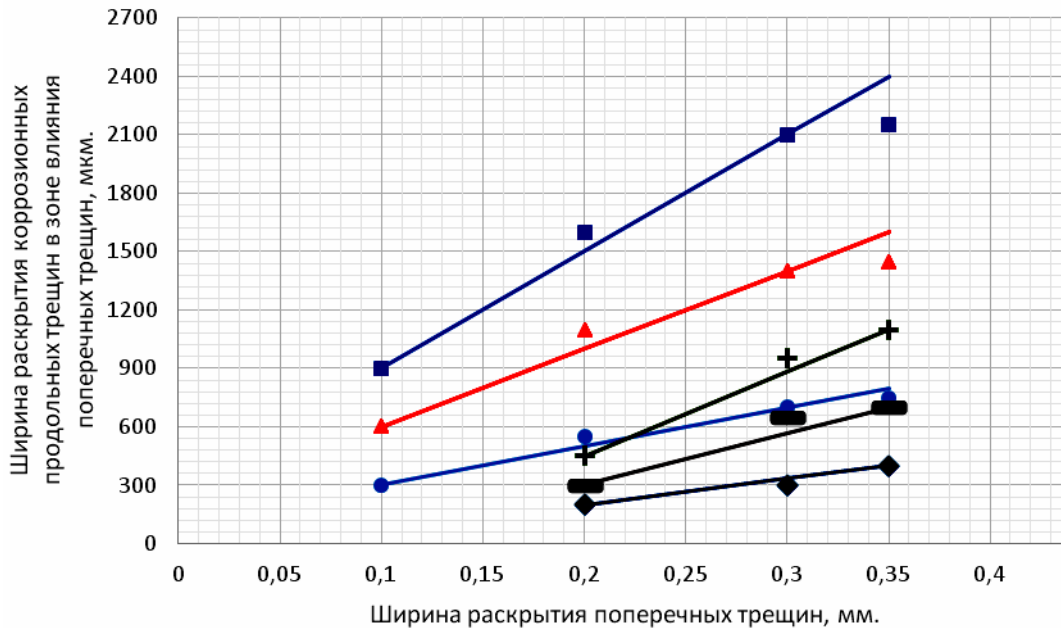


Рис. 2.145. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;300;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;550;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;700;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;750;64) – $a_T^{прод} = 100 + 2000 \cdot a_{crc}$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;600;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1600;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1400;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;1450;64) – $a_T^{прод} = 200 + 4000 \cdot a_{crc}$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;900;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1100;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;2100;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;2150;64) – $a_T^{прод} = 300 + 6000 \cdot a_{crc}$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;200;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;300;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;400;50) – $a_T^{прод} = 1333 \cdot a_{crc} - 67$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;300;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;650;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;700;50) – $a_T^{прод} = 2667 \cdot a_{crc} - 233$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 450;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;950;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;1100;50) – $a_T^{prod} = 4333 \cdot a_{crc} - 417$.

В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$, с учётом $\delta_{кор}^{max}$, в мм.

Т а б л и ц а 2.58

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на графике рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$ при a_{crc}				Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
Нижняя	Переменная	300(30)	550(45)	700(59)	750(64)	$a_{Tпер}^{prod} = 100 + 2000 \cdot a_{crc}$
		300(30)	550(45)	700(59)	750(64)	$a_{Tпер}^{prod} = 13,79 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 14$
	Постоянная	-	200(38)	300(44)	400(50)	$a_{Tпост}^{prod} = 1333 \cdot a_{crc} - 67$
		-	200(38)	300(44)	400(50)	$a_{Tпост}^{prod} = 16,67 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 433$
Средняя	Переменная	600(30)	1100(48)	1400(59)	1450(64)	$a_{Tпер}^{prod} = 200 + 4000 \cdot a_{crc}$
		600(30)	1100(45)	1400(59)	1450(64)	$a_{Tпер}^{prod} = 27,58 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 228$
	Постоянная	-	300(38)	650(44)	700(50)	$a_{Tпост}^{prod} = 2667 \cdot a_{crc} - 233$
		-	300(38)	650(44)	700(50)	$a_{Tпост}^{prod} = 33,33 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 967$
Верхняя	Переменная	900(30)	1600(45)	2100(59)	2150(64)	$a_{Tпер}^{prod} = 300 + 6000 \cdot a_{crc}$
		900(30)	1600(45)	2100(59)	2150(64)	$a_{Tпер}^{prod} = 41,38 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 341$
	Постоянная	-	450(38)	950(44)	1100(50)	$a_{Tпост}^{prod} = 4333 \cdot a_{crc} - 417$
		-	450(38)	950(44)	1100(50)	$a_{Tпост}^{prod} = 54,17 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 1608$

Примечание. a_T^{prod} в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

На рис. 2.146 согласно данным рис. 2.89 показаны графические изображения максимальной длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в зоне чистого изгиба, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

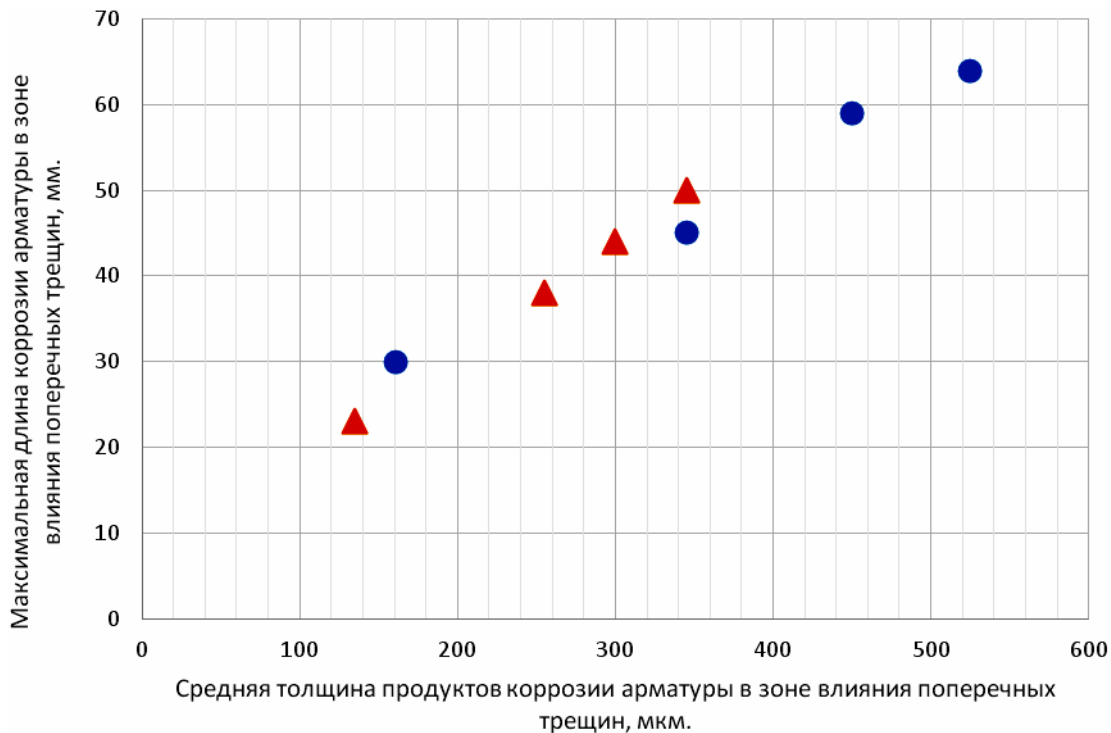


Рис. 2.146. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{п.к}^{сред}$, при средней глубине коррозионного поражения арматурного стержня, с учётом 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{Ц} = 60$ суток, $\eta = t_{Mmax} / t_{Ц} = 0,5$, $\rho = 0,4 M_{разр} / 0,7 M_{разр}$, и постоянной изгибающей нагрузки $M_{пост} = 0,7 M_{разр}$

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (161;30), $a_{crc} = 0,20$ мм (345;45), $a_{crc} = 0,30$ мм (450;59), $a_{crc} = 0,35$ мм (525;64). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (135;23), $a_{crc} = 0,20$ мм (255;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (300;44), $a_{crc} = 0,35$ мм (345;64).

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин со средней глубиной

коррозии арматуры, при полуторкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.146 приводится на рис. 2.147–2.149.

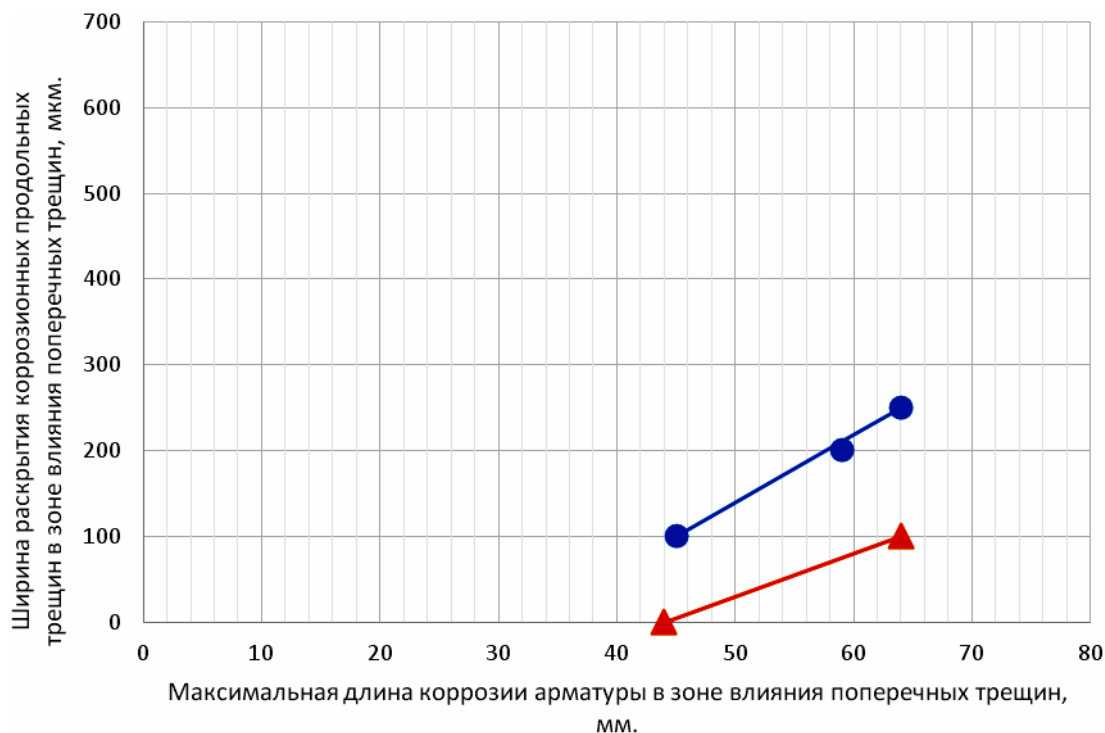


Рис. 2.147. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой рис. 1.26, в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (45;100), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (59;200), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;250). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (44;0), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;100).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 7,89 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 255$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 5 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 220$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

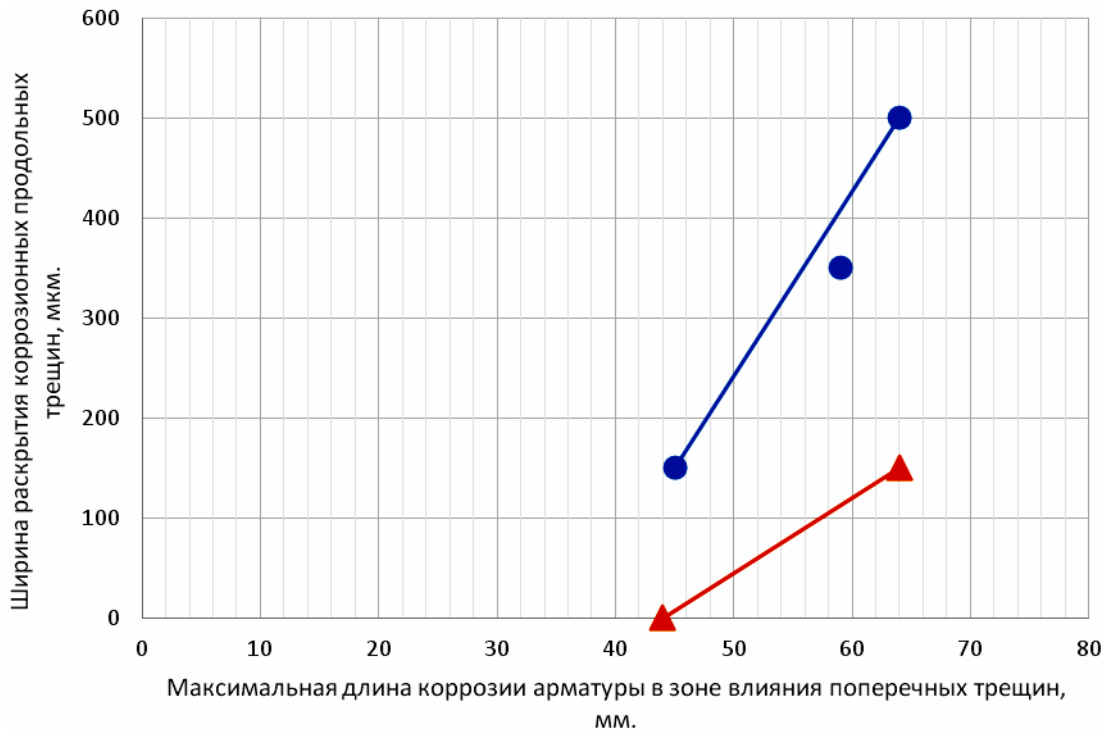


Рис. 1.147. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой рис.1.26, в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники-соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (45;150), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (59;350), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;500). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (44;0), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;150).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 18,42 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 679$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 7,5 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 330$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

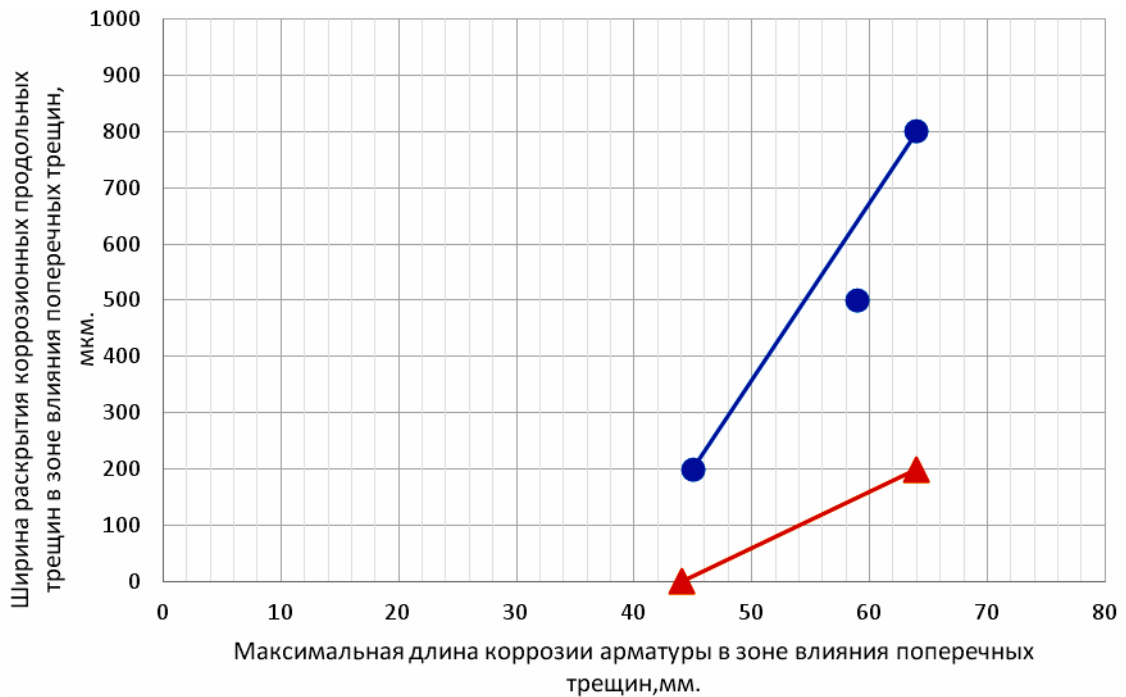


Рис. 2.148. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой рис.1.26, в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (45;200), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (59;500), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;800). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (44;0), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;200).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 31,58 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 1221$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 10 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 440$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

В сводной табл. 2.59 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры, при максимальной глубине её коррозионного поражения, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, с учётом нижней, средней и верхней

функциональных прямых (рис.2.149 и 2.150), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

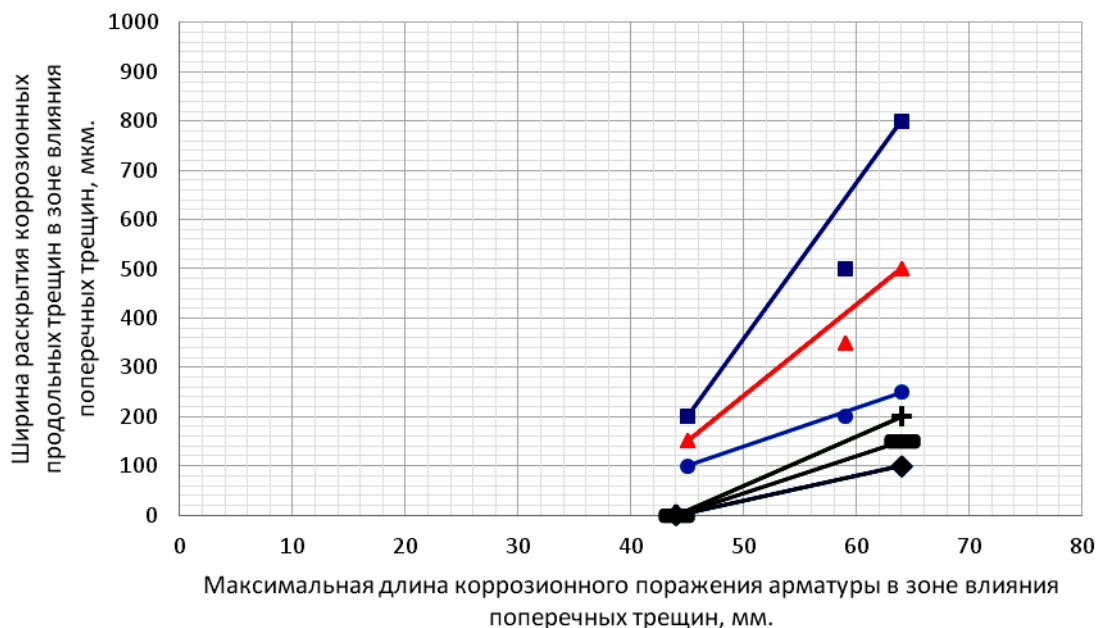


Рис. 2.149. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом средней глубины поражения арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рисунков 2.147; 2.148 и 2.149, и полученные уравнения регрессии, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{\text{ц}} = 60$ суток, $\eta = t_{M_{\text{max}}} / t_{\text{ц}} = 0,5$, $\rho = 0,4 M_{\text{разр}} / 0,7 M_{\text{разр}}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}$.

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники, засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (45;100), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (59;200), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;250) – $a_T^{\text{прод}} = 7,89 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 255$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (45;150), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (59;350), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;1500) – $a_T^{\text{прод}} = 18,42 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 679$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,2$ мм (45;200), $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (59;500), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;800) – $a_T^{\text{прод}} = 31,58 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{max}} - 1221$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,3$ мм (44;0), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (64;100) – $a_T^{\text{прод}} = 5 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 220$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,3 \text{ мм (44;0)}$, $a_{crc} = 0,35 \text{ мм (64;150)}$ – $a_T^{\text{прод}} = 7,5 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 330$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,3 \text{ мм (44;0)}$, $a_{crc} = 0,35 \text{ мм (64;200)}$ – $a_T^{\text{прод}} = 10 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 440$. В уравнениях $a_T^{\text{прод}}$ в МКМ, $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

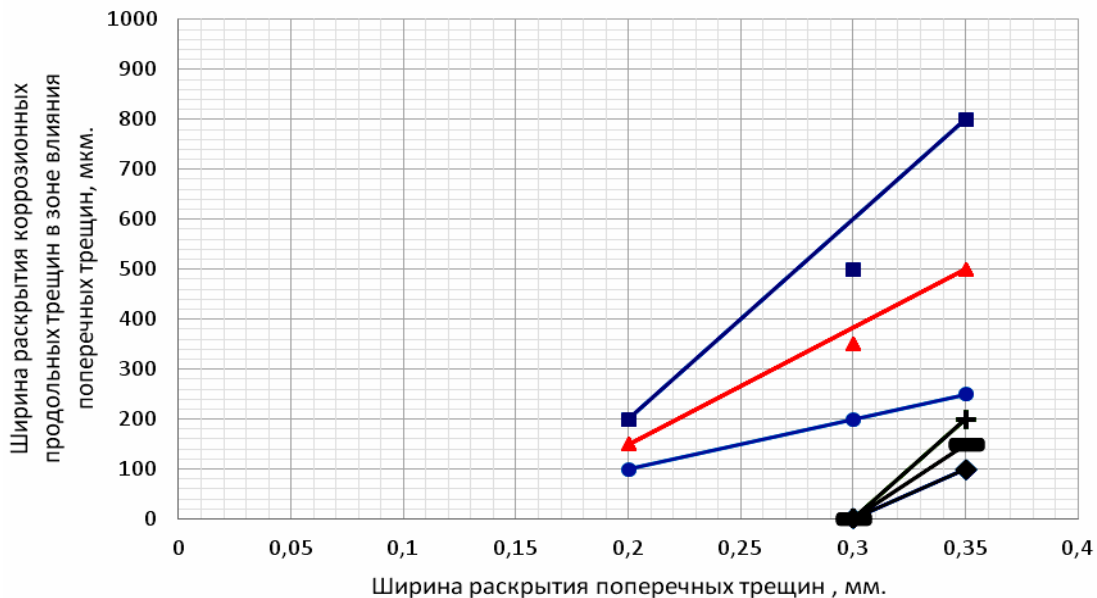


Рис. 2.150. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$

в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25 \text{ мм}$ опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70 \text{ мм}$ с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35 \text{ мм}$ в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ от $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20 \text{ мм (0,20;100;45)}$, $a_{crc} = 0,30 \text{ мм (0,30;200; 59)}$, $a_{crc} = 0,35 \text{ мм (0,35; 250;64)}$ – $a_T^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20 \text{ мм (0,20; 150;45)}$, $a_{crc} = 0,30 \text{ мм (0,30;350;59)}$, $a_{crc} = 0,35 \text{ мм (0,35; 500;64)}$ – $a_T^{\text{прод}} = 2333 \cdot a_{crc} - 317$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20 \text{ мм (0,20;200;45)}$, $a_{crc} = 0,30 \text{ мм (0,30;500;59)}$, $a_{crc} = 0,35 \text{ мм (0,35;800;64)}$ – $a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{crc} - 600$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30 \text{ мм (0,30;0;44)}$, $a_{crc} = 0,35 \text{ мм (0,35;100;64)}$ – $a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 600$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30 \text{ мм (0,30;0;44)}$, $a_{crc} = 0,35 \text{ мм (0,35;150; 64)}$ – $a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{crc} - 900$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30 \text{ мм (0,30;0;44)}$, $a_{crc} = 0,35 \text{ мм (0,35;200;64)}$ – $a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{crc} - 1200$. В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$, с учётом $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

Т а б л и ц а 2.59

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{прод} = f(a_{crc}) / a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{max})$ при a_{crc}				Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{max})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
Нижняя	Переменная	-	100(45)	200 (59)	250 (64)	$a_{Tпер}^{прод} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$
		-	100(45)	200 (59)	250 (64)	$a_{Tпер}^{прод} = 7,89 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 255$
	Постоянная	-	-	0(44)	100 (64)	$a_{Tпост}^{прод} = 2000 \cdot a_{crc} - 600$
		-	-	0(44)	100 (64)	$a_{Tпост}^{прод} = 5 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 220$
Средняя	Переменная	-	150(45)	350(59)	500(64)	$a_{Tпер}^{прод} = 2333 \cdot a_{crc} - 317$
		-	150(45)	350(59)	500(64)	$a_{Tпер}^{прод} = 18,42 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 679$
	Постоянная	-	-	0(44)	150(64)	$a_{Tпост}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 900$
		-	-	0(44)	150(64)	$a_{Tпост}^{прод} = 7,5 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 330$
Верхняя	Переменная	-	200(45)	500(59)	800(64)	$a_{Tпер}^{прод} = 4000 \cdot a_{crc} - 600$
		-	200(45)	500(59)	800(64)	$a_{Tпер}^{прод} = 31,58 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 1221$
	Постоянная	-	-	0(44)	200 (64)	$a_{Tпост}^{прод} = 4000 \cdot a_{crc} - 1200$
		-	-	0(44)	200 (64)	$a_{Tпост}^{прод} = 10 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 440$

Пр и м е ч а н и е . $a_T^{прод}$ в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

На рис 2.151 согласно данным рис. 2.90 показаны графические изображения средней длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в зоне чистого изгиба, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

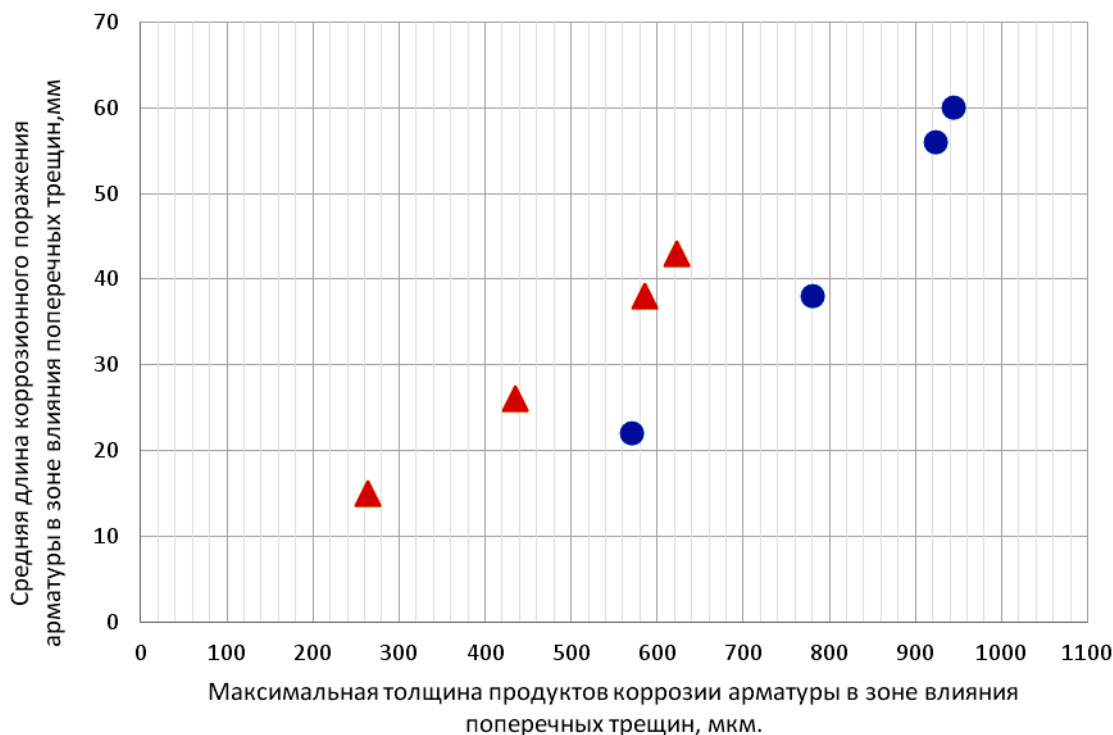


Рис. 1.151. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{п.к}^{max}$, при максимальной глубине коррозионного поражения арматурного стержня $\delta_{кор}^{max}$, с учётом 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{Ц} = 60$ суток, $\eta = t_{Mmax} / t_{Ц} = 0,5$, $\rho = 0,4M_{разр} / 0,7M_{разр}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{пост} = 0,7 M_{разр}$.

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (570;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (780;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (923;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (945;60). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (263;15), $a_{crc} = 0,20$ мм (435;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (585;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (623;43).

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с максимальной глубиной коррозии арматуры, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.151 отмечена на рис. 2.152–2.154.

В сводной табл. 2.60 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зави-

симости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры, при максимальной глубине её коррозионного поражения и полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.155 и 2.156), при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

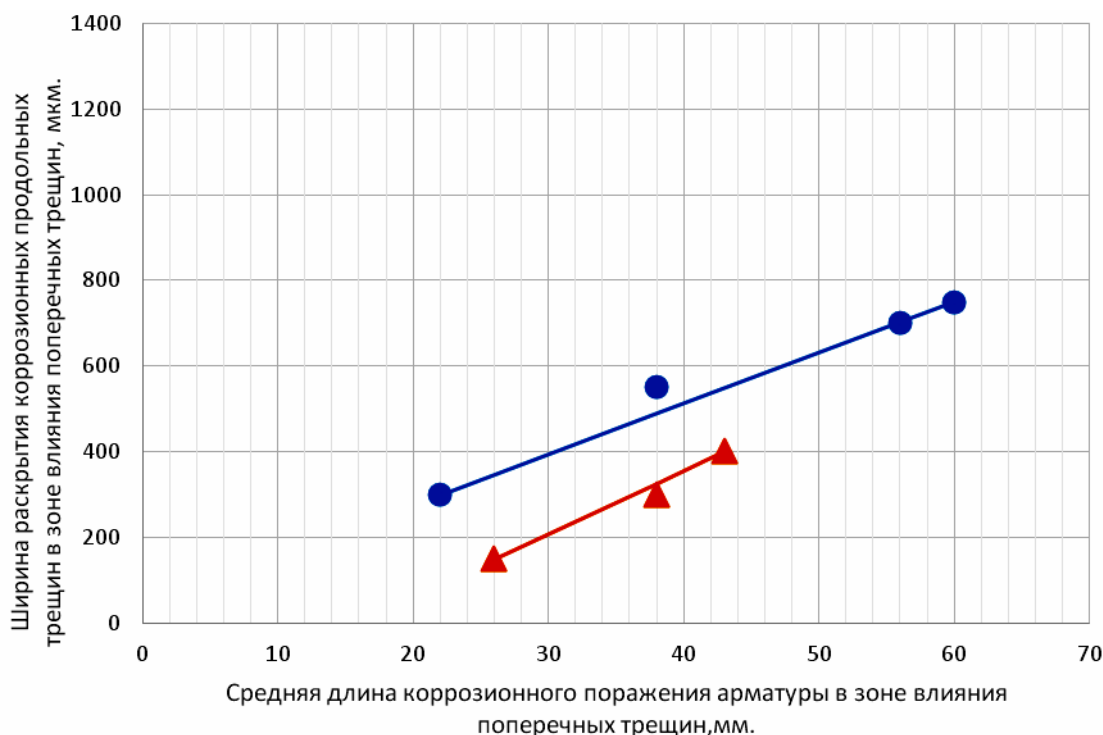


Рис. 2.152. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой рис. 1.26, с учётом воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (22;300), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;550), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (56;700), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;750). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (26;150), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (38;300), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;400).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 39 + 11,84 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 14,71 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 233$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

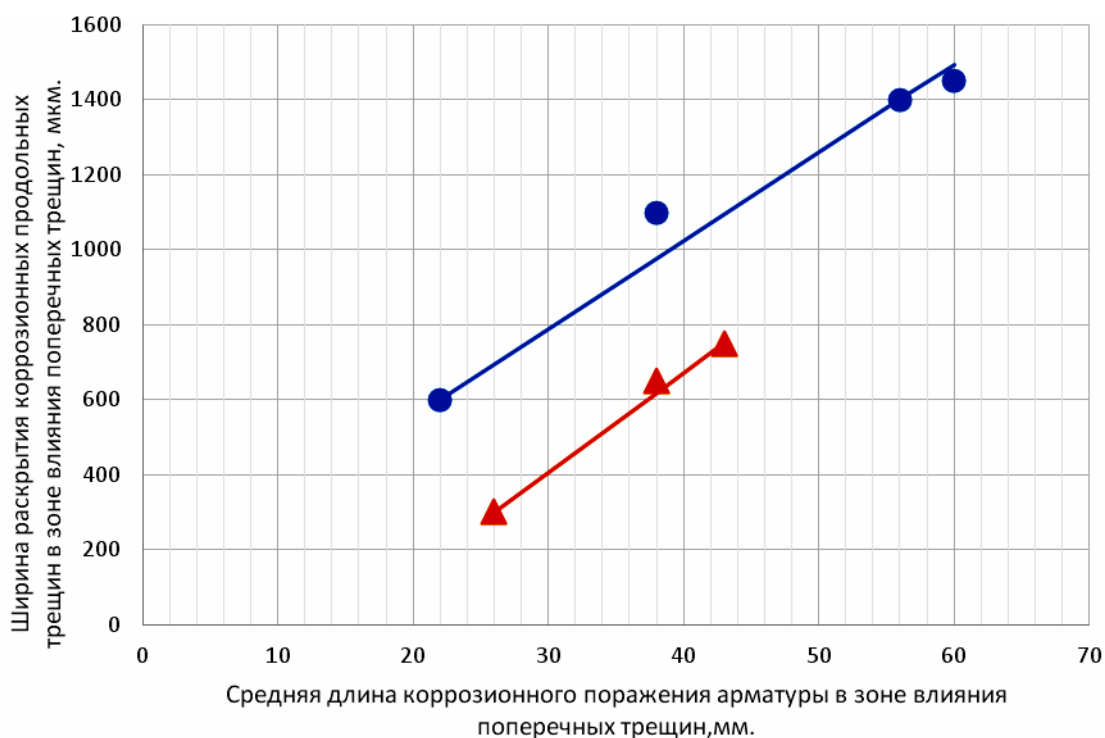


Рис. 2.153. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещи с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой рис. 1.26, в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (22;600), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;1100), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (56;1400), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;1450). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (26;300), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (38;650), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;750).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 82 + 23,53 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 26,47 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 388$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

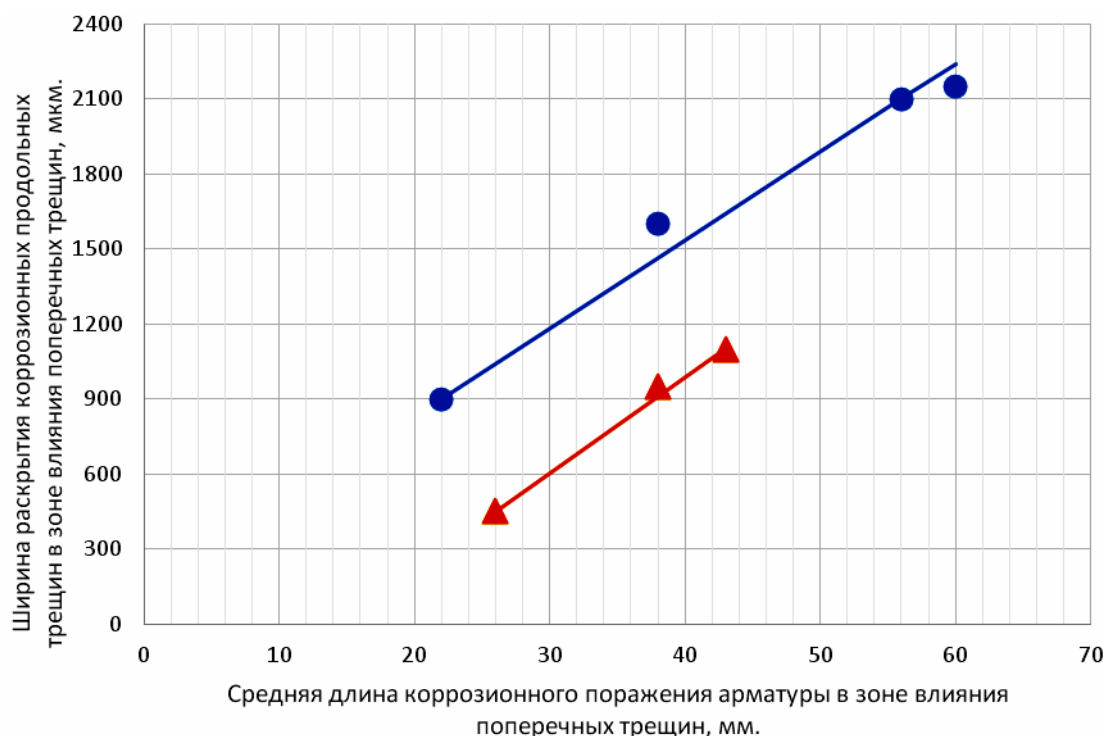


Рис. 2.154. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещи с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой рис. 1.26, в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (22;900), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;1600), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (56;2100), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;2150). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (26;450), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (38;950), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;1100).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 124 + 35,29 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 38,24 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 544$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

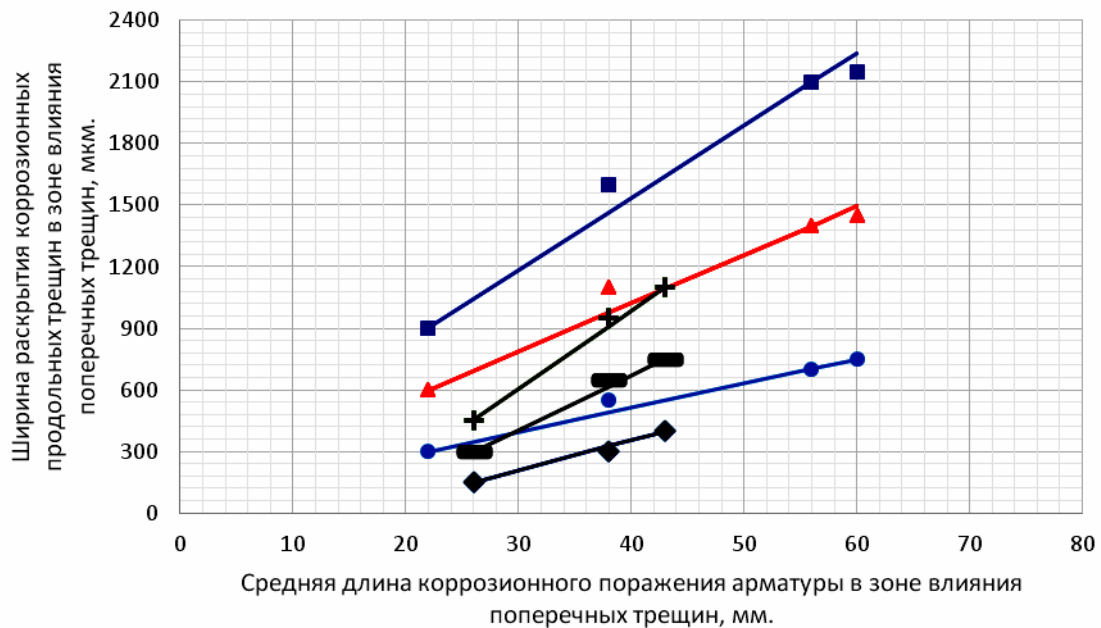


Рис. 2.155. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III, в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба, с учетом максимальной глубины поражения арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 2.152–2.154 и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{Ц} = 60$ суток, $\eta = t_{M_{\text{max}}} / t_{Ц} = 0,5$, $\rho = 0,4 M_{\text{разр}} / 0,7 M_{\text{разр}}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{\text{пост}} = 0,7 M_{\text{разр}}$.

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники, засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (22;300), $a_{crc} = 0,2$ мм (38;550), $a_{crc} = 0,3$ мм (56;700), $a_{crc} = 0,35$ мм (60;750) – $a_T^{\text{прод}} = 39 + 11,84 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (22;600), $a_{crc} = 0,2$ мм (38;1100), $a_{crc} = 0,3$ мм (56;1400), $a_{crc} = 0,35$ мм (60;1450) – $a_T^{\text{прод}} = 82 + 23,53 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (22;900), $a_{crc} = 0,2$ мм (38;1600), $a_{crc} = 0,3$ мм (56;2100), $a_{crc} = 0,35$ мм (60;2150) – $a_T^{\text{прод}} = 124 + 35,29 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (26;150), $a_{crc} = 0,3$ мм (38;300), $a_{crc} = 0,35$ мм (43;400) – $a_T^{\text{прод}} = 14,71 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 233$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (26;300), $a_{crc} = 0,3$ мм (38;650), $a_{crc} = 0,35$ мм (43;750) – $a_T^{\text{прод}} = 26,47 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 388$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (26;450), $a_{crc} = 0,3$ мм (38;950), $a_{crc} = 0,35$ мм (43;1100) – $a_T^{прод} = 38,24 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 544$.
 В уравнениях $a_T^{прод}$ в мкм, $\ell_{кор}^{сред}$ в мм.

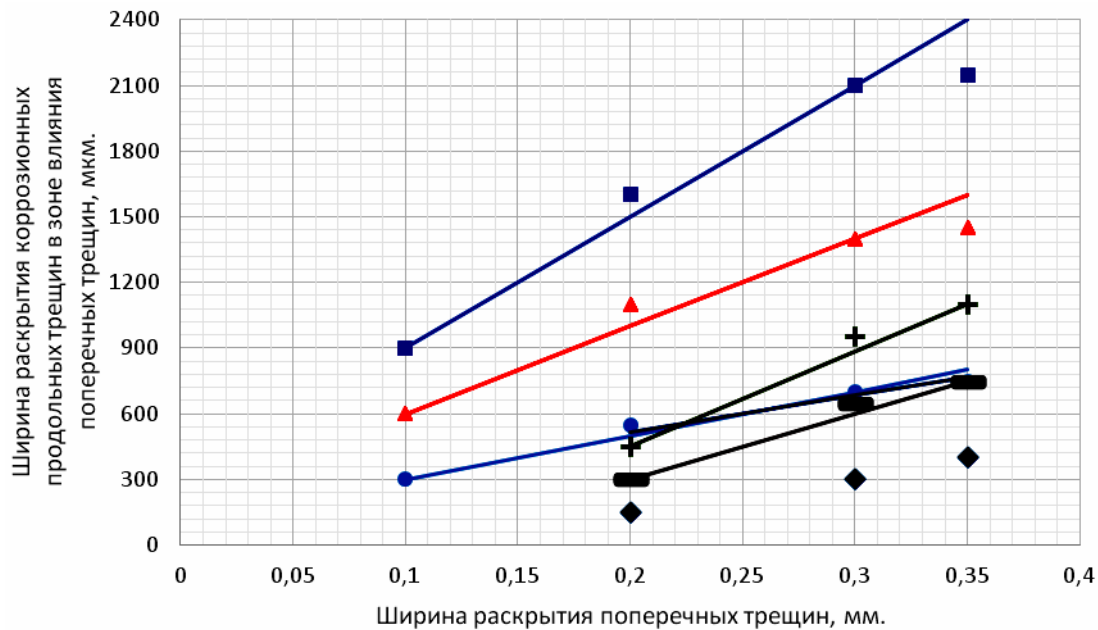


Рис. 2.156. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии согласно рис.2.155 при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;300;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;550;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;700;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;750;60) – $a_T^{прод} = 100 + 2000 \cdot a_{crc}$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;600;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1100;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1400;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;1450;60) – $a_T^{прод} = 200 + 4000 \cdot a_{crc}$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;900;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1600;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;2100;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;2150;60) – $a_T^{прод} = 300 + 6000 \cdot a_{crc}$.

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;160;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;300;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;400;43) – $a_T^{прод} = 1667 \cdot a_{crc} - 183$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;300;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;650;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;750;43) – $a_T^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;450;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;950;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;1100;43) –

$a_T^{\text{прод}} = 4333 \cdot a_{\text{crc}} - 417$. В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, с учётом $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

Т а б л и ц а 2.60

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}) / a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ при a_{crc}				Уравнения регрессии: $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}})$, $a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
Нижняя	Переменная	300(22)	550(38)	700(56)	750(60)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 100 + 1000 \cdot a_{\text{crc}}$
		300(22)	550(38)	700(56)	750(60)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 39 + 11,84 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$
	Постоянная	-	150(26)	300(38)	400(43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot a_{\text{crc}} - 183$
		-	150(26)	300(38)	400(43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 14,71 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 233$
Средняя	Переменная	600(22)	1100(38)	1400(56)	1450(60)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 200 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$
		600(22)	1100(38)	1400(56)	1450(60)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 82 + 23,53 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$
	Постоянная	-	300(26)	650(38)	750(43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$
		-	300(26)	650(38)	750(43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 26,47 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 388$
Верхняя	Переменная	900(22)	1600(38)	2100(56)	2150(60)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 300 + 6000 \cdot a_{\text{crc}}$
		900(22)	1600(38)	2100(56)	2150(60)	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 124 + 35,29 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}}$
	Постоянная	-	450(26)	950(38)	1100(43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4333 \cdot a_{\text{crc}} - 417$
		-	450(26)	950(38)	1100(43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 38,24 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 544$

Примечание. $a_T^{\text{прод}}$ в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

На рис. 2.157 согласно данным рис. 2.91 построены графические изображения средней длины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм в зоне чистого изгиба, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры.

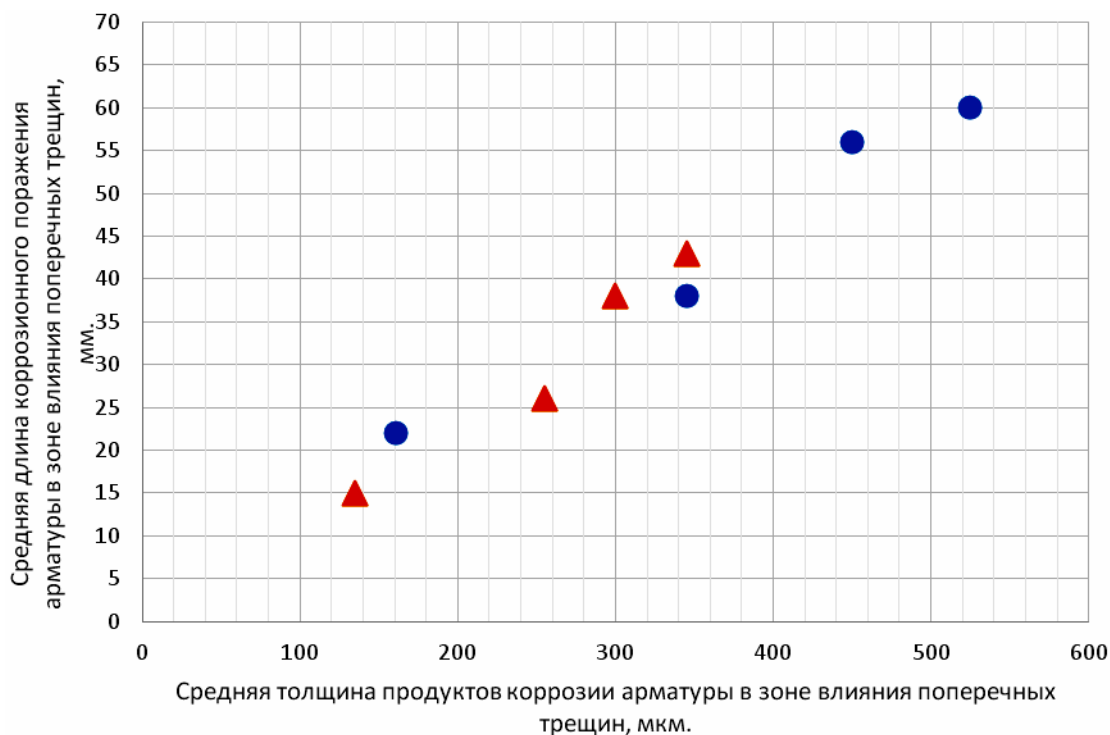


Рис. 2.157. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$

в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{п.к}^{сред}$, при средней глубине коррозионного поражения арматурного стержня $\delta_{кор}^{сред}$, с учётом 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии

арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{ц} = 60$ суток, $\eta = t_{Mmax} / t_{ц} = 0,5$, $\rho = 0,4 M_{разр} / 0,7 M_{разр}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{пост} = 0,7 M_{разр}$

Условные обозначения: окружность – переменная изгибающая нагрузка; треугольник – постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (161;22), $a_{crc} = 0,20$ мм (345;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (450;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (525;60). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (135;15), $a_{crc} = 0,20$ мм (255;26), $a_{crc} = 0,30$ мм (300;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (345;43).

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин, со средней глубиной коррозии арматуры, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 2.157 показана на рис. 2.158–2.160.

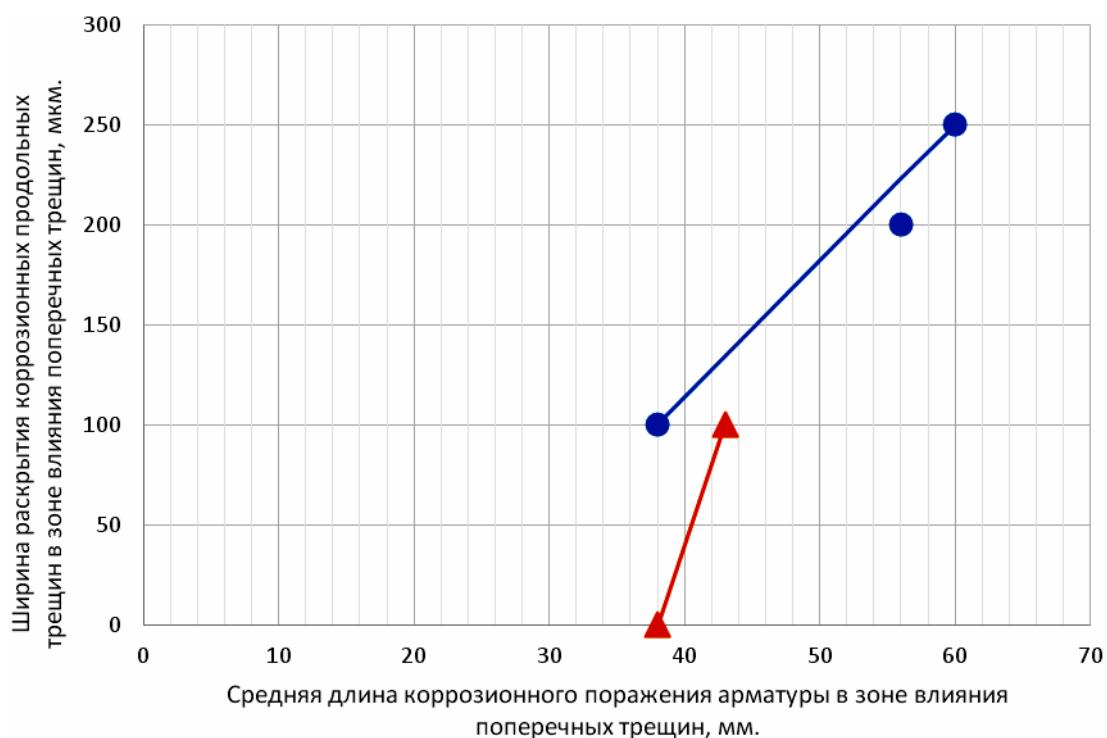


Рис. 2.158. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней функциональной прямой рис. 1.26, в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;100), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (56;200), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;250). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (38;0), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;100).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 6,82 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 159$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 20 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 760$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

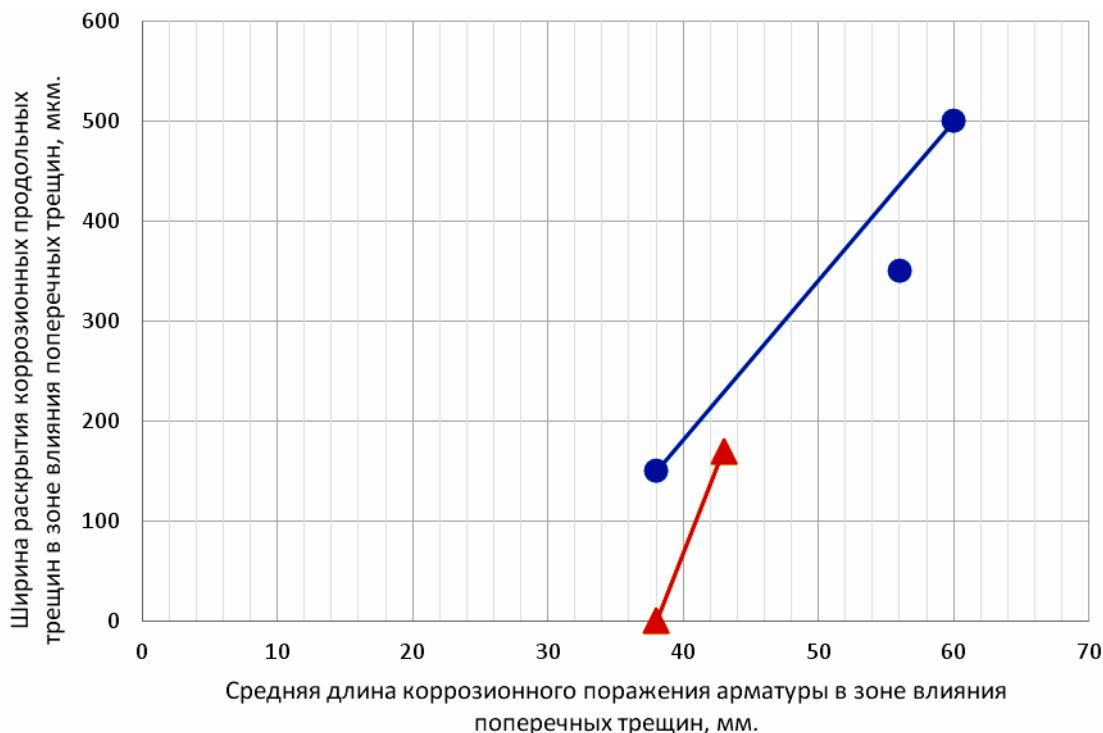


Рис. 2.159. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при средней функциональной прямой рис. 1.26, в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;150), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (56;350), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;500). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (38;0), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;170).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 15,91 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 455$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 34 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 1292$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

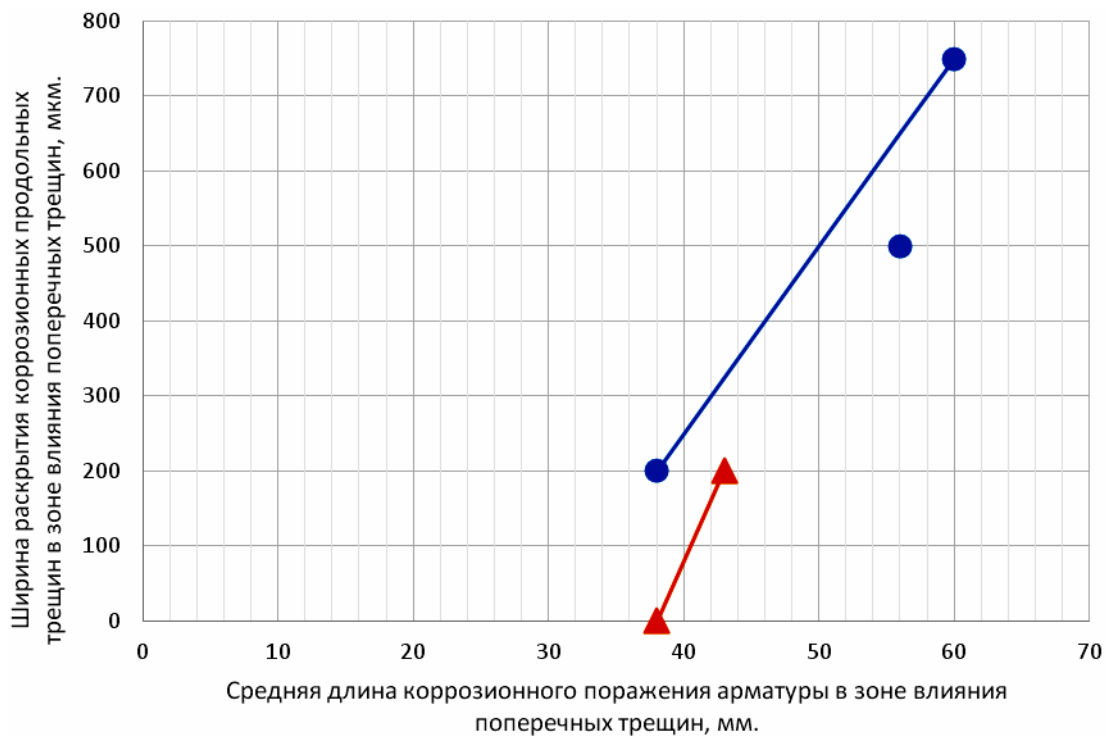


Рис. 2.160. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при верхней функциональной прямой рис. 1.26, в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружности и треугольники – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (38;200), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (56;500), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (60;750). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (38;0), $a_{\text{crc}} = 0,35$ мм (43;200).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 25 \cdot \ell_{\text{кор.пер}}^{\text{сред}} - 750$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 40 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 1520$, где $a_T^{\text{прод}}$ в мкм, $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

В сводной табл. 2.61 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от средней длины коррозии арматуры, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.2.161 и 2.162), при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки.

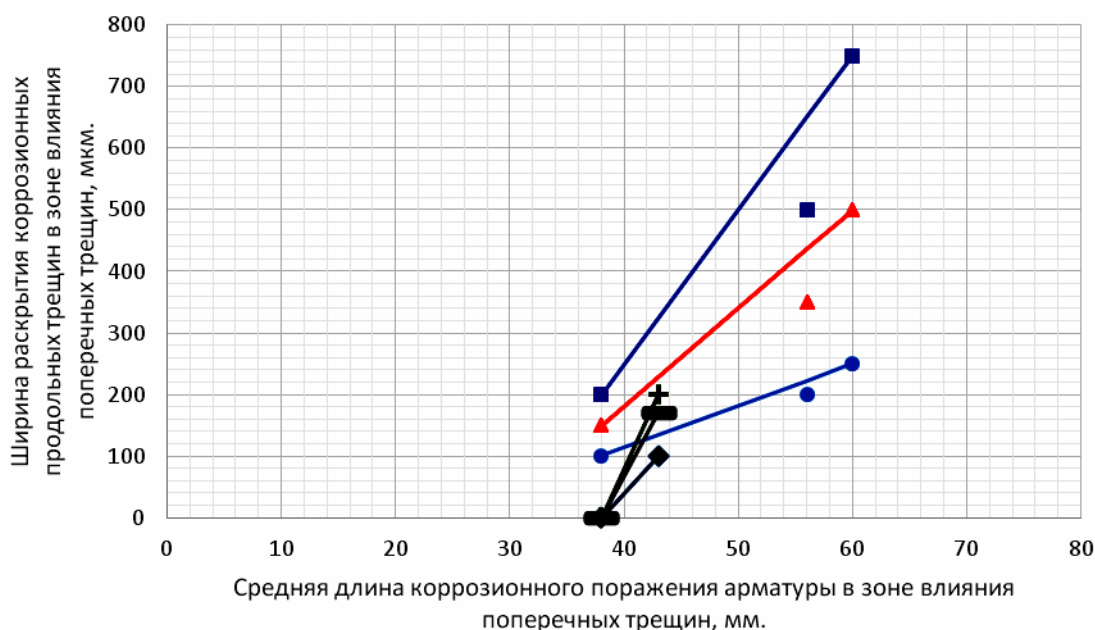


Рис. 2.161. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм, с учетом средней глубины поражения арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 2.158–2.160, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной изгибающей нагрузки с параметрами: $t_{Ц} = 60$ суток, $\eta = t_{Mmax} / t_{Ц} = 0,5$, $\rho = 0,4 M_{разр} / 0,7 M_{разр}$ и постоянной изгибающей нагрузки $M_{пост} = 0,7 M_{разр}$

Условные обозначения: окружности, треугольники, квадраты, а также ромбы, прямоугольники, засечки – соответственно переменная и постоянная изгибающая нагрузка. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (38;100), $a_{crc} = 0,3$ мм (56;200), $a_{crc} = 0,35$ мм (60;250) – $a_T^{прод} = 6,82 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 159$.

Треугольник, переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (38;150), $a_{crc} = 0,3$ мм (56;350), $a_{crc} = 0,35$ мм (60;500) – $a_T^{прод} = 15,91 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 455$.

Квадрат, переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,2$ мм (38;200), $a_{crc} = 0,3$ мм (56;500), $a_{crc} = 0,35$ мм (60;750) – $a_T^{прод} = 25 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 750$.

Ромб, постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,3$ мм (38;0), $a_{crc} = 0,35$ мм (43;100) – $a_T^{прод} = 20 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 760$.

Прямоугольник, постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,3$ мм (38;0), $a_{crc} = 0,35$ мм (43;170) – $a_T^{прод} = 34 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 1292$.

Засечка, постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,3$ мм (38;0), $a_{crc} = 0,35$ мм (43;200) – $a_T^{прод} = 40 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 1520$. В уравнениях $a_T^{прод}$ в мкм, $\ell_{кор}^{сред}$ в мм.

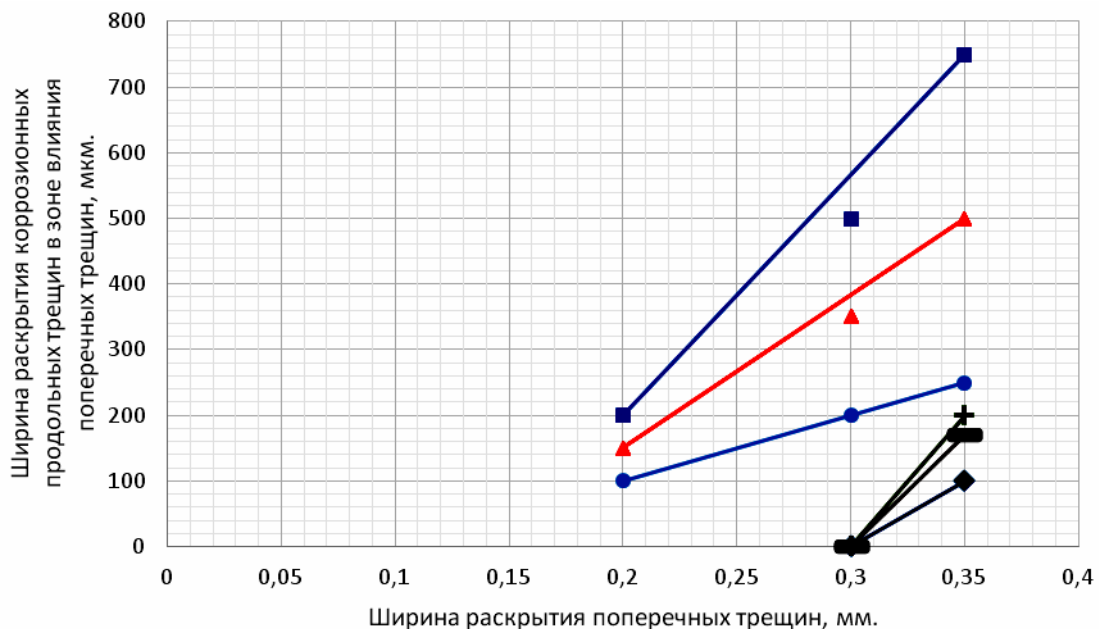


Рис. 2.162. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{сред}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, переменная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;100;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;200; 56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 250;60) – $a_T^{прод} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$.

Треугольник – переменная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 150;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;350;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35; 500;60) – $a_T^{прод} = 2333 \cdot a_{crc} - 370$.

Квадрат – переменная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;200;38), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;500;56), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;750;60) – $a_T^{прод} = 3667 \cdot a_{crc} - 533$

Ромб – постоянная нагрузка, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;0;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;100;43) – $a_T^{прод} = 2000 \cdot a_{crc} - 600$.

Прямоугольник – постоянная нагрузка, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;0;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;170;43) – $a_T^{прод} = 3400 \cdot a_{crc} - 1020$.

Засечка – постоянная нагрузка, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;0;38), $a_{crc} = 0,35$ мм (0,35;200;43) – $a_T^{прод} = 4000 \cdot a_{crc} - 1200$. В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{сред}$, с учётом $\delta_{кор}^{сред}$ в мм.

Т а б л и ц а 2.61

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,1 \div 0,35$ мм в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	$a_T^{прод} = f(a_{crc}) / a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$ при a_{crc}				Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	-	100(38)	200(56)	250(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$
		-	100(38)	200(56)	250(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 6,82 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 159$
	Постоянная	-	-	0(38)	100(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 2000 \cdot a_{crc} - 600$
		-	-	0(38)	100(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 20 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 760$
Средняя	Переменная	-	150(38)	350(56)	500(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 2333 \cdot a_{crc} - 317$
		-	150(38)	350(56)	500(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 15,91 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 455$
	Постоянная	-	-	0(38)	170(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 3400 \cdot a_{crc} - 1200$
		-	-	0(38)	170(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 34 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 129$
Верхняя	Переменная	-	200(38)	500(56)	750(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 3667 \cdot a_{crc} - 533$
		-	200(38)	500(56)	750(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 25 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 750$

Окончание табл. 2.61

1	2	3	4	5	6	7
	Постоянная	-	-	0(38)	200 (43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 1200$
		-	-	0(38)	200 (43)	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 40 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 1520$

Примечание. $a_{\text{Т}}^{\text{прод}}$ в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм.

В сводной табл. 2.62 представлены уравнения регрессии зависимости значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин $a_{\text{Т}}^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин a_{crc} , с учётом максимальной и средней длины коррозии, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные значения $a_{\text{Т}}^{\text{прод}}$ в соответствующих по величине ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} , при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от переменной и постоянной изгибающей нагрузки, при $a_{\text{Т}}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, $a_{\text{Т}}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, $a_{\text{Т}}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$ и $a_{\text{Т}}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, в том числе в начале испытания, с учётом полуторократного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, приведены в табл. 2.63–2.66.

Результаты влияние увеличения толщины продуктов коррозии арматуры, соответственно в 1,5; 2,25 и 3 раза, при различном расположении функциональных прямых (рис.1.26), для зависимостей $a_{\text{Т}}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$, $a_{\text{Т}}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, $a_{\text{Т}}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$ и $a_{\text{Т}}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки, через абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, приведены в табл. 2.67–2.70.

Данные этих таблиц показывают, что переменная ступенчатая повторная изгибающая нагрузка, по сравнению с постоянной изгибающей нагрузкой, способствует более интенсивному увеличению ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зонах влияния равных по величине a_{crc} .

Таблица 2.62

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона a_{crc} , с учётом максимальной и средней длины коррозии, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения прямой на рис. 1.26 [257].	Вид нагрузки	$a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}}); a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}});$ $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}); a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$				Уравнения регрессии: $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}),$ $a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{\text{кор}})$
		0,10	0,20	0,30	0,35	
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	300(30); – –; 300(22)	500(45); 100(45) 100(38); 550(38)	700(59); 200(59) 200(56); 700(56)	750(64); 250(64) 250(60); 750(60)	$a_{T_{\text{неп}}}^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot a_{crc}; a_{T_{\text{неп}}}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$ $a_{T_{\text{неп}}}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{crc} - 100; a_{T_{\text{неп}}}^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot a_{crc}$
		300(30); – –; 300(22)	500(45); 100(45) 100(38); 550(38)	700(59); 200(59) 200(56); 700(56)	750(64); 250(64) 250(60); 750(60)	$a_{T_{\text{неп}}}^{\text{прод}} = 13,79 \cdot \ell_{\text{кор.неп}}^{\text{max}} - 14; a_{T_{\text{неп}}}^{\text{прод}} = 7,89 \cdot \ell_{\text{кор.неп}}^{\text{max}} - 255$ $a_{T_{\text{неп}}}^{\text{прод}} = 6,82 \cdot \ell_{\text{кор.неп}}^{\text{сред}} - 159; a_{T_{\text{неп}}}^{\text{прод}} = 39 + 11,84 \cdot \ell_{\text{кор.неп}}^{\text{сред}}$
	Постоянная	–; –	200(38); –	300(44); 0(44)	400(50); 100(64)	$a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 1333 \cdot a_{crc} - 67; a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 600$
		–; –	–; 150(26)	0(38); 300(38)	100(43); 400(43)	$a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 600; a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot a_{crc} - 183$
		–; –	200(38); –	300(44); 0(44)	400(50); 100(64)	$a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 16,67 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 433; a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 5 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{max}} - 220$
		–; –	–; 150(26)	0(38); 300(38)	100(43); 400(43)	$a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 20 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 760; a_{T_{\text{пост}}}^{\text{прод}} = 14,71 \cdot \ell_{\text{кор.пост}}^{\text{сред}} - 233$

Окончание табл. 2.62

1	2	3	4	5	6	7
Средняя	Переменная	600(30); – –; 600(22)	1100(48); 150(45) 150(38); 1100(38)	1400(59); 350(59) 350(56); 1400(56)	1450 (64); 500(64) 500(60); 1450(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 200 + 4000 \cdot a_{crc}$; $a_{Тпер}^{прод} = 2333 \cdot a_{crc} - 317$ $a_{Тпер}^{прод} = 2333 \cdot a_{crc} - 317$; $a_{Тпер}^{прод} = 200 + 4000 \cdot a_{crc}$
		600(30); – –; 600(22)	1100(48); 150(45) 150(38); 1100(38)	1400(59); 350(59) 350(56); 1400(56)	1450 (64); 500(64) 500(60); 1450(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 27,58 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 228$; $a_{Тпер}^{прод} = 18,42 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 679$ $a_{Тпер}^{прод} = 15,91 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 455$; $a_{Тпер}^{прод} = 82 + 23,53 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	–; – –; –	300(38); – –; 300(26)	650(44); 0(44) 0(38); 650(38)	700(50); 150(64) 170(43); 750(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 2667 \cdot a_{crc} - 233$; $a_{Тпост}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 900$ $a_{Тпост}^{прод} = 3400 \cdot a_{crc} - 1200$; $a_{Тпост}^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$
		–; – –; –	300(38); – –; 300(26)	650(44); 0(44) 0(38); 650(38)	700(50); 150(64) 170(43); 750(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 33,33 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 4967$; $a_{Тпост}^{прод} = 7,5 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 330$ $a_{Тпост}^{прод} = 34 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 1292$; $a_{Тпост}^{прод} = 26,47 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 388$
Верхняя	Переменная	900(30); – –; 900(22)	1600(45); 200(45) 200(38); 1600(38)	2100(59); 500(59) 500(56); 2100(56)	2150(64); 800(64) 750 (60); 2150(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 300 + 6000 \cdot a_{crc}$; $a_{Тпер}^{прод} = 4000 \cdot a_{crc} - 600$ $a_{Тпер}^{прод} = 3667 \cdot a_{crc} - 533$; $a_{Тпер}^{прод} = 300 + 6000 \cdot a_{crc}$
		900(30); – –; 900(22)	1600(45); 200(45) 200(38); 1600(38)	2100(59); 500(59) 500(56); 2100(56)	2150(64); 800(64) 750 (60); 2150(60)	$a_{Тпер}^{прод} = 41,38 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 341$; $a_{Тпер}^{прод} = 31,58 \cdot \ell_{кор.пер}^{max} - 1221$ $a_{Тпер}^{прод} = 25 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред} - 750$; $a_{Тпер}^{прод} = 124 + 35,29 \cdot \ell_{кор.пер}^{сред}$
	Постоянная	–; – –; –	450(38); – –; 450(26)	950(44); 0(44) 0(38); 950(38)	1100(50); 200(50) 200(43); 1100(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 4333 \cdot a_{crc} - 417$; $a_{Тпост}^{прод} = 4000 \cdot a_{crc} - 1200$ $a_{Тпост}^{прод} = 4000 \cdot a_{crc} - 1200$; $a_{Тпост}^{прод} = 4333 \cdot a_{crc} - 417$
		–; – –; –	450(38); – –; 450(26)	950(44); 0(44) 0(38); 950(38)	1100(50); 200(50) 200(43); 1100(43)	$a_{Тпост}^{прод} = 54,17 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 1608$; $a_{Тпост}^{прод} = 10 \cdot \ell_{кор.пост}^{max} - 440$ $a_{Тпост}^{прод} = 40 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 1520$; $a_{Тпост}^{прод} = 38,24 \cdot \ell_{кор.пост}^{сред} - 544$

Примечание. В круглых скобках показаны численные значения длины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин. Значения $\ell_{кор}$ в мм; a_{crc} в мм; $a_{Т}^{прод}$ и $\delta_{кор}$ в мкм.

Т а б л и ц а 2.63

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зоне влияния поперечных трещин, при зависимости $a_{Т}^{прод} = f(a_{crc}, \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм			
			0,10	0,20	0,30	0,35
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 100 + 2000 \cdot a_{crc}$	300	550	700	750
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 100 + 2000 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	200	300	400	450
	Отношение:		1,5	1,83	1,75	1,67
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 1333 \cdot a_{crc} - 67$	-	200	300	400
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 1333 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 67$	-	111	200	244
	Отношение:		-	1,80	1,5	1,64
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 100 + 2000 \cdot a_{crc}$	300	550	700	750
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 1333 \cdot a_{crc} - 67$	-	200	300	400
	Отношение:		-	2,75	2,33	1,88
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 100 + 2000 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	200	300	400	450
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 1333 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 67$	-	111	200	244
	Отношение:		-	2,7	2	1,84
Средняя	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 200 + 4000 \cdot a_{crc}$	600	1100	1400	1450
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 200 + 4000 \cdot \frac{a_{crc}}{2}$	400	600	800	900
	Отношение:		1,5	1,83	1,75	1,61
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 2667 \cdot a_{crc} - 233$	-	300	650	700
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 2667 \cdot \frac{a_{crc}}{1,5} - 233$	-	123	300	389
	Отношение:		-	2,44	2,17	1,80
	Переменная	$a_{Тпер}^{прод} = 200 + 4000 \cdot a_{crc}$	600	1100	1400	1450
	Постоянная	$a_{Тпост}^{прод} = 2667 \cdot a_{crc} - 233$	-	300	650	700
	Отношение:		-	3,67	2,15	2,07

Окончание табл. 2.63

1	2	3	4	5	6	7
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 200 + 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	400	600	800	900
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 233$	-	123	300	389
	Отношение:		-	4,88	2,67	2,31
Верхняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 300 + 6000 \cdot a_{\text{crc}}$	900	1600	2100	2150
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 300 + 6000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	600	900	1200	1350
	Отношение:		1,5	1,78	1,75	1,59
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4333 \cdot a_{\text{crc}} - 417$	-	450	950	1100
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 417$	-	161	450	594
	Отношение:		-	2,8	2,11	1,85
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 300 + 6000 \cdot a_{\text{crc}}$	900	1600	2100	2150
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4333 \cdot a_{\text{crc}} - 417$	-	450	950	1100
	Отношение:		-	3,56	2,21	1,95
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 300 + 6000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	600	900	1200	1350
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 417$	-	161	450	594
Отношение		-	5,59	2,67	2,27	

Таблица 2.64

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зоне влияния поперечных трещин, при зависимости $a_{\text{Т}}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм			
			0,10	0,20	0,30	0,35
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 100$	-	100	200	250
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 100$	-	0	50	75
	Отношение:		-	-	4	3,33

Продолжение табл. 2.64

1	2	3	4	5	6	7
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 600$	-	-	0	100
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 600$	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 100$	-	100	200	250
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 600$	-	-	0	100
	Отношение:		-	-	-	2,5
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 100$	-	0	50	75
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 600$	-	-	-	-
Отношение:		-	-	-	-	
Средняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2333 \cdot a_{\text{crc}} - 317$	-	150	350	500
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 317$	-	-	33	91
	Отношение:		-	-	10,61	5,49
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 900$	-	-	0	150
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 900$	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2333 \cdot a_{\text{crc}} - 317$	-	150	350	500
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 900$	-	-	0	150
	Отношение:		-	-	-	3,33
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 317$	-	-	33	91
Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 900$	-	-	-	-	
Отношение:		-	-	-	-	
Верхняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 600$	-	200	500	800
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 600$	-	-	0	100
	Отношение:		-	-	-	8
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 1200$	-	-	0	200
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 1200$	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 600$	-	200	500	800
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 1200$	-	-	0	200
Отношение:		-	-	-	4	

Окончание табл. 2.64

1	2	3	4	5	6	7
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 600$	-	-	0	100
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 1200$	-	-	-	-
	Отношение		-	-	-	-

Таблица 2.65

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зоне влияния поперечных трещин, при зависимости

$$a_{\text{T}}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}}), \text{ мкм, в том числе в начале испытания,}$$

с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис. 1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	$a_{\text{crc}}, \text{ мм}$			
			0,10	0,20	0,30	0,35
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot a_{\text{crc}}$	300	550	700	750
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	200	300	400	450
	Отношение:		1,5	1,83	1,75	1,67
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot a_{\text{crc}} - 183$	-	150	300	400
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 183$	-	-	150	206
	Отношение:		-	-	2	1,94
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot a_{\text{crc}}$	300	550	700	750
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot a_{\text{crc}} - 183$	-	150	300	400
	Отношение:		-	3,67	2,33	1,88
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	200	300	400	450
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 183$	-	-	150	206
	Отношение:		-	-	2,67	2,18
Средняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 200 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$	600	1100	1400	1450
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 200 + 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	400	600	800	900
	Отношение:		1,5	1,83	1,75	1,61

Окончание табл. 2.65

1	2	3	4	5	6	7
	Постоянная	$a_{\text{Гпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	300	650	750
	Постоянная	$a_{\text{Гпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 300$	-	100	300	400
	Отношение:		-	3	2,17	1,88
	Переменная	$a_{\text{Гпер}}^{\text{прод}} = 200 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$	600	1100	1400	1450
	Постоянная	$a_{\text{Гпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	300	650	750
	Отношение:		-	3,67	2,15	1,93
	Переменная	$a_{\text{Гпер}}^{\text{прод}} = 200 + 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	400	600	800	900
	Постоянная	$a_{\text{Гпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 300$	-	100	300	400
	Отношение:		-	6	2,67	2,25
Верхняя	Переменная	$a_{\text{Гпер}}^{\text{прод}} = 300 + 6000 \cdot a_{\text{crc}}$	900	1600	2100	2150
	Переменная	$a_{\text{Гпер}}^{\text{прод}} = 300 + 6000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	600	900	1200	1350
	Отношение:		1,5	1,78	1,75	1,59
	Постоянная	$a_{\text{Гпост}}^{\text{прод}} = 4333 \cdot a_{\text{crc}} - 417$	-	450	950	1100
	Постоянная	$a_{\text{Гпост}}^{\text{прод}} = 4333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 417$	-	-	450	594
	Отношение:		-	-	2,11	1,85
	Переменная	$a_{\text{Гпер}}^{\text{прод}} = 300 + 6000 \cdot a_{\text{crc}}$	900	1600	2100	2150
	Постоянная	$a_{\text{Гпост}}^{\text{прод}} = 4333 \cdot a_{\text{crc}} - 417$	-	450	950	1100
	Отношение:		-	3,56	2,21	1,95
	Переменная	$a_{\text{Гпер}}^{\text{прод}} = 300 + 6000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2}$	600	900	1200	1350
	Постоянная	$a_{\text{Гпост}}^{\text{прод}} = 4333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 417$	-	-	450	594
Отношение		-	-	2,67	2,27	

Т а б л и ц а 2.66

Влияние вида нагрузки на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности опытных железобетонных балок 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III, в зоне влияния поперечных трещин, при зависимости $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$, мкм, в том числе в начале испытания, с учётом увеличения a_{crc} в конце испытания для переменной изгибающей нагрузки $n = 2$ и для постоянной изгибающей нагрузки $n = 1,5$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм			
			0,10	0,20	0,30	0,35
1	2	3	4	5	6	7
Нижняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 100$	-	100	200	250
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 100$	-	0	50	75
	Отношение:		-	-	4	3,33
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 600$	-	-	0	100
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 600$	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 100$	-	100	200	250
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 600$	-	-	0	100
	Отношение:		-	-	-	2,5
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 100$	-	0	50	75
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 600$	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-
Средняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2333 \cdot a_{\text{crc}} - 317$	-	150	350	500
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 317$	-	-	33	91
	Отношение:		-	-	10,61	5,49
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3400 \cdot a_{\text{crc}} - 1020$	-	-	0	750
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3400 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 1020$	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-

Окончание табл. 2.66

1	2	3	4	5	6	7
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2333 \cdot a_{\text{crc}} - 317$	-	150	350	500
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3400 \cdot a_{\text{crc}} - 1020$	-	-	0	170
	Отношение:		-	-	-	2,9
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2333 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 317$	-	-	33	91
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3400 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 1020$	-	-	-	323
	Отношение:		-	-	-	0,28
Верхняя	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3667 \cdot a_{\text{crc}} - 533$	-	200	500	750
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 533$	-	-	17	109
	Отношение:		-	-	29,4	6,88
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 1200$	-	-	0	200
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 1200$	-	-	-	-
	Отношение:		-	-	-	-
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3667 \cdot a_{\text{crc}} - 533$	-	200	500	750
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 1200$	-	-	0	200
	Отношение:		-	-	-	3,75
	Переменная	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3667 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{2} - 533$	-	-	17	109
	Постоянная	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot \frac{a_{\text{crc}}}{1,5} - 1200$	-	-	0	200
	Отношение		-	-	-	0,55

Таблица 2.67

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм железобетонных образцов первой и второй серии, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} , при 1,5-; 2,25- и 3-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257].	Вид нагрузки	Номер серии образцов	Значения относительного увеличения продуктов коррозии металла	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм							
					0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Нижняя	Переменная	1	1,5	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	300(16)	400(32)	500(39)	600(55)	–	–	
		2	1,5	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	300(30)	–	550(45)	–	700(59)	750(64)	
		Отношение				–	1(0,53)	–	0,91(0,27)	–	–	–
		1	2,25	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 50 + 4500 \cdot a_{\text{crc}}$	–	500(16)	725(32)	950(39)	1175(55)	–	–	
		2	2,25	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 300 + 3000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	600(30)	–	1000(45)	–	1200(59)	1300(64)	
		Отношение				–	0,83(0,53)	–	0,95(0,87)	–	–	–
	1	3	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1500 + 6000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	750(16)	–	1100(32)	1350(39)	–	–		
	2	3	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	950(30)	–	1400(45)	–	1750(59)	1800(64)		
	Отношение				–	0,79(0,53)	–	0,79(0,71)	–	–	–	
	Постоянная	1	1,5	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1500 \cdot a_{\text{crc}} - 125$	–	–	100(19)	175(25)	250(36)	–	–	
2		1,5	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1333 \cdot a_{\text{crc}} - 67$	–	–	–	200(38)	–	300(44)	400(50)		
Отношение				–	–	–	0,88(0,66)	–	–	–		

Продолжение табл. 2.67

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Средняя	Переменная	1	2,25	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{erc}} - 250$	-	-	200(19)	350(25)	500(36)	-	-	
		2	2,25	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3500 \cdot a_{\text{erc}} - 100$	-	150(23)	400(38)	-	600(44)	-	700(50)	
		Отношение			-	-	0,5(0,5)	-	0,83(0,82)	-	-	
		1	3	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5000 \cdot a_{\text{erc}} - 400$	-	100(14)	400(19)	600(25)	800(36)	-	-	
		2	3	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3500 \cdot a_{\text{erc}} - 100$	-	250(23)	-	600(38)	-	1000(44)	1100(50)	
		Отношение			-	0,4(0,61)	-	1(0,66)	-	-	-	
	Постоянная	Переменная	1	1,5	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 6000 \cdot a_{\text{erc}} - 200$	-	400(16)	700(32)	1000(39)	1200(55)	-	-
			2	1,5	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 200 + 4000 \cdot a_{\text{erc}}$	-	600(30)	-	1100(45)	-	1400(59)	1450(64)
			Отношение			-	0,67(0,53)	-	0,91(0,87)	-	-	-
			1	2,25	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{erc}}$	-	900(16)	1500(32)	1800(39)	2250(55)	-	-
			2	2,25	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 800 + 4000 \cdot a_{\text{erc}}$	-	1200(30)	-	1900(45)	-	2000(59)	2200(64)
			Отношение			-	0,75(0,53)	-	0,95(0,87)	-	-	-
Постоянная	Переменная	1	3	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot a_{\text{erc}}$	-	1500(16)	2200(32)	2700(39)	3100(55)	-	-	
		2	3	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1050 + 8000 \cdot a_{\text{erc}}$	-	1850(30)	-	2800(45)	-	3450(59)	3550(64)	
		Отношение			-	0,81(0,53)	-	0,96(0,87)	-	-	-	
		1	1,5	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{erc}} - 300$	-	-	150(19)	300(25)	450(36)	-	-	
		2	1,5	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2667 \cdot a_{\text{erc}} - 233$	-	-	-	300(38)	-	650(44)	700(50)	
		Отношение			-	-	-	1(0,66)	-	-	-	
Постоянная	Постоянная	1	2,25	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 6000 \cdot a_{\text{erc}} - 500$	-	-	400(19)	750(25)	1000(36)	-	-	
		2	2,25	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 535 \cdot a_{\text{erc}} - 305$	-	230(23)	-	750(38)	-	1300(44)	1400(50)	
		Отношение			-	-	-	1(0,66)	-	-	-	
		1	3	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 10000 \cdot a_{\text{erc}} - 800$	-	200(14)	800(19)	1200(25)	1550(36)	-	-	
		2	3	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 6750 \cdot a_{\text{erc}} - 125$	-	550(23)	-	1250(38)	-	1900(44)	2100(50)	
		Отношение			-	0,36(0,61)	-	0,96(0,66)	-	-	-	

Окончание табл. 2.67

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Верхняя	Переменная	1	1,5	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	–	600(16)	1200(32)	1500(39)	1800(55)	–	–			
		2	1,5	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 300 + 6000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	900(30)	–	1600(45)	–	2100(59)	2150(64)			
		Отношение				–	0,97(0,53)	–	0,94(0,87)	–	–	–		
		1	2,25	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	1700(16)	2200(32)	2700(39)	3200(55)	–	–	–		
		2	2,25	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 975 + 8750 \cdot a_{\text{crc}}$	–	1850(30)	–	2900(45)	–	3600(59)	3750(64)	–		
		Отношение				–	0,92(0,53)	–	0,93(0,87)	–	–	–	–	
	Постоянная	Переменная	1	3	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 400 + 18000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	2200(16)	3350(32)	4000(39)	4600(55)	–	–		
			2	3	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 1625 + 11750 \cdot a_{\text{crc}}$	–	2800(30)	–	4200(45)	–	5150(59)	5300(64)		
			Отношение				–	0,79(0,53)	–	0,95(0,87)	–	–	–	
			Постоянная	1	1,5	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{crc}} - 675$	–	–	150(19)	400(25)	700(36)	–	–	–
				2	1,5	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4333 \cdot a_{\text{crc}} - 417$	–	–	–	450(38)	–	950(44)	1100(64)	–
				Отношение				–	–	–	0,89(0,66)	–	–	–
		1		2,25	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{\text{crc}} - 500$	–	–	700(19)	1100(25)	1500(36)	–	–	–	
		2	2,25	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{\text{crc}} - 500$	–	300(23)	–	1200(38)	–	1900(44)	2100(50)	–		
Отношение				–	–	–	0,92(0,66)	–	–	–	–			
1	3	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 14000 \cdot a_{\text{crc}} - 1000$	–	400(14)	1200(19)	1800(25)	2300(36)	–	–	–				
2	3	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 10750 \cdot a_{\text{crc}} - 325$	–	750(23)	–	1900(38)	–	2900(44)	3150(50)	–				
Отношение				–	0,53(0,61)	–	0,95(0,66)	–	–	–	–			

П р и м е ч а н и е . В круглых скобках содержится длина коррозии арматуры в мм; $a_{\text{T}}^{\text{прод}}$ в мкм.

Т а б л и ц а 2.68

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм железобетонных образцов первой и второй серии, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} , при 1,5-; 2,25- и 3-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Номер серии образцов	Значения относительного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм							
					0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Нижняя	Переменная	1	1,5	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 100$	–	–	–	100(39)	150 (55)	–	–	
		2	1,5	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 100$	–	–	–	100(45)	–	200(59)	250(64)	
		Отношение				–	–	–	1(0,87)	–	–	–
		1	2,25	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 350$	–	–	100 (32)	250(39)	400 (55)	–	–	–
		2	2,25	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 150$	–	–	–	250(45)	–	400(59)	550 (64)	
		Отношение				–	–	–	1(0,87)	–	–	–
	1	3	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{crc}} - 233$	–	100(16)	250(32)	500(39)	600(55)	–	–	–	
	2	3	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 250$	–	50(30)	–	400(45)	–	650(59)	800(64)		
	Отношение				–	2 (0,53)	–	1,25(0,87)	–	–	–	
	Постоянная	1	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	
2		1,5	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 600$	–	–	–	–	–	0(44)	100(64)		
Отношение				–	–	–	–	–	–	–		

Продолжение табл. 2.68

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Средняя	Переменная	1	2,25	–	–	–	–	–	–	–	–	
		2	2,25	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 667 \cdot a_{\text{срс}} + 17$	–	–	–	150(38)	–	200(44)	250(64)	
		Отношение			–	–	–	–	–	–	–	
		1	3	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2500 \cdot a_{\text{срс}} - 325$	–	–	50(19)	200(25)	300(36)	–	–	
		2	3	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{срс}} - 200$	–	0(23)	–	200(38)	–	400(44)	500(50)	
		Отношение			–	–	–	1(0,66)	–	–	–	
	Постоянная	Переменная	1	1,5	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{срс}} - 200$	–	–	–	200(39)	300(55)	–	–
			2	1,5	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 2333 \cdot a_{\text{срс}} - 317$	–	–	–	150(45)	–	350(59)	500(64)
			Отношение			–	–	–	1,33(0,87)	–	–	–
			1	2,25	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{срс}} - 575$	–	–	250(32)	525(39)	800(55)	–	–
			2	2,25	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{срс}} - 300$	–	–	–	500(45)	–	800(59)	1100(64)
			Отношение			–	–	–	1,05(0,87)	–	–	–
Постоянная		Постоянная	1	3	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{срс}} - 500$	–	200(16)	500(32)	1000(39)	1250(55)	–	–
			2	3	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 9640 \cdot a_{\text{срс}} - 874$	–	90(30)	–	1300(45)	–	2000(59)	2500(64)
			Отношение			–	2,22(0,53)	–	0,77(0,87)	–	–	–
			1	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–
			2	1,5	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{срс}} - 900$	–	–	–	–	–	0(44)	150(64)
			Отношение			–	–	–	–	–	–	–
Постоянная	Постоянная	1	2,25	–	–	–	–	–	–	–	–	
		2	2,25	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 1667 \cdot a_{\text{срс}} - 83$	–	–	–	250(38)	–	350(44)	500(64)	
		Отношение			–	–	–	–	–	–	–	
		1	3	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4500 \cdot a_{\text{срс}} - 515$	–	–	360(19)	560(25)	650(36)	–	–	
		2	3	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5400 \cdot a_{\text{срс}} - 540$	–	0(23)	–	700(38)	–	1000(44)	1350(50)	
		Отношение			–	–	–	0,8(0,66)	–	–	–	

Окончание табл. 2.68

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Верхняя	Переменная	1	1,5	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	–	–	–	300(39)	450(55)	–	–
		2	1,5	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 600$	–	–	–	200(45)	–	500(59)	800(64)
		Отношение			–	–	–	1,5(0,87)	–	–	–
		1	2,25	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 8500 \cdot a_{\text{crc}} - 925$	–	–	350(32)	775(39)	1200(55)	–	–
		2	2,25	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 6333 \cdot a_{\text{crc}} - 517$	–	–	–	750(45)	–	1250(59)	1700(64)
		Отношение			–	–	–	1,03(0,87)	–	–	–
	1	3	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 10667 \cdot a_{\text{crc}} - 767$	–	300(16)	750(32)	1500(39)	1900(55)	–	–	
	2	3	$a_{\text{Тпер}}^{\text{прод}} = 9640 \cdot a_{\text{crc}} - 874$	–	90(30)	–	1300(45)	–	2000(59)	2500(64)	
	Отношение			–	3,33(0,53)	–	1,15(0,87)	–	–	–	
	1	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	
	2	1,5	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 1200$	–	–	–	–	–	–	0(44)	260(50)
	Отношение			–	–	–	–	–	–	–	–
	1	2,25	–	–	–	–	–	450(36)	–	–	
	2	2,25	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	–	–	–	300(38)	–	500(44)	750(50)	
Отношение			–	–	–	–	–	–	–	–	
1	3	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{crc}} - 800$	–	–	250(19)	650(25)	950(36)	–	–		
2	3	$a_{\text{Тпост}}^{\text{прод}} = 5400 \cdot a_{\text{crc}} - 540$	–	0(23)	–	700(38)	–	1000(44)	1350(50)		
Отношение			–	–	–	0,93(0,66)	–	–	–		

Примечание. В круглых скобках содержится длина коррозии арматуры в мм; $a_{\text{Т}}^{\text{прод}}$ в мкм.

Таблица 2.69

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм железобетонных образцов первой и второй, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин a_{crc} , при 1,5-; 2,25- и 3-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Расположение функциональной прямой на рис. 1.26 [257].	Вид нагрузки	Номер серии образцов	Значения относительного увеличения продуктов коррозии металла	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм						
					0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Нижняя	Переменная	1	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 2500 \cdot a_{\text{crc}}$	–	250(11)	375(18)	500(27)	625 (38)	–	–
		2	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 100 + 2000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	300(22)	–	550(38)	–	700(56)	750(60)
		Отношение				–	0,83(0,5)	–	0,91(0,71)	–	–
		1	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 100 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$	300(6)	500(11)	700 (18)	900(27)	1100 (38)	–	–
		2	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 300 + 3000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	600(22)	–	1000(38)	–	1200(56)	1250 (60)
		Отношение				–	0,83(0,5)	–	0,9(0,71)	–	–
	Постоянная	1	3	$a_T^{\text{прод}} = 425 + 4500 \cdot a_{\text{crc}}$	–	750(11)	1100(18)	1400(27)	1550(38)	–	–
		2	3	$a_T^{\text{прод}} = 550 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	950(22)	–	1450(38)	–	1750(56)	1800(60)
		Отношение				–	0,79 (0,5)	–	0,97(0,71)	–	–
		1	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 250$	–	–	50(18)	150(21)	250(28)	–	–
		2	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 1667 \cdot a_{\text{crc}} - 183$	–	–	–	150(26)	–	300(38)	400(43)
		Отношение				–	–	–	1(0,81)	–	–

Продолжение табл. 2.69

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Средняя	Переменная	1	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 250$	–	50(7)	200(18)	350(21)	500(28)	–	–	
		2	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 2600 \cdot a_{\text{crc}} - 160$	–	100(15)	–	400(26)	–	600(38)	750(43)	
		Отношение			–	0,5(0,47)	–	0,88(0,81)	–	–	–	
		1	3	$a_T^{\text{прод}} = 4667 \cdot a_{\text{crc}} - 367$	–	100(7)	400(18)	600(21)	800(28)	–	–	
		2	3	$a_T^{\text{прод}} = 3750 \cdot a_{\text{crc}} - 125$	–	250(15)	–	600(26)	–	1000(38)	1100(43)	
		Отношение			–	0,4(0,47)	–	1(0,81)	–	–	–	
	Средняя	Переменная	1	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{crc}} - 133$	–	400(11)	667(18)	934(27)	1200(38)	–	–
			2	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 200 + 4000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	600(22)	–	1100(38)	–	1400(56)	1450(60)
			Отношение			–	0,67(0,5)	–	0,85(0,71)	–	–	–
			1	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{crc}}$	450(6)	900(11)	1500(18)	1800(27)	2250(38)	–	–
			2	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 675 + 5750 \cdot a_{\text{crc}}$	–	1250(22)	–	1900(38)	–	2400(56)	2500(60)
			Отношение			–	0,72(0,5)	–	0,95(0,71)	–	–	–
Постоянная		1	3	$a_T^{\text{прод}} = 850 + 9000 \cdot a_{\text{crc}}$	–	1500(11)	2200(18)	2700(27)	3100(38)	–	–	
		2	3	$a_T^{\text{прод}} = 1125 + 7750 \cdot a_{\text{crc}}$	–	1900(22)	–	2800(38)	–	3450(56)	3500(60)	
		Отношение			–	0,79(0,5)	–	0,96(0,71)	–	–	–	
		1	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 3500 \cdot a_{\text{crc}} - 425$	–	–	100(18)	275(21)	450(28)	–	–	
		2	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	–	–	–	300(26)	–	650(38)	750(43)	
		Отношение			–	–	–	0,92(0,81)	–	–	–	
Постоянная	1	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{crc}} - 375$	–	175(7)	450(18)	725(21)	1000(28)	–	–		
	2	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 5250 \cdot a_{\text{crc}} - 275$	–	250(15)	–	800(26)	–	1300(38)	1400(43)		
	Отношение			–	0,7(0,47)	–	0,91(0,81)	–	–	–		
	1	3	$a_T^{\text{прод}} = 7000 \cdot a_{\text{crc}} - 250$	–	200(7)	800(18)	1200(21)	1500(28)	–	–		
	2	3	$a_T^{\text{прод}} = 7250 \cdot a_{\text{crc}} - 225$	–	500(15)	–	1250(26)	–	1950(38)	2100(43)		
	Отношение			–	0,4(0,47)	–	0,96(0,81)	–	–	–		

Окончание табл. 2.69

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Верхняя	Переменная	1	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 8500 \cdot a_{crc} - 200$	–	650(11)	1075(18)	1500(27)	1925(38)	–	–	
		2	1.5	$a_T^{\text{прод}} = 300 + 6000 \cdot a_{crc}$	–	900(22)	–	1600(38)	–	2100(56)	2150(60)	
		Отношение			–	0,72(0,5)	–	0,94(0,71)	–	–	–	
		1	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 700 + 10000 \cdot a_{crc}$	1200(6)	1700(11)	2200(18)	2700(27)	3200(38)	–	–	
		2	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 945 + 8850 \cdot a_{crc}$	–	1830(12)	–	2900(38)	–	3600(56)	3750(60)	
		Отношение			–	0,93(0,5)	–	0,93(0,71)	–	–	–	
	Постоянная	Постоянная	1	3	$a_T^{\text{прод}} = 400 + 18000a_{crc}$	–	2200(11)	3300(18)	4000(27)	4600(38)	–	–
			2	3	$a_T^{\text{прод}} = 1625 + 11750a_{crc}$	–	2800(22)	–	4200(38)	–	5150(56)	5300(60)
			Отношение			–	0,79(0,5)	–	0,95(0,71)	–	–	–
			1	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{crc} - 675$	–	–	150(18)	425(21)	425(28)	–	–
			2	1.5	$a_T^{\text{прод}} = 4333 \cdot a_{crc} - 417$	–	–	–	450(26)	–	950(38)	1100(43)
			Отношение			–	–	–	0,94(0,81)	–	–	–
	Постоянная	Постоянная	1	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$	–	300(7)	700(18)	1100(21)	1500(28)	–	–
			2	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 8000 \cdot a_{crc} - 500$	–	300(15)	–	1200(26)	–	1900(38)	2150(43)
Отношение			–	1(0,47)	–	0,92(0,81)	–	–	–			
1			3	$a_T^{\text{прод}} = 15500 \cdot a_{crc} - 1300$	–	250(7)	1200(18)	1800(21)	2300(28)	–	–	
2			3	$a_T^{\text{прод}} = 10500 \cdot a_{crc} - 250$	–	800(15)	–	1900(26)	–	2900(38)	3150(43)	
Отношение			–	0,31(0,47)	–	0,95(0,81)	–	–	–			

Пр и м е ч а н и е . В круглых скобках содержится длина коррозии арматуры в мм; $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

Таблица 2.70

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}} = f(a_{\text{erc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм железобетонных образцов первой и второй серии, в зависимости от ширины раскрытия поперечных трещин a_{erc} , при 1,5-; 2,25- и 3-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, в условиях воздействия переменной ступенчатой повторной и постоянной изгибающей нагрузки

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Вид нагрузки	Номер серии образцов	Значения относительного увеличения продуктов коррозии металла	Уравнения регрессии	a_{erc} , мм							
					0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Нижняя	Переменная	1	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{erc}} - 300$	–	–	–	100(27)	200(38)	–	–	
		2	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{erc}} - 100$	–	–	–	100(38)	–	200(56)	250(60)	
		Отношение				–	–	–	1(0,71)	–	–	–
		1	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{erc}} - 350$	–	–	100(18)	300(27)	400(38)	–	–	–
		2	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 3720 \cdot a_{\text{erc}} - 514$	–	–	–	230(38)	–	450(56)	778(60)	
		Отношение				–	–	–	1,3(0,71)	–	–	–
	1	3	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{erc}} - 233$	–	100(11)	200(18)	500(27)	600(38)	–	–	–	
	2	3	$a_T^{\text{прод}} = 3200 \cdot a_{\text{erc}} - 270$	–	50(22)	–	450(38)	–	650(56)	850(60)		
	Отношение				–	2(0,5)	–	1,11(0,71)	–	–	–	
	Постоянная	1	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	
2		1,5	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{erc}} - 600$	–	–	–	–	–	0(38)	100(43)		
Отношение				–	–	–	–	–	–	–		

Продолжение табл. 2.70

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Средняя	Переменная	1	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{erc}} - 300$	–	–	0	100(21)	200(28)	–	–	
		2	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 867 \cdot a_{\text{erc}} - 73$	–	–	–	100(26)	–	180(38)	230(43)	
		Отношение			–	–	–	1(0,81)	–	–	–	
		1	3	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{erc}} - 200$	–	–	100(14)	200(21)	300(28)	–	–	
		2	3	$a_T^{\text{прод}} = 1333 \cdot a_{\text{erc}} - 16,6$	–	–	–	250(26)	–	350(38)	450(43)	
		Отношение			–	–	–	0,8(0,81)	–	–	–	
	Постоянная	Переменная	1	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{erc}} - 450$	–	–	–	150(27)	300(38)	–	–
			2	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 2333 \cdot a_{\text{erc}} - 317$	–	–	–	150(38)	–	350(56)	520(60)
			Отношение			–	–	–	1(0,71)	–	–	–
			1	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 5500 \cdot a_{\text{erc}} - 575$	–	–	250(18)	600(27)	800(38)	–	–
			2	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{erc}} - 300$	–	–	–	500(38)	–	800(56)	1100(60)
			Отношение			–	–	–	1,2(0,71)	–	–	–
Постоянная		Постоянная	1	3	$a_T^{\text{прод}} = 750 \cdot a_{\text{erc}} - 625a$	–	200(11)	500(18)	750(27)	1250(38)	–	–
			2	3	$a_T^{\text{прод}} = 6440 \cdot a_{\text{erc}} - 554$	–	70(22)	–	850(38)	–	1350(56)	1700(60)
			Отношение			–	2,86(0,5)	–	0,88(0,71)	–	–	–
			1	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–
			2	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 3667 \cdot a_{\text{erc}} - 533$	–	–	–	–	–	0(38)	170(43)
			Отношение			–	–	–	–	–	–	–
Постоянная	Постоянная	1	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{erc}} - 200$	–	–	–	200(21)	300(28)	–	–	
		2	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 1667 \cdot a_{\text{erc}} - 83$	–	–	–	250(26)	–	350(38)	500(43)	
		Отношение			–	–	–	0,8(0,81)	–	–	–	
		1	3	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{erc}} - 400$	–	–	200(14)	400(21)	600(28)	–	–	
		2	3	$a_T^{\text{прод}} = 6,7 + 2467 \cdot a_{\text{erc}}$	–	–	–	500(26)	–	700(38)	870(43)	
		Отношение			–	–	–	0,8(0,81)	–	–	–	

Окончание табл. 2.70

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Верхняя	Переменная	1	1,5	$a_T^{\text{прод}} = 5000 \cdot a_{\text{crc}} - 800$	–	–	–	200(27)	450(38)	–	–		
		2	1.5	$a_T^{\text{прод}} = 3667 \cdot a_{\text{crc}} - 533$	–	–	–	200(38)	–	500(56)	750(60)		
		Отношение			–	–	–	1(0,71)	–	–	–		
		1	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 9000 \cdot a_{\text{crc}} - 1050$	–	–	300(18)	750(27)	1200(38)	–	–		
		2	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 5333 \cdot a_{\text{crc}} - 267$	–	–	–	800(38)	–	1250(56)	1600(60)		
		Отношение			–	–	–	0,94(0,71)	–	–	–		
	Постоянная	Постоянная	1	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	
			2	1.5	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 1200$	–	–	–	–	–	0(38)	200(43)	
			Отношение			–	–	–	–	–	–	–	
			1	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 550$	–	–	–	250(21)	450(28)	–	–	
			2	2,25	$a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	–	–	–	300(26)	–	500(38)	750(43)	
			Отношение			–	–	–	0,83(0,81)	–	–	–	
		Постоянная	Постоянная	1	3	$a_T^{\text{прод}} = 6500 \cdot a_{\text{crc}} - 725$	–	–	250(14)	650(21)	900(28)	–	–
				2	3	$a_T^{\text{прод}} = 4000 \cdot a_{\text{crc}} - 50$	–	–	–	750(26)	–	1000(38)	1350(43)
Отношение			–	–	–	0,87(0,81)	–	–	–				

Примечание. В круглых скобках содержится длина коррозии арматуры в мм; $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

3. ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ РАСЧЁТНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИН НА ПОВЕРХНОСТИ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА НА ШИРИНУ РАСКРЫТИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОЙ ИЗГИБАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ

3.1. Методика и результаты третьего этапа теоретического исследования

3.1.1. Общие сведения

Экспериментальные исследования влияния коррозионного поражения арматуры гладкого и периодического профиля, соответственно классов А-1 и А-III, в расчётных поперечных трещинах на образование коррозионных продольных трещин проведены на прямых моделях изгибаемых железобетонных конструкций с размерами 2000×200×70 мм и классом бетона В-30, при воздействии жидкой хлоридсодержащей среды [260, 263]. Балки изготовлены из бетона пониженной проницаемости с эффективным коэффициентом диффузии CO_2 в бетоне $0,53 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$. Каждый образец был армирован одним рабочим стержнем класса А-I или А-III. В зоне чистого изгиба образцов поперечная арматура отсутствовала для получения объективных численных значений экспериментальных характеристик коррозионного поражения арматурных стержней в расчётных поперечных трещинах бетона, изготовленного на портландцементе и гранитном щебне фракции 5-10 мм.

Расчётные технические характеристики опытных железобетонных образцов приведены в табл. 3.1.

Образцы испытывали длительное воздействие постоянной изгибающей нагрузки. Для стимуляции коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона использовался 3 % раствор NaCl, которым два раза в сутки увлажнялась поверхность бетона. С учётом выбранной концентрации хлорид-ионов, степень воздействия жидкой хлоридсодержащей агрессивной среды на опытные железобетонные образцы оценивается как сильноагрессивная [216].

Эксперимент проведён в атмосферных условиях в течение двух лет до появления на образцах, на уровне рабочей арматуры, волосяных коррозионных продольных трещин между расчётными поперечными трещинами на поверхности защитного слоя бетона. По окончании натурального эксперимента железобетонные образцы и рабочая арматура были испытаны на прочность соответственно изгибающей и растягивающей нагрузками.

Таблица 3.1

Расчётные технические характеристики железобетонных образцов

Σn , шт.	T (шт.), \varnothing (мм), K	$\delta_{зсб}$, мм	μ , %	$a_{срс}^{max}$ мм
9	1 \varnothing 14 А-I	25	1,4	0,5
9	1 \varnothing 14 А-III	25	1,4	0,5

Примечание. Σn – количество балок; T , \varnothing , K – соответственно количество, диаметр и класс рабочей арматуры; $\delta_{зсб}$ – толщина защитного слоя бетона; μ – коэффициент армирования; $a_{срс}^{max}$ – расчётное значение максимальной ширины раскрытия поперечной трещины.

При средней глубине коррозионного поражения $\delta_{ср} = 300$ мкм арматуры класса А-III диаметром 14 мм, составляющее 4,3 % относительного снижения диаметра арматуры, практически не отмечено уменьшение несущей способности железобетонных образцов и арматуры. Предельной 15 %-й величиной снижения диаметра арматуры, равного 14 мм, является средняя глубина коррозии $\delta_{кор}^{сред} = 1050$ мкм [231].

В табл. 3.2 приведены абсолютные и относительные экспериментальные численные значения длины и глубины коррозионного поражения рабочей арматуры классов А-I и А-III диаметром 14 мм в расчётных поперечных трещинах защитного слоя бетона в зоне чистого изгиба опытных железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона 25 мм и классе бетона В=30, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

Таблица 3.2

Численные значения характеристик коррозионного поражения рабочей арматуры классов А-I и А-III диаметром 14 мм в опытных железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона 25 мм и классе бетона В=30, в зоне чистого изгиба, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин, при действии постоянной изгибающей нагрузки

$a_{срс}$	$\ell_{кор}^{max}$, мм			$\delta_{кор}^{max}$, мкм			$\ell_{кор}^{сред}$, мм			$\delta_{кор}^{сред}$, мкм		
	А-I	А-III	$\frac{A-I}{A-III}$	А-I	А-III	$\frac{A-I}{A-III}$	А-I	А-III	$\frac{A-I}{A-III}$	А-I	А-III	$\frac{A-I}{A-III}$
0,1	62	40	1,55	380	280	1,36	20	14	1,43	200	50	4,00
0,2	100	70	1,43	500	410	1,22	40	27	1,48	280	125	2,24
0,3	120	94	1,28	590	490	1,20	60	41	1,46	340	175	1,94
0,4	130	110	1,18	650	550	1,18	80	55	1,45	380	200	1,90
0,5	140	125	1,12	675	580	1,16	100	68	1,47	420	215	1,95

По данным табл.3.2 на рис. 3.1 и 3.2 построены графические функциональные зависимости максимальных и средних значений соответственно длины и глубины коррозии арматуры в расчётных поперечных трещинах бетона.

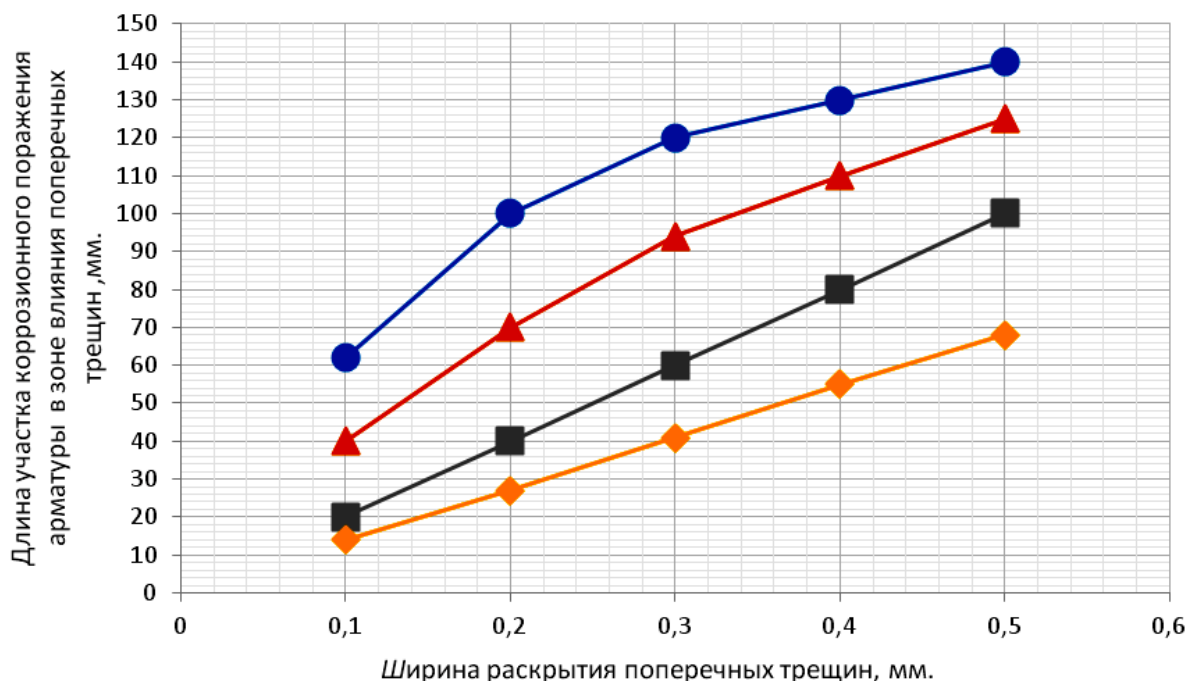


Рис. 3.1. Максимальная ($\ell_{кор}^{max}$) и средняя ($\ell_{кор}^{сред}$) длина коррозионного поражения арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III на опытных железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В-30, в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,5$ мм, при действии постоянной изгибающей нагрузки
Условные обозначения: окружность – ($\ell_{кор.А-I}^{max}$); треугольник – ($\ell_{кор.А-III}^{max}$); квадрат – ($\ell_{кор.А-I}^{сред}$); ромб – ($\ell_{кор.А-III}^{сред}$).

Уравнения регрессии: квадрат – $\ell_{кор.А-I}^{сред} = 200 \cdot a_{crc}$; ромб – $\ell_{кор.А-III}^{сред} = 0,5 + 135 \cdot a_{crc}$.

На основании данных, представленных в табл. 3.2, на рис. 3.1 и 3.2, построены и рассчитаны графические и функциональные зависимости максимальных, средних величин глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,5$ мм, показанные соответственно на рис. 3.3–3.6.

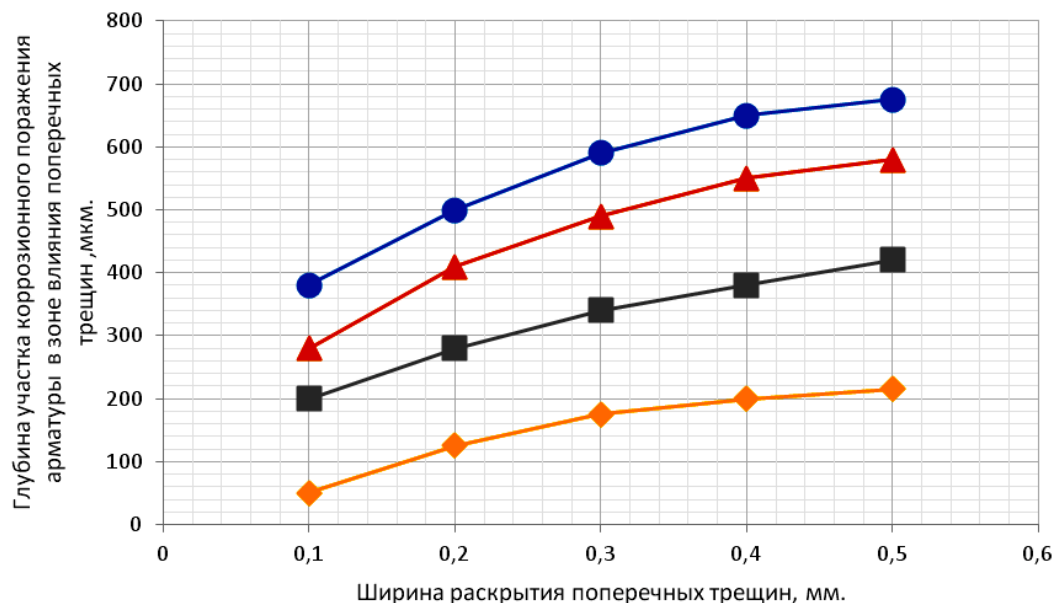


Рис. 3.2. Максимальная ($\delta_{кор}^{max}$) и средняя ($\delta_{кор}^{сред}$) глубина коррозионного поражения арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III в опытных железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В=30, в зоне влияния поперечных трещин с $a_{срс} = 0,10 \div 0,5$ мм, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – $\delta_{кор.А-I}^{max}$; треугольник – $\delta_{кор.А-III}^{max}$; квадрат – $\delta_{кор.А-I}^{сред}$; ромб – $\delta_{кор.А-III}^{сред}$.

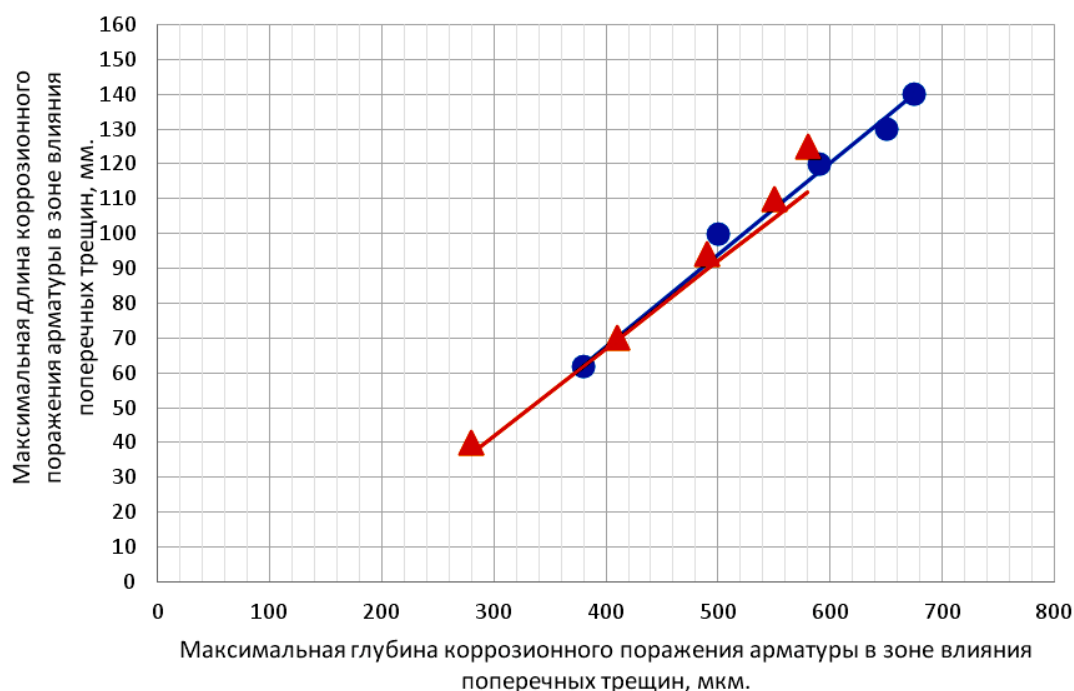


Рис. 3.3. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм $\ell_{кор}^{max}$, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В30, в зависимости от максимальной глубины коррозии металла арматуры $\delta_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{срс} = 0,10 \div 0,5$ мм, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I; треугольник – А-III. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (380;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (500;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (590;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (650;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (675;140). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (280;40), $a_{crc} = 0,20$ мм (410;70), $a_{crc} = 0,30$ мм (490;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (550;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (580;125).

Уравнения регрессии: окружность – А-I – $\ell_{кор}^{max} = 0,264 \cdot \delta_{кор}^{max} - 38$, треугольник – А-III – $\ell_{кор}^{max} = 0,259 \cdot \delta_{кор}^{max} - 33$, где $\ell_{кор}^{max}$ в мм, $\delta_{кор}^{max}$ в мкм.

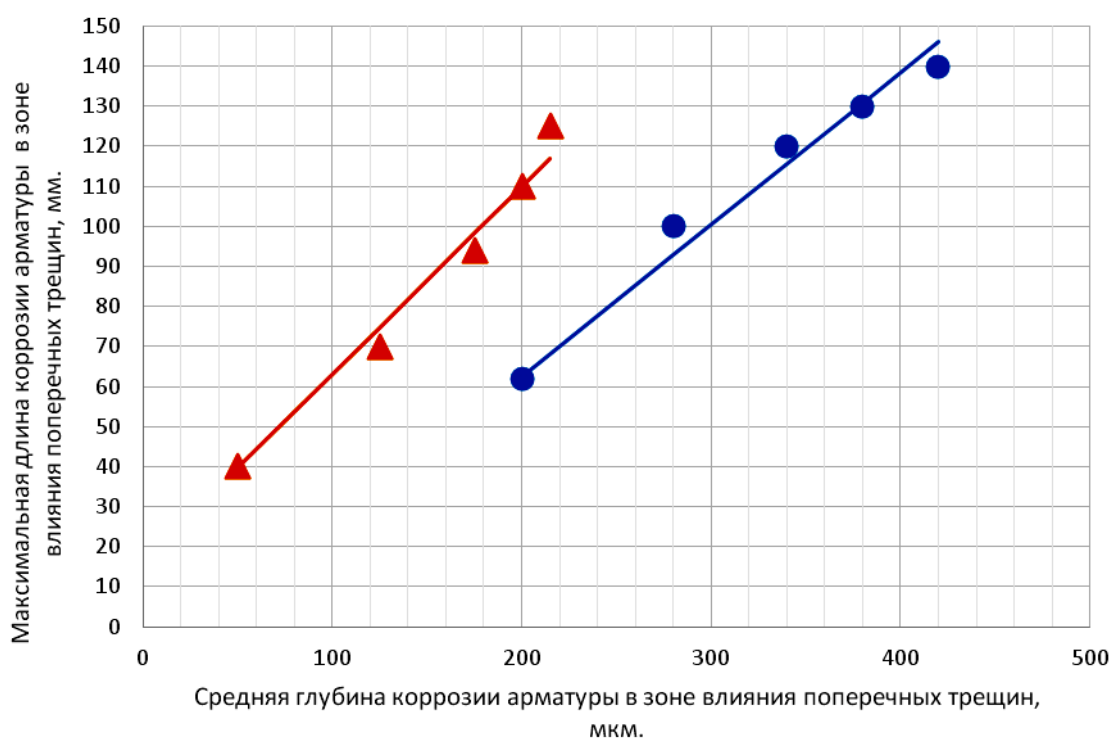


Рис. 3.4. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм $\ell_{кор}^{max}$, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=30, в зависимости от средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,5$ мм, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (200;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (280;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (340;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (380;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (420;140). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (50;40), $a_{crc} = 0,20$ мм (125;70), $a_{crc} = 0,30$ мм (175;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (200;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (215;125).

Уравнения регрессии: окружность – А-I – $\ell_{кор}^{max} = 0,38 \cdot \delta_{кор}^{сред} - 13,6$; треугольник – А-III – $\ell_{кор}^{max} = 16 + 0,47 \cdot \delta_{кор}^{сред}$, где $\ell_{кор}^{max}$ в мм, $\delta_{кор}^{сред}$ в мкм.

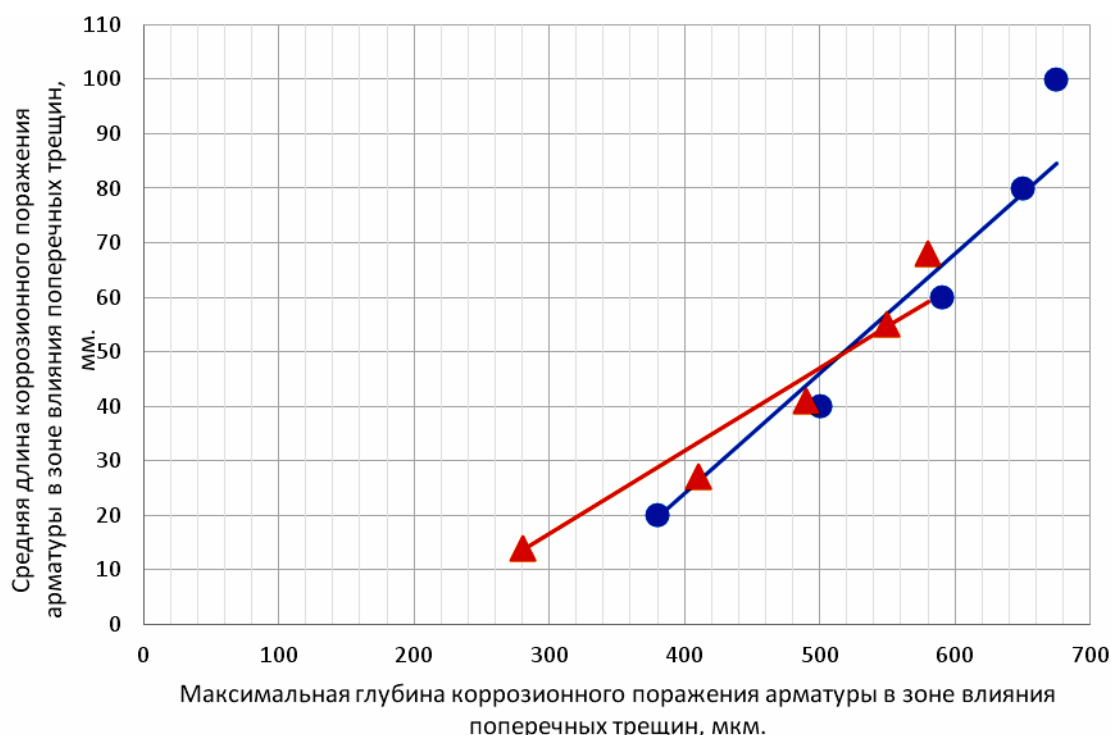


Рис. 3.5. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм $\ell_{кор}^{сред}$, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и класса бетона В=30, в зависимости от максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,5$ мм, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте ординат с координатами $a_{crc} = 0,10$ мм (380;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (500;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (590;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (650;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (675;100). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (280;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (410;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (490;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (550;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (580;68).

Уравнения регрессии: окружность – А-I – $\ell_{кор}^{сред} = 0,222 \cdot \delta_{кор}^{max} - 64$; треугольник – А-III – $\ell_{кор}^{сред} = 0,152 \cdot \delta_{кор}^{max} - 29$, где $\ell_{кор}^{сред}$ в мм, $\delta_{кор}^{max}$ в мкм.

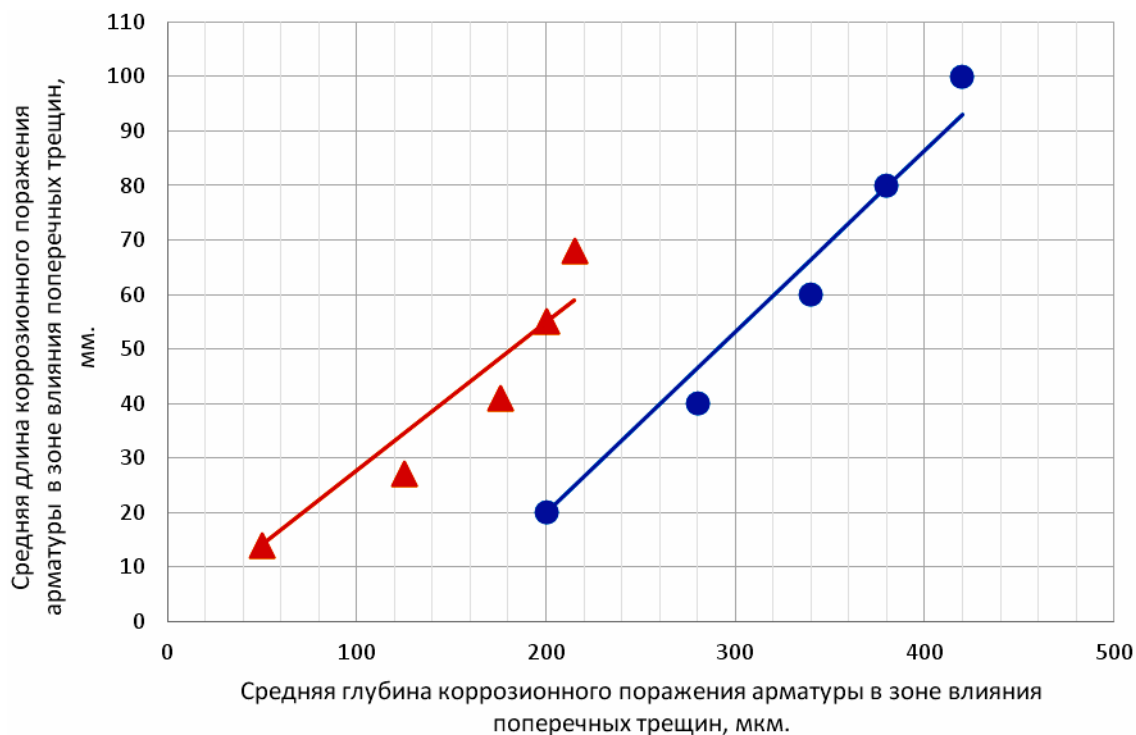


Рис. 3.6. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм $\ell_{кор}^{сред}$, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=30, в зависимости от средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (200;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (280;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (340;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (380;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (420;100). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин, по возрастающей высоте ординат с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (50;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (125;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (176;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (200;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (215;68).

Уравнения регрессии: окружность – А-I – $\ell_{кор}^{сред} = 0,333 \cdot \delta_{кор}^{сред} - 46,7$, треугольник – А-III – $\ell_{кор}^{сред} = 0,33 + 0,273 \cdot \delta_{кор}^{сред}$, где $\ell_{кор}^{сред}$ в мм, $\delta_{кор}^{сред}$ в мкм.

В табл.3.3 приведены средняя глубина и степень коррозионного поражения арматуры периодического (А-III) и гладкого (А-I) профиля диаметром 14 мм в зонах влияния поперечных трещин с соответствующим раскрытием a_{crc} согласно данным рис.3.6 и табл.3.2.

Наибольшая относительная количественная величина снижения диаметра арматуры периодического и гладкого профиля наблюдается в зонах влияния поперечных трещин с шириной раскрытия $a_{crc} = 0,5$ мм, составляющая для арматуры периодического и гладкого профиля соответственно 3,07 % и 6,00 %. При этих значениях согласно данным рис.1.27 на опытных

железобетонных образцах с арматурой периодического профиля на поверхности защитного слоя бетона по длине зоны влияния расчётных поперечных трещин должны были наблюдаться коррозионные продольные трещины с шириной раскрытия $a_T^{прод}=200$ мкм, что и подтверждалось в процессе экспериментальных испытаний.

Следовательно, данные натуральных обследований железобетонных конструкций в агрессивных средах [257], представленные на рис.1.27 и полученные экспериментальным путём, полностью совпадают.

Т а б л и ц а 3.3

Средняя глубина и степень относительного коррозионного поражения арматуры периодического (А-III) и гладкого (А-I) профиля диаметром 14 мм в зоне влияния поперечных трещин, с соответствующими значениями ширины раскрытия поперечных трещин

Класс арматуры	Средняя глубина коррозии арматуры (мм) и величина относительного уменьшения диаметра арматуры (%) в поперечных расчётных трещинах бетона									
	0,1		0,2		0,3		0,4		0,5	
	Абсолютное значение, мкм	Степень поражения, %	Абсолютное значение, мкм	Степень поражения, %	Абсолютное значение, мкм	Степень поражения, %	Абсолютное значение, мкм	Степень поражения, %	Абсолютное значение, мкм	Степень поражения, %
А-III	50	0,71	125	1,79	175	2,50	200	2,86	215	3,07
А-I	200	2,86	280	4,00	340	4,86	380	5,43	420	6,00

П р и м е ч а н и е . a_{crc} в мм; $\delta_{кор}^{сред}$ в мкм.

В то же время, средняя глубина коррозии арматуры периодического профиля класса А-III, с $\delta_{кор}^{сред}=215$ мкм в зоне влияния $a_{crc}=0,50$ мм, вызывающая образование волосяных коррозионных продольных трещин между расчётными поперечными трещинами в защитном слое бетона, имеет относительную величину снижения диаметра рабочей арматуры 3,07 %, что значительно меньше значения 15 %, определяющего начало снижения механических характеристик стальной арматуры [231].

В железобетонных опытных образцах с гладкой рабочей арматурой класса А-I причиной появления волосяных коррозионных трещин в защитном слое бетона между расчётными поперечными трещинами с шириной раскрытия $a_{crc}=0,50$ мм является средняя глубина коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}=420$ мкм, составляющая относительное количественное снижение диаметра арматуры 6,0 %, что также меньше значения 15 %.

Следовательно, предаварийное состояние железобетонных конструкций и, соответственно, их долговечность, определяемая из-за условия появления в защитном слое бетона коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}} = 15 \div 25$ мм [9, 263], в условиях воздействия на эти изгибаемые железобетонные конструкции жидкой хлоридсодержащей среды, определяется средней глубиной коррозионного поражения несущей арматуры, как периодического, так и гладкого профиля, в зоне влияния расчётных поперечных трещин, не оказывающей абсолютно никакого влияния на снижение прочностных свойств несущей арматуры.

3.1.2. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки

На рис 3.7 согласно данным рис. 3.3 показаны графики и уравнения регрессии максимальной длины коррозии арматуры классов А-I и А-III в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин, с максимальной глубиной коррозии арматуры, при трёхкратном увеличении продуктов коррозии арматурной стали при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 3.7 показаны на рис. 3.8–3.10.

В сводной табл. 3.4 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры классов А-I и А-III, с учётом максимальной глубины её коррозионного поражения, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, с использованием нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.3.11 и 3.12), при действии постоянной изгибающей нагрузки.

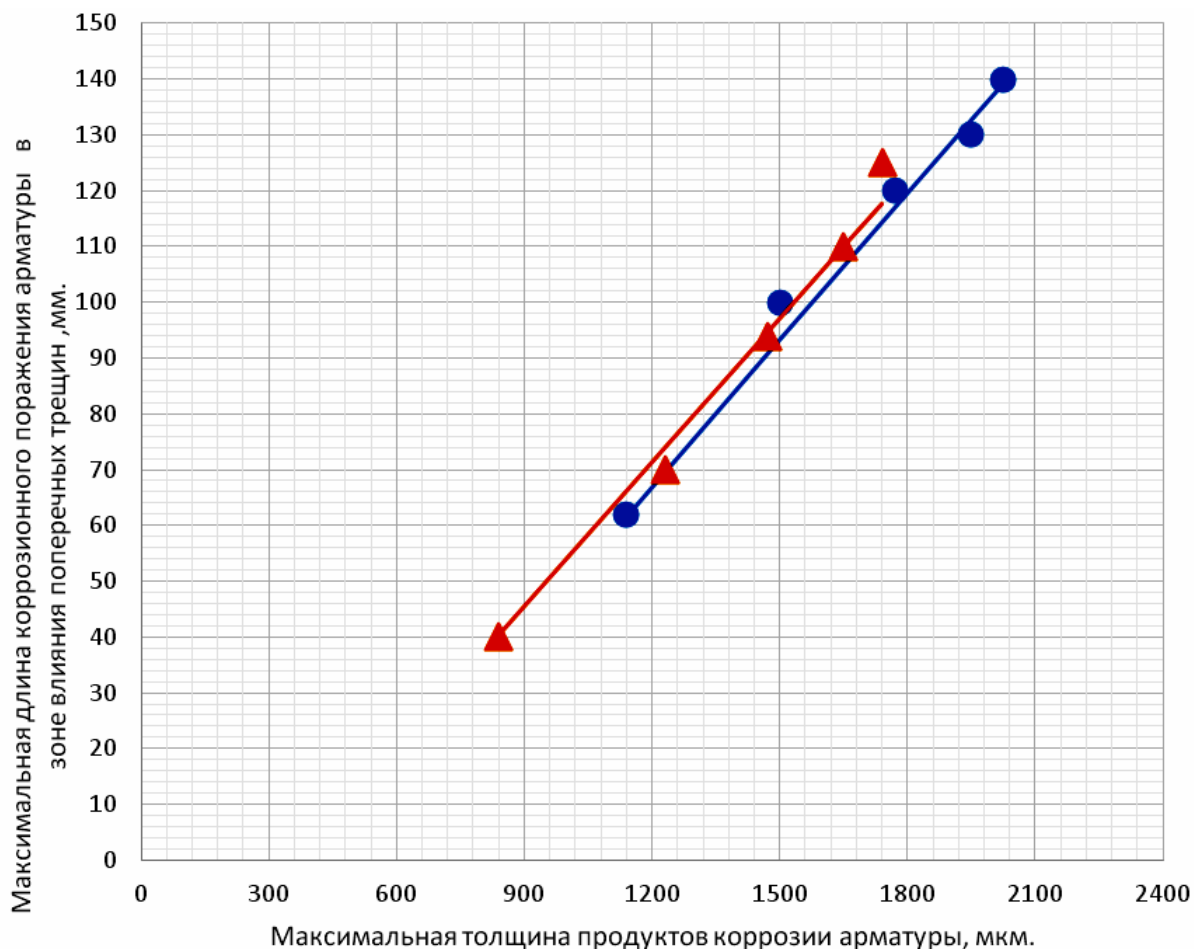


Рис. 3.7. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм, в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{\text{crc}} = 0,10 \div 0,50$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{\text{п.к}}^{\text{max}}$, при максимальной глубине коррозионного поражения арматурного стержня $\delta_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин, с учётом 3-х кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (1140;62), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (1500;100), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (1770;120), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (1950;130), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (2025;140). Треугольники имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (840;40), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (1230;70), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (1470;94), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (1650;110), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (1740;125).

Уравнения регрессии: окружность А-I – $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}} = 0,088 \cdot \delta_{\text{п.к}}^{\text{max}} - 38,2$; треугольник – $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}} = 0,086 \cdot \delta_{\text{п.к}}^{\text{max}} - 31,9$.

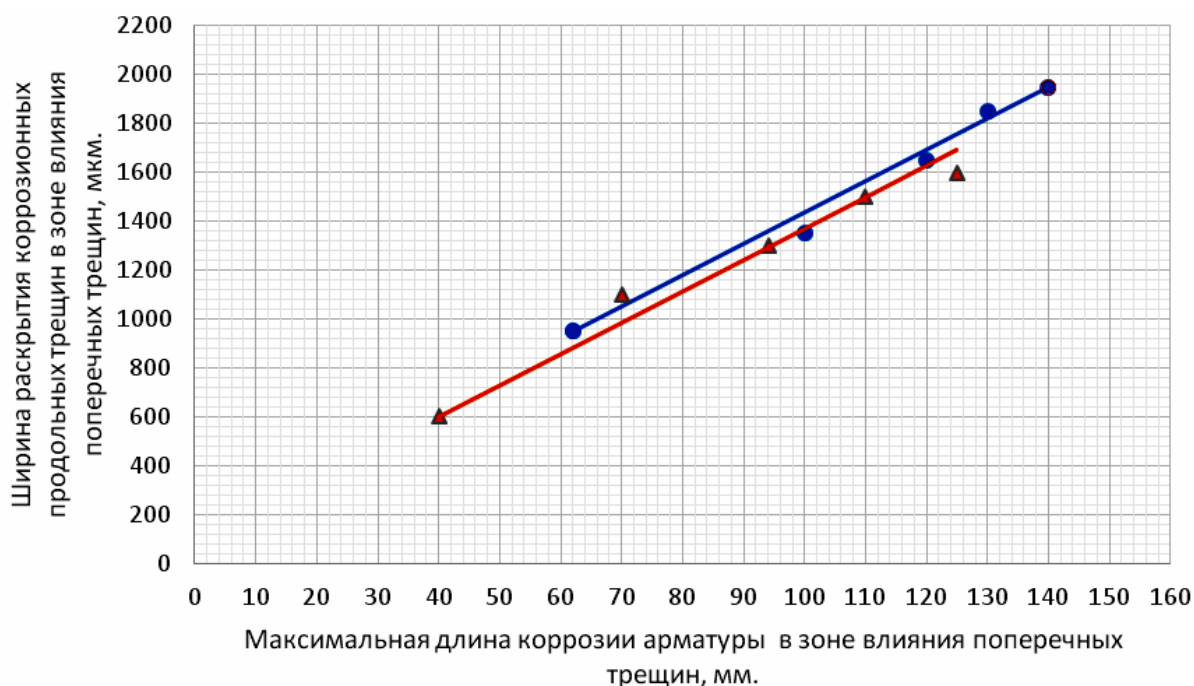


Рис. 3.8. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,10 \div 0,50$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при нижней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (62; 950), $a_{\text{crc}} = 0,20$ (100; 1350), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (120; 1650), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (130; 1850), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (140; 1950). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (40; 600), $a_{\text{crc}} = 0,20$ (70; 1100), $a_{\text{crc}} = 0,30$ (94; 1300), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (110; 1500), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (125; 1600).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 15,51 + 12,82 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 85,7 + 12,86 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

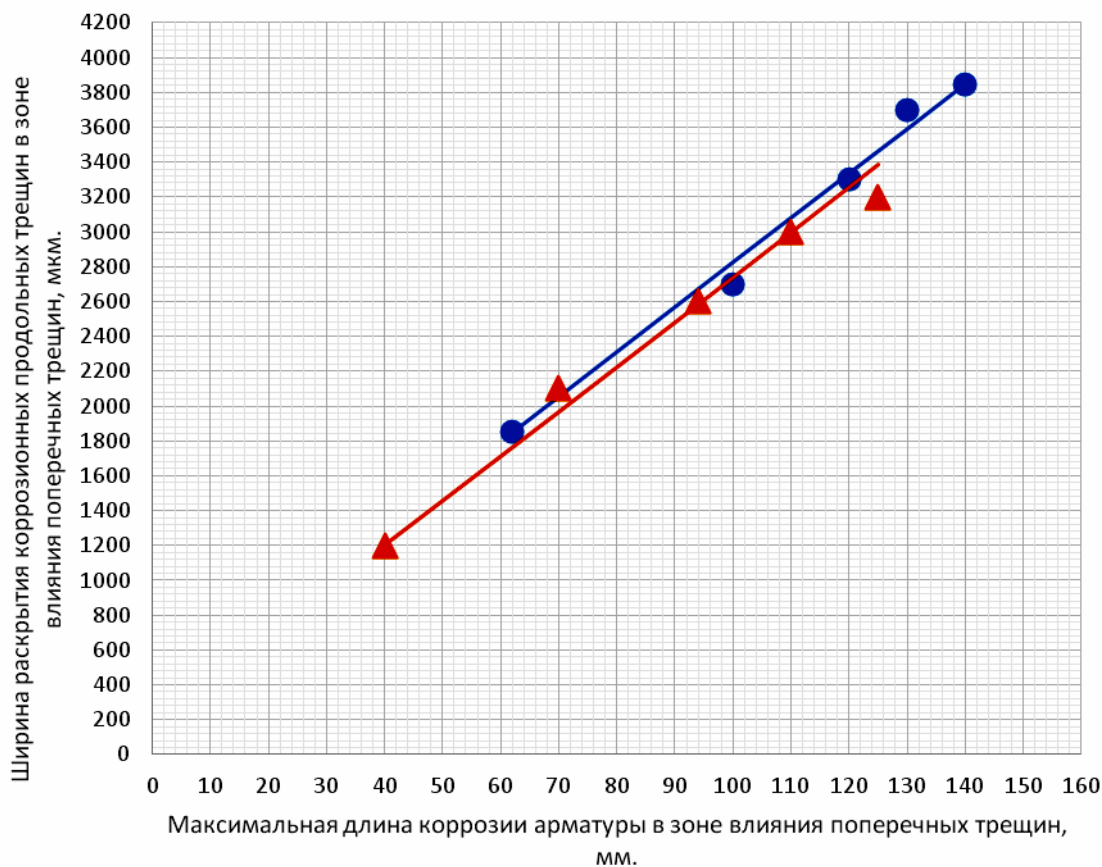


Рис. 3.9. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,10 \div 0,50$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (62; 1850), $a_{\text{crc}} = 0,20$ (100; 2700), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (120; 3300), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (130; 3700), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (140; 3850). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (40; 1200), $a_{\text{crc}} = 0,20$ (70; 2100), $a_{\text{crc}} = 0,30$ (94; 2600), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (110; 3000), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (125; 3200).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 260 + 25,64 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 171 + 25,71 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

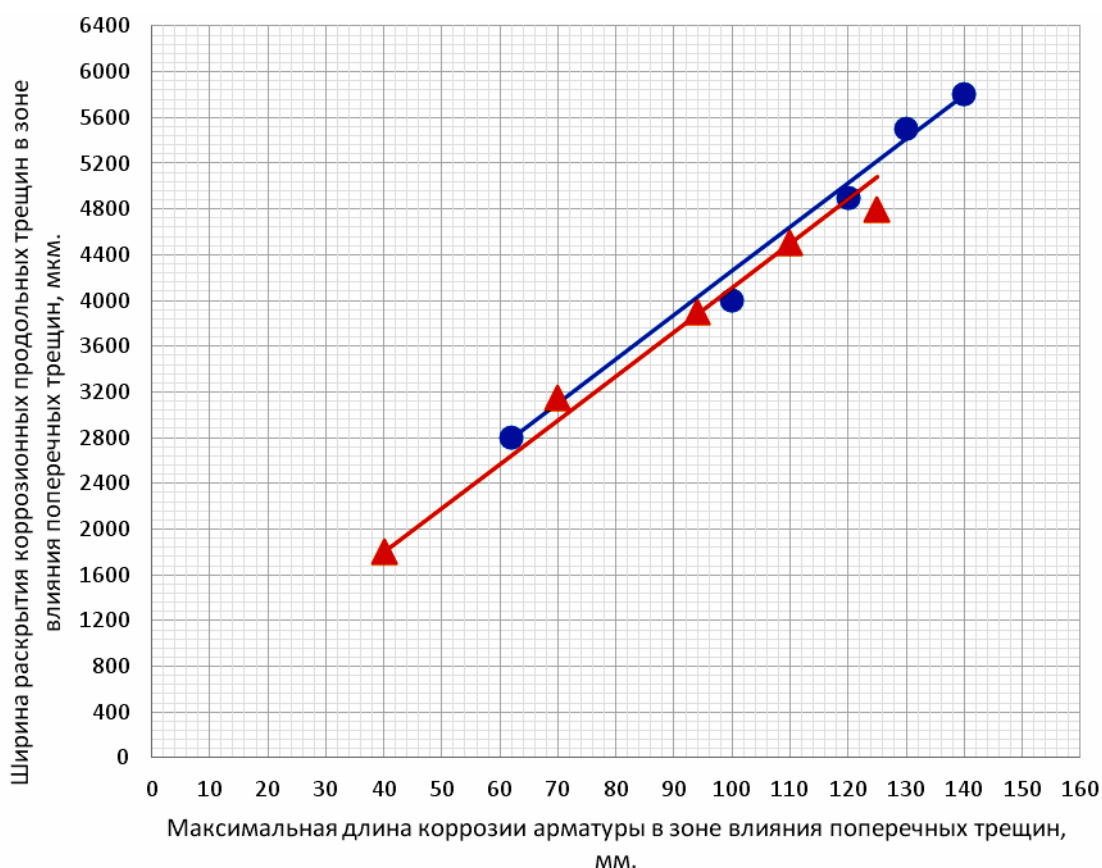


Рис. 3.10. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,10 \pm 0,50$ мм, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (62; 2800), $a_{\text{crc}} = 0,20$ (100; 4000), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (120; 4900), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (130; 5500), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (140; 5800). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (40; 1800), $a_{\text{crc}} = 0,20$ (70; 3150), $a_{\text{crc}} = 0,30$ (94; 3900), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (110; 4500), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (125; 4800).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 416 + 38,46 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 257 + 38,57 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

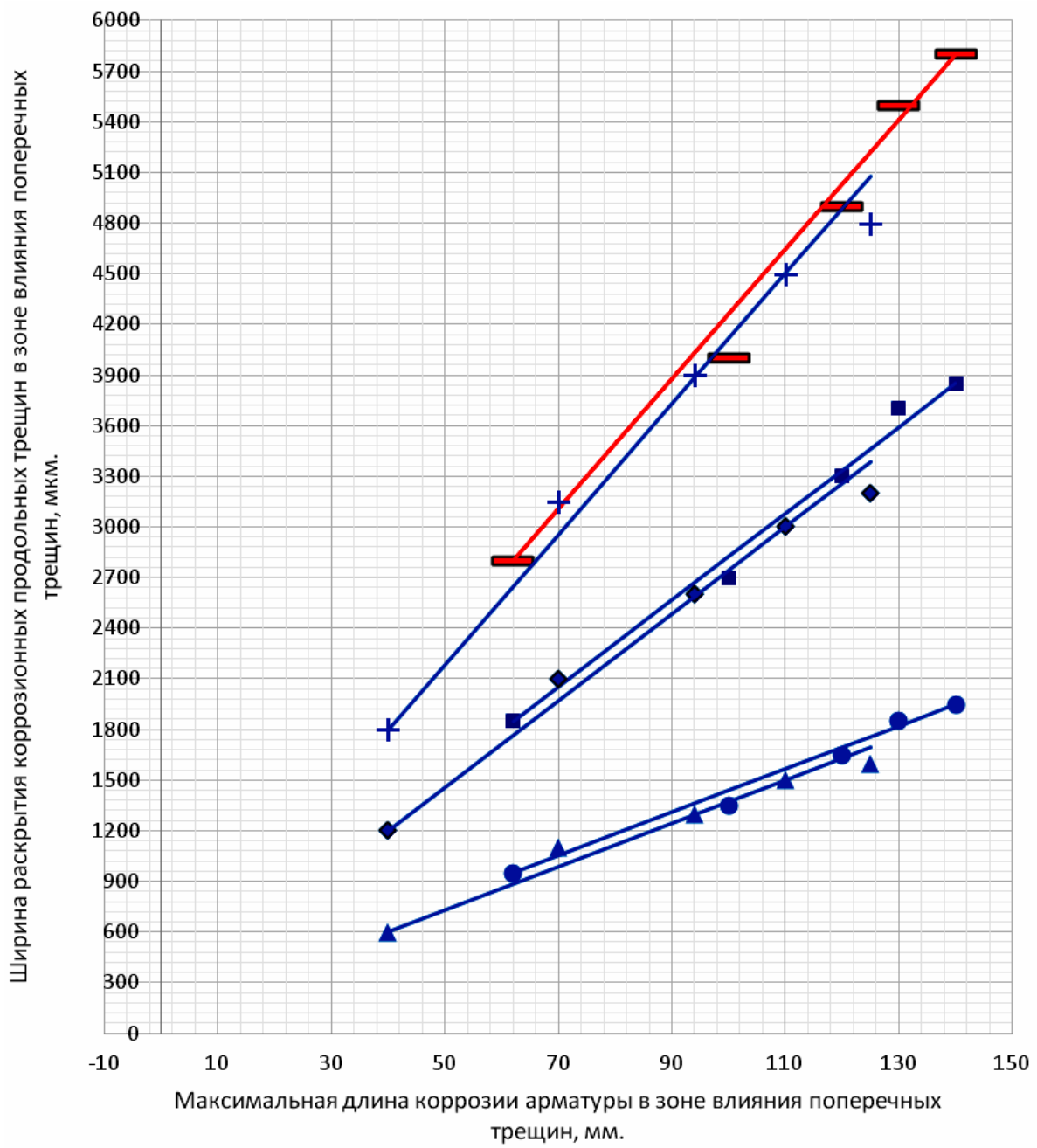


Рис. 3.11. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, в зависимости от максимальной длины коррозии рабочей арматуры диаметром 14 мм классов А-III и А-I $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния расчётных поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 3.8–3.10 при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,1$ мм (62;950), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (100;1350), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (120;1650), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (130;1850), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (140;1950) – $a_T^{\text{прод}} = 15,51 + 12,81 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (40;600), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (70;1100), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (94;1300), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (110;1500), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (125;1600) – $a_T^{\text{прод}} = 85,17 + 12,88 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (62;1850), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (100;2700), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (120;3300), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (130;3700), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (140;3850) – $a_T^{\text{прод}} = 260 + 26,64 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (40;1200), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (70;2100), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (94;2600), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (110;3000), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (125;3200) – $a_T^{\text{прод}} = 171 + 25,71 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (62;2800), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (100;4000), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (120;4900), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (130;5500), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (140;5800) – $a_T^{\text{прод}} = 415 + 38,46 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (40;1800), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (70;3150), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (94;3900), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (110;4500), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (125;4800) – $a_T^{\text{прод}} = 257 + 38,57 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

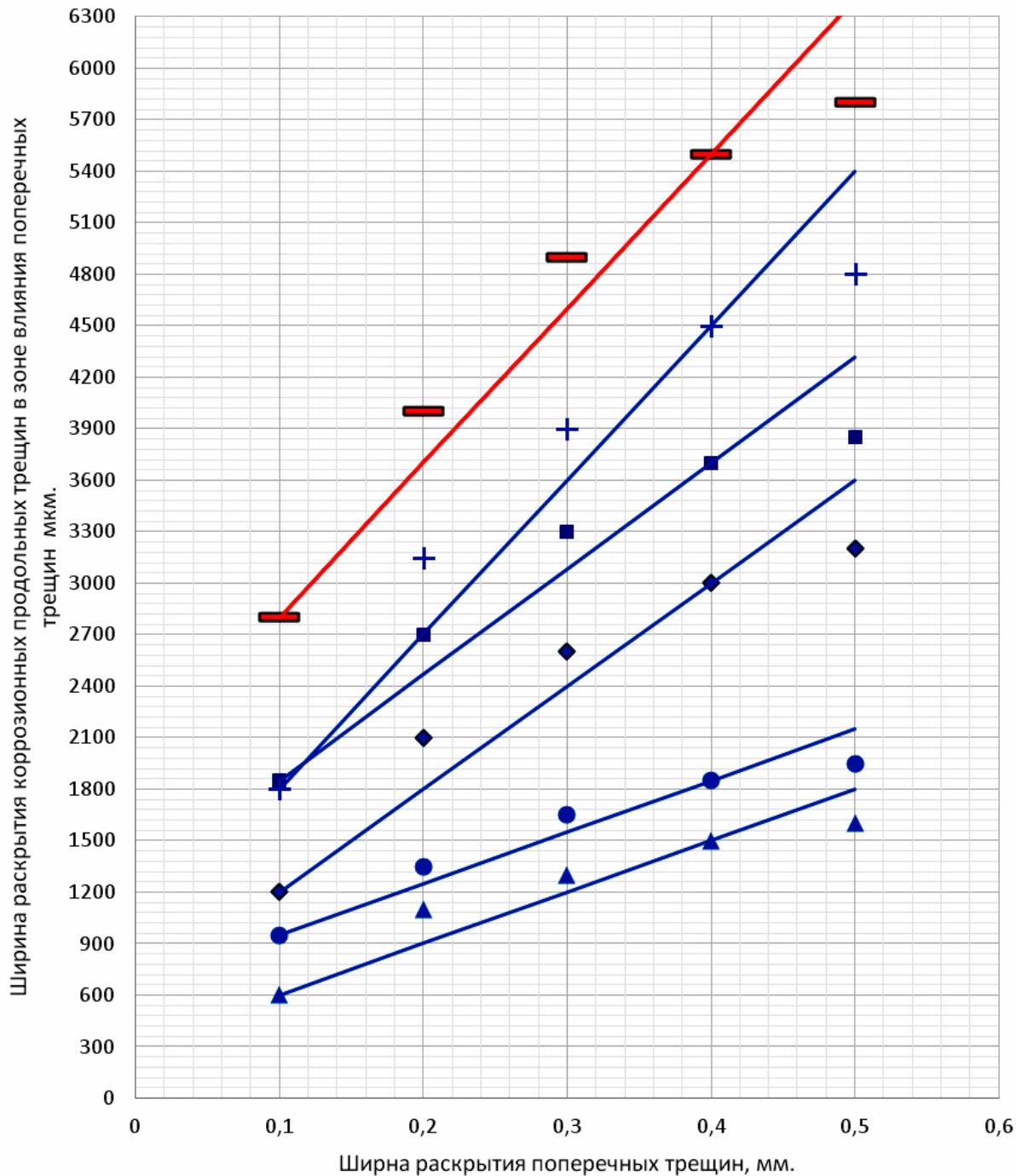


Рис. 3.12. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{\text{max}}$ от $\delta_{кор}^{\text{max}}$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 3.11 при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10; 62;950), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;100; 1350), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;120; 1650), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;130; 1850), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;140; 1950) – $a_T^{prod} = 650 + 3000 \cdot a_{crc}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;40;600), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;70;1100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;94;1300), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;110;1500), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;125;1600) – $a_T^{prod} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;62;1850), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;100;2700), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;120;3300), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;130;3700), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;140;3850) – $a_T^{prod} = 1233 + 6167 \cdot a_{crc}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10; 40; 1200), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;70;2100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;94;2600), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;110;3000) $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;125;3200) – $a_T^{prod} = 600 + 6000 \cdot a_{crc}$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;62;2800), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;100;4000), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;120;4900), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;130;5500) $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;140;5800) – $a_T^{prod} = 1900 + 9000 \cdot a_{crc}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;40;1800), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;70;3150), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;94;3900), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;110;4500), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;125;4800) – $a_T^{prod} = 900 + 9000 \cdot a_{crc}$. Второе значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$ в мм.

Т а б л и ц а 3.4

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис. 1.26 [257]	Класс арматуры	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$ при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	А-III	600(40)	1100(70)	1300 (94)	1500(110)	1600(125)	$a_T^{prod} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$
		600(40)	1100(70)	1300 (94)	1500(110)	1600(125)	$a_T^{prod} = 85,7 + 12,88 \cdot \ell_{кор}^{max}$
	А-I	950(62)	1350(100)	1650(120)	1850(130)	1950(140)	$a_T^{prod} = 650 + 3000 \cdot a_{crc}$
		950(62)	1350(100)	1650(120)	1850(130)	1950(140)	$a_T^{prod} = 155,1 + 12,82 \cdot \ell_{кор}^{max}$

1	2	3	4	5	6	7	8
Средняя	А-III	1200(40)	2100(70)	2600(94)	3000(110)	3200(125)	$a_T^{\text{прод}} = 600 + 6000 \cdot a_{\text{crc}}$
		1200(40)	2100(70)	2600(94)	3000(110)	3200(125)	$a_T^{\text{прод}} = 171 + 25,71 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$
	А-I	1850(62)	2700(100)	3300(120)	3700(130)	3850(140)	$a_T^{\text{прод}} = 1233 + 6167 \cdot a_{\text{crc}}$
		1850(62)	2700(100)	3300(120)	3700(130)	3850(140)	$a_T^{\text{прод}} = 260 + 25,64 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$
Верхняя	А-III	1800(40)	3150(70)	3900(94)	4500(110)	4800(125)	$a_T^{\text{прод}} = 900 + 9000 \cdot a_{\text{crc}}$
		1800(40)	3150(70)	3900(94)	4500(110)	4800(125)	$a_T^{\text{прод}} = 257 + 38,57 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$
	А-I	2800(62)	4000(100)	4900(120)	5500(130)	5800(140)	$a_T^{\text{прод}} = 1900 + 9000 \cdot a_{\text{crc}}$
		2800(62)	4000(100)	4900(120)	5500(130)	5800(140)	$a_T^{\text{прод}} = 415 + 38,46 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$

Примечание. $a_T^{\text{прод}}$ в мкм; a_{crc} в мм; в круглых скобках – $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин со средней глубиной коррозии арматуры, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали классов А-III и А-I, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 3.4 показаны на рис. 3.13–3.15.

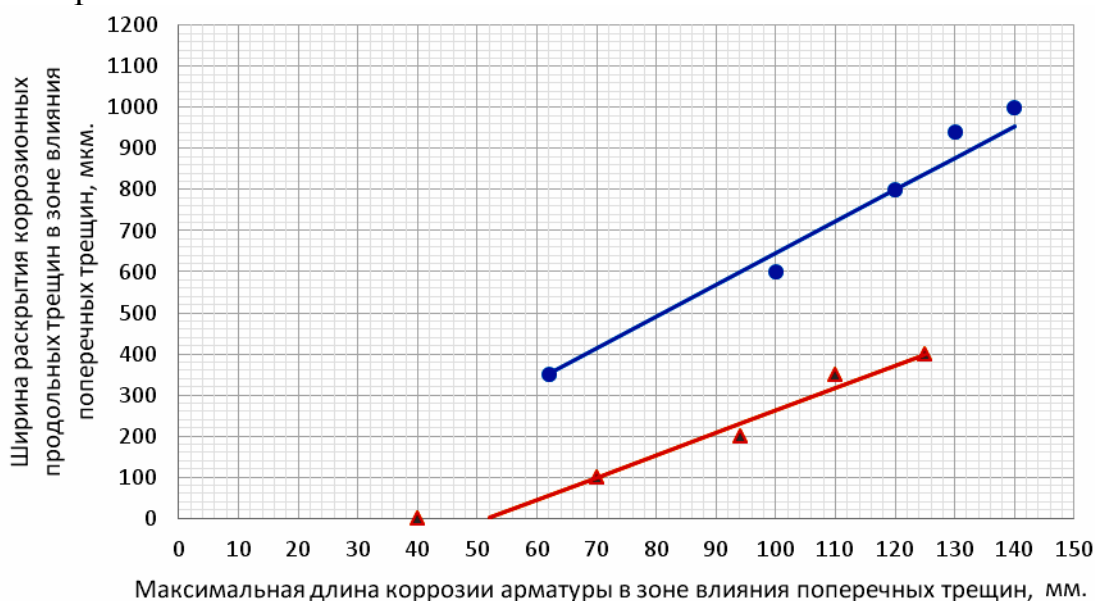


Рис. 3.13. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,10 \div 0,50$ мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения продуктов коррозии металла арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc}=0,10$ мм (62; 350), $a_{crc}=0,20$ (100; 600), $a_{crc}=0,30$ мм (120; 800), $a_{crc}=0,40$ мм (130; 940), $a_{crc}=0,50$ мм (140; 1000). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc}=0,10$ мм (40; 0), $a_{crc}=0,20$ (70; 100), $a_{crc}=0,30$ (94; 200), $a_{crc}=0,40$ мм (110; 350), $a_{crc}=0,50$ мм (125; 400).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{prod} = 7,76 \cdot \ell_{кор}^{max} - 131$; треугольник – $a_T^{prod} = 5,45 \cdot \ell_{кор}^{max} - 282$.

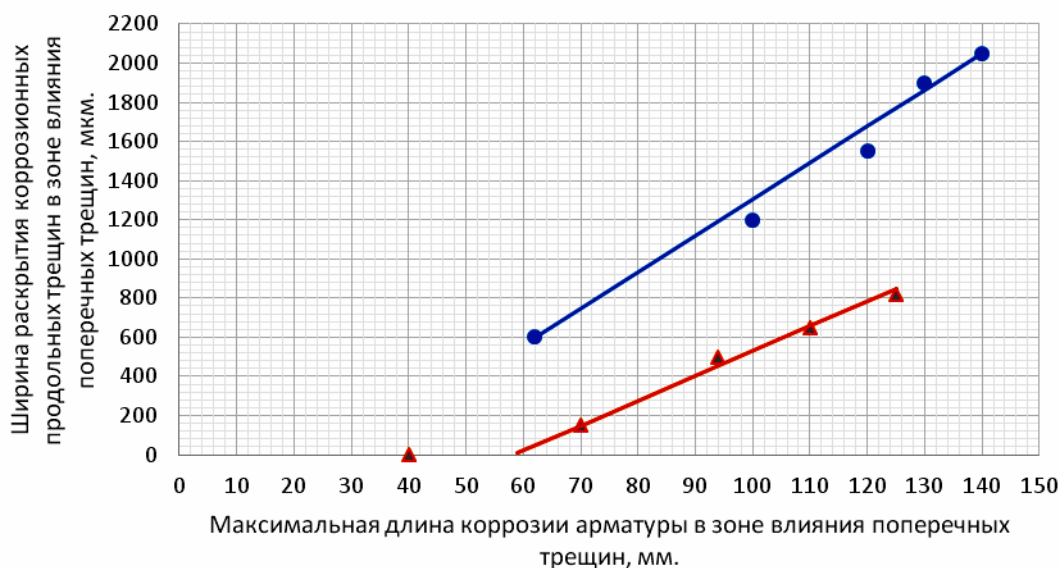


Рис. 3.14. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения продуктов коррозии металла арматуры, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc}=0,10$ мм (62; 600), $a_{crc}=0,20$ (100; 1200), $a_{crc}=0,30$ мм (120; 1550), $a_{crc}=0,40$ мм (130; 1900), $a_{crc}=0,50$ мм (140; 2050). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc}=0,10$ мм (40; 0), $a_{crc}=0,20$ (70; 150), $a_{crc}=0,30$ (94; 500), $a_{crc}=0,40$ мм (110; 650), $a_{crc}=0,50$ мм (125; 800).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{prod} = 18,59 \cdot \ell_{кор}^{max} - 553$; треугольник – $a_T^{prod} = 12,73 \cdot \ell_{кор}^{max} - 741$.

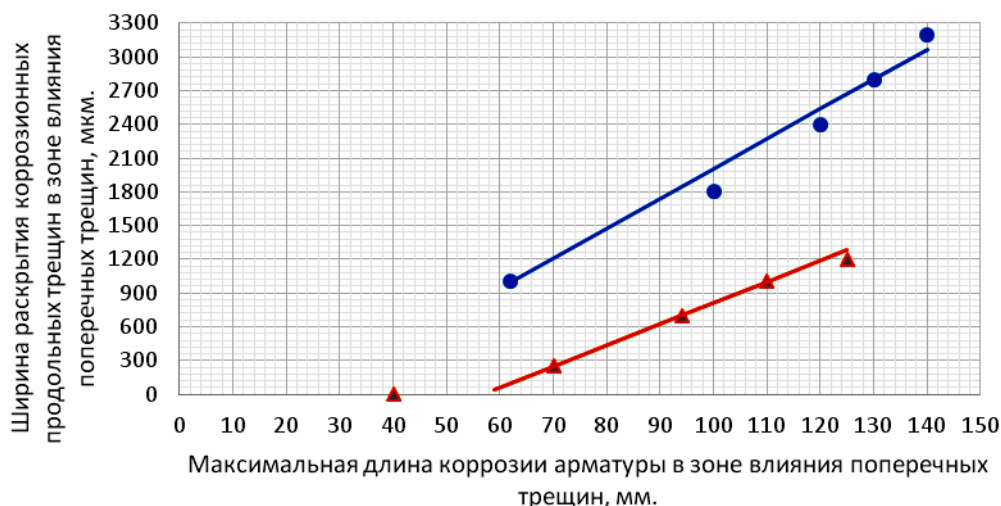


Рис. 3.15. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$

в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{cpc}} = 0,10 \div 0,50$ мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения продуктов коррозии металла арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{cpc}} = 0,10$ мм (62; 1000), $a_{\text{cpc}} = 0,20$ (100; 1800), $a_{\text{cpc}} = 0,30$ мм (120; 2400), $a_{\text{cpc}} = 0,40$ мм (130; 2800), $a_{\text{cpc}} = 0,50$ мм (140; 2200). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{\text{cpc}} = 0,10$ мм (40; 0), $a_{\text{cpc}} = 0,20$ (70; 250), $a_{\text{cpc}} = 0,30$ (94; 700), $a_{\text{cpc}} = 0,40$ мм (110; 1000), $a_{\text{cpc}} = 0,50$ мм (125; 1200).

Уравнения регрессии: окружность $a_T^{\text{прод}} = 26,47 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 641$ -; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 18,75 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 1063$.

В сводной табл. 3.5 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры классов А-I и А-III, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.3.16 и 3.17), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

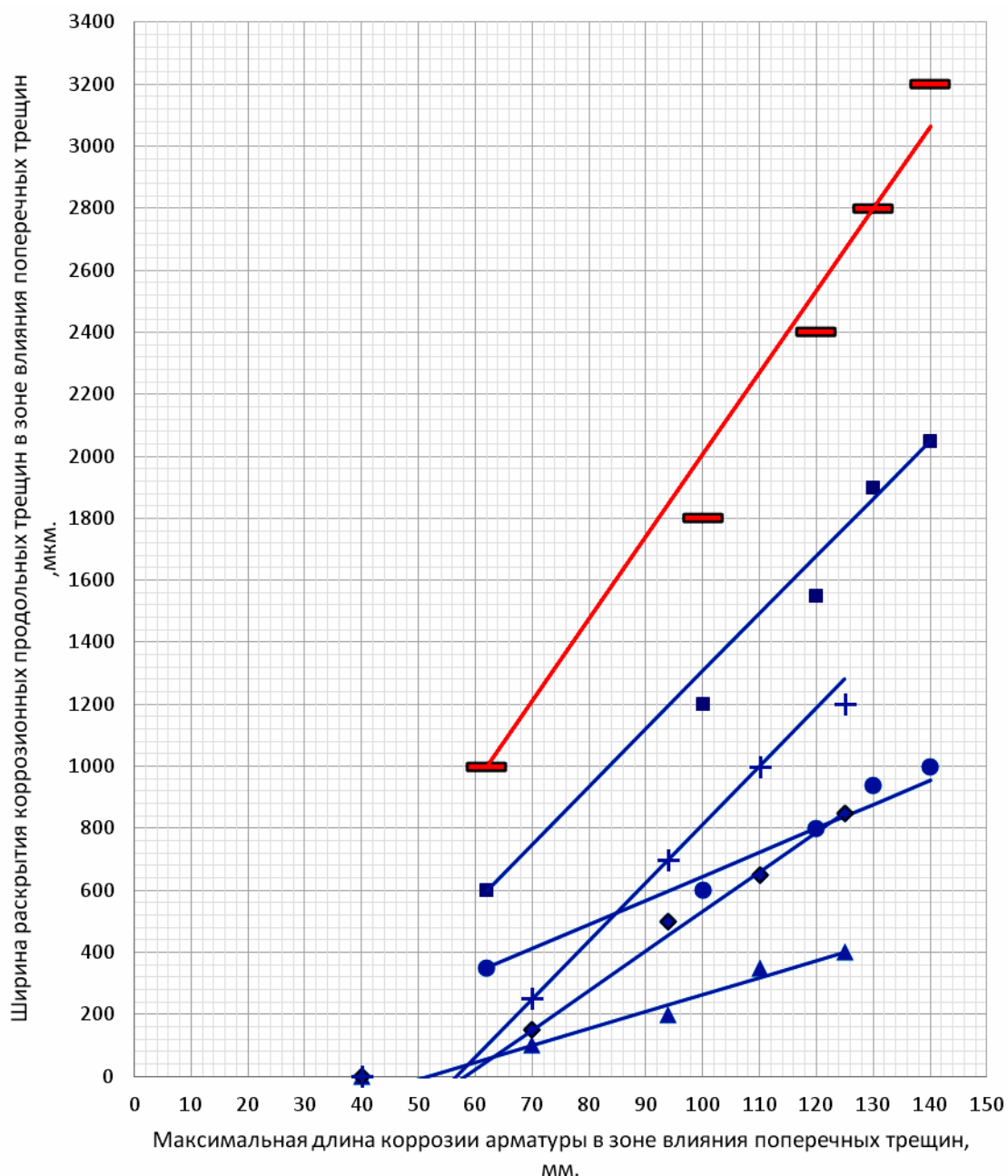


Рис. 3.16. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В 30, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-III и А-I $l_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с

$a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых, согласно рисунков 3,13; 3,14 и 3,15, при воздействии постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения

регрессии: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;350), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;600), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;800), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;940), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;1000) – $a_T^{prod} = 7,76 \cdot \ell_{кор}^{max} - 131$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (40;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (70;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (94;200), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;350), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;400) – $a_T^{prod} = 5,45 \cdot \ell_{кор}^{max} - 282$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;600), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;1200), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;1550), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;1900), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;2050) – $a_T^{prod} = 18,59 \cdot \ell_{кор}^{max} - 553$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (40;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (70;150), $a_{crc} = 0,30$ мм (94;500), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;650), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;850) – $a_T^{prod} = 12,73 \cdot \ell_{кор}^{max} - 741$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;1000), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;1800), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;2400), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;2800), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;3200) – $a_T^{prod} = 26,47 \cdot \ell_{кор}^{max} - 641$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (40;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (70;250), $a_{crc} = 0,30$ мм (94;700), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;1000), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;1200) – $a_T^{prod} = 18,75 \cdot \ell_{кор}^{max} - 1063$.

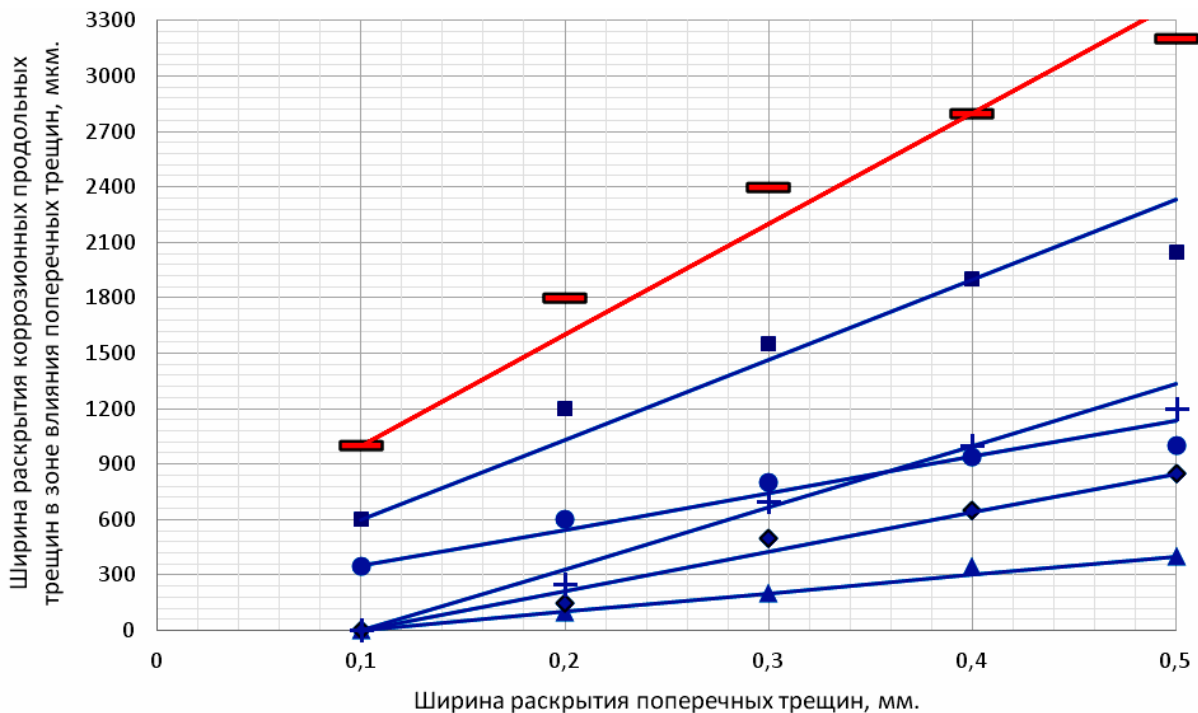


Рис. 3.17. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с толщиной защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В 30, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{сред}$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при нижней, средней и верхней функциональной прямой, с учётом рис.3.16, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;350), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;600), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;800), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40; 940), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50; 1200) – $a_T^{prod} = 150 + 1967 \cdot a_{crc}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая; – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;200), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;350), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;400) – $a_T^{prod} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;600), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1200), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1550), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1900), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;2050) – $a_T^{prod} = 167 + 4333 \cdot a_{crc}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;150), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;500), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;650), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;850) – $a_T^{prod} = 2125 \cdot a_{crc} - 213$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1000), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1800), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;2400), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;2800), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;13200) – $a_T^{prod} = 400 + 6000 \cdot a_{crc}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;250), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;700), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1000), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1200) – $a_T^{prod} = 3333 \cdot a_{crc} - 333$.

Т а б л и ц а 3.5

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 3-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис. 1.26 [257]	Класс арматуры	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$ при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	А-III	0(40)	100(70)	200(94)	350(110)	400(125)	$a_T^{prod} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$
		0(40)	100(70)	200(94)	350(110)	400(125)	$a_T^{prod} = 5,45 \cdot \ell_{кор}^{max} - 282$
	А-I	350(62)	600(100)	800(120)	940(130)	1100(140)	$a_T^{prod} = 153 + 1967 \cdot a_{crc}$
		350(62)	600(100)	800(120)	940(130)	1100(140)	$a_T^{prod} = 7,76 \cdot \ell_{кор}^{max} - 131$

1	2	3	4	5	6	7	8
Средняя	А-III	0(40)	150(70)	500(94)	650(110)	850(125)	$a_T^{\text{прод}} = 2125 \cdot a_{crc} - 213$
		0(40)	150(70)	500(94)	650(110)	850(125)	$a_T^{\text{прод}} = 12,73 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 741$
	А-I	600(62)	1200(100)	1550(120)	1900(130)	2050(140)	$a_T^{\text{прод}} = 167 + 4333 \cdot a_{crc}$
		600(62)	1200(100)	1550(120)	1900(130)	2050(140)	$a_T^{\text{прод}} = 18,59 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 553$
Верхняя	А-III	0(40)	250(70)	700(94)	1000(110)	1200(125)	$a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{crc} - 333$
		0(40)	250(70)	700(94)	1000(110)	1200(125)	$a_T^{\text{прод}} = 18,75 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 1063$
	А-I	1000(62)	1800(100)	2400(60)	2800(130)	3200(140)	$a_T^{\text{прод}} = 400 + 6000 \cdot a_{crc}$
		1000(62)	1800(100)	2400(120)	2800(130)	3200(140)	$a_T^{\text{прод}} = 26,47 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 641$

Примечание. $a_T^{\text{прод}}$ в мкм; в круглых скобках – $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм; a_{crc} в мм.

На рис. 3.18 согласно данным рис. 3.5, показано графическое изображение средней длины коррозии арматуры классов А-I и А-III в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры классов А-I и А-III, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, с учётом воздействия постоянной изгибающей нагрузки.

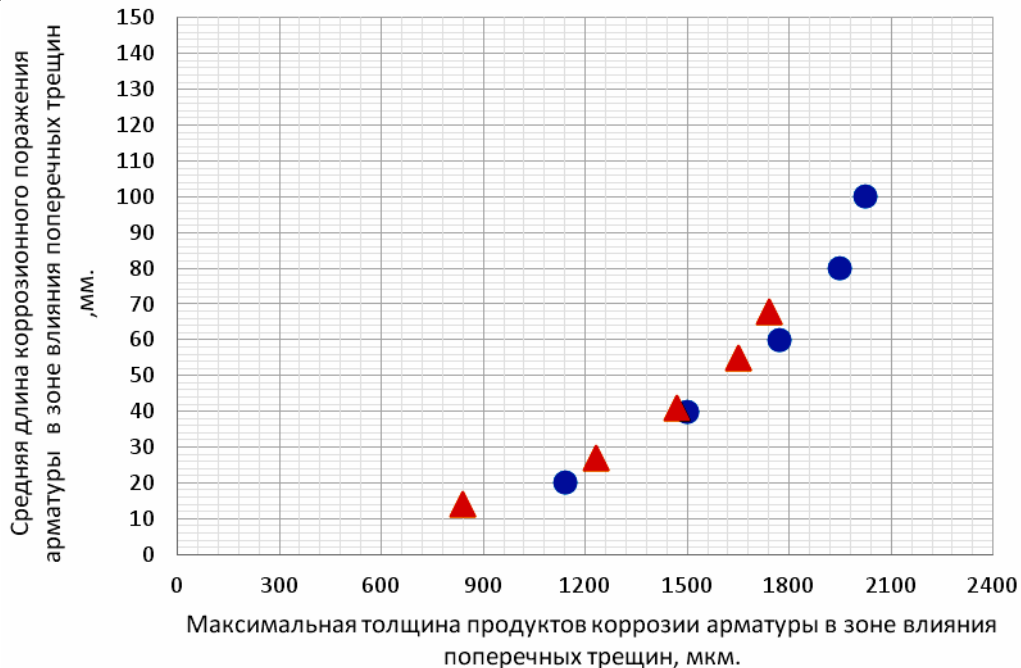


Рис. 3.18. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=30, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозионного поражения арматуры, $\delta_{п.к}^{\text{max}}$, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в три раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – класс А-I, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (1140; 20), $a_{crc} = 0,20$ (1500;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (1770;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (1950;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (2025; 100), треугольник – класс А-III, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (840; 14), $a_{crc} = 0,20$ мм (1230;27), $a_{crc} = 0,30$ (1470;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (1650;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (1740; 68).

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин, с максимальной глубиной коррозии арматуры, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 1.26 и 3.18 приведена на рис. 3.19–3.21.

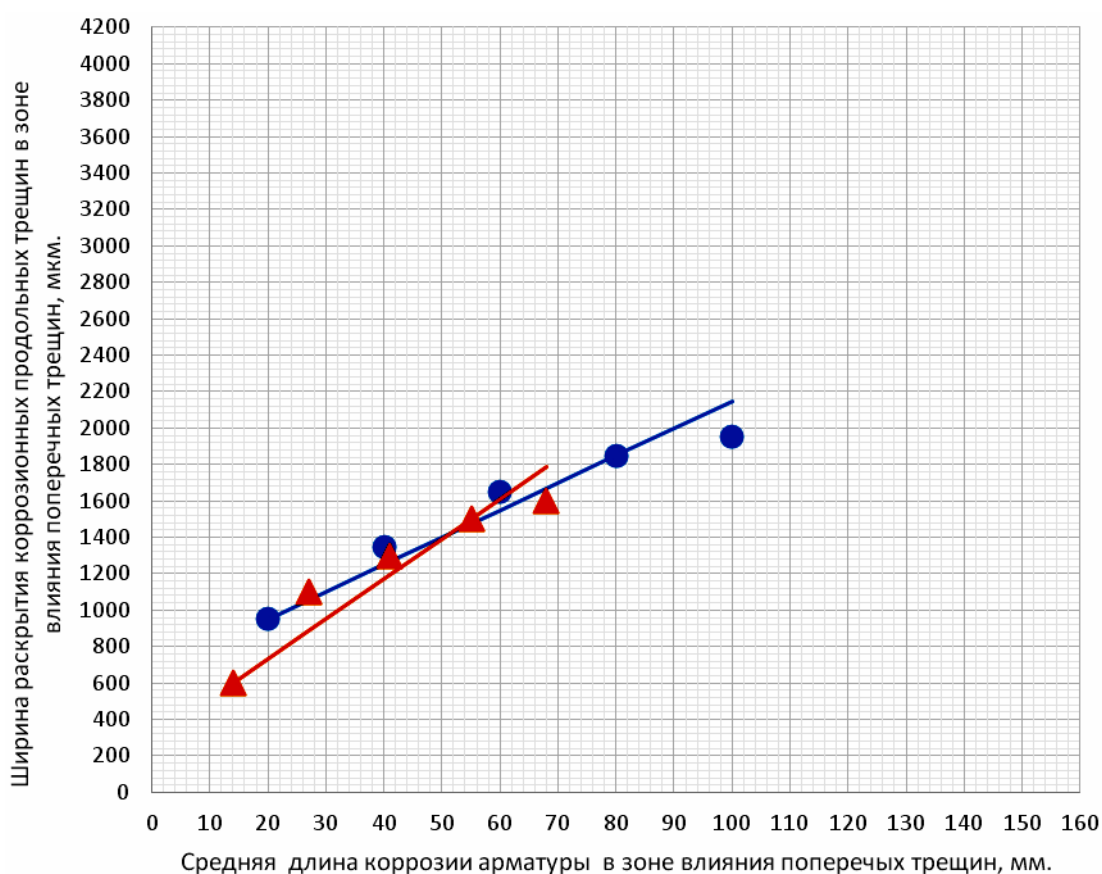


Рис. 3.19. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $l_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при нижней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20; 950), $a_{crc} = 0,20$ мм (40; 1350), $a_{crc} = 0,30$ мм (60; 1650), $a_{crc} = 0,40$ мм (80; 1850), $a_{crc} = 0,50$ мм (100; 1950). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (14; 600), $a_{crc} = 0,20$ (27; 1100), $a_{crc} = 0,30$ (41; 1300), $a_{crc} = 0,40$ мм (55; 1500), $a_{crc} = 0,50$ мм (68; 1600).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{прод} = 650 + 15 \cdot \ell_{кор}^{сред}$; треугольник – $a_T^{прод} = 293 + 21,95 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

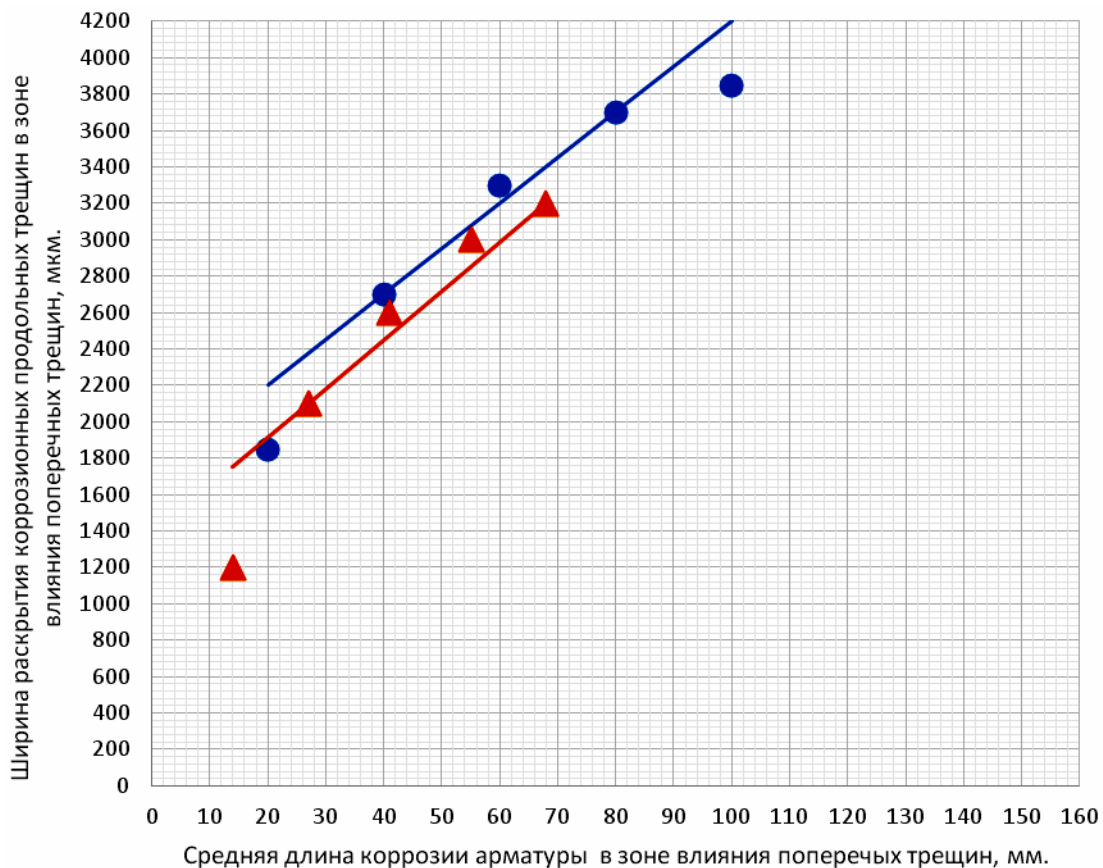


Рис. 3.20. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20; 1850), $a_{crc} = 0,20$ мм (40; 2700), $a_{crc} = 0,30$ мм (60; 3300), $a_{crc} = 0,40$ мм (80; 3700), $a_{crc} = 0,50$ мм (100; 3850). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие

значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (14; 1200), $a_{crc} = 0,20$ (27; 2100), $a_{crc} = 0,30$ (41; 2600), $a_{crc} = 0,40$ мм (55; 3000), $a_{crc} = 0,50$ мм (68; 3200).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{прод} = 1700 + 25 \cdot \ell_{кор}^{сред}$; треугольник – $a_T^{прод} = 1376 + 26,83 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

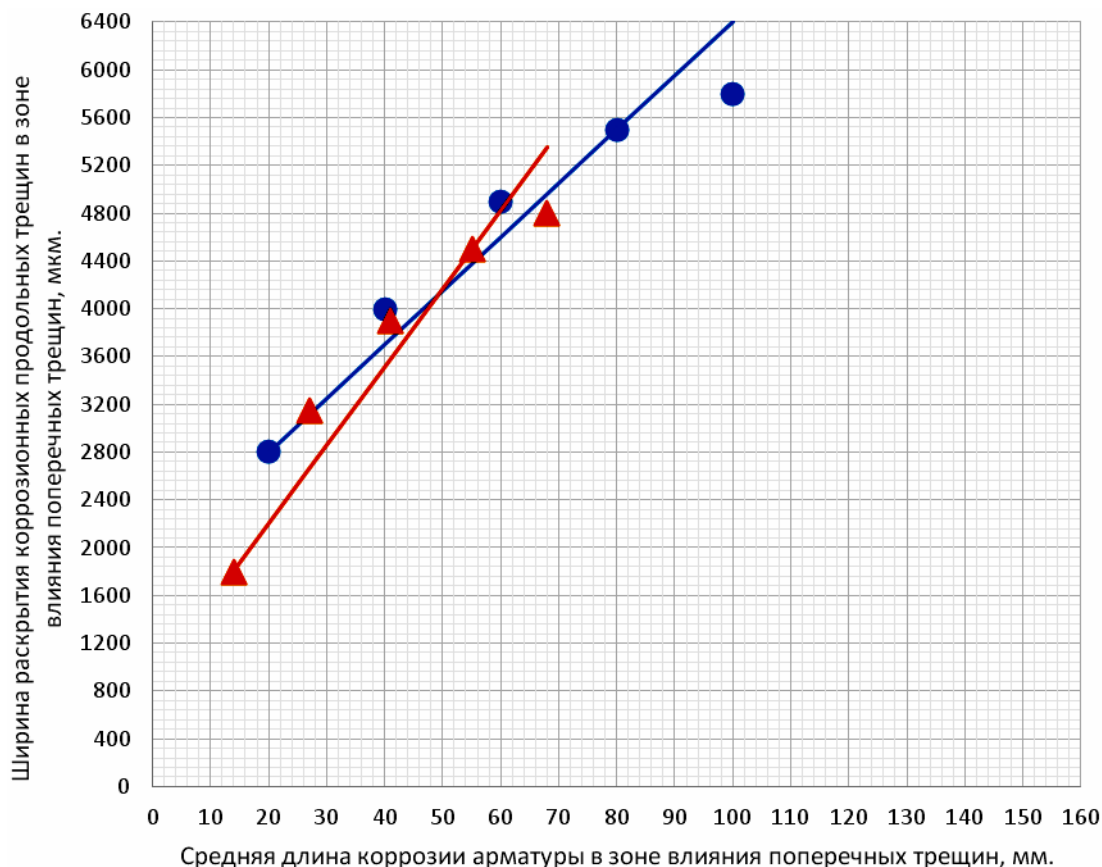


Рис. 3.21. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;2800), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;4000), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;4900), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;5500), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;5800). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (14; 1800), $a_{crc} = 0,20$ (27;3150), $a_{crc} = 0,30$ (41;3900), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;4500), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;4800).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{прод} = 1900 + 45 \cdot \ell_{кор}^{сред}$; треугольник – $a_T^{прод} = 878 + 65,85 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

В сводной табл. 3.6 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и от средней длины коррозии арматуры классов А-I и А-III, при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.3.22 и 3.23), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

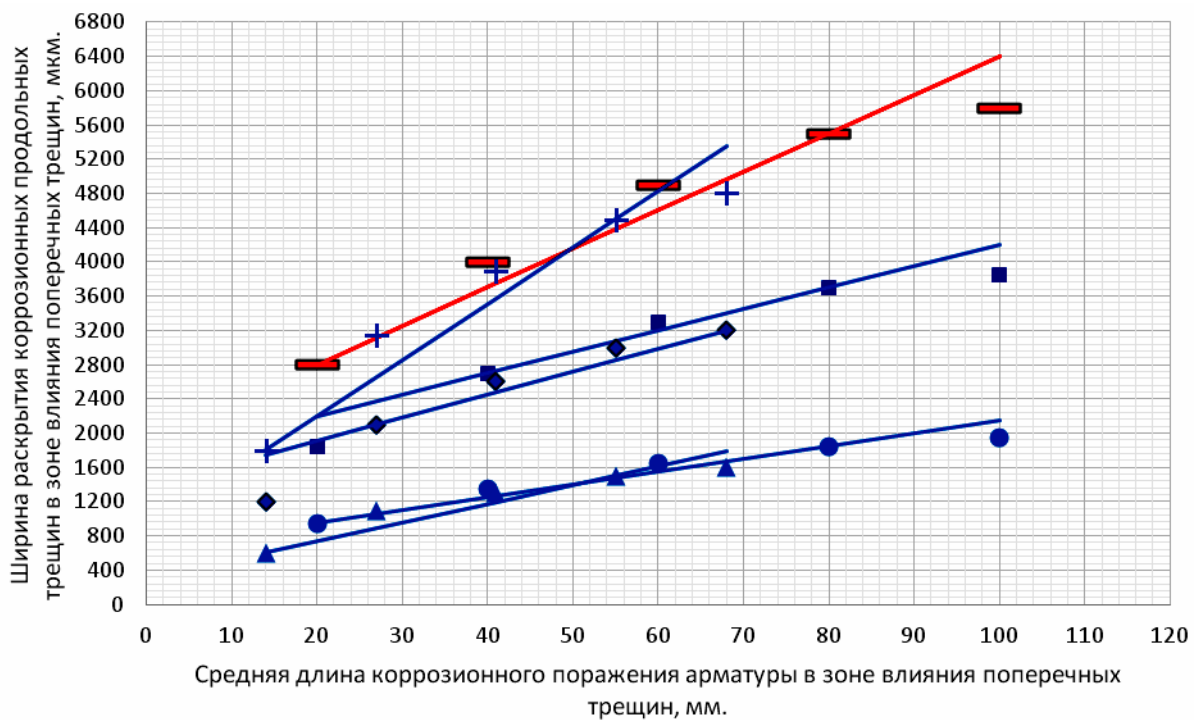


Рис. 3.22. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В 30, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-III и А-I $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин, с учётом максимальной глубины поражения арматуры и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 3.19–3.21 при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечки – класс А-III. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;950), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;1350), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;1650), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;1850), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;1950) – $a_T^{прод} = 650 + 15 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (14;600), $a_{crc} = 0,20$ мм (27;1100), $a_{crc} = 0,30$ мм (41;1300), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;1500), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;1600) – $a_T^{прод} = 293 + 21,95 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;1850), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;2700), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;3300), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;3700), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;3850) – $a_T^{прод} = 1700 + 25 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (14;1200), $a_{crc} = 0,20$ мм (27;2100), $a_{crc} = 0,30$ мм (41;2600), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;3000), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;3200) – $a_T^{прод} = 1376 + 26,83 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;2800), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;4000), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;4900), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;5500), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;5800) – $a_T^{прод} = 1900 + 45 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (14;1800), $a_{crc} = 0,20$ мм (27;3150), $a_{crc} = 0,30$ мм (41;3900), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;4500), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;4800) – $a_T^{прод} = 878 + 65,85 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

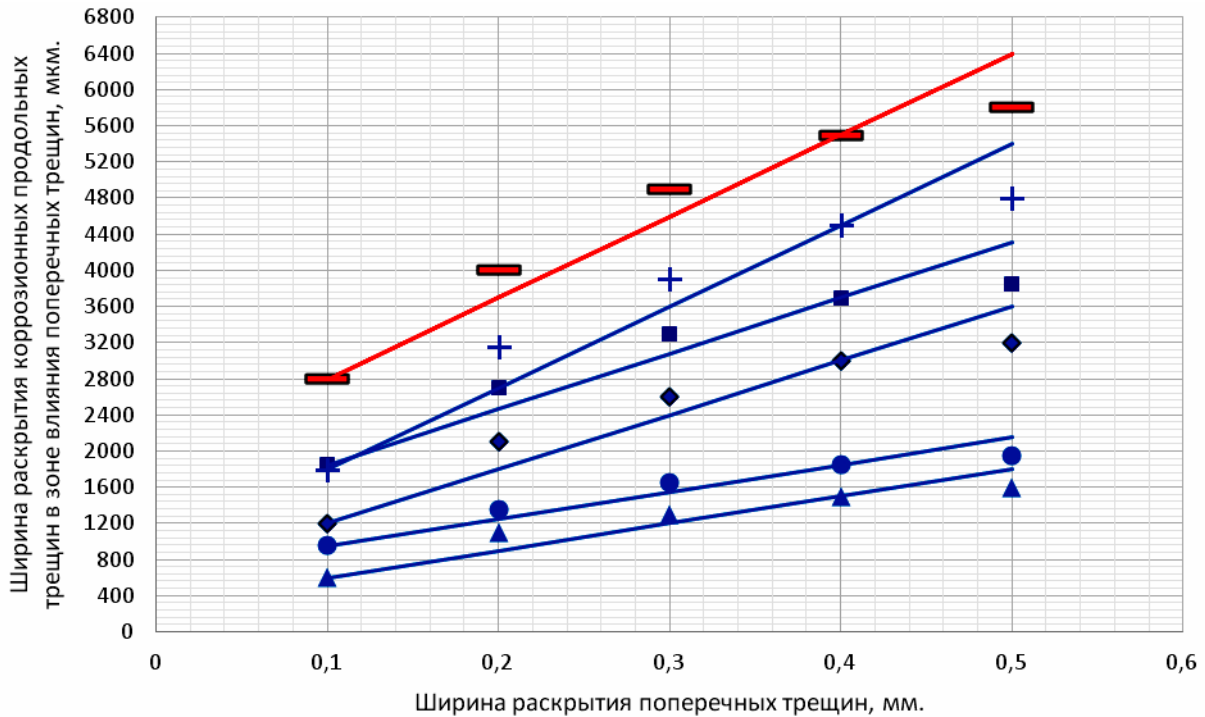


Рис. 3.23. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В 30, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.3.32 при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10; 950;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20; 1350;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1650;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1850;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1950;100) – $a_T^{prod} = 650 + 3000 \cdot a_{crc}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;600;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1100;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1300;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1500;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1600;68) – $a_T^{prod} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1850;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;2700;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;3300;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;3700;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;3850;100) – $a_T^{prod} = 1233 + 6167 \cdot a_{crc}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1200;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;2100;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;2600;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;3000;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;3200;68) – $a_T^{prod} = 600 + 6000 \cdot a_{crc}$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;2800;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;4000;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;4900;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;5500;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;5800;100) – $a_T^{prod} = 1900 + 9000 \cdot a_{crc}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1800;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;3150;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;3900;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;4500;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;4800;68) – $a_T^{prod} = 900 + 9000 \cdot a_{crc}$.

Т а б л и ц а 3.6

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при 3-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, с учётом воздействия постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Класс арматуры	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$ при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	А-III	600(14)	1100(27)	1300(41)	1500(55)	1600(68)	$a_T^{prod} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$
		600(14)	1100(27)	1300(41)	1500(55)	1600(68)	$a_T^{prod} = 293 + 21,95 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
	А-I	950(20)	1350(40)	1650(60)	1850(80)	1950(100)	$a_T^{prod} = 650 + 3000 \cdot a_{crc}$
		950(20)	1350(40)	1650(60)	1850(80)	1950(100)	$a_T^{prod} = 650 + 15 \cdot \ell_{кор}^{сред}$

Окончание табл. 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8
Средняя	А-III	1200(14)	2100(27)	2600(41)	3000(55)	3200(68)	$a_T^{\text{прод}} = 600 + 6000 \cdot a_{crc}$
		1200(14)	2100(27)	2600(41)	3000(55)	3200(68)	$a_T^{\text{прод}} = 1376 + 26,83 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$
	А-I	1850(20)	2700(40)	3300(60)	3700(80)	3850(100)	$a_T^{\text{прод}} = 1233 + 6167 \cdot a_{crc}$
		1850(20)	2700(40)	3300(60)	3700(80)	3850(100)	$a_T^{\text{прод}} = 1700 + 25 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$
Верхняя	А-III	1800(14)	3150(27)	3900(41)	4500(55)	4800(68)	$a_T^{\text{прод}} = 900 + 9000 \cdot a_{crc}$
		1800(14)	3150(27)	3900(41)	4500(55)	4800(68)	$a_T^{\text{прод}} = 878 + 65,85 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$
	А-I	2800(20)	4000(40)	4900(60)	5500(80)	5800(100)	$a_T^{\text{прод}} = 1900 + 9000 \cdot a_{crc}$
		2800(20)	4000(40)	4900(60)	5500(80)	5800(100)	$a_T^{\text{прод}} = 1900 + 45 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$

Примечание. $a_T^{\text{прод}}$ в мкм; в круглых скобках – $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм; a_{crc} в мм.

На рис. 3.24 согласно данным рис. 3.6 показаны графики и уравнения регрессии средней длины коррозии арматуры классов А-I и А-III в зоне влияния расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин, со средней глубиной коррозии арматуры, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали классов А-I и А-III, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 3.24 установлена на рис. 3,25–3.27.

В сводной табл. 3.7 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и от средней длины коррозии арматуры классов А-I и А-III, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.3.28 и 3.29), при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

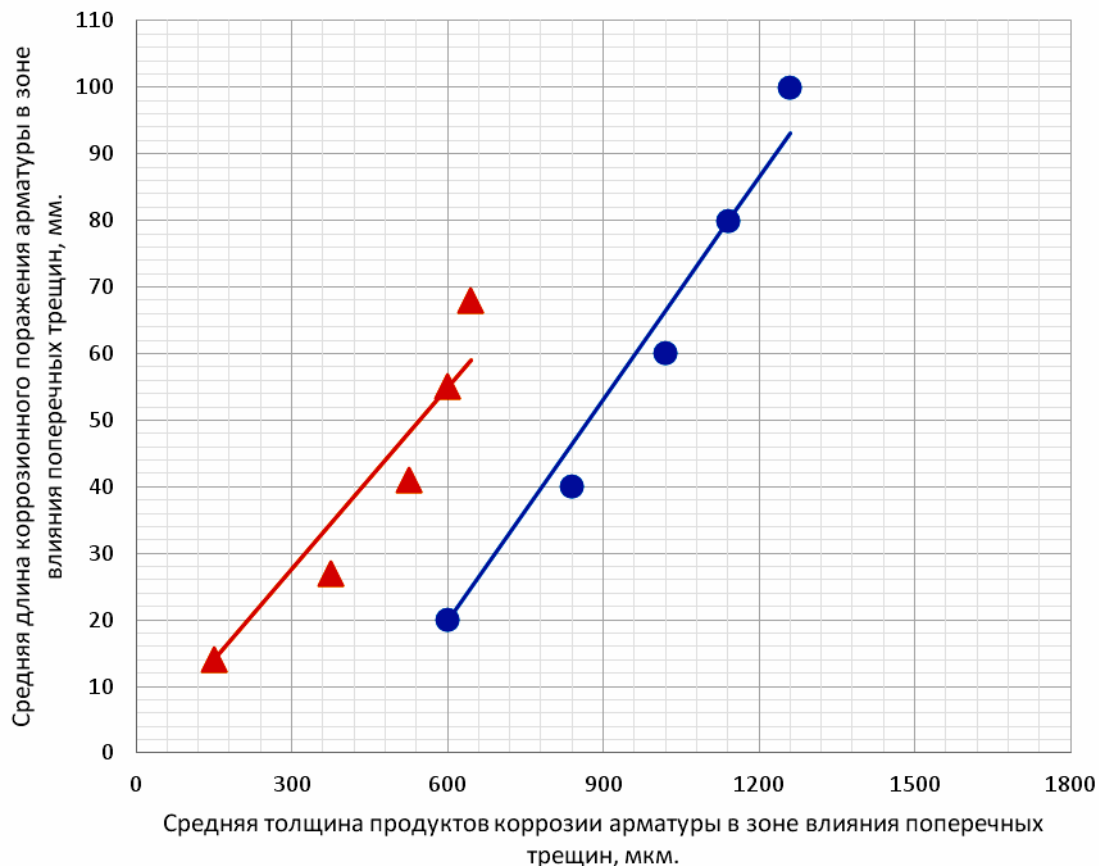


Рис. 3.24. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=30, в зависимости от средней толщины продуктов коррозионного поражения арматуры $\delta_{п.к}^{сред}$, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в три раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – класс А-I, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (600; 20), $a_{crc} = 0,20$ мм (840; 40), $a_{crc} = 0,30$ (940; 60), $a_{crc} = 0,40$ мм (1140; 80), $a_{crc} = 0,50$ мм (1260; 100); треугольник – класс А-III, значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (150; 14), $a_{crc} = 0,20$ мм (376; 27), $a_{crc} = 0,30$ (1525; 41), $a_{crc} = 0,40$ мм (600; 55), $a_{crc} = 0,50$ мм (645; 68).

Уравнения регрессии: окружность – $\ell_{кор}^{сред} = 0,111 \cdot \delta_{п.к}^{сред} - 46,7$; треугольник – $\ell_{кор}^{сред} = 0,33 + 0,091 \cdot \delta_{п.к}^{сред}$. Индекс п.к – продукты коррозии арматуры.

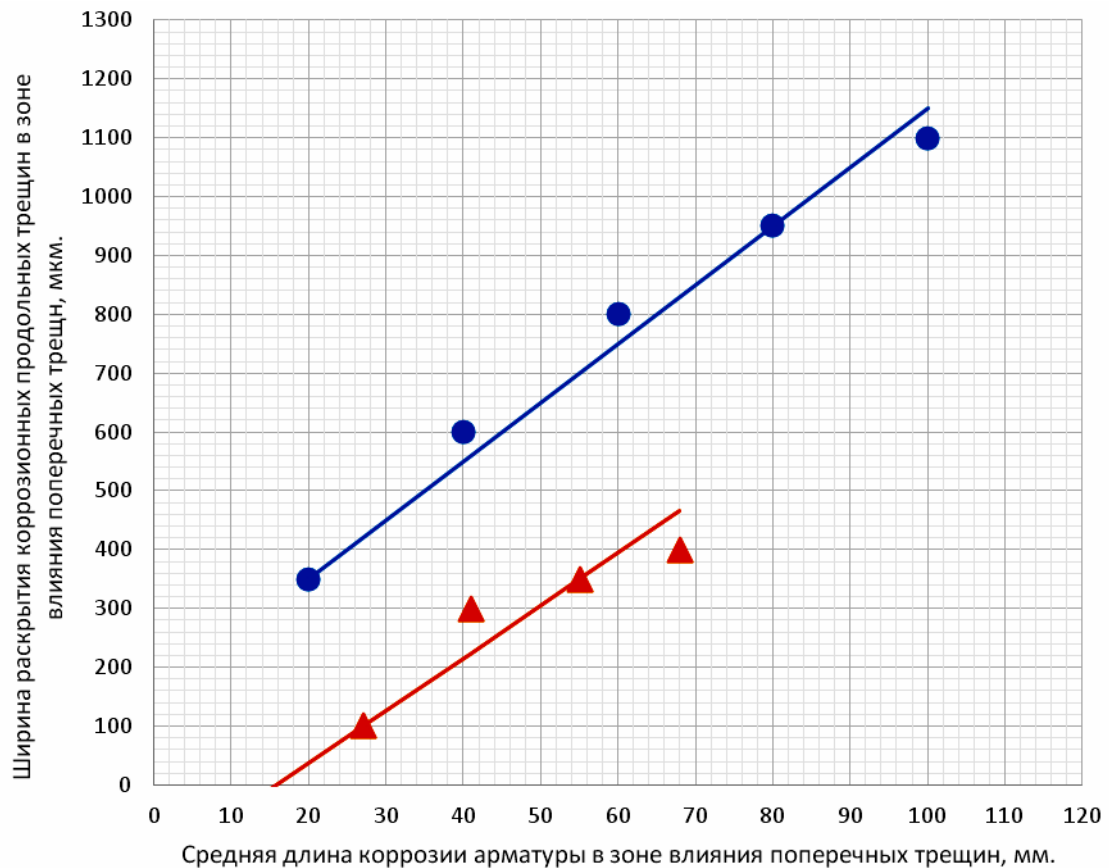


Рис. 3.25. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20; 350), $a_{crc} = 0,20$ (40; 600), $a_{crc} = 0,30$ мм (60; 800), $a_{crc} = 0,40$ мм (80; 950), $a_{crc} = 0,50$ мм (100; 1100). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (27; 100), $a_{crc} = 0,30$ мм (41; 300), $a_{crc} = 0,40$ мм (55; 350), $a_{crc} = 0,50$ мм (68; 400).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 150 + 10 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 8,93 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}} - 141$.

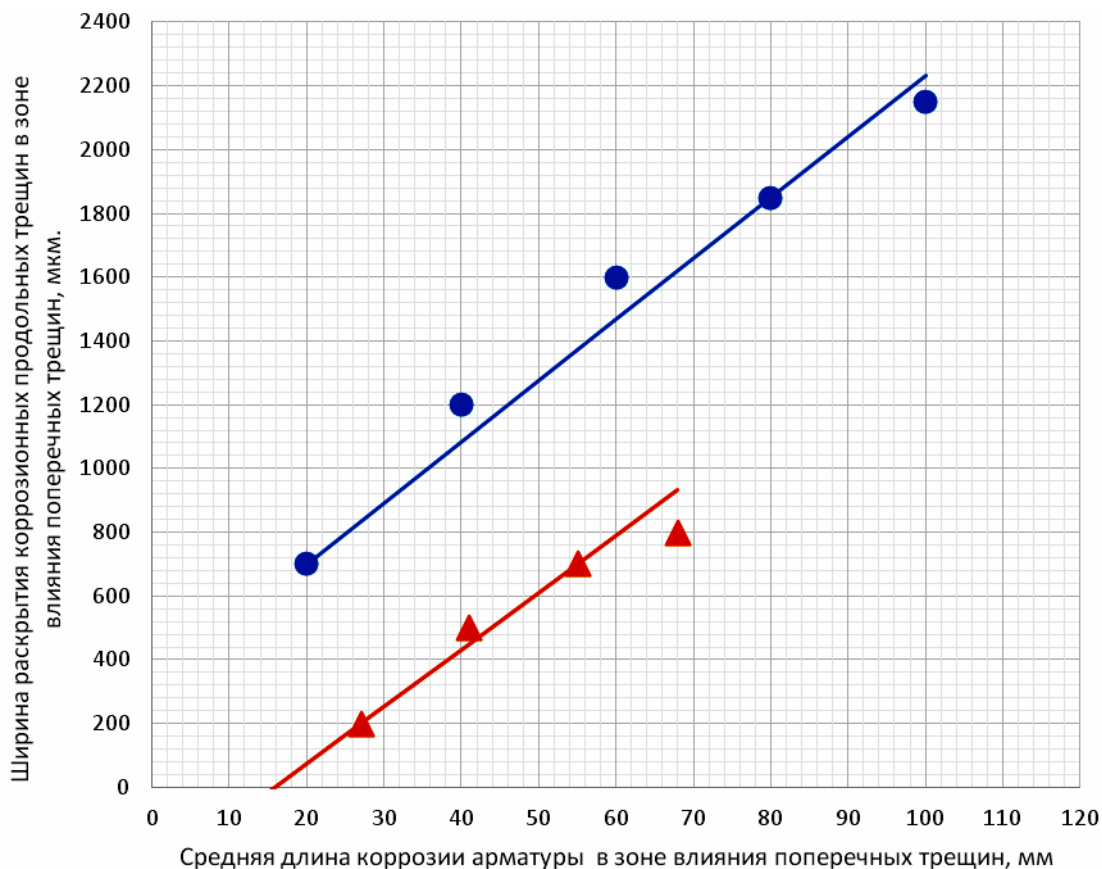


Рис. 3.26. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;700), $a_{crc} = 0,20$ (40;1200), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;1600), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;1850), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;2150). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (27; 200), $a_{crc} = 0,30$ мм (41; 500), $a_{crc} = 0,40$ мм (55; 700), $a_{crc} = 0,50$ мм (68; 800).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 317 + 19,17 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 17,87 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 283$.

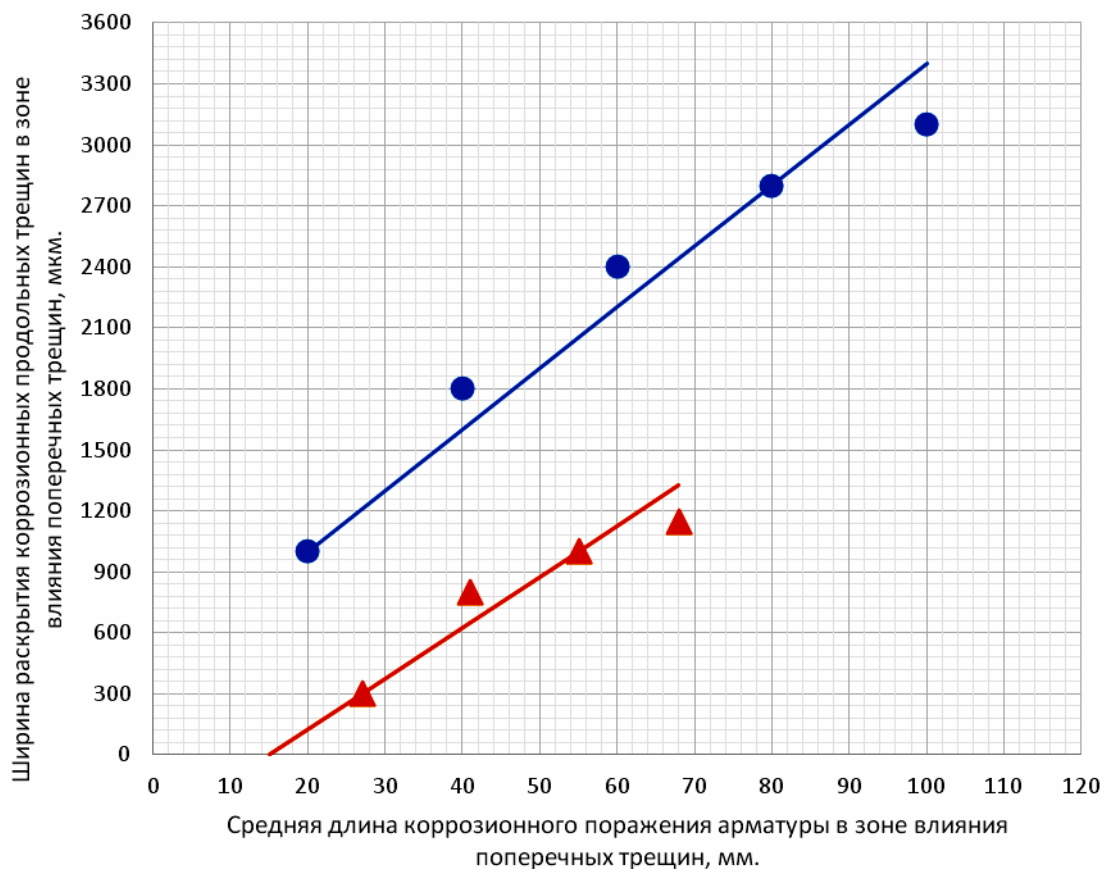


Рис. 3.27. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при верхней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;1000), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;1800), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;2400), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;2800), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;3100). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,20$ мм (27; 300), $a_{crc} = 0,30$ мм (41; 800), $a_{crc} = 0,40$ мм (55; 1000), $a_{crc} = 0,50$ мм (68; 800).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 400 + 30 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 25 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}} - 375$.

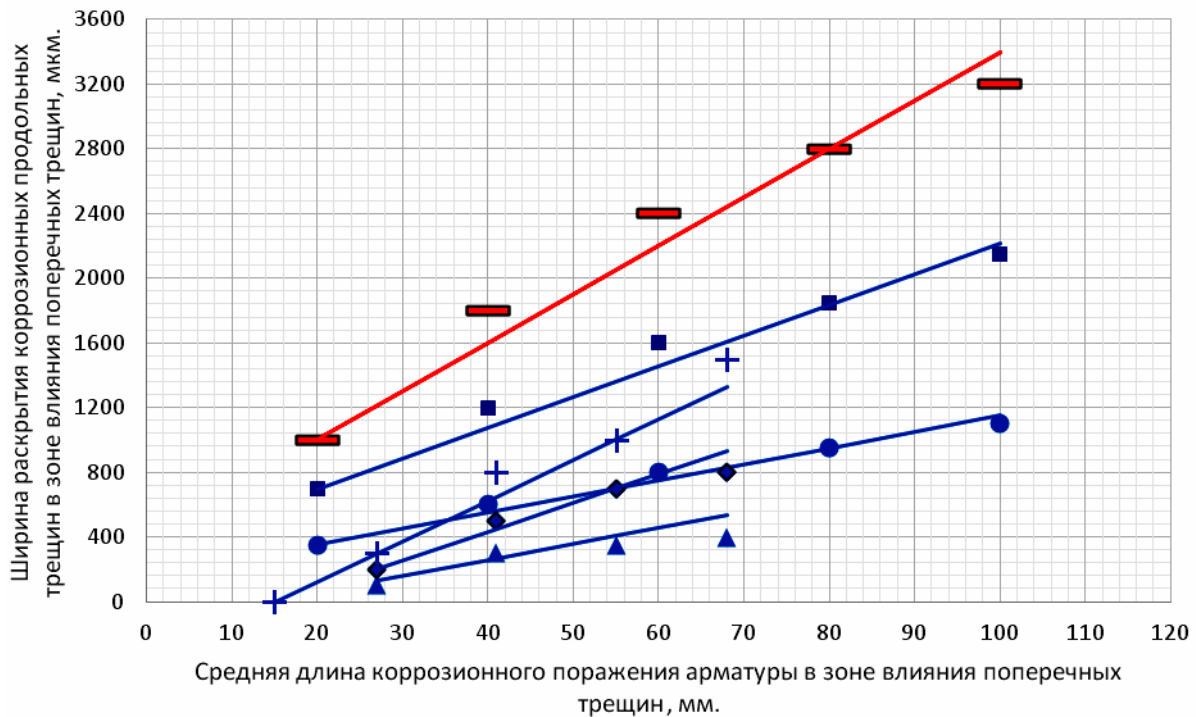


Рис. 3.28. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с толщиной защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В 30, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-III и А-I $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, с учётом средней глубины поражения арматуры и трехкратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 3.25–3.27 при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;350), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;600), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;800), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;950), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;1100) – $a_T^{\text{прод}} = 150 + 10 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (27;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (41;300), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;350), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;400) – $a_T^{\text{прод}} = 8,93 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}} - 141$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;700), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;1200), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;1600), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;1850), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;2150) – $a_T^{\text{прод}} = 317 + 19 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (27;200), $a_{crc} = 0,30$ мм (41;500), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;700), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;800) – $a_T^{\text{прод}} = 17,86 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}} - 283$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;1000), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;1800), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;2400), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;2800), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;3200) – $a_T^{\text{прод}} = 400 + 30 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (14;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (27;300), $a_{crc} = 0,30$ мм (41;800), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;1000), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;1500) – $a_T^{prod} = 25 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 375$.

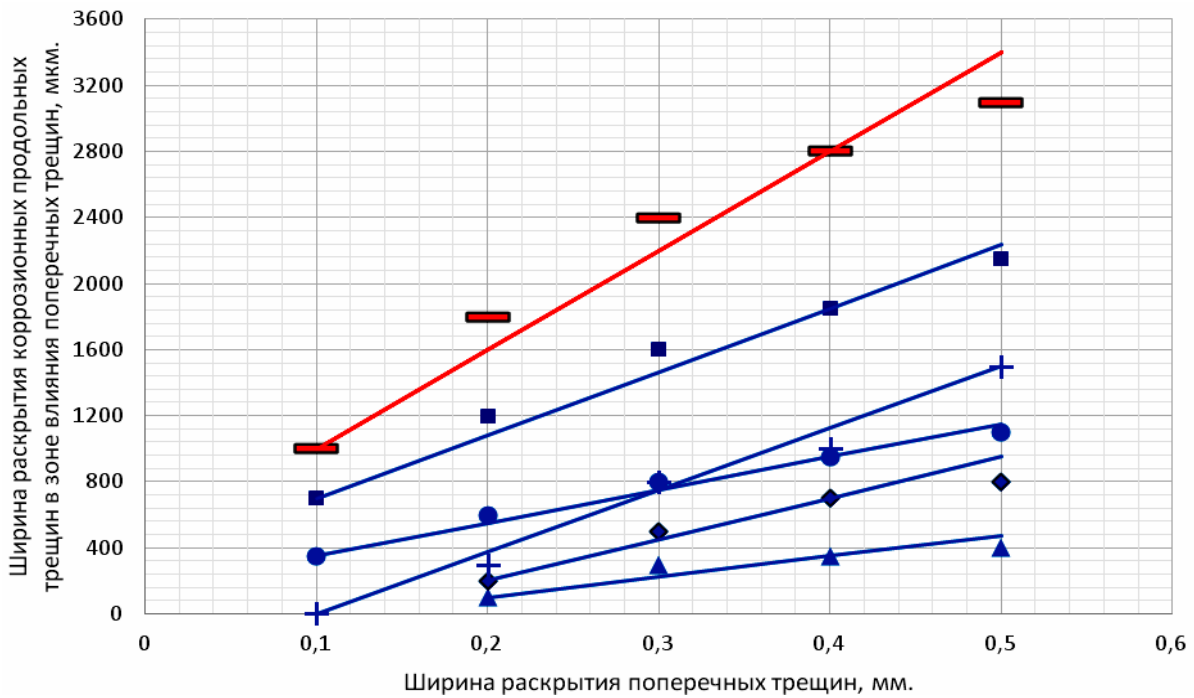


Рис. 3.29. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{сред}$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III.

Окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10; 350;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;600;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;800;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;950; 80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1100; 100) – $a_T^{prod} = 150 + 2000 \cdot a_{crc}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;100;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;300;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;350;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;400;68) – $a_T^{prod} = 1250 \cdot a_{crc} - 150$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,1;700;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1200;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1600;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1850;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;2150;100) – $a_T^{prod} = 317 + 3833 \cdot a_{crc}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;200;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;500;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;700;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;800;68) – $a_T^{prod} = 2500 \cdot a_{crc} - 300$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,1;1000;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1800;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;2400;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;2800;80) $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;3100;100) – $a_T^{prod} = 400 + 6000 \cdot a_{crc}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;0;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;300;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;800;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1000;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1500;68) – $a_T^{prod} = 3750 \cdot a_{crc} - 375$.

В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{сред}$, с учётом $\delta_{кор}^{сред}$, в мм.

Таблица 3.7

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис. 1.26 [257].	Класс арматуры	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$ при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
Нижняя	А-III	-	100(27)	300(41)	350(55)	400(68)	$a_T^{prod} = 1250 \cdot a_{crc} - 150$
		-	100(27)	300(41)	350(55)	400(68)	$a_T^{prod} = 8,93 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 141$
	А-I	350(20)	600(40)	800(60)	950(80)	1100(100)	$a_T^{prod} = 150 + 2000 \cdot a_{crc}$
		350(20)	600(40)	800(60)	950(80)	1100(100)	$a_T^{prod} = 150 + 10 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
Средняя	А-III	-	200(27)	500(41)	700(55)	800(68)	$a_T^{prod} = 2500 \cdot a_{crc} - 300$
		-	200(27)	500(41)	700(55)	800(68)	$a_T^{prod} = 17,86 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 283$
	А-I	700(20)	1200(40)	1600(60)	1850(80)	2150(100)	$a_T^{prod} = 317 + 3833 \cdot a_{crc}$
		700(20)	1200(40)	1600(60)	1850(80)	2150(100)	$a_T^{prod} = 317 + 19,17 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
Верхняя	А-III	0(15)	300(27)	800(41)	1000(55)	1500(68)	$a_T^{prod} = 2875 \cdot a_{crc} - 288$
		0(15)	300(27)	800(41)	1000(55)	1500(68)	$a_T^{prod} = 25 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 375$
	А-I	1000(20)	1800(40)	2400(60)	2800(80)	3200(100)	$a_T^{prod} = 40 + 6000 \cdot a_{crc}$
		1000(20)	1800(40)	2400(60)	2800(80)	3200(100)	$a_T^{prod} = 400 + 30 \cdot \ell_{кор}^{сред}$

Примечание. a_T^{prod} в мкм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{сред}$ в мм; a_{crc} в мм.

В табл.3.8 показаны абсолютные и относительные значения коррозионного поражения металла арматуры и продуктов коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III в зоне влияния поперечных трещин железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в области чистого изгиба, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки. Данные табл.3.8 показывают уменьшение отношения максимальной длины коррозии на арматуре класса А-I к арматуре класса А-III, с увеличением величины a_{crc} , имеющих значения 1,55 в $a_{crc} = 0,10$ мм и 1,12 в $a_{crc} = 0,50$ мм. В то же время, отношение средней длины коррозии соответственно на арматуре классов А-I и А-III с увеличением a_{crc} практически не изменяется, принимая количественные значения от 1,43 до 1,47.

Относительные значения средней глубины коррозионного поражения соответственно для классов арматуры А-I и А-III с увеличением a_{crc} уменьшаются с четырёх единиц в $a_{crc} = 0,10$ мм до величины 1,95 в $a_{crc} = 0,50$ мм.

В табл 3.9 приводятся значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин a_{crc} на поверхности защитного слоя бетона, с учётом максимальной и средней длины коррозии арматуры, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные соответствующие уравнения регрессии, для арматуры классов А-I и А-III, при увеличении толщины продуктов коррозии арматуры в три раза.

Анализ данных табл. 3.9 показывает не менее полуторное увеличение ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от коррозионного поражения арматуры класса А-I по отношению к арматуре класса А-III, в равных по величине a_{crc} , независимо от их абсолютных значений.

Абсолютные и относительные величины ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона с толщиной $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на железобетонных балках с размерами 2000×200×70 мм с рабочей арматурой классов А-I и А-III, при соответствующих зависимостях $a_T^{prod} = f(a_{crc}; \ell_{кор} \text{ от } \delta_{кор})$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры, представлены в табл. 3.10.

Данные табл. 3.10 показывают снижение относительных значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин с увеличением a_{crc} , соответственно для арматуры класса А-I по отношению к арматуре класса А-III. Так, например, при верхней функциональной прямой (рис.1.26) [257], для $a_T^{prod} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{сред})$, данный относительный показатель составляет значение 7,20 в $a_{crc} = 0,20$ мм и величину 2,67 в $a_{crc} = 0,50$ мм.

Таблица 3.8

Абсолютные и относительные значения характеристик коррозионного поражения арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III чистого металла арматуры и продуктов коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в области чистого изгиба, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки

$\ell_{кор}^{max}, \ell_{кор}^{cp}, \delta_{ч.м}^{max}, \delta_{прод.кор}^{max}$ $\delta_{ч.м}^{cp}, \delta_{прод.кор}^{cp}$	a_{crc} , мм									
	0,1		0,2		0,3		0,4		0,5	
	Абсолютные значения	Относительные значения	Абсолютные значения	Относительные значения	Абсолютные значения	Относительные значения	Абсолютные значения	Относительные значения	Абсолютные значения	Относительные значения
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\ell_{кор}^{max} \text{ А-I} / \ell_{кор}^{max} \text{ А-III}$, мм/мм	62/40	1,55	100/70	1,43	120/94	1,28	130/110	1,18	140/125	1,12
$\delta_{ч.м}^{max} \text{ А-I} / \delta_{ч.м}^{max} \text{ А-III}$, МКМ/МКМ	380/280	1,36	590/410	1,44	590/490	1,20	650/550	1,18	675/580	1,16
$\ell_{кор}^{max} / \delta_{ч.м}^{max} \text{ А-I}$, мм/МКМ ($\ell_{кор}^{max} / \delta_{ч.м}^{max} \text{ А-III}$), мм/МКМ	62/380 (40/280)	0,16 (0,14)	100/500 (70/410)	0,20 (0,17)	120/590 (94/490)	0,20 (0,09)	130/650 (110/550)	0,20 (0,20)	140/675 (125/580)	0,21 (0,22)
$\ell_{кор}^{max} / \delta_{п.к}^{max} \text{ А-I}$, мм/МКМ ($\ell_{кор}^{max} / \delta_{п.к}^{max} \text{ А-III}$), мм/МКМ	62/1140 (40/840)	0,05 (0,15)	100/1500 (70/1230)	0,07 (0,06)	120/1770 (94/1470)	0,07 (0,06)	130/1950 (110/1650)	0,07 (0,07)	140/2025 (125/1740)	0,07 (0,07)
$\ell_{кор}^{max} / \delta_{ч.м}^{cp} \text{ А-I}$, мм/МКМ $\ell_{кор}^{max} / \delta_{ч.м}^{cp} \text{ А-III}$, мм/МКМ	62/200 (40/50)	0,31 (0,80)	100/280 (70/125)	0,36 (0,56)	120/340 (94/175)	0,35 (0,54)	130/380 (110/200)	0,34 (0,55)	140/420 (125/215)	0,33 (0,58)
$\ell_{кор}^{cp} \text{ А-I} / \ell_{кор}^{cp} \text{ А-III}$, мм/мм	20/14	1,43	40/27	1,48	60/41	1,46	80/55	1,45	100/68	1,47

Окончание табл. 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\delta_{\text{ч.м}}^{\text{сп}} \text{A-I} / \delta_{\text{ч.м}}^{\text{сп}} \text{A-III}$, мм/мкм	200/50	4,00	280/125	2,24	340/175	1,94	380/200	1,90	420/215	1,95
$\ell_{\text{кор}}^{\text{сп}} / \delta_{\text{ч.м}}^{\text{сп}} \text{A-I}$, мм/мкм $(\ell_{\text{кор}}^{\text{сп}} / \delta_{\text{ч.м.}}^{\text{сп}} \text{A-III})$, мм/мкм	20/200 (14/50)	0,10 (0,28)	40/280 (27/125)	0,14 0,22	60/340 (41/175)	0,18 (0,23)	80/380 (55/200)	0,21 (0,28)	100/420 (68/215)	0,24 (0,32)
$\ell_{\text{кор}}^{\text{сп}} / \delta_{\text{п.к}}^{\text{сп}} \text{A-I}$, мм/мкм $(\ell_{\text{кор}}^{\text{сп}} / \delta_{\text{п.к}}^{\text{сп}} \text{A-III})$, мм/мкм	20/600 (14/150)	0,03 (0,09)	40/840 (27/375)	0,05 (0,07)	60/1020 (60/525)	0,06 (0,11)	80/1140 (55/600)	0,07 (0,09)	100/1260 (68/645)	0,08 (0,11)

Примечание: кор. – коррозия; ч.м – чистый металл арматуры; п.к – продукты коррозии металла; увеличение толщины продуктов коррозии металла в три раза, по сравнению с чистым металлом арматуры.

Таблица 3.9

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{3,с.б} = 25$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин $a_{срс}$ на поверхности защитного слоя бетона, с учётом максимальной и средней длины коррозии арматуры, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при увеличении толщины продуктов коррозии арматуры в три раза, с учётом воздействия постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения прямой на рис. 1.26 [257].	Класс арматуры	$a_T^{\text{прод}} = f(a_{срс}; \ell_{кор}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{кор}^{\text{max}}); a_T^{\text{прод}} = f(a_{срс}; \ell_{кор}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{кор}^{\text{сред}});$ $a_T^{\text{прод}} = f(a_{срс}; \ell_{кор}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{кор}^{\text{сред}}); a_T^{\text{прод}} = f(a_{срс}; \ell_{кор}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{кор}^{\text{max}})$					Уравнения регрессии: $\frac{a_T^{\text{прод}}}{a_{срс}} = f(a_{срс})$ $a_T^{\text{прод}} = f(\ell_{кор})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	А-III	600(40); 0(40) –; 600(14)	1100(70); 100(70) 100(27); 1100(27)	1300(94); 200(94) 300(41); 1300(41)	1500(110); 350(110) 350(55); 1500(55)	1600(125); 400(125) 400(68); 1600(68)	$a_T^{\text{прод}} = 300 + 3000 \cdot a_{срс}; a_T^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{срс} - 100$ $a_T^{\text{прод}} = 1250 \cdot a_{срс} - 150; a_T^{\text{прод}} = 300 + 3000 \cdot a_{срс}$
		600(40); 0(40) –; 600(14)	1100(70); 100(70) 100(27); 1100(27)	1300(94); 200(94) 300(41); 1300(41)	1500(110); 350(110) 350(55); 1500(55)	1600(125); 400(125) 400(68); 1600(68)	$a_T^{\text{прод}} = 85,7 + 12,88 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}}; a_T^{\text{прод}} = 5,45 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}} - 282;$ $a_T^{\text{прод}} = 10 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}} - 141; a_T^{\text{прод}} = 293 + 21,95 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}}$
	А-I	950(62); 350(62) 350(20); 950(20)	1350(100); 600(100) 600(40); 1350(40)	1650(120); 800(120) 800(60); 1650(60)	1850(130); 940(130) 950(80); 1850(80)	1950(140); 1100(140) 1100(100); 1950(100)	$a_T^{\text{прод}} = 650 + 3000 \cdot a_{срс}; a_T^{\text{прод}} = 153 + 1967 \cdot a_{срс};$ $a_T^{\text{прод}} = 150 + 2000 \cdot a_{срс}; a_T^{\text{прод}} = 650 + 3000 \cdot a_{срс}$
		950(62); 350(62) 350(20); 950(20)	1350(100); 600(100) 600(40); 1350(40)	1650(120); 800(120) 800(60); 1650(60)	1850(130); 940(130) 950(80); 1850(80)	1950(140); 1100(140) 1100(100); 1950(100)	$a_T^{\text{прод}} = 15,51 + 12,82 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}}; a_T^{\text{прод}} = 7,76 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}} - 131$ $a_T^{\text{прод}} = 150 + 10 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}}; a_T^{\text{прод}} = 650 + 15 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}}$
Средняя	А-III	1200(40); 0(40) –; 1200(14)	2100(70); 150(70) 200(27); 2100(27)	2600(94); 500(94) 500(41); 2600(41)	3000(110); 650(110) 700(55); 3000(55)	3200(125); 850(125) 800(68); 3200(68)	$a_T^{\text{прод}} = 600 + 6000 \cdot a_{срс}; a_T^{\text{прод}} = 2125 \cdot a_{срс} - 213;$ $a_T^{\text{прод}} = 2500 \cdot a_{срс} - 300; a_T^{\text{прод}} = 600 + 6000 \cdot a_{срс}$
		1200(40); 0(40) –; 1200(14)	2100(70); 150(70) 200(27); 2100(27)	2600(94); 500(94) 500(41); 2600(41)	3000(110); 650(110) 700(55); 3000(55)	3200(125); 850(125) 800(68); 3200(68)	$a_T^{\text{прод}} = 17,1 + 25,71 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}}; a_T^{\text{прод}} = 12,73 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}} - 741;$ $a_T^{\text{прод}} = 17,86 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}} - 283; a_T^{\text{прод}} = 1376 + 26,83 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}}$

Окончание табл. 3.9

1	2	3	4	5	6	7	8
	А-І	1850(62); 600(62) 700(20); 1850(20)	2700(100); 1200(100) 1200(40); 2700(40)	3300(120); 1550(120) 1600(60); 3300(60)	3700(130); 1900(130) 1850(80); 3700(80)	3850(140); 2050(140) 2150(100); 3850(100)	$a_T^{\text{прод}} = 1233 + 6167 \cdot a_{\text{срс}} ; a_T^{\text{прод}} = 167 + 4333 \cdot a_{\text{срс}}$ $a_T^{\text{прод}} = 317 + 3833 \cdot a_{\text{срс}} ; a_T^{\text{прод}} = 1233 + 6167 \cdot a_{\text{срс}}$
		1850(62); 600(62) 700(20); 1850(20)	2700(100); 1200(100) 1200(40); 2700(40)	3300(120); 1550(120) 1600(60); 3300(60)	3700(130); 1900(130) 1850(80); 3700(80)	3850(140); 2050(140) 2150(100); 3850(100)	$a_T^{\text{прод}} = 260 + 25,64 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{макс}} ; a_T^{\text{прод}} = 18,59 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{макс}} - 553$ $a_T^{\text{прод}} = 317 + 19 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} ; a_T^{\text{прод}} = 1700 + 25 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$
Верхняя	А-ІІІ	1800(40); 0(40) 0(15); 1800(14)	3150(70); 250(70) 300(27); 3150(27)	3900(94); 700(94) 800(41); 3900(41)	4500(110); 1000(110) 1000(55); 4500(55)	4800(125); 1200(125) 1500(68); 4800(68)	$a_T^{\text{прод}} = 900 + 9000 \cdot a_{\text{срс}} ; a_T^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{срс}} - 333$ $a_T^{\text{прод}} = 2875 \cdot a_{\text{срс}} - 288 ; a_T^{\text{прод}} = 900 + 9000 \cdot a_{\text{срс}}$
		1800(40); 0(40) 0(15); 1800(14)	3150(70); 250(70) 300(27); 3150(27)	3900(94); 700(94) 800(41); 3900(41)	4500(110); 1000(110) 1000(55); 4500(55)	4800(125); 1200(125) 1500(68); 4800(68)	$a_T^{\text{прод}} = 257 + 38,57 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{макс}} ; a_T^{\text{прод}} = 18,75 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{макс}} - 1063$ $a_T^{\text{прод}} = 25 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 375 ; a_T^{\text{прод}} = 878 + 65,85 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$
	А-І	2800(62); 1000(62) 1000(20); 2800(20)	4000(100); 1800(100) 1800(40); 4000(40)	4900(120); 2400(120) 2400(60); 4900(60)	5500(130); 2800(130) 2800(80); 5500(80)	5800(140); 3200(140) 3100(100); 5800(100)	$a_T^{\text{прод}} = 1900 + 9000 \cdot a_{\text{срс}} ; a_T^{\text{прод}} = 400 + 6000 \cdot a_{\text{срс}}$ $a_T^{\text{прод}} = 400 + 6000 \cdot a_{\text{срс}} ; a_T^{\text{прод}} = 1900 + 9000 \cdot a_{\text{срс}}$
		2800(62); 1000(62) 1000(20); 2800(20)	4000(100); 1800(100) 1800(40); 4000(40)	4900(120); 2400(120) 2400(60); 4900(60)	5500(130); 2800(130) 2800(80); 5500(80)	5800(140); 3200(140) 3100(100); 5800(100)	$a_T^{\text{прод}} = 415 + 38,46 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{макс}} ; a_T^{\text{прод}} = 26,47 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{макс}} - 641$ $a_T^{\text{прод}} = 400 + 30 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} ; a_T^{\text{прод}} = 1900 + 45 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$

Примечание. В круглых скобках указаны численные значения длины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин. Значения $\ell_{\text{кор}}$ и $a_{\text{срс}}$ в мм; $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

Таблица 3.10

Влияние профиля рабочей арматуры на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона с толщиной $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных балок с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой класса А-III и класса А-I, при соответствующих зависимостях $a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор} \text{ от } \delta_{кор})$, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, с учётом воздействия постоянной изгибающей нагрузки

Расположение функциональной прямой на рис.1.26 [257]	Зависимость $a_T^{прод}$	Класс арматуры	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм				
				0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нижняя	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$	А-I	$a_T^{прод} = 650 + 3000 \cdot a_{crc}$	950(62)	1350(100)	1650(120)	1850(130)	1950(140)
		А-III	$a_T^{прод} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$	600(40)	1100(70)	1300(94)	1500(110)	1600(125)
		Отношение:		1,58(1,55)	1,23(1,43)	1,27(1,28)	1,23(1,18)	1,22(1,12)
	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{сред})$	А-I	$a_T^{прод} = 153 + 1967 \cdot a_{crc}$	350(62)	600(100)	800(120)	940(130)	1100(140)
		А-III	$a_T^{прод} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$	0(40)	100(70)	200(94)	350(110)	400(125)
		Отношение		-(1,55)	6(1,43)	4(1,28)	2,69(1,18)	2,75(1,12)
	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$	А-I	$a_T^{прод} = 650 + 3000 \cdot a_{crc}$	950(20)	1350(40)	1650(60)	1850(80)	1950(100)
		А-III	$a_T^{прод} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$	600(14)	1100(27)	1300(41)	1500(55)	1600(68)
		Отношение:		1,58(1,43)	1,23(1,48)	1,27(1,46)	1,23(1,45)	1,12(1,47)
	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{сред})$	А-I	$a_T^{прод} = 150 + 2000 \cdot a_{crc}$	350(20)	600(40)	800(60)	950(80)	1100(100)
		А-III	$a_T^{прод} = 1250 \cdot a_{crc} - 150$	-	100(27)	300(41)	350(55)	400(68)
		Отношение:		-	6(1,48)	2,67(1,46)	2,71(1,45)	2,75(1,47)
Средняя	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$	А-I	$a_T^{прод} = 1233 + 6167 \cdot a_{crc}$	1850(62)	2700(100)	3300(120)	3700(130)	3850(140)
		А-III	$a_T^{прод} = 600 + 6000 \cdot a_{crc}$	1200(40)	2100(70)	2600(94)	3000(110)	3200(125)
		Отношение:		1,54(1,55)	1,29(1,43)	1,27(1,28)	1,23(1,18)	1,20(1,12)

Окончание табл. 3.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{cpc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 167 + 4333 \cdot a_{\text{cpc}}$	600(62)	1200(100)	1550(120)	1900(130)	2050(140)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2125 \cdot a_{\text{cpc}} - 213$	0(40)	150(70)	500(94)	650(110)	850(125)
		Отношение:		- (1,55)	8(1,43)	3,1(1,28)	2,92(1,18)	2,41(1,12)
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{cpc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1233 + 6167 \cdot a_{\text{cpc}}$	1850(20)	2700(40)	3300(60)	3700(80)	3850(100)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 600 + 6000 \cdot a_{\text{cpc}}$	1200(14)	2100(27)	2600(41)	3000(55)	3200(68)
		Отношение:		1,54(1,43)	1,29(1,48)	1,27(1,46)	1,23(1,45)	1,20(1,47)
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{cpc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 317 + 3833 \cdot a_{\text{cpc}}$	700(20)	1200(40)	1600(60)	1850(80)	2150(100)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2500 \cdot a_{\text{cpc}} - 300$	-	200(27)	500(41)	700(55)	800(68)
		Отношение:		-	6(1,48)	3,2(1,46)	2,64(1,45)	2,69(1,47)
Верхняя	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{cpc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1900 + 9000 \cdot a_{\text{cpc}}$	2800(62)	4000(100)	4900(120)	5500(130)	5800(140)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 900 + 9000 \cdot a_{\text{cpc}}$	1800(40)	3150(70)	3900(94)	4500(110)	4800(125)
		Отношение:		1,56(1,55)	1,27(1,43)	1,26(1,28)	1,22(1,18)	1,21(1,12)
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{cpc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 400 + 6000 \cdot a_{\text{cpc}}$	1000(62)	1800(100)	2400(120)	2800(130)	3200(140)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3333 \cdot a_{\text{cpc}} - 333$	0(40)	250(70)	700(94)	1000(110)	1200(125)
		Отношение:		- (1,55)	7,2(1,43)	3,43(1,28)	2,8(1,18)	2,67(1,12)
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{cpc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1900 + 9000 \cdot a_{\text{cpc}}$	2800(20)	4000(40)	4000(60)	5500(80)	5800(100)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 900 + 9000 \cdot a_{\text{cpc}}$	1800(14)	3150(27)	3900(41)	4500(55)	4800(68)
		Отношение:		1,56(1,43)	1,27(1,48)	1,26(1,46)	1,22(1,45)	1,21(1,47)
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{cpc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 40 + 6000 \cdot a_{\text{cpc}}$	1000(20)	1800(40)	2400(60)	2800(80)	3200(100)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2875 \cdot a_{\text{cpc}} - 288$	0(15)	300(27)	800(41)	1000(55)	1500(68)
		Отношение:		- (1,33)	6(1,48)	3(1,46)	2,8(1,45)	2,13(1,47)

Пр и м е ч а н и е . В круглых скобках указаны численные значения длины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин. Значения $\ell_{\text{кор}}$ и a_{cpc} в мм; $a_{\Gamma}^{\text{прод}}$ в мкм.

Таблица 3.11

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III и толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зависимости от абсолютных и относительных значений максимальной $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{max}$ и средней $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{сред}$ длины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба, с учётом трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения прямой на рис.1.26 [257]	Класс арматуры	$a_T^{прод}(\ell_{кор}^{max})/a_T^{прод}(\ell_{кор}^{сред})$ в соответствующих a_{crc}					Уравнения регрессии.
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	А-I	$\frac{950(62)}{350(20)}$	$\frac{1350(100)}{600(40)}$	$\frac{1650(120)}{800(60)}$	$\frac{1850(130)}{950(80)}$	$\frac{1950(140)}{1100(100)}$	$a_T^{прод} = 155,1 + 12,82 \cdot \ell_{кор}^{max}$ $a_T^{прод} = 150 + 10 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
		2,7(3,1)	2,3(2,5)	2,1(2)	1,9(1,6)	1,8(1,4)	
	А-III	–	$\frac{1100(70)}{100(27)}$	$\frac{1300(60)}{300(41)}$	$\frac{1500(110)}{350(55)}$	$\frac{1650(120)}{400(68)}$	$a_T^{прод} = 85,7 + 12,86 \cdot \ell_{кор}^{max}$ $a_T^{прод} = 8,93 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 141$
		–	11(2,6)	4,3(1,5)	4,3(3,1)	4,3(1,8)	
Средняя	А-I	$\frac{1850(62)}{700(20)}$	$\frac{2700(100)}{1200(40)}$	$\frac{3300(120)}{1600(60)}$	$\frac{3700(130)}{1850(80)}$	$\frac{3850(140)}{2150(100)}$	$a_T^{прод} = 260 + 25,64 \cdot \ell_{кор}^{max}$ $a_T^{прод} = 317 + 19,17 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
		2,6(3,1)	2,3(2,5)	2,1(2)	2(1,6)	1,8(1,4)	
	А-III	$\frac{1200(40)}{–}$	$\frac{2100(70)}{200(27)}$	$\frac{2600(94)}{500(41)}$	$\frac{3000(110)}{700(55)}$	$\frac{3200(125)}{800(68)}$	$a_T^{прод} = 171 + 25,71 \cdot \ell_{кор}^{max}$ $a_T^{прод} = 17,86 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 283$
		–	10,5(2,6)	5,2(2,3)	4,3(3)	4(1,8)	

Окончание табл. 3.11

1	2	3	4	5	6	7	8
Верхняя	А-I	$\frac{2800(62)}{1000(20)}$	$\frac{4000(100)}{1800(40)}$	$\frac{4900(120)}{2400(60)}$	$\frac{5500(130)}{2800(80)}$	$\frac{5800(140)}{3100(100)}$	$a_T^{\text{прод}} = 415 + 38,46 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$
		2,8(5)	2,2(2,5)	2,1(2)	4,3(2)	1,9(1,4)	$a_T^{\text{прод}} = 400 + 30 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$
	А-III	$\frac{1800(40)}{-}$	$\frac{3150(70)}{300(27)}$	$\frac{3900(94)}{800(41)}$	$\frac{4500(110)}{1000(55)}$	$\frac{4800(125)}{1150(68)}$	$a_T^{\text{прод}} = 257 + 38,57 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$
		-	10,5(2,6)	4,9(2,3)	4,5(2)	4,2(1,8)	$a_T^{\text{прод}} = 25 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 375$

Примечание. $a_T^{\text{прод}}$ в мкм; в круглых скобках приведены максимальная и средняя длина коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин; в нижней части табличных ячеек указаны отношения соответствующих приведённых значений $a_T^{\text{прод}}(\ell_{\text{кор}}^{\text{max}})/a_T^{\text{прод}}(\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}})$.

Абсолютные и относительные величины ширины раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности бетона железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III и толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в зависимости от абсолютных и относительных значений максимальной $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{max}$ и средней $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{max}$ длины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин в защитном слое бетона в области чистого изгиба, с учётом трёхкратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки показаны в табл. 3.11.

Анализ данных табл. 3.11 свидетельствует о значительном большем относительном влиянии максимальной длины, по сравнению со средней длиной коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, на ширину раскрытия коррозионных продольных трещин для арматуры класса А-III по отношению к арматуре класса А-I.

3.1.3. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали

На рис. 3.30 согласно данным рис. 3.3 показано графическое изображение максимальной длины коррозии арматуры классов А-I и А-III в расчётных поперечных трещинах бетона в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры классов А-I и А-III, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин, с максимальной глубиной коррозии арматуры, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали классов А-I и А-III, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 3.30 приведена соответственно на рис. 3.31–3.33.

В сводной табл. 3.12 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры классов А-I и А-III, при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней

функциональных прямых (рис.3.34 и 3.35), при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

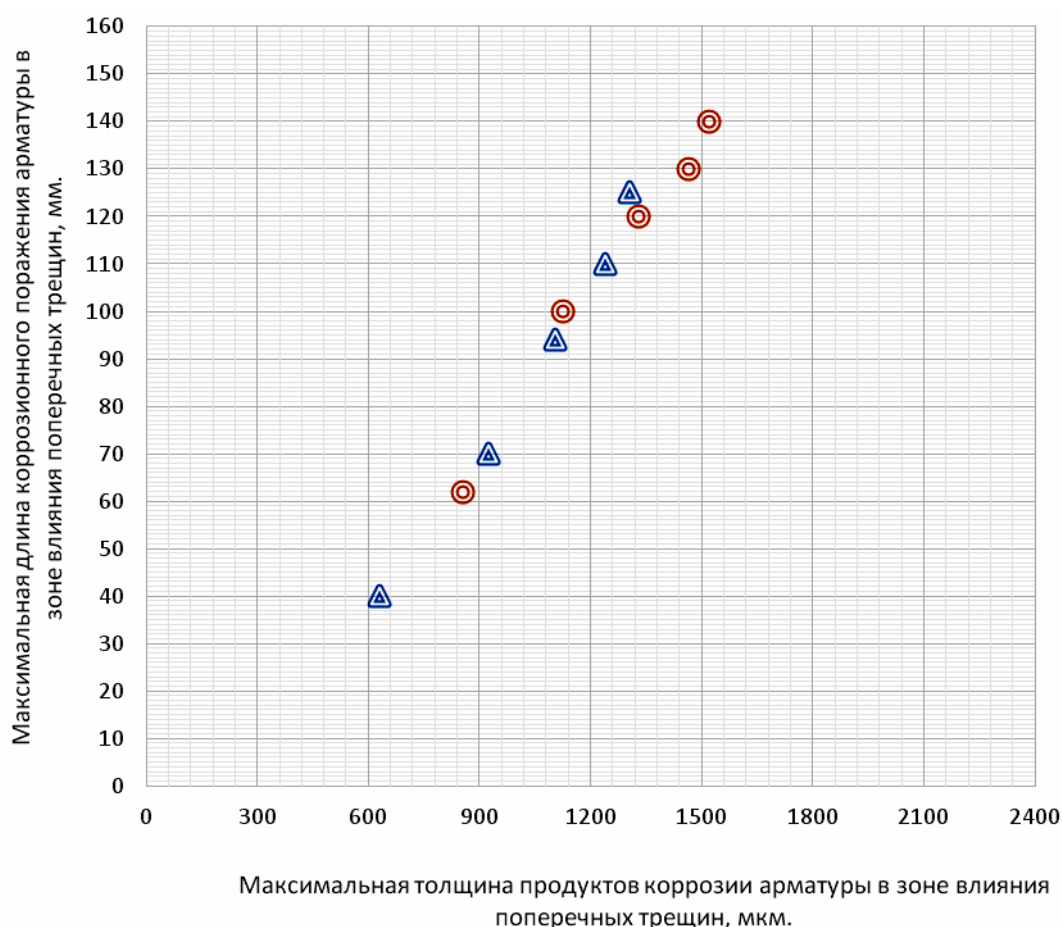


Рис. 3.30. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III $l_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=30, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{п.к}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,10 \div 0,5$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 2,25 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружность – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (855; 62), $a_{crc} = 0,20$ мм (1125; 100), $a_{crc} = 0,30$ мм (1328; 120), $a_{crc} = 0,40$ мм (1463; 130), $a_{crc} = 0,50$ мм (1519; 140); треугольник – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (630; 40), $a_{crc} = 0,20$ мм (923; 70), $a_{crc} = 0,30$ мм (1103; 94), $a_{crc} = 0,40$ мм (1238; 110), $a_{crc} = 0,50$ мм (1305; 125).

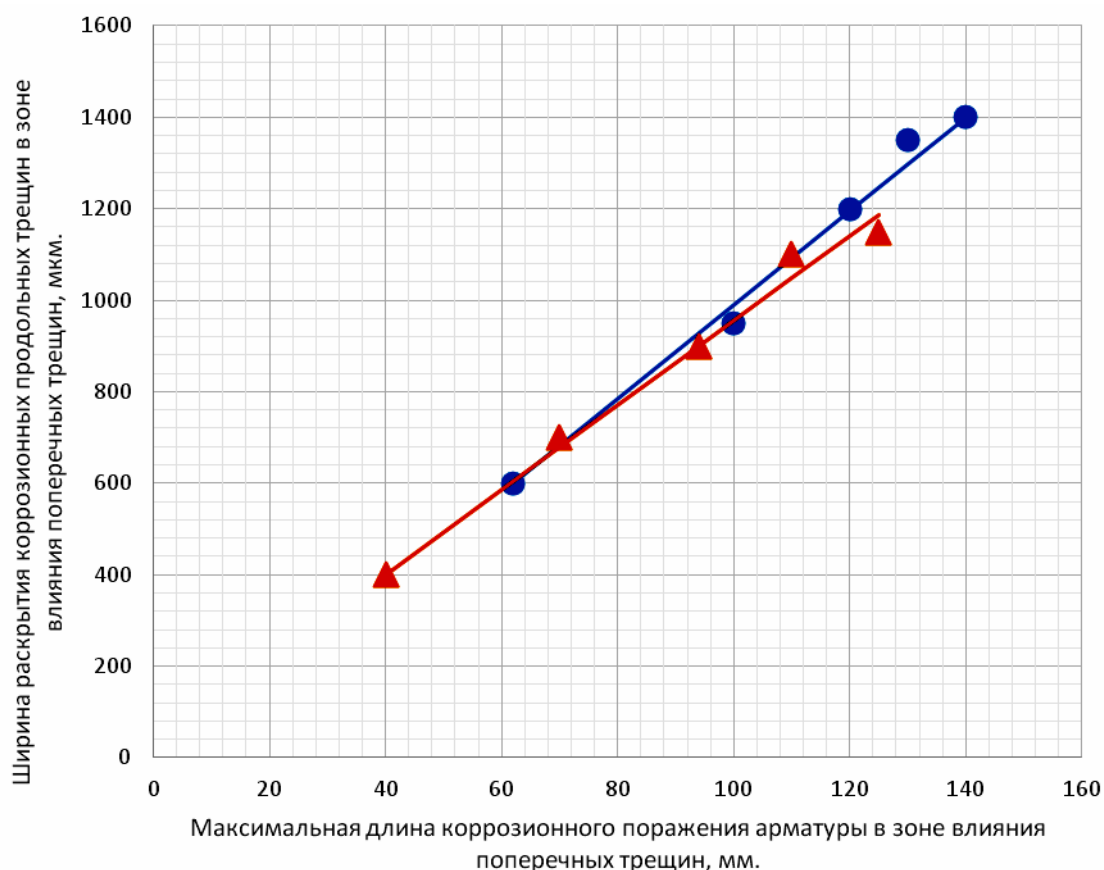


Рис. 3.31. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (62;600), $a_{crc} = 0,20$ (100;950), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;1200), $a_{crc} = 0,40$ мм (130; 1350), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;1400). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (40;400), $a_{crc} = 0,20$ (70; 700), $a_{crc} = 0,30$ (94; 900), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;1100), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;1150).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 10,26 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 36$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 30 + 9,26 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

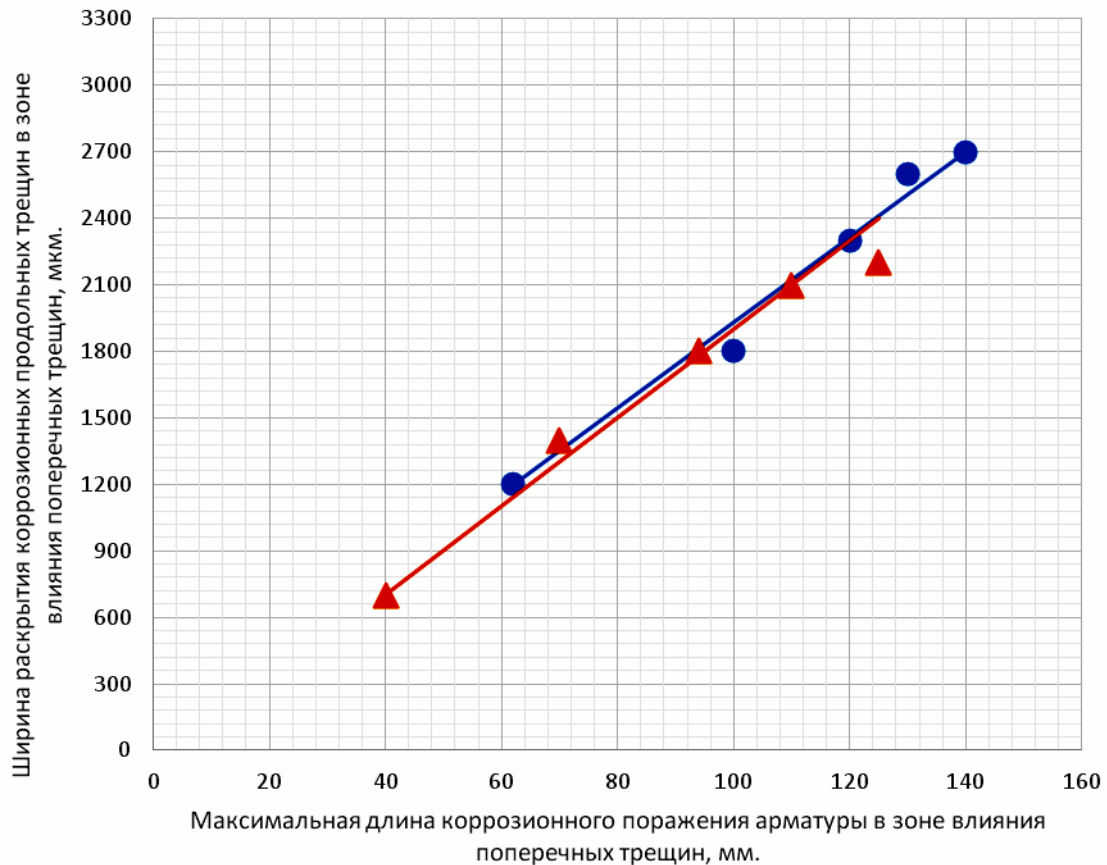


Рис. 3.32. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки.

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (62;1200), $a_{crc} = 0,20$ (100;1800), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;2300), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;2600), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;2700). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (40;700), $a_{crc} = 0,20$ (70; 1400), $a_{crc} = 0,30$ (94; 1800), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;2100), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;2200).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 8 + 19,23 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 20 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 100$.

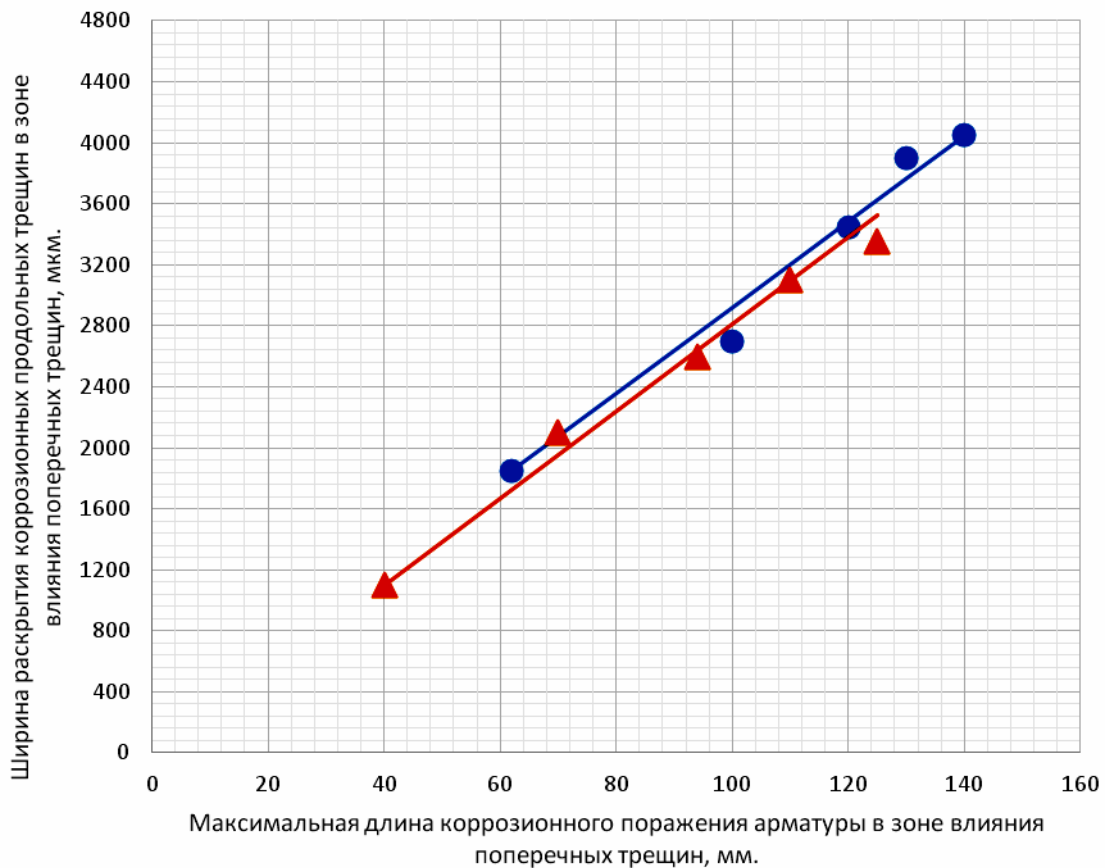


Рис. 3.33. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (62;1850), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;2700), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;3450), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;3900), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;4050). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (40;1100), $a_{crc} = 0,20$ мм (70; 2100), $a_{crc} = 0,30$ мм (94; 2600), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;3100), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;3350).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 101 + 28,21 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 28,57 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 43$.

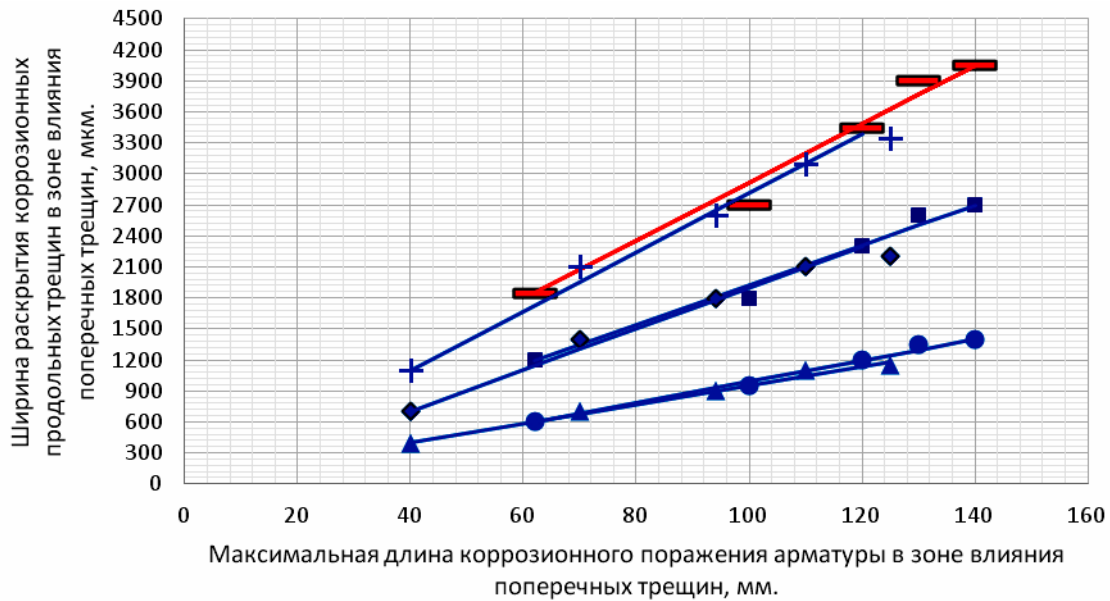


Рис. 3.34. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,5$ мм на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозии $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В 30, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 3.31–3.33, с учётом воздействия постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;600), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;950), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;1200), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;1350), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;1400) – $a_T^{\text{прод}} = 10,26 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 36$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (40;400), $a_{crc} = 0,20$ мм (70;700), $a_{crc} = 0,30$ мм (94;900), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;1100), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;1150) – $a_T^{\text{прод}} = 30 + 9,26 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;1200), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;1800), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;2300), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;2600), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;2700) – $a_T^{\text{прод}} = 8 + 19,23 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (40;700), $a_{crc} = 0,20$ мм (70;1400), $a_{crc} = 0,30$ мм (94;1800), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;2100), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;2200) – $a_T^{\text{прод}} = 20 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 100$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;1850), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;2700), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;3450), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;3900), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;4050) – $a_T^{\text{прод}} = 101 + 28,21 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (40;1100), $a_{crc} = 0,20$ мм (70;2100), $a_{crc} = 0,30$ мм (94;2600), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;3100), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;3350) – $a_T^{prod} = 28,57 \cdot \ell_{кор}^{max} - 43$.

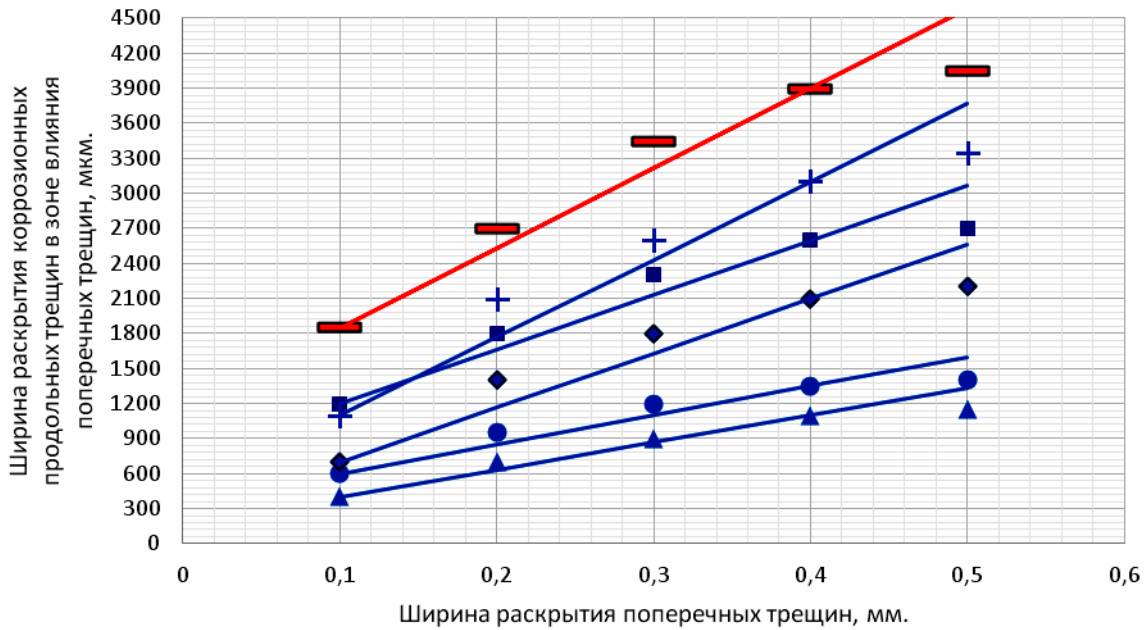


Рис. 3.35. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III.

Окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;600;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;950;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1200;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1350;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1400;140) – $a_T^{prod} = 350 + 2500 \cdot a_{crc}$.

Треугольник, класса А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;400;40), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;700;70), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;900;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1100;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1150;125) – $a_T^{prod} = 167 + 2333 \cdot a_{crc}$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1200;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1800;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;2300;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;2600;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;2700;140) – $a_T^{prod} = 733 + 4667 \cdot a_{crc}$.

Ромб, класса А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;700;40), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1400;70), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1800;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;2100;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;2200;125) – $a_T^{prod} = 233 + 4667 \cdot a_{crc}$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1850;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;2700;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;3450;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;3900;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;4050;140) – $a_T^{prod} = 1167 + 6833 \cdot a_{crc}$.

Засечка, класса А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1100;40), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;2100;70), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;2600;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;3100;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;3350;125) – $a_T^{prod} = 433 + 6667 \cdot a_{crc}$.

В координатах, третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$ с учётом $\delta_{кор}^{max}$ в мм.

Т а б л и ц а 3.12

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Класс арматуры	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$ при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
Нижняя	А-III	400(40)	700(70)	900(94)	1100(110)	1150(125)	$a_T^{prod} = 167 + 2333 \cdot a_{crc}$
		400(40)	700(70)	900(94)	1100(110)	1150(125)	$a_T^{prod} = 30 + 9,26 \cdot \ell_{кор}^{max}$
	А-I	600(62)	950(100)	1200(120)	1350(130)	1400(140)	$a_T^{prod} = 350 + 2500 \cdot a_{crc}$
		600(62)	950(100)	1200(120)	1350(130)	1400(140)	$a_T^{prod} = 10,26 \cdot \ell_{кор}^{max} - 36$
Средняя	А-III	700(40)	1400(70)	1800(94)	2100(110)	2200(125)	$a_T^{prod} = 233 + 4667 \cdot a_{crc}$
		700(40)	1400(70)	1800(94)	2100(110)	2200(125)	$a_T^{prod} = 20 \cdot \ell_{кор}^{max} - 100$
	А-I	1200(62)	1800(100)	2300(120)	2600(130)	2700(140)	$a_T^{prod} = 733 + 4667 \cdot a_{crc}$
		1200(62)	1800(100)	2300(120)	2600(130)	2700(140)	$a_T^{prod} = 8 + 19,23 \cdot \ell_{кор}^{max}$
Верхняя	А-III	1100(40)	2100(70)	2600(94)	3100(110)	3350(125)	$a_T^{prod} = 433 + 6667 \cdot a_{crc}$
		1100(40)	2100(70)	2600(94)	3100(110)	3350(125)	$a_T^{prod} = 28,57 \cdot \ell_{кор}^{max} - 43$
	А-I	1850(62)	2700(100)	3450(120)	3900(130)	4050(140)	$a_T^{prod} = 1167 + 6833 \cdot a_{crc}$
		1850(62)	2700(100)	3450(120)	3900(130)	4050(140)	$a_T^{prod} = 101 + 28,21 \cdot \ell_{кор}^{max}$

Примечание. a_T^{prod} в мкм; в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$ в мм; a_{crc} в мм.

На рис. 3.36 согласно данным рис. 3.4 показано графическое изображение максимальной длины коррозии арматуры классов А-I и А-III в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры классов А-I и А-III, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

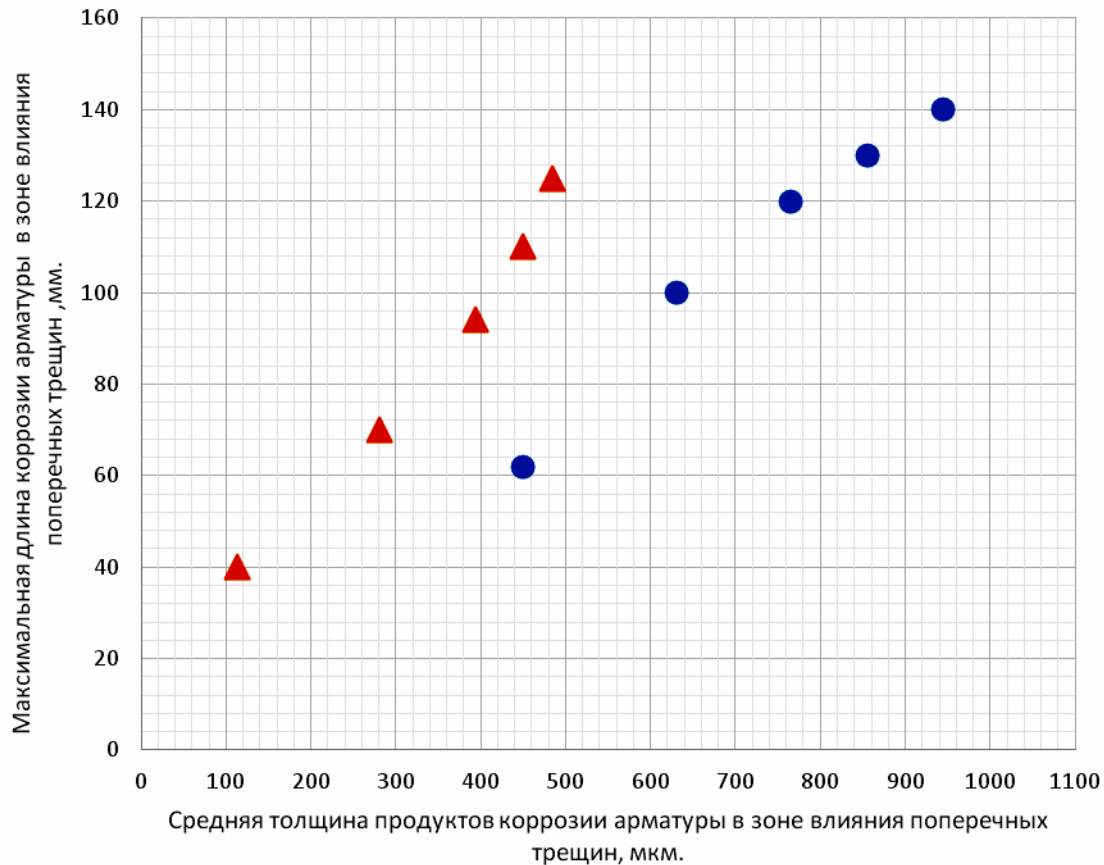


Рис. 3.36. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=30, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{п.к}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 2,25 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III.

Окружность – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (450;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (630;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (765;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (855;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (945;140); треугольник – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (113; 40), $a_{crc} = 0,20$ мм (281;70), $a_{crc} = 0,30$ мм (394;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (450;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (484;125), где $\ell_{кор}^{max}$ в мм, $a_{т}^{прод}$ в мкм.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин со средней глубиной коррозии арматуры, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали классов А-I и А-III, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 3.36 отмечена на рис. 3.37–3.39.

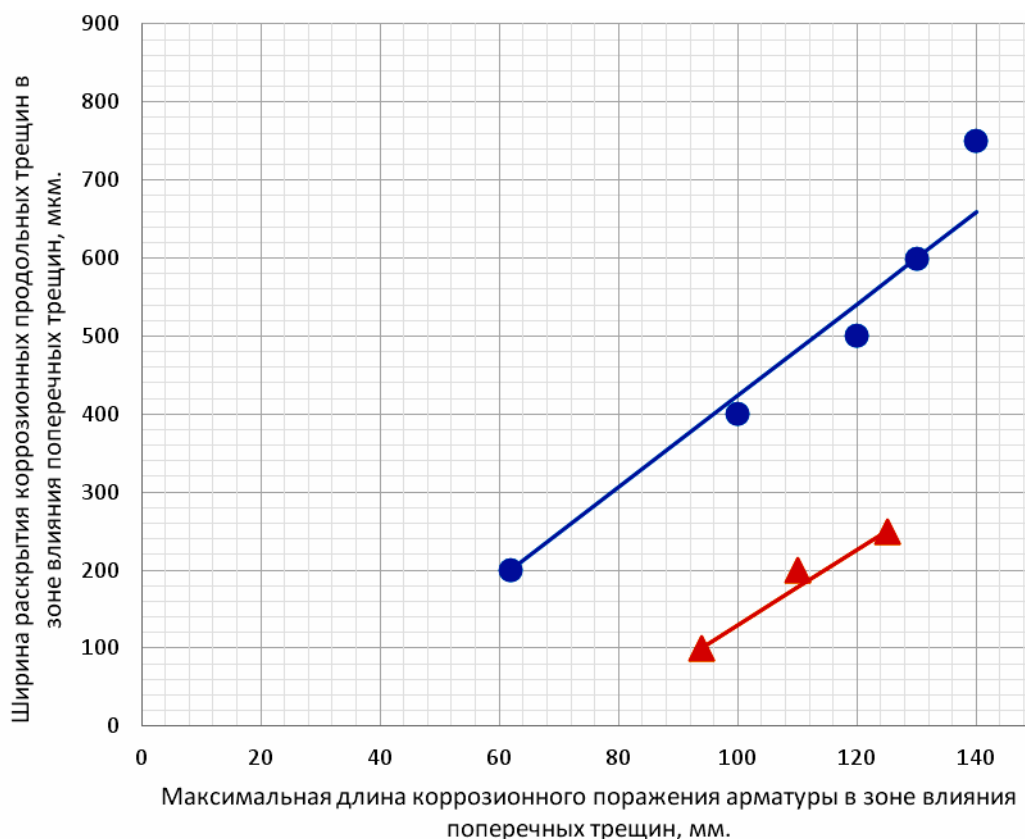


Рис. 3.37. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (62;200), $a_{crc} = 0,20$ (100;400), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;500), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;600), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;750). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,30$ (94; 100), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;200), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;250).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 5,88 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 164$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 4,84 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 355$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

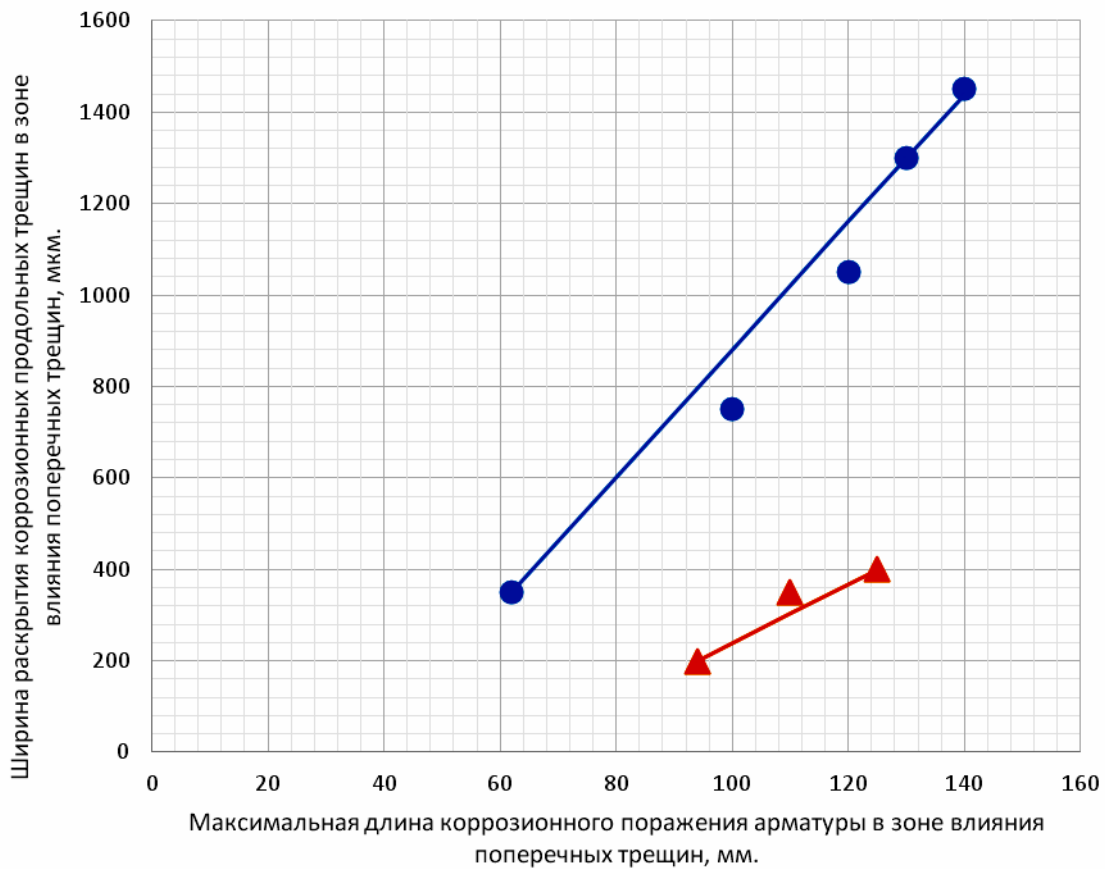


Рис. 3.38. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (62;350), $a_{crc} = 0,20$ (100;750), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;1050), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;1300), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;1450). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,30$ (94; 200), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;350), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;400).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 13,97 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 516$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 6,45 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 406$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

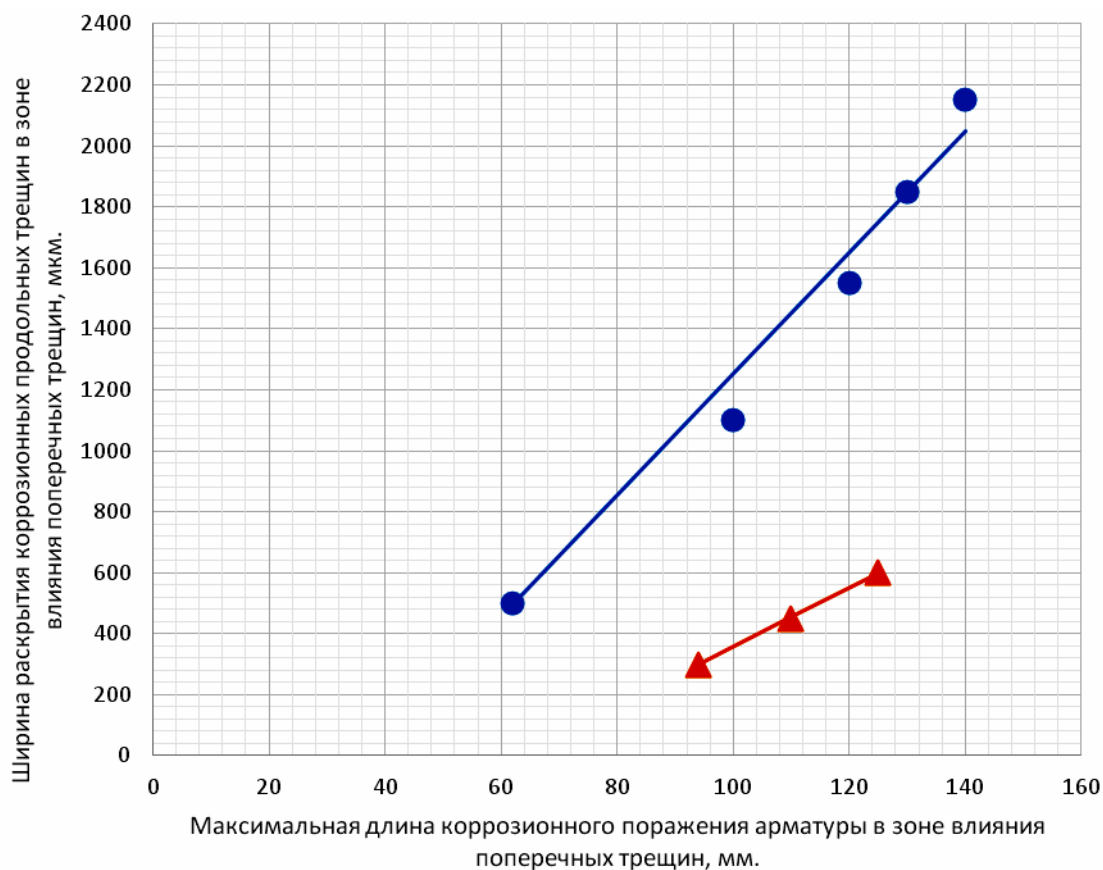


Рис. 3.39. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при верхней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (62;500), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;1100), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;1550), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;1850), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;2150). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,30$ мм (94; 300), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;450), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;600).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 19,85 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 731$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 9,68 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 610$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

В сводной табл. 3.13 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б.} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры классов А-I и А-III, при средней глуби-

не её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.3.40 и 3.41), при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

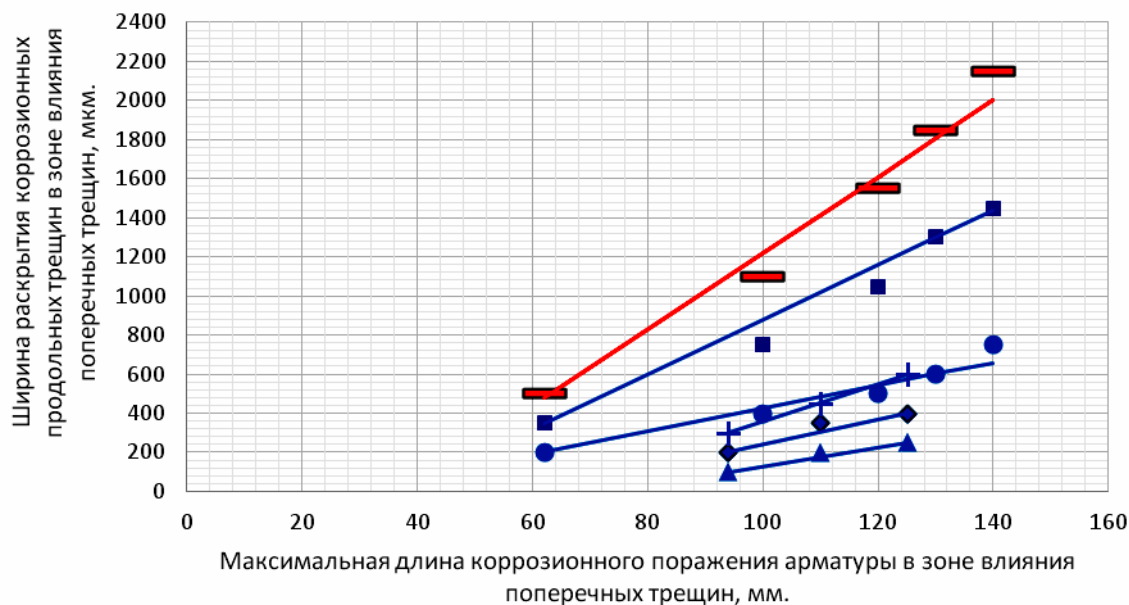


Рис. 3.40. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В 30, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм класса А-III и А-I $\ell_{кор}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 3.37–3.39 при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;200), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;400), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;500), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;600), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;750) – $a_T^{\text{прод}} = 5,88 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}} - 164$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (94;100), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;200), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;250) – $a_T^{\text{прод}} = 4,84 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}} - 355$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;350), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;750), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;1050), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;1300), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;1450) – $a_T^{\text{прод}} = 13,97 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}} - 516$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (94;200), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;350), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;400) – $a_T^{\text{прод}} = 6,45 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}} - 406$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;500), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;1100), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;1550), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;1850), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;2150) – $a_T^{прод} = 19,85 \cdot \ell_{кор}^{max} - 731$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (94;300), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;450), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;600) – $a_T^{прод} = 9,68 \cdot \ell_{кор}^{max} - 610$.

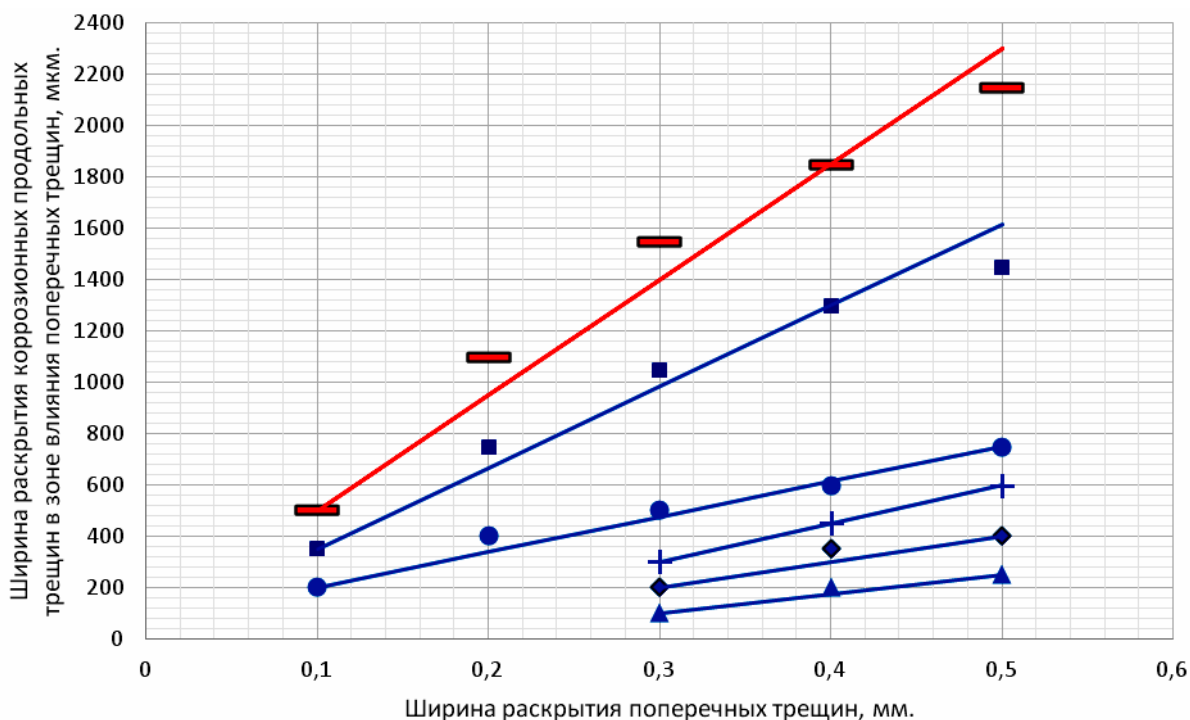


Рис. 3.41. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{сред}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III.

Окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;200;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;400;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;500;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;600;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;750;140) – $a_T^{прод} = 63 + 1375 \cdot a_{crc}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;100;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;200;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;250;125) – $a_T^{прод} = 750 \cdot a_{crc} - 125$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;350;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;750;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1050;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1300;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1450;140) – $a_T^{прод} = 3167 \cdot a_{crc} + 33$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;200;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;350;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;400;125) – $a_T^{прод} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;500;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1100;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1550;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1850;130) $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;2150;140) – $a_T^{prod} = 50 + 4500 \cdot a_{crc}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;300;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;450;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;600;125) – $a_T^{prod} = 1500 \cdot a_{crc} - 150$.

В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$ с учётом $\delta_{кор}^{сред}$ в мм.

Т а б л и ц а 3.13

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис. 1.26 [257]	Класс арматуры	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$ при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
Нижняя	А-III	-	-	100 (94)	200 (110)	250(125)	$a_T^{prod} = 750 \cdot a_{crc} - 125$
		-	-	100 (94)	200 (110)	250(125)	$a_T^{prod} = 4,84 \cdot \ell_{кор}^{max} - 355$
	А-I	200(62)	400(100)	500(120)	600(130)	750(140)	$a_T^{prod} = 63 + 1375 \cdot a_{crc}$
		200(62)	400(100)	500(120)	600(130)	750(140)	$a_T^{prod} = 5,88 \cdot \ell_{кор}^{max} - 164$
Средняя	А-III	-	-	200(94)	350(110)	400(125)	$a_T^{prod} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$
		-	-	200(94)	350(110)	400(125)	$a_T^{prod} = 6,45 \cdot \ell_{кор}^{max} - 406$
	А-I	350(62)	750(100)	1050(120)	1300(130)	1450(140)	$a_T^{prod} = 3167 \cdot a_{crc} + 33$
		350(62)	750(100)	1050(120)	1200(130)	1450(140)	$a_T^{prod} = 12,5 \cdot \ell_{кор}^{max} - 425$
Верхняя	А-III	-	-	300(94)	450(110)	600(125)	$a_T^{prod} = 1500 \cdot a_{crc} - 150$
		-	-	300(94)	450(110)	600(125)	$a_T^{prod} = 9,68 \cdot \ell_{кор}^{max} - 610$
	А-I	500(62)	1100(100)	1550(120)	1850(130)	2150(140)	$a_T^{prod} = 50 + 4500 \cdot a_{crc}$
		500(62)	1100(100)	1550(120)	1850(130)	2150(140)	$a_T^{prod} = 19,85 \cdot \ell_{кор}^{max} - 731$

Примечание. a_T^{prod} в мкм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{max}$ в мм; a_{crc} в мм.

На рис. 3.42 согласно данным рис. 3.5 показано графическое изображение средней длины коррозии арматуры классов А-I и А-III в расчётных поперечных трещинах бетона в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры классов А-I и А-III, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

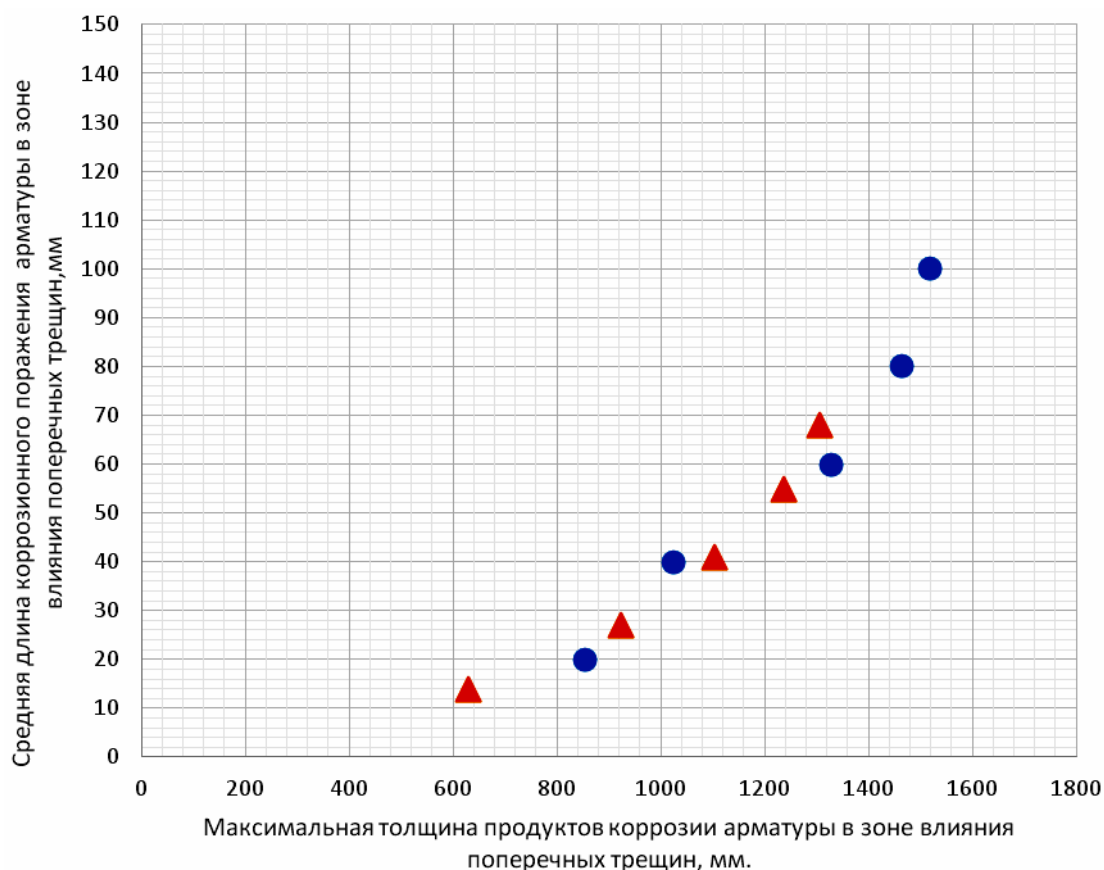


Рис. 3.42. Средняя длина коррозии рабочей арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=30, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{п.к}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин бетона, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 2,25 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III.

Окружность – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (855;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (1125;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (1328;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (1463;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (1519;100); треугольник – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (630; 14), $a_{crc} = 0,20$ мм (923;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (1103;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (1238;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (1305;68), где $\ell_{кор}^{сред}$ в мм; $a_{т}^{прод}$ в мкм.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин, с максимальной глубиной коррозии арматурной стали, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали классов А-I и А-III, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 3.42 представлена на рис. 3.43–3.45.

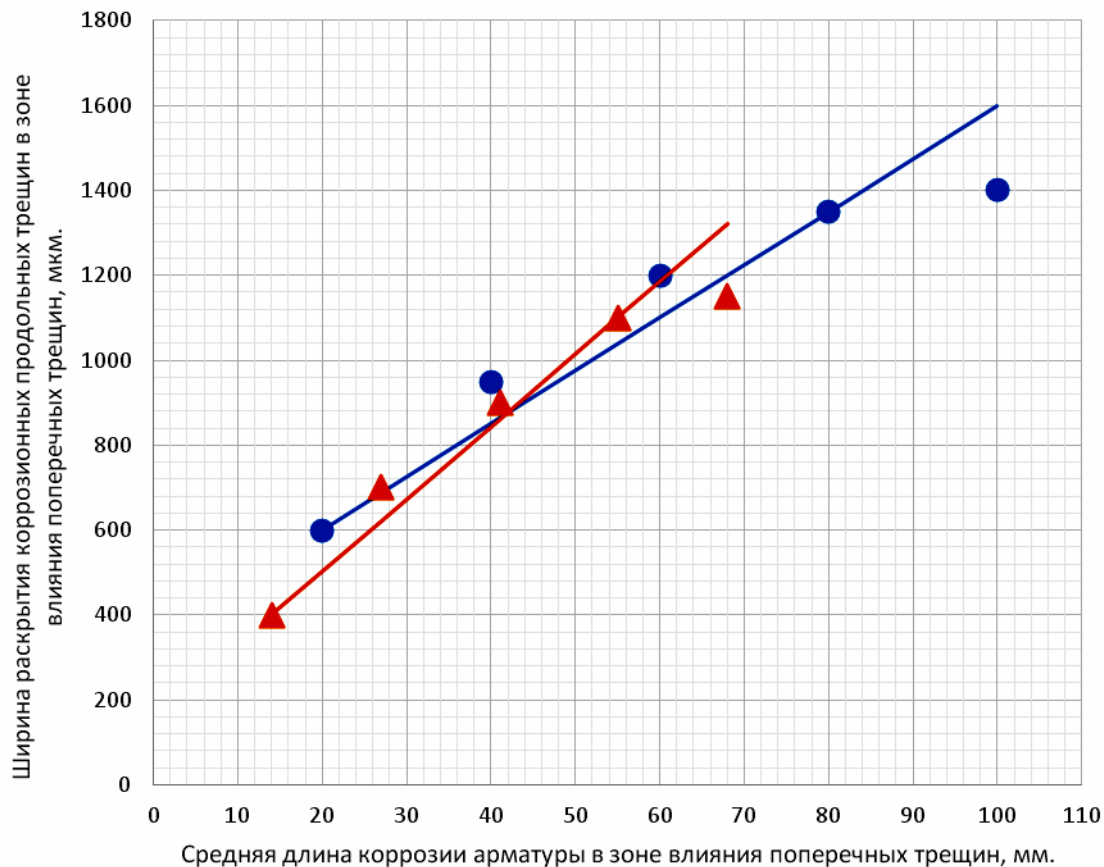


Рис. 3.43. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $l_{кор}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;600), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;950), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;1200), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;1350), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;1400). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (14;400), $a_{crc} = 0,20$ мм (27;700), $a_{crc} = 0,30$ мм (41; 900), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;1100), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;1150).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 350 + 12,5 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 161 + 17,07 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

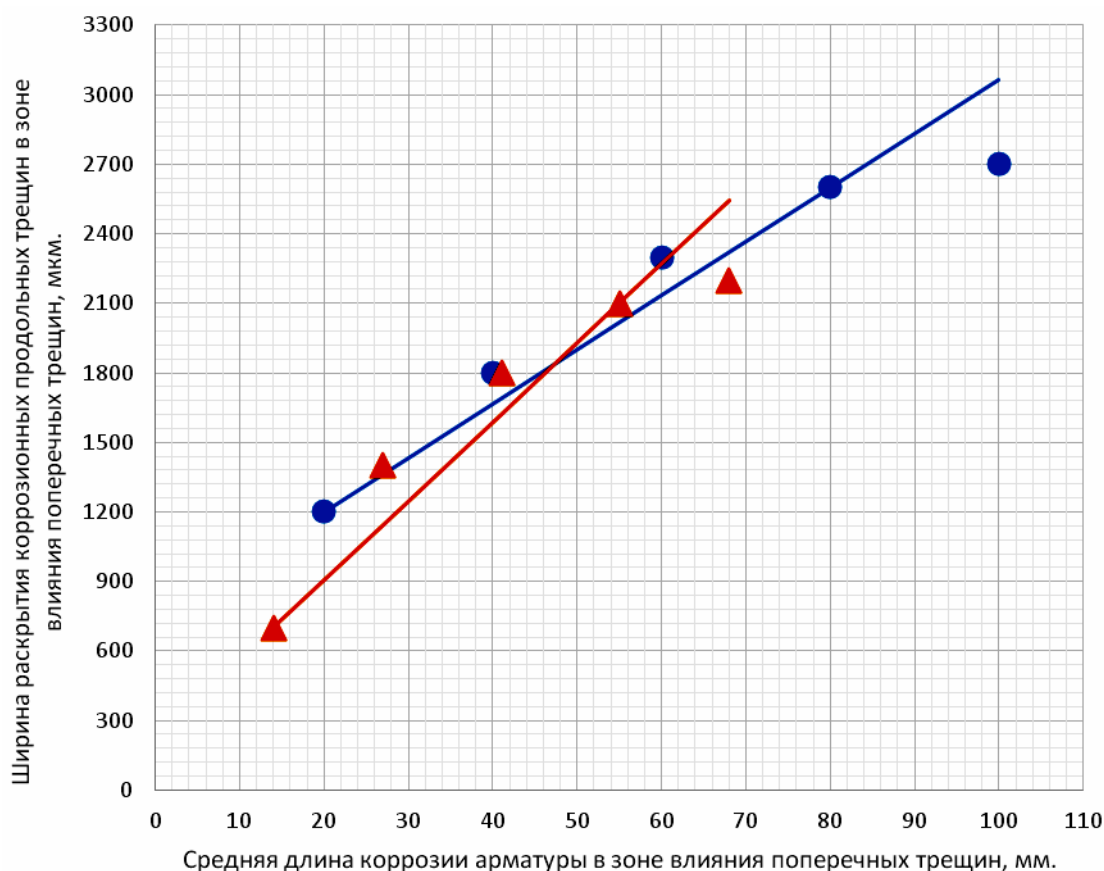


Рис. 3.44. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;1200), $a_{crc} = 0,20$ (40;1800), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;2300), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;2600), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;2700). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (14;700), $a_{crc} = 0,20$ (27;1400), $a_{crc} = 0,30$ (41; 1800), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;2100), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;2200).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 733 + 23,33 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 222 + 34,15 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм; $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

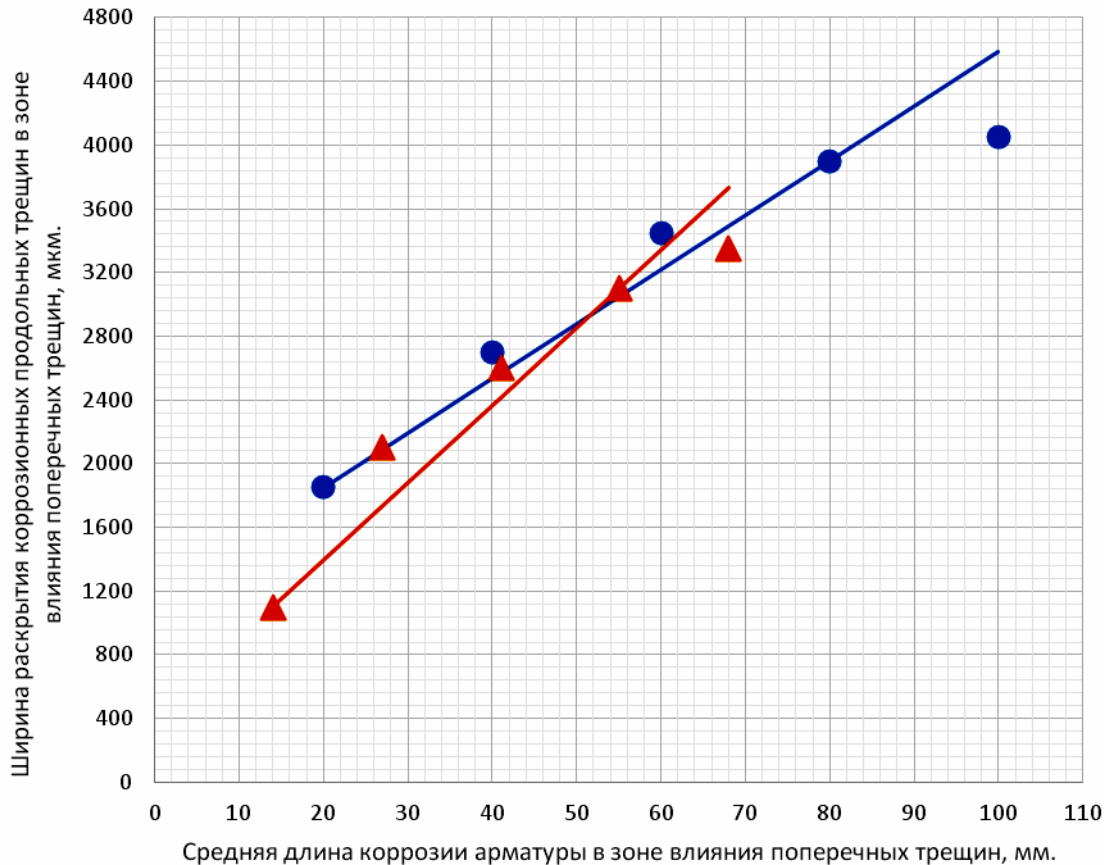


Рис. 3.45. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;1850), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;2700), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;3450), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;3900), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;4050). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (14;1100), $a_{crc} = 0,20$ мм (27;2100), $a_{crc} = 0,30$ мм (41; 2600), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;3100), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;3350).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 1167 + 34,17 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 417 + 48,78 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}}$, где $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в мм; $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

В сводной табл. 3.14 содержатся значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от средней длины коррозии арматуры классов А-I и А-III, при максимальной глубине

её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых, (рис.3.46 и 3.47), при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

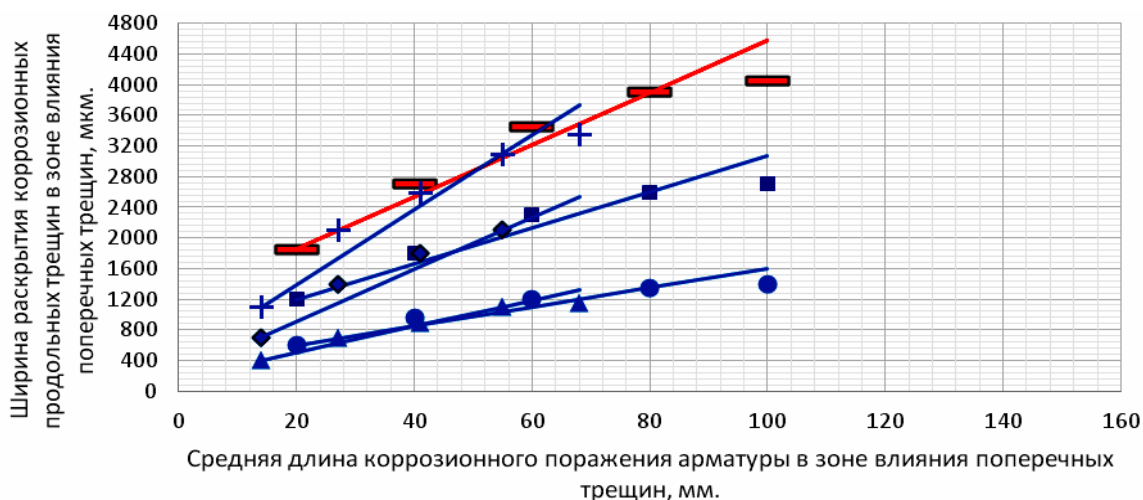


Рис. 3.46. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_{\Gamma}^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,10 \div 0,50$ мм на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{\text{з.с.б}} = 25$ мм и классом бетона В 30, в зависимости от средней длины коррозии рабочей арматуры диаметром 14 мм классов А- I и А-III $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 3.43–3.45 при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (20;600), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (40;950), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (60;1200), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (80;1350), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (100;1400) – $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 350 + 12,5 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (14;400), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27;700), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (41;900), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (55;1100), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (68;1150) – $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 161 + 17,07 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (20;1200), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (40;1800), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (60;2300), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (80;2600), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (100;2700) – $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 733 + 23,33 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (14;700), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27;1400), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (41;1800), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (55;2100), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (68;2200) – $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 222 + 34,15 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (20;1850), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (40;2700), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (60;3450), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (80;3900), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (100;4050) – $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1167 + 34,17 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (14;1100), $a_{crc} = 0,20$ мм (27;2100), $a_{crc} = 0,30$ мм (41;2600), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;3100), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;3350) – $a_T^{prod} = 417 + 48,78 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

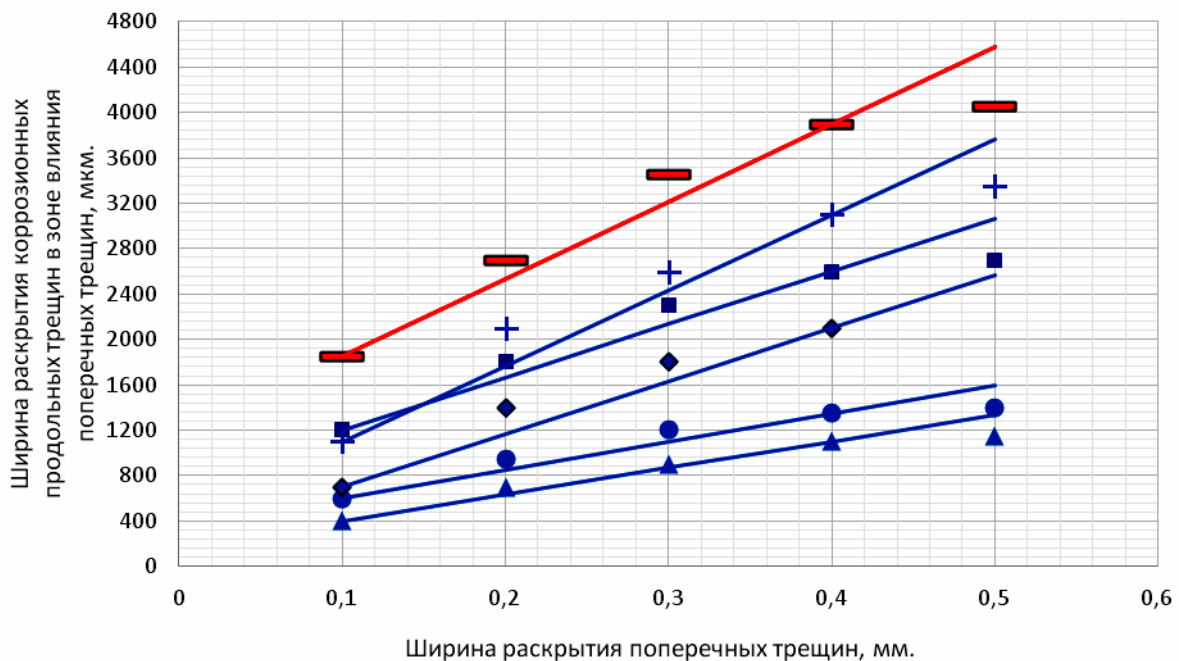


Рис. 3.47. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм, опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,5$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III.

Окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;600;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;950;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1200;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1350;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1400;100) – $a_T^{prod} = 350 + 2500 \cdot a_{crc}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;400;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;700;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;900;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1100;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1150;68) – $a_T^{prod} = 167 + 2333 \cdot a_{crc}$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1200;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1800;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;2300;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;2600;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;27090;100) – $a_T^{prod} = 733 + 4667 \cdot a_{crc}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;700;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1400;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1800;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;2100;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;2200;68) – $a_T^{prod} = 233 + 4667 \cdot a_{crc}$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1850;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;2700;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;3450;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;3900;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;4050;100) – $a_T^{prod} = 1167 + 6833 \cdot a_{crc}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;1100;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;2100;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;2600;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;3100;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;3350;68) – $a_T^{prod} = 433 + 6667 \cdot a_{crc}$.

В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{сред}$ с учётом $\delta_{кор}^{max}$ в мм.

Т а б л и ц а 3.14

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис. 1.26 [257]	Класс арматуры	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$, при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	
Нижняя	А-III	400(14)	700(27)	900(41)	1100(55)	1150(68)	$a_T^{prod} = 167 + 2333 \cdot a_{crc}$
		400(14)	700(27)	900(41)	1100(55)	1150(68)	$a_T^{prod} = 161 + 17,07 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
	А-I	600(20)	950(40)	1200(60)	1350(80)	1400(100)	$a_T^{prod} = 350 + 2500 \cdot a_{crc}$
		600(20)	950(40)	1200(60)	1350(80)	1400(100)	$a_T^{prod} = 350 + 125 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
Средняя	А-III	700(14)	1400(27)	1800(41)	2100(55)	2200(68)	$a_T^{prod} = 233 + 4667 \cdot a_{crc}$
		700(14)	1400(27)	1800(41)	2100(55)	2200(68)	$a_T^{prod} = 222 + 34,15 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
	А-I	1200(20)	1800(40)	2300(60)	2600(80)	2700(100)	$a_T^{prod} = 733 + 4667 \cdot a_{crc}$
		1200(20)	1800(40)	2300(60)	2600(80)	2700(100)	$a_T^{prod} = 733 + 23,33 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
Верхняя	А-III	1100(14)	2100(27)	2600(41)	3100(55)	3350(68)	$a_T^{prod} = 433 + 6667 \cdot a_{crc}$
		1100(14)	2100(27)	2600(41)	3100(55)	3350(68)	$a_T^{prod} = 417 + 48,78 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
	А-I	1850(20)	2700(40)	3450(60)	3900(80)	4050(100)	$a_T^{prod} = 1167 + 6833 \cdot a_{crc}$
		1850(20)	2700(40)	3450(60)	3900(80)	4050(100)	$a_T^{prod} = 1167 + 34,17 \cdot \ell_{кор}^{сред}$

Примечание. a_T^{prod} в мкм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{сред}$ в мм; a_{crc} в мм.

На рис. 3.48 согласно данным рис. 3.6 показано графическое изображение средней длины коррозии арматуры классов А-I и А-III в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры классов А-I и А-III, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

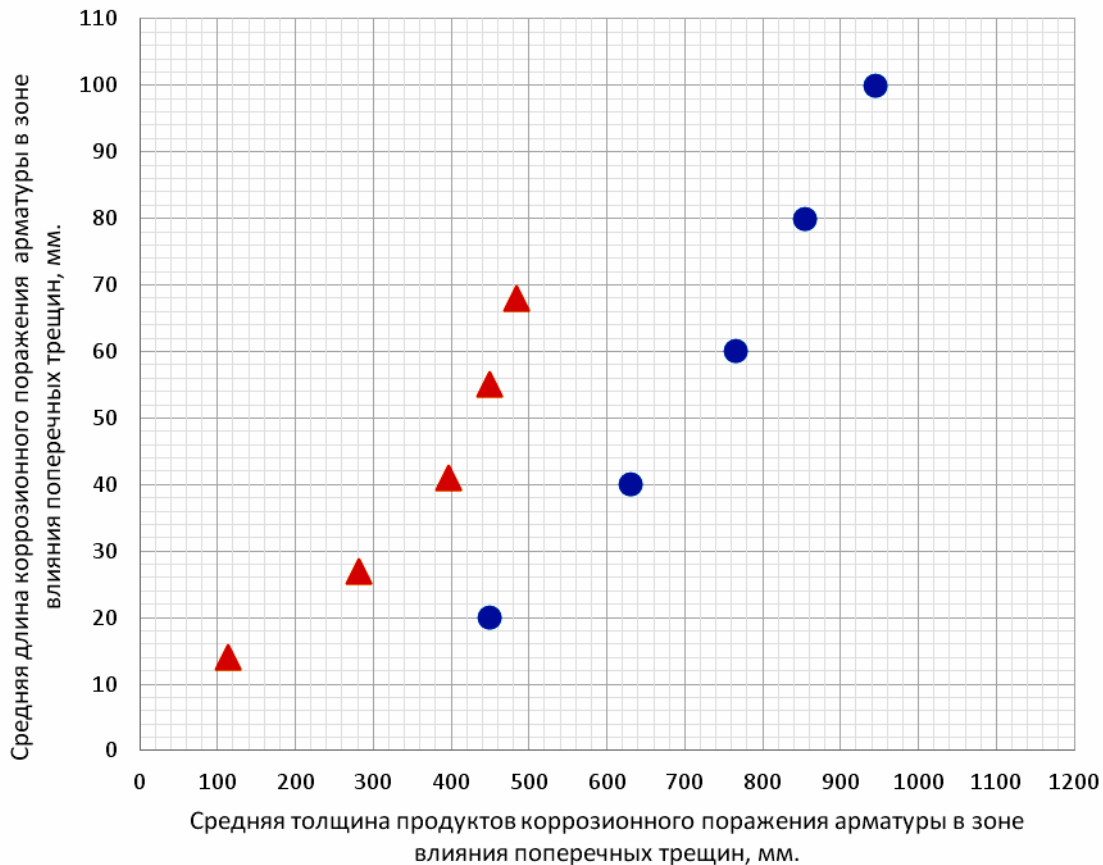


Рис. 3.48. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,5$ мм в железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=30, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{п.к}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин бетона, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 2,25 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III.

Окружность – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (450;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (630;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (765;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (855;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (945;100); треугольник – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (113; 14), $a_{crc} = 0,20$ мм (282;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (396;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (450;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (484;68), где $\ell_{кор}^{сред}$ в мм; $\delta_{кор}^{сред}$ в мкм.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин со средней глубиной коррозии арматурной стали, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали классов А-I и А-III, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 3.48 содержится на рис. 3.49–3.51.

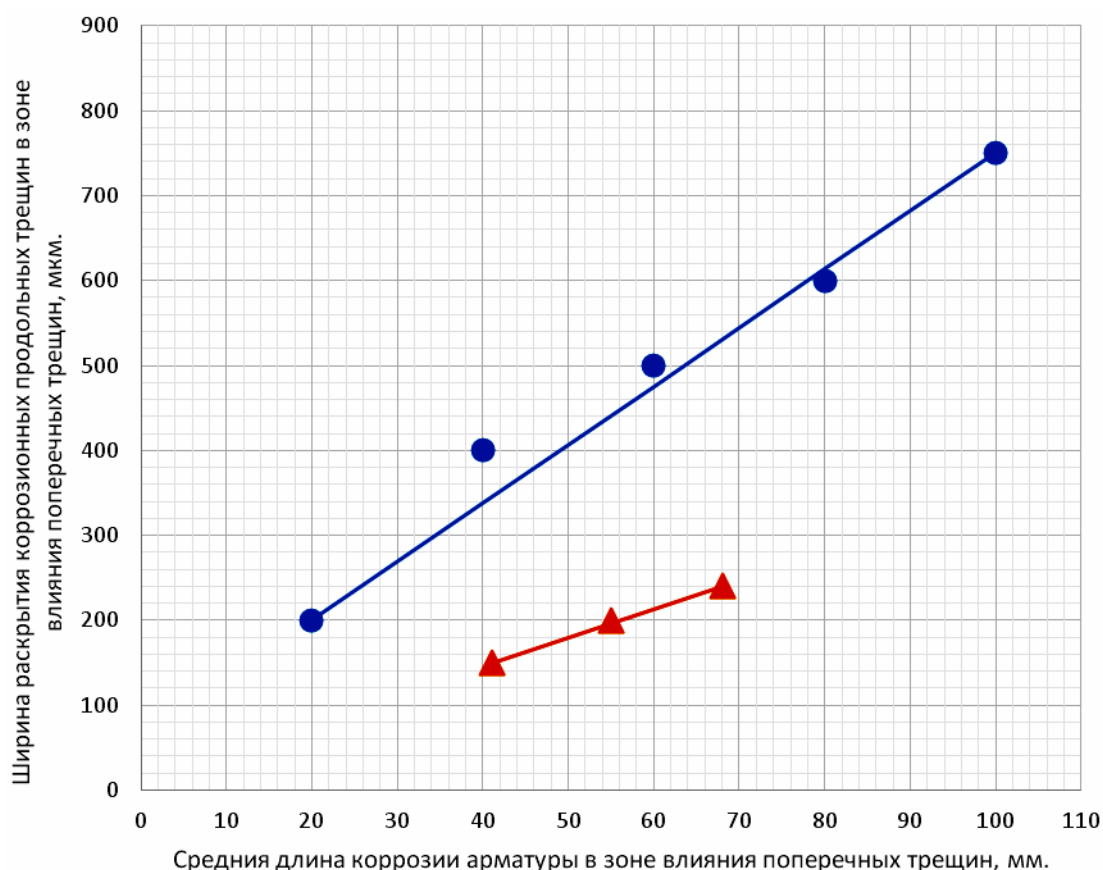


Рис. 3.49. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $l_{\text{кор}}^{\text{сред}}$

в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при нижней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;200), $a_{crc} = 0,20$ (40;400), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;500), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;600), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;750). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,30$ (41; 150), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;200), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;240).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 63 + 6,88 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 13 + 3,33 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

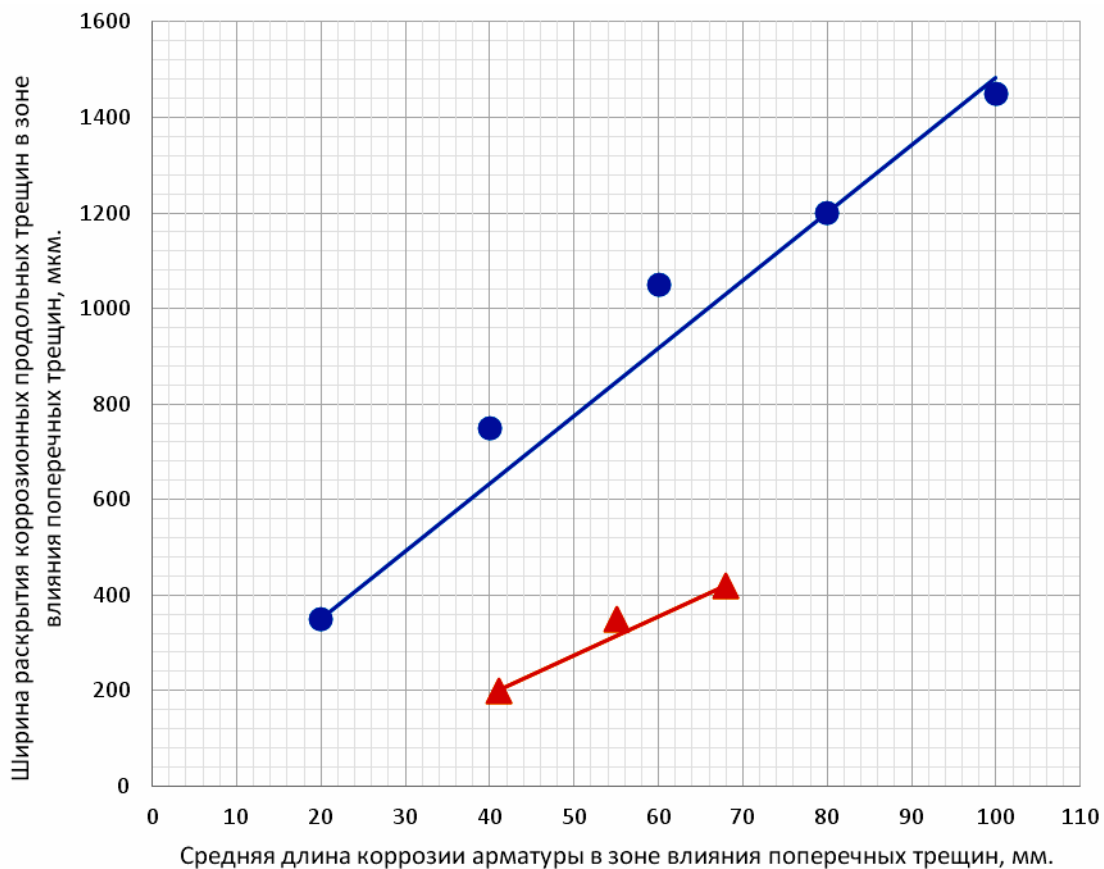


Рис. 3.50. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;350), $a_{crc} = 0,20$ (40;750), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;1050), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;1200), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;1450). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,30$ (41; 200), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;350), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;420).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 67 + 14,17 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 8,15 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 134$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм, а $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

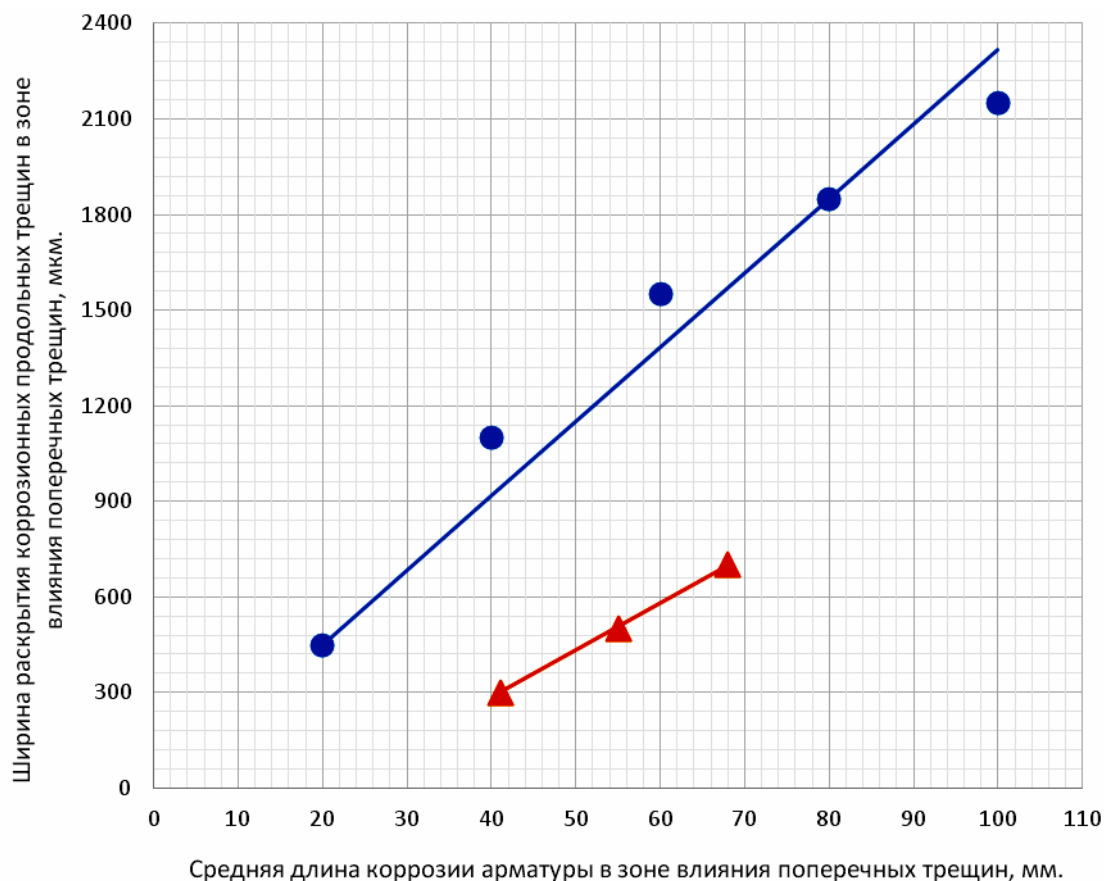


Рис. 3.51. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин, с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;450), $a_{crc} = 0,20$ (40;1100), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;1550), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;1850), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;2150). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,30$ (41; 300), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;500), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;700).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 23,33 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}} - 17$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 14,82 \cdot \ell_{кор}^{\text{сред}} - 307$, где $\ell_{кор}^{\text{сред}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

В сводной табл. 3.15 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от средней длины коррозии арматуры классов А-I и А-III, при средней глубине её

коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.3.52 и 3.53), при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

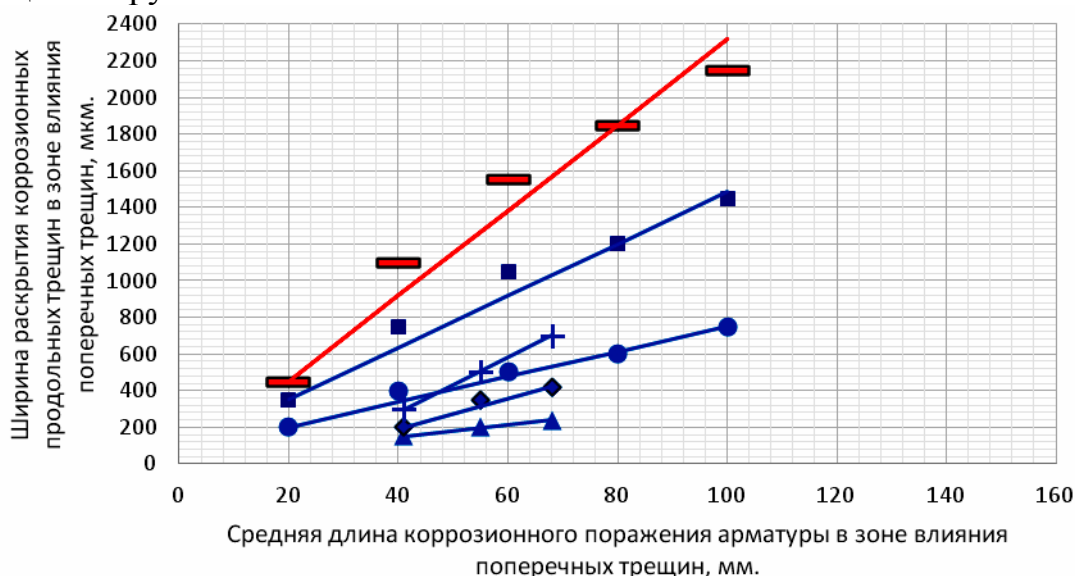


Рис. 3.52. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с толщиной защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В 30, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-III и А-I $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры и 2,25-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 3.49–3.51 при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;200), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;400), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;500), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;600), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;750) – $a_T^{prod} = 63 + 6,88 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (41;150), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;200), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;240) – $a_T^{prod} = 13 + 3,33 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;350), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;750), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;1050), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;1200), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;1450) – $a_T^{prod} = 67 + 14,17 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (41;200), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;350), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;420) – $a_T^{prod} = 8,15 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 134$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;450), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;1100), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;1550), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;1850), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;2150) – $a_T^{prod} = 23,33 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 17$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (41;300), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;500), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;700) – $a_T^{prod} = 14,82 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 307$.

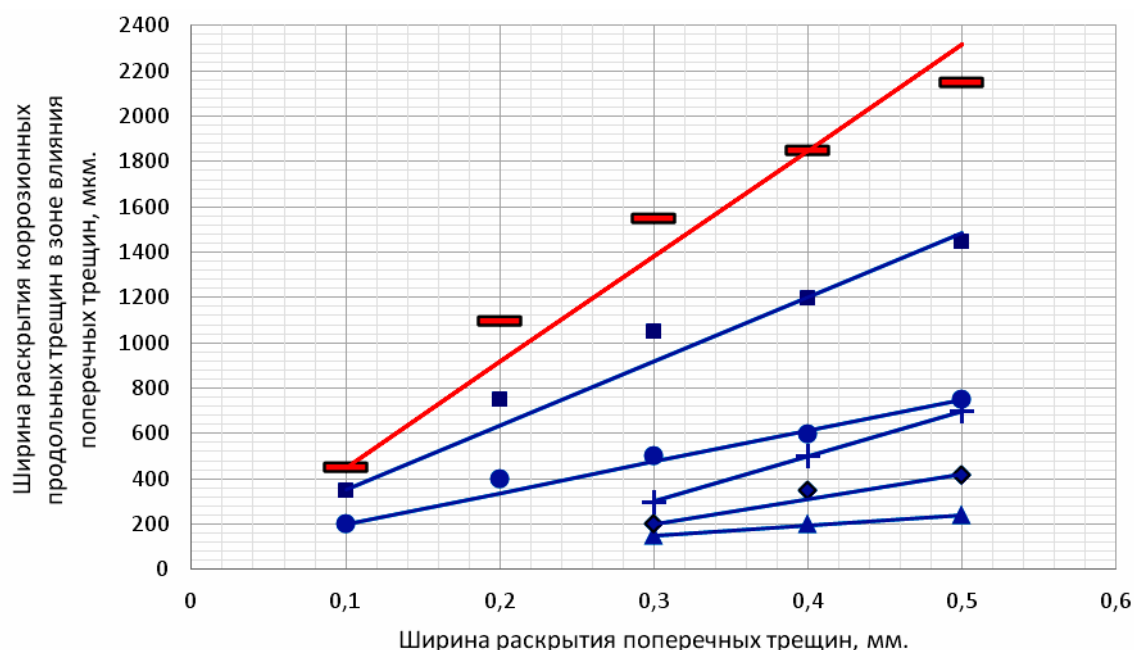


Рис. 3.53. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{сред}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III.

Окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;200;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;400;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;500;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;600;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;750;100) – $a_T^{prod} = 63 + 1375 \cdot a_{crc}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая; $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;150;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;200;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;240;68) – $a_T^{prod} = 15 + 450 \cdot a_{crc}$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;350;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;750;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1050;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1200;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1450;100) – $a_T^{prod} = 67 + 2833 \cdot a_{crc}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;200;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;350;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;420;68) – $a_T^{prod} = 1100 \cdot a_{crc} - 130$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;450;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1100;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1550;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1850;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;2150;100) – $a_T^{prod} = 4667 \cdot a_{crc} - 17$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;300;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;500;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;700;68) – $a_T^{prod} = 2000 \cdot a_{crc} - 300$.

В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{сред}$, с учётом $\delta_{кор}^{сред}$ в мм.

Т а б л и ц а 3.15

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257]	Класс арматуры	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$ при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
Нижняя	А-III	-	-	150(41)	200(55)	240(68)	$a_T^{prod} = 15 + 450 \cdot a_{crc}$
		-	-	150(41)	200(55)	240(68)	$a_T^{prod} = 13 + 3,33 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
	А-I	200(20)	400(40)	500(60)	600(80)	750(100)	$a_T^{prod} = 63 + 1375 \cdot a_{crc}$
		200(20)	400(40)	500(60)	600(80)	750(100)	$a_T^{prod} = 63 + 6,88 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
Средняя	А-III	-	-	200(41)	350(55)	420(68)	$a_T^{prod} = 1100 \cdot a_{crc} - 130$
		-	-	200(41)	350(55)	420(68)	$a_T^{prod} = 8,15 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 134$
	А-I	350(20)	750(40)	1050(60)	1200(80)	1450(100)	$a_T^{prod} = 67 + 2833 \cdot a_{crc}$
		350(20)	750(40)	1050(60)	1200(80)	1450(100)	$a_T^{prod} = 67 + 14,17 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
Верхняя	А-III	-	-	300(41)	500(55)	700(68)	$a_T^{prod} = 2000 \cdot a_{crc} - 300$
		-	-	300(41)	500(55)	700(68)	$a_T^{prod} = 14,82 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 307$
	А-I	450(20)	1100(40)	1550(60)	1850(80)	2150(100)	$a_T^{prod} = 4667 \cdot a_{crc} - 17$
		420(20)	1100(40)	1550(60)	1850(80)	2150(100)	$a_T^{prod} = 23,33 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 17$

Примечание. a_T^{prod} в мкм; в круглых скобках – $\ell_{кор}^{сред}$ в мм; a_{crc} в мм.

Значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин a_{crc} на поверхности защитного слоя бетона, с учётом максимальной и средней длины коррозии арматуры, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные соответствующие уравнения регрессии для арматуры классов А-III и А-I, при увеличении толщины продуктов коррозии арматуры в 2,25 раза, представлены в табл.3.16.

Результаты табл.3.16 показывают увеличение ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в зависимости от коррозионного поражения арматуры класса А-I по отношению к арматуре класса А-III в равных по величине a_{crc} , независимо от их абсолютных значений, для всех имеющихся зависимостей $\ell_{кор}$ от $\delta_{кор}$.

Абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на железобетонных балках с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм с рабочей арматурой классов А-I и А-III при соответствующих зависимостях $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{кор} \text{ от } \delta_{кор})$, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры, располагаются в табл. 3.17.

Данные табл. 3.17 показывают снижение относительных значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин при увеличении a_{crc} , соответственно для арматуры класса А-I, по отношению к арматуре класса А-III. Например, для верхней функциональной прямой (рис.1.26) [257], для $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{кор}^{\text{сред}})$ данный относительный показатель имеет значение 5,17 в $a_{crc} = 0,30$ мм и величину 3,58 в $a_{crc} = 0,50$ мм.

Таблица 3.16

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона a_{crc} , с учётом максимальной и средней длины коррозии, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, с учётом воздействия постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения прямой на рис.1.26 [257]	Класс арматуры	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{max}); a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{сред});$ $a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{сред}); a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$					Уравнения регрессии: $\frac{a_T^{прод}}{a_{crc}} = f(a_{crc})$ $\frac{a_T^{прод}}{a_{crc}} = f(\ell_{кор})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	А-III	400(40); – –;400(14)	700(70); – –; 700(27)	900(94); 100(94) 150(41);900(41)	1100(110); 200(110) 200(55); 1100(55)	1150(125); 250(125) 240(68); 1150(68)	$a_T^{прод} = 167 + 2333 \cdot a_{crc}; a_T^{прод} = 750 \cdot a_{crc} - 125$ $a_T^{прод} = 15 + 450 \cdot a_{crc}; a_T^{прод} = 167 + 2333 \cdot a_{crc};$
		400(40); – –;400(14)	700(70); – –; 700(27)	900(94); 100(94) 150(41);900(41)	1100(110); 200(110) 200(55); 1100(55)	1150(125); 250(125) 240(68); 1150(68)	$a_T^{прод} = 30 + 9,26 \cdot \ell_{кор}^{max}; a_T^{прод} = 4,84 \cdot \ell_{кор}^{max} - 355;$ $a_T^{прод} = 13 + 3,33 \cdot \ell_{кор}^{сред}; a_T^{прод} = 16 + 17,07 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
	А-I	600(62); 200(62) 200(20); 600(20)	950(100); 400(100) 400(40); 950(40)	1200(120); 500(120) 500(60); 1200(60)	1350(130); 600(130) 600(80); 1350(80)	1400(140); 750(140) 750(100); 1400(100)	$a_T^{прод} = 350 + 2500 \cdot a_{crc}; a_T^{прод} = 63 + 1375 \cdot a_{crc};$ $a_T^{прод} = 63 + 1375 \cdot a_{crc}; a_T^{прод} = 350 + 2500 \cdot a_{crc}$
		600(62); 200(62) 200(20); 600(20)	950(100); 400(100) 400(40); 950(40)	1200(120); 500(120) 500(60); 1200(60)	1350(130); 600(130) 600(80); 1350(80)	1400(140); 750(140) 750(100); 1400(100)	$a_T^{прод} = 10,26 \cdot \ell_{кор}^{max} - 36; a_T^{прод} = 5,88 \cdot \ell_{кор}^{max} - 164$ $a_T^{прод} = 63 + 6,88 \cdot \ell_{кор}^{сред}; a_T^{прод} = 350 + 125 \cdot \ell_{кор}^{сред}$

Окончание табл. 3.16

1	2	3	4	5	6	7	8
Средняя	А-III	700(40); – –; 700(14)	1400(70); – –; 1400(27)	1800(94); 200(94) 200(41); 1800(41)	2100(110); 350(110) 350(55); 2100(55)	2200 (125); 400(125) 420(68); 2200(68)	$a_T^{\text{прод}} = 233 + 4667 \cdot a_{\text{crc}}; a_T^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 100;$ $a_T^{\text{прод}} = 1100 \cdot a_{\text{crc}} - 130; a_T^{\text{прод}} = 233 + 4667 \cdot a_{\text{crc}}.$
		700(40); – –; 700(14)	1400(70); – –; 1400(27)	1800(94); 200(94) 200(41); 1800(41)	2100(110); 350(110) 350(55); 2100(55)	2200 (125); 400(125) 420(68); 2200(68)	$a_T^{\text{прод}} = 20 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 100; a_T^{\text{прод}} = 6,45 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 406;$ $a_T^{\text{прод}} = 8,15 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 134; a_T^{\text{прод}} = 222 + 34,15 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$
	А-I	1200(62); 350(62) 350(20); 1200(20)	1800(100); 750(100) 750(40); 1800(40)	2300(120); 1050(120) 1050(60); 2300(60)	2600(130); 1300(130) 1200(80); 2600(80)	2700(140); 1450(140) 1450(100); 2700(100)	$a_T^{\text{прод}} = 733 + 4667 \cdot a_{\text{crc}}; a_T^{\text{прод}} = 3167 \cdot a_{\text{crc}} + 33$ $a_T^{\text{прод}} = 67 + 2833 \cdot a_{\text{crc}}; a_T^{\text{прод}} = 733 + 4667 \cdot a_{\text{crc}}$
		1200(62); 350(62) 350(20); 1200(20)	1800(100); 750(100) 750(40); 1800(40)	2300(120); 1050(120) 1050(60); 2300(60)	2600(130); 1200(130) 1200(80); 2600(80)	2700(140); 1450(140) 1450(100); 2700(100)	$a_T^{\text{прод}} = 8 + 19,23 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}; a_T^{\text{прод}} = 12,5 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 425$ $a_T^{\text{прод}} = 67 + 14,17 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}; a_T^{\text{прод}} = 733 + 23,33 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$
Верхняя	А-III	1100(40); – –; 1100(14)	2100(70); – –; 2100(27)	2600(94); 300(94) 300(41); 2600(41)	3100(110); 450(110) 500(55); 3100(55)	3350(125); 600(125) 700 (68); 3350(68)	$a_T^{\text{прод}} = 433 + 6667 \cdot a_{\text{crc}}; a_T^{\text{прод}} = 1500 \cdot a_{\text{crc}} - 150$ $a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 300; a_T^{\text{прод}} = 433 + 6667 \cdot a_{\text{crc}}$
		1100(40); – –; 1100(14)	2100(70); – –; 2100(27)	2600(94); 300(94) 300(41); 2600(41)	3100(110); 450(110) 500(55); 3100(55)	3350(125); 600(125) 700 (68); 3350(68)	$a_T^{\text{прод}} = 28,57 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 43; a_T^{\text{прод}} = 9,68 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 610$ $a_T^{\text{прод}} = 14,82 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 307; a_T^{\text{прод}} = 417 + 48,78 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$
	А-I	1850(62); 500(62) 450(20); 1850(20)	2700(100); 1100(100) 1100(40); 2700(40)	3450(120); 1550(120) 1550(60); 3450(60)	3900(130); 1850(130) 1850(80); 3900(80)	4050(140); 2150(140) 2150(100); 4050(100)	$a_T^{\text{прод}} = 1167 + 6833 \cdot a_{\text{crc}}; a_T^{\text{прод}} = 50 + 4500 \cdot a_{\text{crc}}$ $a_T^{\text{прод}} = 4667 \cdot a_{\text{crc}} - 17; a_T^{\text{прод}} = 1167 + 6833 \cdot a_{\text{crc}}$
		1850(62); 500(62) 450(20); 1850(20)	2700(100); 1100(100) 1100(40); 2700(40)	3450(120); 1550(120) 1550(60); 3450(60)	3900(130); 1850(130) 1850(80); 3900(80)	4050(140); 2150(140) 2150(100); 4050(100)	$a_T^{\text{прод}} = 101 + 28,21 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}}; a_T^{\text{прод}} = 19,85 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 731$ $a_T^{\text{прод}} = 23,33 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 17; a_T^{\text{прод}} = 1167 + 34,17 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$

Примечание. В круглых скобках указаны численные значения длины коррозии арматуры $\ell_{\text{кор}}$ в зоне влияния поперечных трещин. Значения $\ell_{\text{кор}}$ и a_{crc} в мм; $a_T^{\text{прод}}$ и $\delta_{\text{кор}}$ в мкм.

Таблица 3.17

Влияние профиля рабочей арматуры на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона с толщиной $\delta_{з.с.б} = 25$ мм на железобетонных балках с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III и класса А-I, для соответствующих зависимостей $a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}$ от $\delta_{кор}$), при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки

Расположение функциональной прямой на рис. 1.26 [257]	Зависимость $a_T^{прод}$	Класс арматуры	Уравнения регрессии	a_{crc} , мм				
				0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нижняя	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$	А-I	$a_T^{прод} = 350 + 2500 \cdot a_{crc}$	600(62)	950(100)	1200(120)	1350(130)	1400(140)
		А-III	$a_T^{прод} = 167 + 2333 \cdot a_{crc}$	400(40)	700(70)	900(94)	1100(110)	1150(125)
		Отношение:		1,5(1,55)	1,36(1,43)	1,33(1,28)	1,23(1,18)	1,22(1,12)
	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{сред})$	А-I	$a_T^{прод} = 63 + 1375 \cdot a_{crc}$	200(62)	400(100)	500(120)	600(130)	750(140)
		А-III	$a_T^{прод} = 750 \cdot a_{crc} - 125$	-	-	100(94)	200(110)	250(125)
		Отношение		-	-	5(1,28)	3(1,18)	3(1,12)
	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$	А-I	$a_T^{прод} = 350 + 2500 \cdot a_{crc}$	600(20)	950(40)	1200(60)	1350(80)	1400(100)
		А-III	$a_T^{прод} = 167 + 2333 \cdot a_{crc}$	400(14)	700(27)	900(41)	1100(55)	1150(68)
		Отношение:		1,5(1,43)	1,36(1,48)	1,33(1,46)	1,23(1,45)	1,22(1,47)
	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{сред} \text{ от } \delta_{кор}^{сред})$	А-I	$a_T^{прод} = 63 + 1375 \cdot a_{crc}$	200(20)	400(40)	500(60)	600(80)	750(100)
		А-III	$a_T^{прод} = 15 + 450 \cdot a_{crc}$	-	-	150(41)	200(55)	240(68)
		Отношение:		-	-	3,33(1,46)	3(1,45)	3,13(1,47)
Средняя	$a_T^{прод} = f(a_{crc}; \ell_{кор}^{max} \text{ от } \delta_{кор}^{max})$	А-I	$a_T^{прод} = 733 + 4667 \cdot a_{crc}$	1200(62)	1800(100)	2300(120)	2600(130)	2700(140)
		А-III	$a_T^{прод} = 233 + 4667 \cdot a_{crc}$	700(40)	1400(70)	1800(94)	2100(110)	2200(125)
		Отношение:		1,71(1,55)	1,29(1,43)	1,28(1,28)	1,24(1,18)	1,23(1,12)

Окончание табл. 3.17

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3167 \cdot a_{\text{crc}} + 33$	350(62)	750(100)	1050(120)	1300(130)	1450(140)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 100$	-	-	200(94)	350(110)	400(125)
		Отношение:	-	-	5,25(1,28)	3,43(1,18)	3,63(1,12)	
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 733 + 4667 \cdot a_{\text{crc}}$	1200(20)	1800(40)	2300(60)	2600(80)	2700(100)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 233 + 4667 \cdot a_{\text{crc}}$	700(14)	1400(27)	1800(41)	2100(55)	2200(68)
		Отношение:	1,71(1,43)	1,29(1,48)	1,28(1,46)	1,24(1,45)	1,23(1,47)	
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 67 + 2833 \cdot a_{\text{crc}}$	350(20)	750(40)	1050(60)	1200(80)	1450(100)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1100 \cdot a_{\text{crc}} - 130$	-	-	200(41)	350(55)	420(68)
		Отношение:	-	-	5,25(1,46)	3,43(1,45)	3,45(1,47)	
Верхняя	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1167 + 6833 \cdot a_{\text{crc}}$	1850(62)	2700(100)	3450(120)	3900(130)	4050(140)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 433 + 6667 \cdot a_{\text{crc}}$	1100(40)	2100(70)	2600(94)	3100(110)	3350(125)
		Отношение:	1,68(1,55)	1,29(1,43)	1,33(1,28)	1,26(1,18)	1,21(1,12)	
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 50 + 4500 \cdot a_{\text{crc}}$	500(62)	1100(100)	1550(120)	1850(130)	2150(140)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1500 \cdot a_{\text{crc}} - 150$	-	-	300(94)	450(110)	600(125)
		Отношение:	-	-	5,17(1,28)	4,11(1,18)	3,58(1,12)	
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1167 + 6833 \cdot a_{\text{crc}}$	1850(20)	2700(40)	3450(60)	3900(80)	4050(100)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 433 + 6667 \cdot a_{\text{crc}}$	1100(14)	2100(27)	2600(41)	3100(55)	3350(68)
		Отношение:	1,68(1,43)	1,29(1,48)	1,33(1,46)	1,26(1,45)	1,21(1,47)	
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 4667 \cdot a_{\text{crc}} - 17$	450(20)	1100(40)	1550(60)	1850(80)	2150(100)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	-	-	300(41)	500(55)	700(68)
		Отношение:	-	-	5,17(1,46)	3,7(1,45)	3,07(1,47)	

Примечание. $a_{\Gamma}^{\text{прод}}$, в мкм; в круглых скобках показаны численные значения длины коррозии арматуры $\ell_{\text{кор}}$ в зоне влияния поперечных трещин; $\ell_{\text{кор}}$ и a_{crc} , в мм; $a_{\Gamma}^{\text{прод}}$ и $\delta_{\text{кор}}$ в мкм.

3.1.4. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали

На рис. 3.54 согласно данным рис. 3.3 показано графическое изображение максимальной длины коррозии арматуры классов А-I и А-III в расчётных поперечных трещинах бетона в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры классов А-I и А-III, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

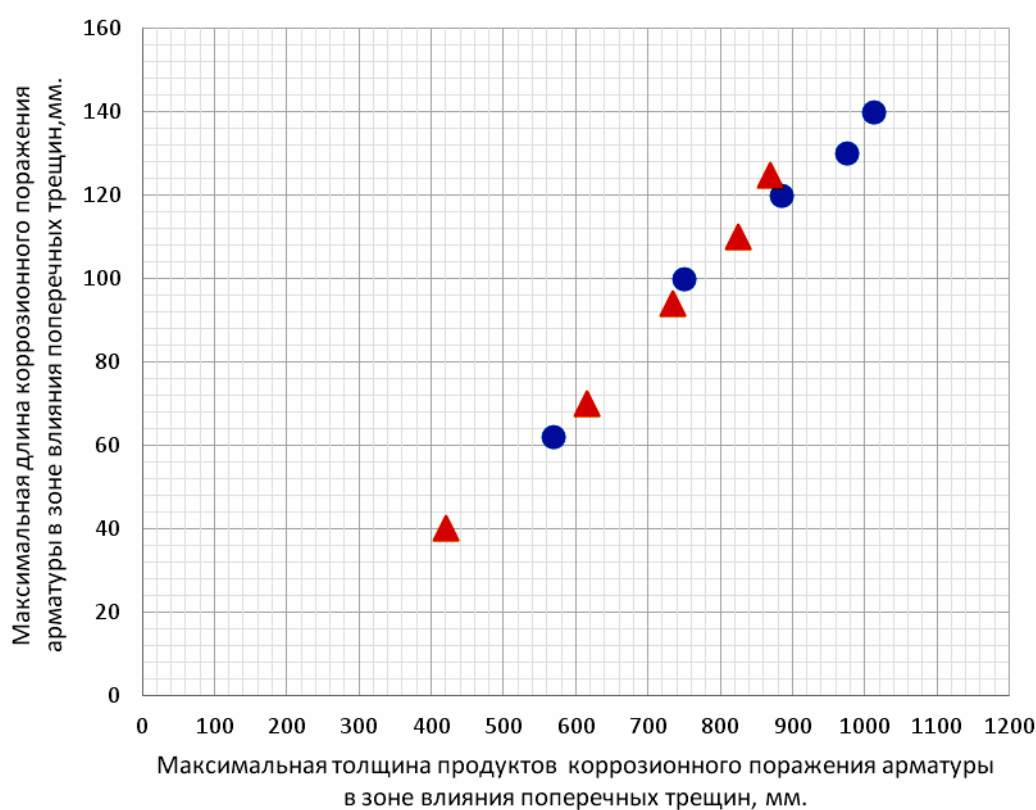


Рис. 3.54. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III $l_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин в железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=30, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{п.к.}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры и увеличения толщины продуктов коррозии стальной арматуры в полтора раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III.

Окружность – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (570;62), $a_{crc} = 0,20$ мм

(750;100), $a_{crc}=0,30$ мм (885;120), $a_{crc}=0,40$ мм (975;130), $a_{crc}=0,50$ мм (1013;140);
 треугольник – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами,
 возрастающими по оси ординат: $a_{crc}=0,10$ мм (420; 40), $a_{crc}=0,20$ мм (615;70),
 $a_{crc}=0,30$ мм (735;94), $a_{crc}=0,40$ мм (825;110), $a_{crc}=0,50$ мм (870;125), где $\ell_{кор}^{max}$ в мм,
 $\delta_{п.к}^{max}$ в мкм.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали классов А-I и А-III, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 1.26 и 3.54 приведена на рис. 3.55–3.57.

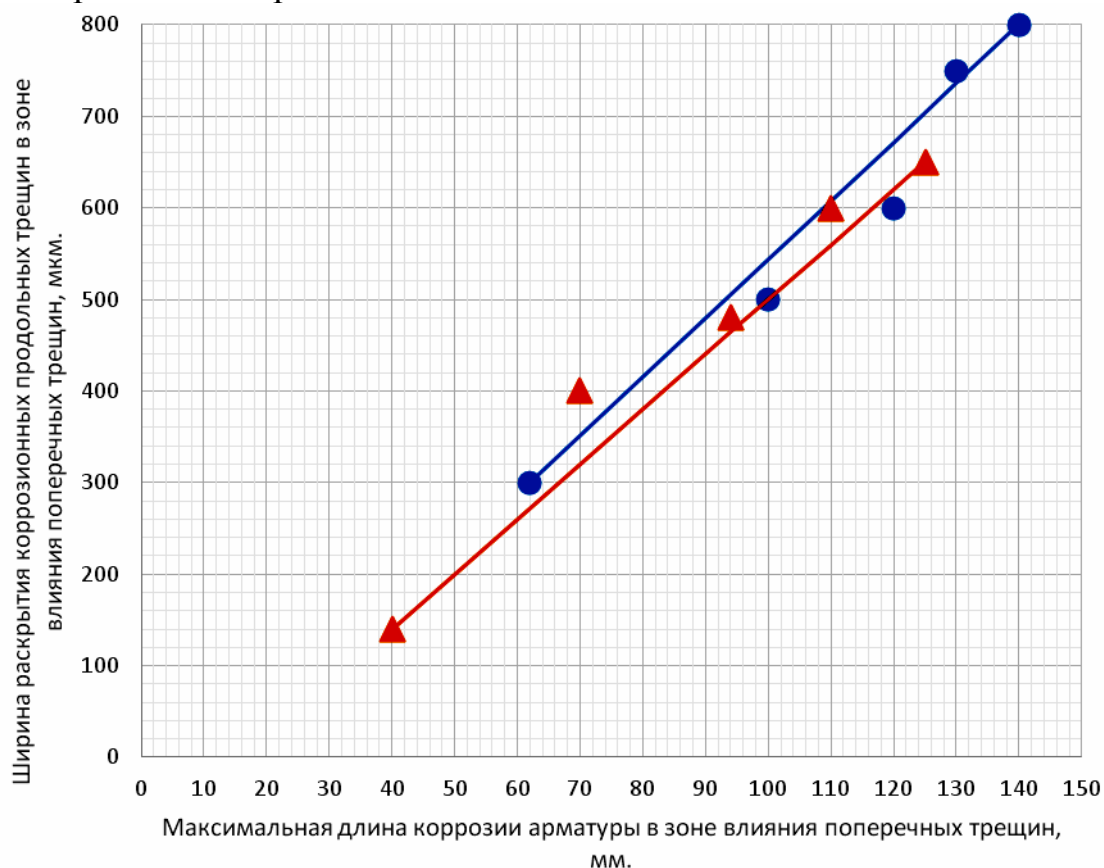


Рис. 3.55. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_{т}^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc}=0,10\div0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000\times200\times70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б}=25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при нижней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (62;300), $a_{crc} = 0,20$ (100;500), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;600), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;750), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;800). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (40;140), $a_{crc} = 0,20$ (70;400), $a_{crc} = 0,30$ (94;480), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;600), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;650).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{прод} = 6,41 \cdot \ell_{кор}^{max} - 97$; треугольник – $a_T^{прод} = 6 \cdot \ell_{кор}^{max} - 100$, где $\ell_{кор}^{max}$ в мм, $a_T^{прод}$ в мкм.

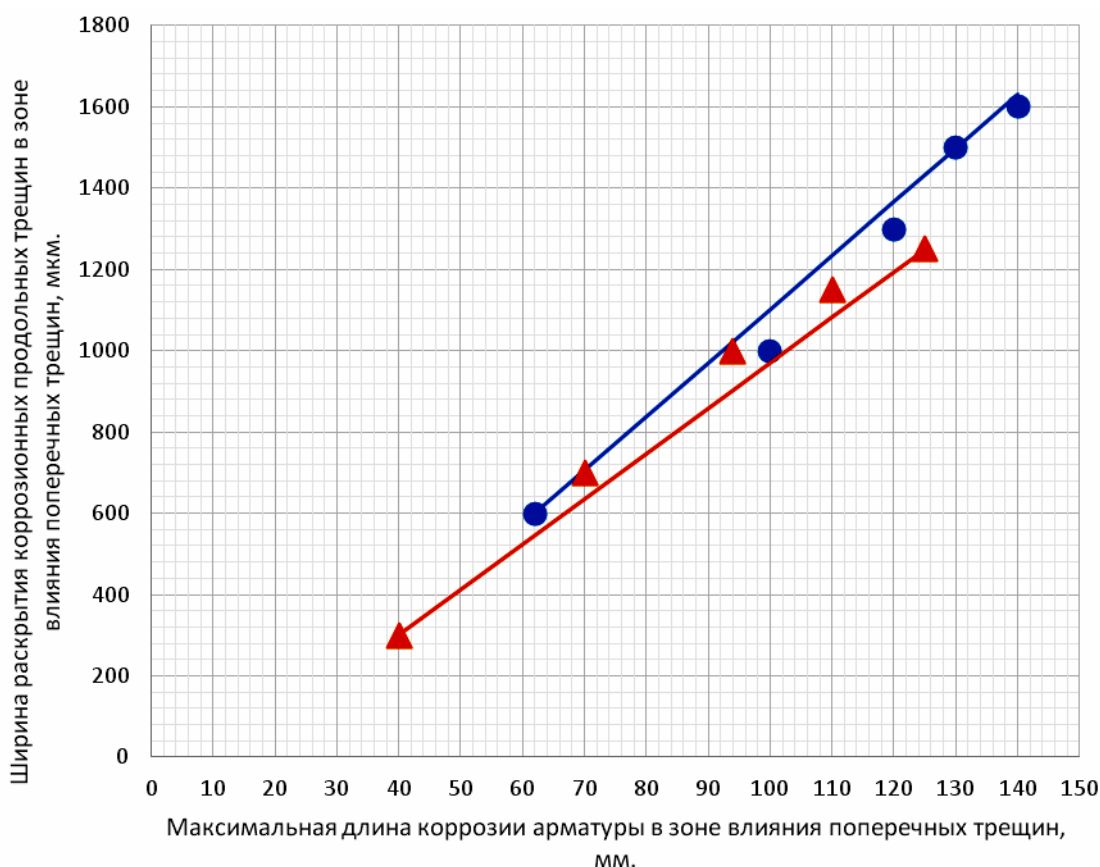


Рис. 3.56. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{max}$

в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (62;600), $a_{crc} = 0,20$ (100;1000), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;1300), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;1500), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;1600). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения

ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (40;300), $a_{crc} = 0,20$ мм (70;700), $a_{crc} = 0,30$ мм (94;1000), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;1150), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;1250).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{prod} = 13,24 \cdot \ell_{кор}^{max} - 221$; треугольник – $a_T^{prod} = 11,18 \cdot \ell_{кор}^{max} - 147$, где $\ell_{кор}^{max}$ в мм, a_T^{prod} в мкм.

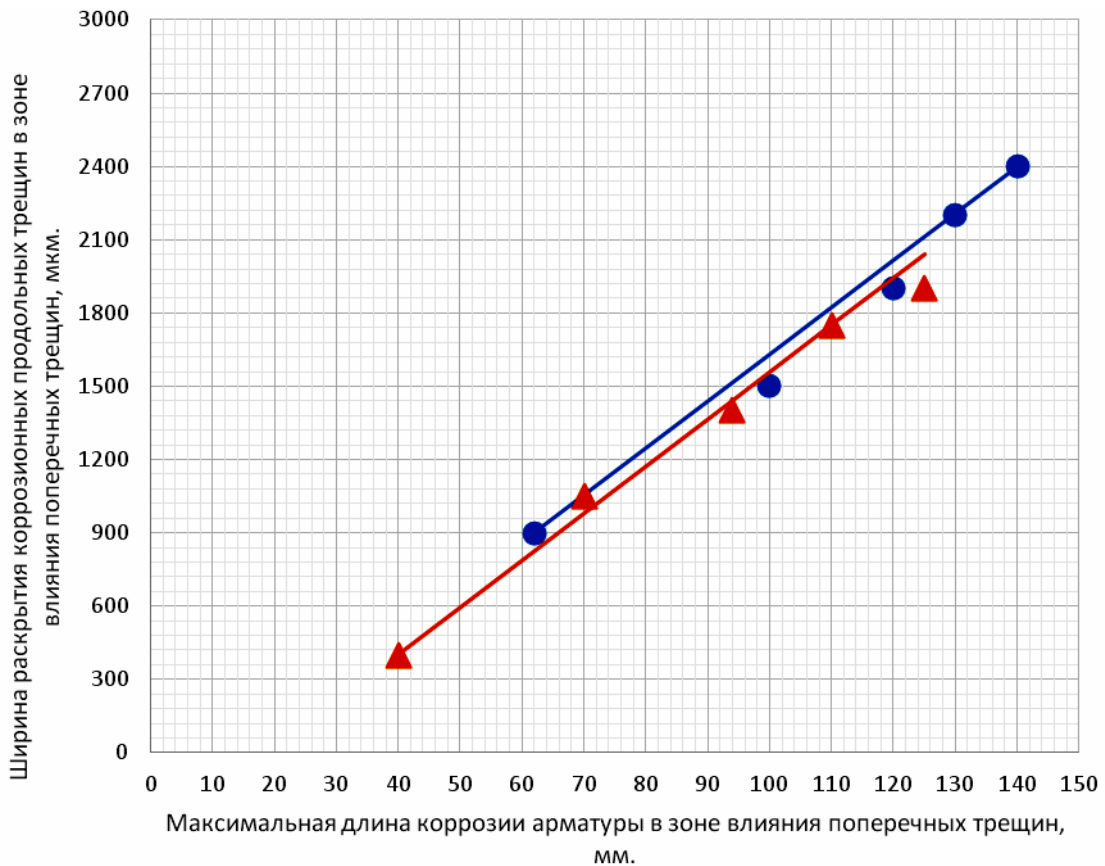


Рис. 3.57. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (62;900), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;1500), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;1900), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;2200), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;2400). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (40;400), $a_{crc} = 0,20$ мм (70;1050), $a_{crc} = 0,30$ мм (94;1400), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;1750), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;1900).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{prod} = 19,23 \cdot \ell_{кор}^{max} - 292$; треугольник – $a_T^{prod} = 19,29 \cdot \ell_{кор}^{max} - 371$, где $\ell_{кор}^{max}$ в мм, a_T^{prod} в мкм.

В сводной табл. 3.18 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры классов А-I и А-III, при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.3.58 и 3.59), при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

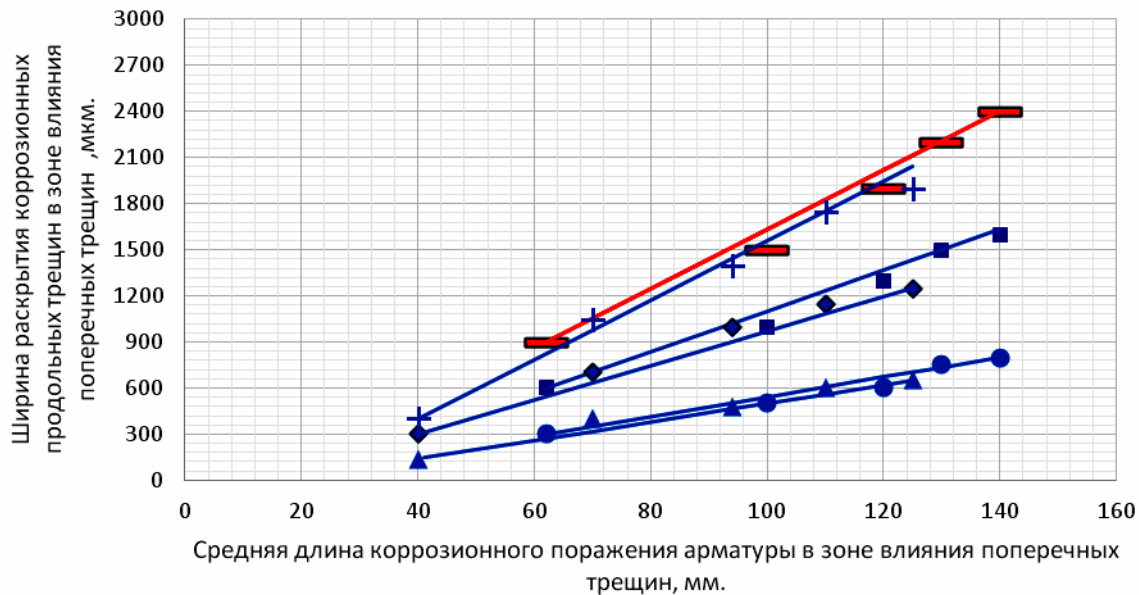


Рис. 3.58. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В 30, в зависимости от максимальной длины коррозии рабочей арматуры диаметром 14 мм классов А-III и А-I $\ell_{кор}^{\text{max}}$ в зоне влияния поперечных трещин, с учётом максимальной глубины поражения арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 3.55–3.57 при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;300), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;500), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;600), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;750), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;800) – $a_T^{\text{прод}} = 6,41 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}} - 97$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (40;140), $a_{crc} = 0,20$ мм (70;400), $a_{crc} = 0,30$ мм (94;480), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;600), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;650) – $a_T^{\text{прод}} = 6 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}} - 100$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;600), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;1000), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;1300), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;1500), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;1600) – $a_T^{\text{прод}} = 13,24 \cdot \ell_{кор}^{\text{max}} - 221$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (40;300), $a_{crc} = 0,20$ мм (70;700), $a_{crc} = 0,30$ мм (94;1000), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;1150), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;1250) – $a_T^{прод} = 11,18 \cdot \ell_{кор}^{max} - 147$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;900), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;1500), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;1900), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;2200), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;2400) – $a_T^{прод} = 19,23 \cdot \ell_{кор}^{max} - 292$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (40;400), $a_{crc} = 0,20$ мм (70;1050), $a_{crc} = 0,30$ мм (94;1400), $a_{crc} = 0,40$ мм (110;1750), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;1900) – $a_T^{прод} = 19,29 \cdot \ell_{кор}^{max} - 371$.

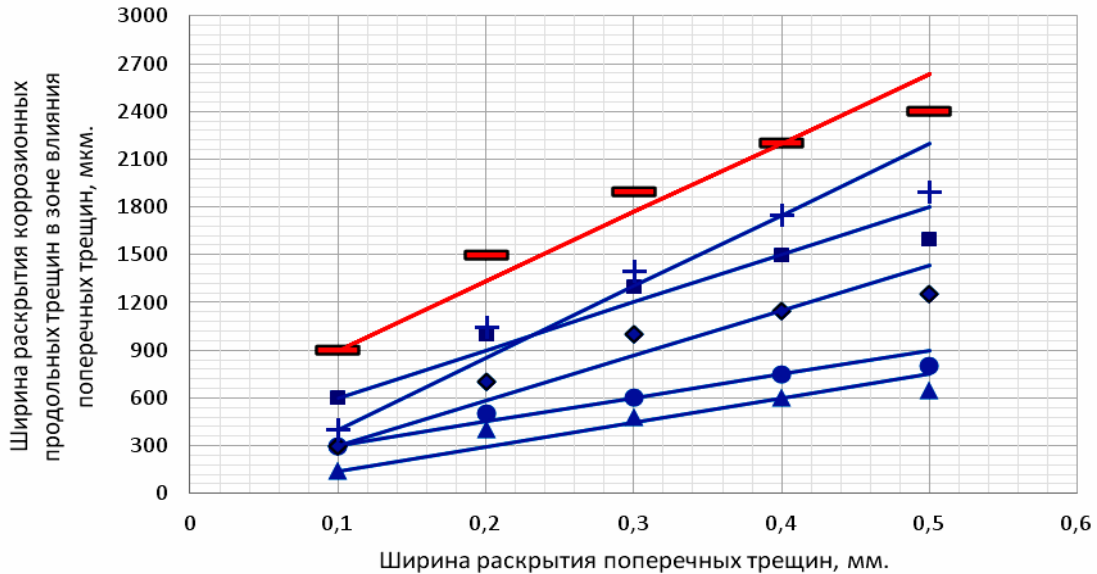


Рис. 3.59. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{max}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III.

Окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;300;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;500;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;600;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;750;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;800;140) – $a_T^{прод} = 150 + 1500 \cdot a_{crc}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая; $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;140;40), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;400;70), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;480;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;600;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;650;125) – $a_T^{прод} = 1533 \cdot a_{crc} - 13$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;600;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1000;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1300;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1500;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1600;140) – $a_T^{прод} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;300;40), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;700;70), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1000;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1150;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1250;125) – $a_T^{прод} = 17 + 2833 \cdot a_{crc}$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;900;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1500;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1900;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;2200;130) $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;2400;140) – $a_T^{prod} = 467 + 4333 \cdot a_{crc}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;400;40), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1050;70), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1400;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1750;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1900;125) – $a_T^{prod} = 4500 \cdot a_{crc} - 50$.

В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$, с учётом $\delta_{кор}^{max}$, в мм.

Т а б л и ц а 3.18

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26 [257].	Класс арматуры	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$ при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{max})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
Нижняя	А-III	140(40)	400(70)	480(94)	600(110)	650(125)	$a_T^{prod} = 1533 \cdot a_{crc} - 600$
		140(40)	400(70)	480(94)	600(110)	650(125)	$a_T^{prod} = 6 \cdot \ell_{кор}^{max} - 100$
	А-I	300(62)	500(100)	600(120)	750(130)	800(140)	$a_T^{prod} = 150 + 1500 \cdot a_{crc}$
		300(62)	500(100)	600(120)	750(130)	800(140)	$a_T^{prod} = 6,41 \cdot \ell_{кор}^{max} - 97$
Средняя	А-III	300(40)	700(70)	1000(94)	1150(110)	1250(125)	$a_T^{prod} = 17 + 2833 \cdot a_{crc}$
		300(40)	700(70)	1000(94)	1150(110)	1250(125)	$a_T^{prod} = 11,18 \cdot \ell_{кор}^{max} - 147$
	А-I	600(62)	1000(100)	1300(120)	1500(130)	1600(140)	$a_T^{prod} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$
		600(62)	1000(100)	1300(120)	1500(130)	1600(140)	$a_T^{prod} = 13,24 \cdot \ell_{кор}^{max} - 221$
Верхняя	А-III	400(40)	1050(70)	1400(94)	1750(110)	1900(125)	$a_T^{prod} = 4500 \cdot a_{crc} - 50$
		400(40)	1050(70)	1400(94)	1750(110)	1900(125)	$a_T^{prod} = 19,29 \cdot \ell_{кор}^{max} - 371$
	А-I	900(62)	1500(100)	1900(120)	2200(130)	2400(140)	$a_T^{prod} = 467 + 4333 \cdot a_{crc}$
		900(62)	1500(100)	1900(120)	2200(130)	2400(140)	$a_T^{prod} = 19,23 \cdot \ell_{кор}^{max} - 292$

Примечание. a_T^{prod} в мкм; в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$ в мм; a_{crc} в мм.

На рис. 3.60 согласно данным рис. 3.4 показано графическое изображение максимальной длины коррозии арматуры классов А-I и А-III в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры классов А-I и А-III, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

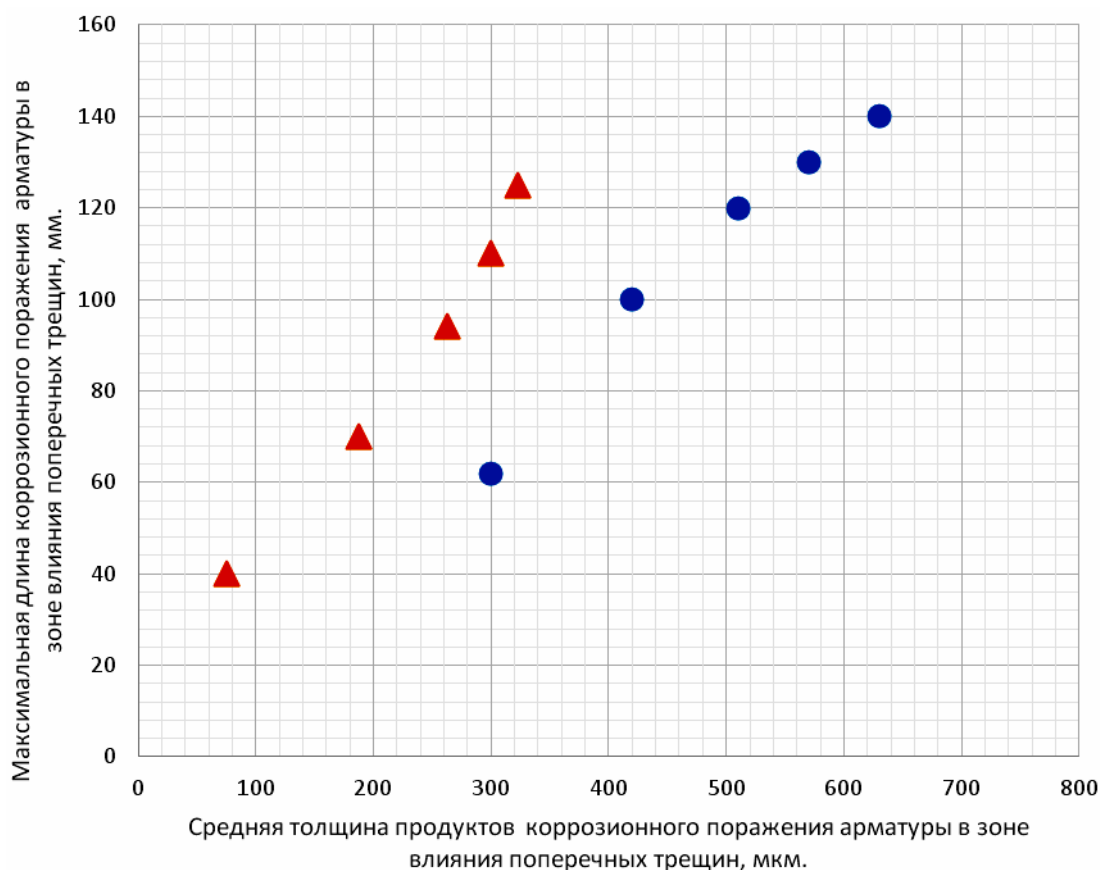


Рис. 3.60. Максимальная длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин в железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=30, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{п.к}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III.

Окружность – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (300;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (420;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (510;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (570;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (630;140); треугольник – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (75; 40), $a_{crc} = 0,20$ мм (188;70), $a_{crc} = 0,30$ мм (363;94), $a_{crc} = 0,40$ мм (300;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (323;125), где $\ell_{кор}^{max}$ в мм, $\delta_{п.к}^{сред}$ в мкм.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин, со средней глубиной коррозии арматуры, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали классов А-I и А-III, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 3.60 отмечена соответственно на рис. 3.61–3.63.

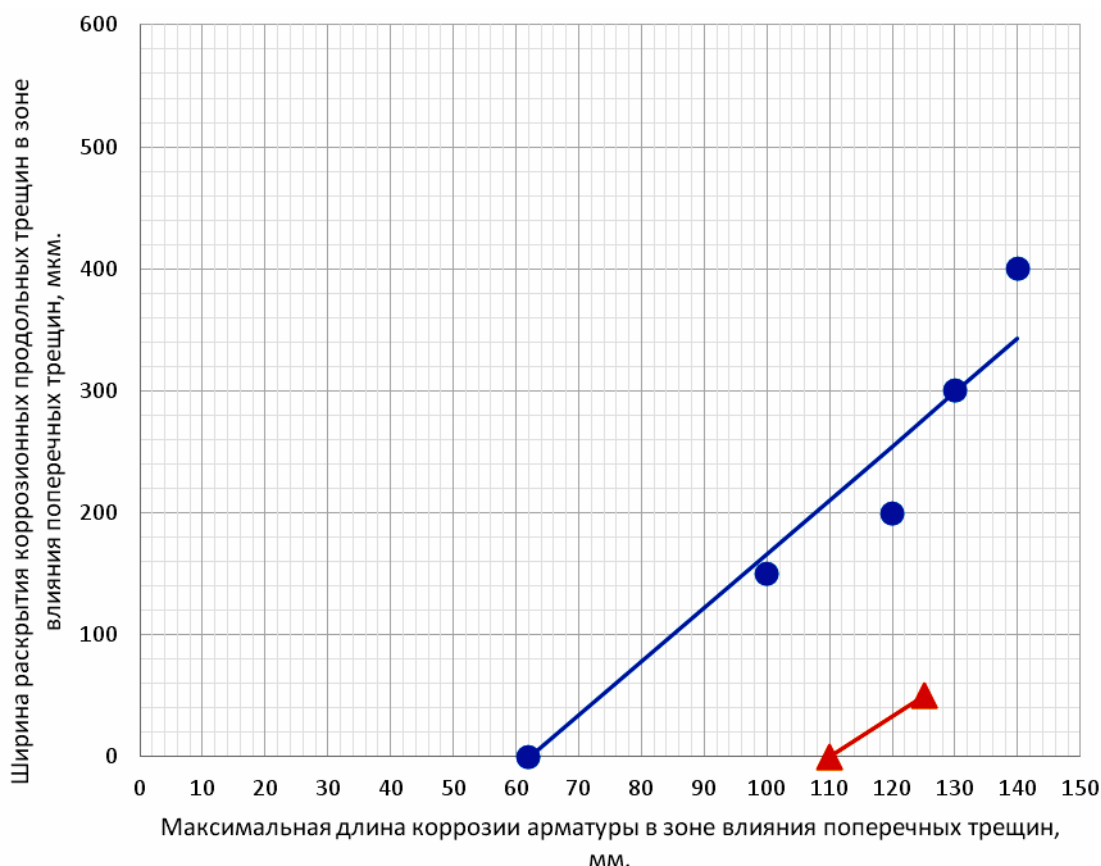


Рис. 3.61. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$

в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (62;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;150), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;200), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;300), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;400). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами – $a_{crc} = 0,40$ мм (110;0), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;50).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 4,41 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 274$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 2 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 200$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

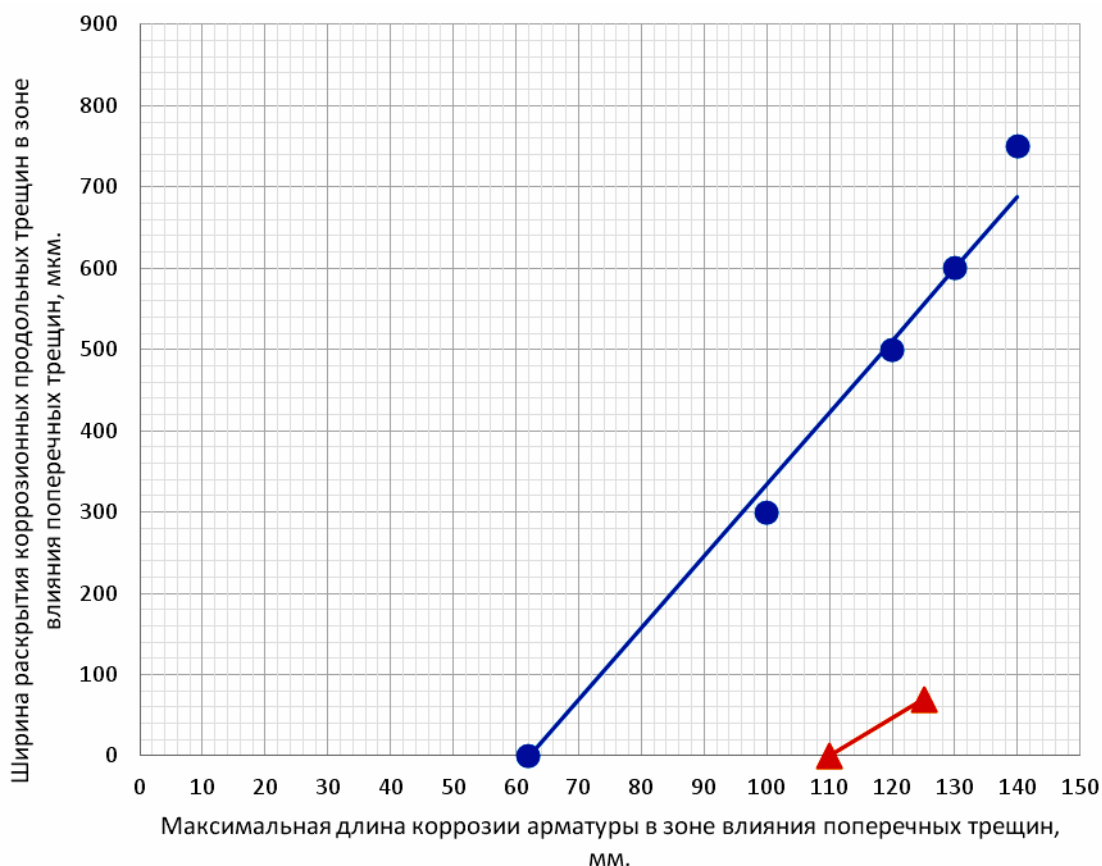


Рис. 3.62. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$

в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при средней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (62;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;300), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;500), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;600), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;750). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами – $a_{crc} = 0,40$ мм (110;0), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;70).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 8,82 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 547$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 4,67 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 513$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

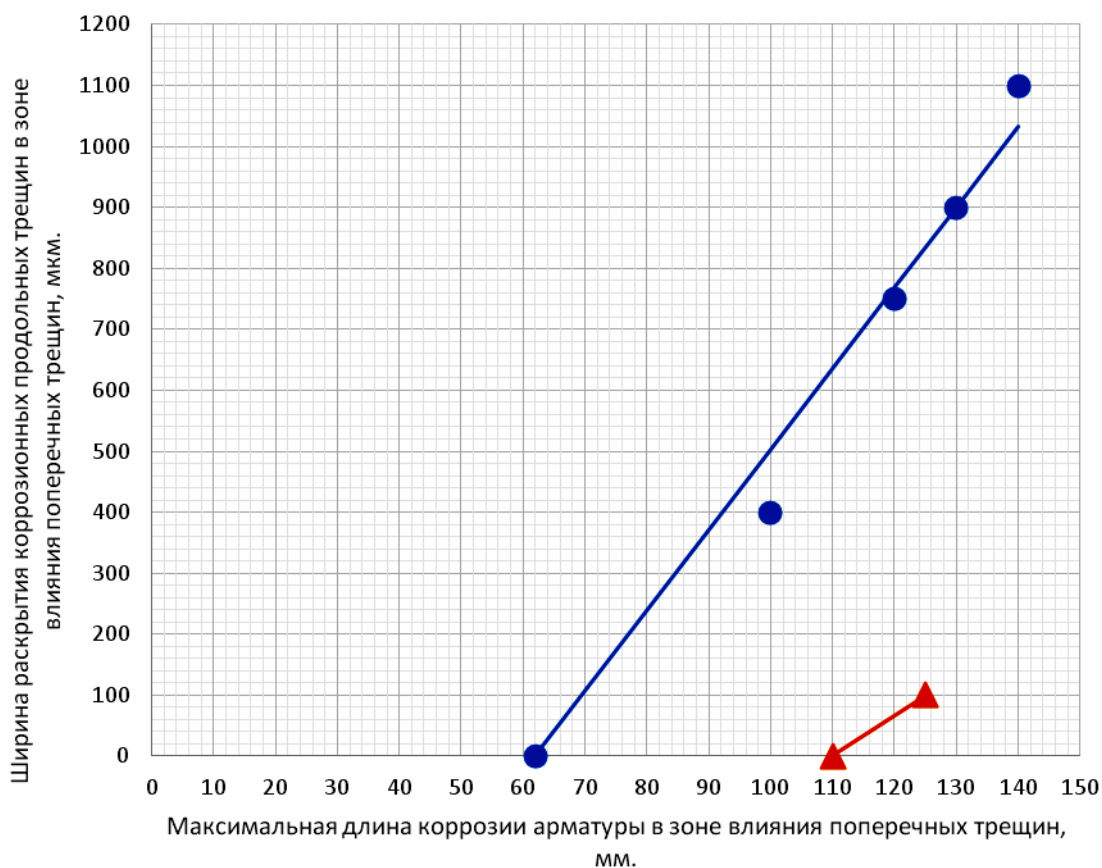


Рис. 3.63. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от максимальной длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$

в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при верхней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (62;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;400), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;750), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;900), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;1100). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами – $a_{crc} = 0,40$ мм (110;0), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;100).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 13,24 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 821$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 6,67 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 733$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{max}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

В сводной табл. 3.19 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от

максимальной длины коррозии арматуры классов А-I и А-III, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.3.64 и 3.65), при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

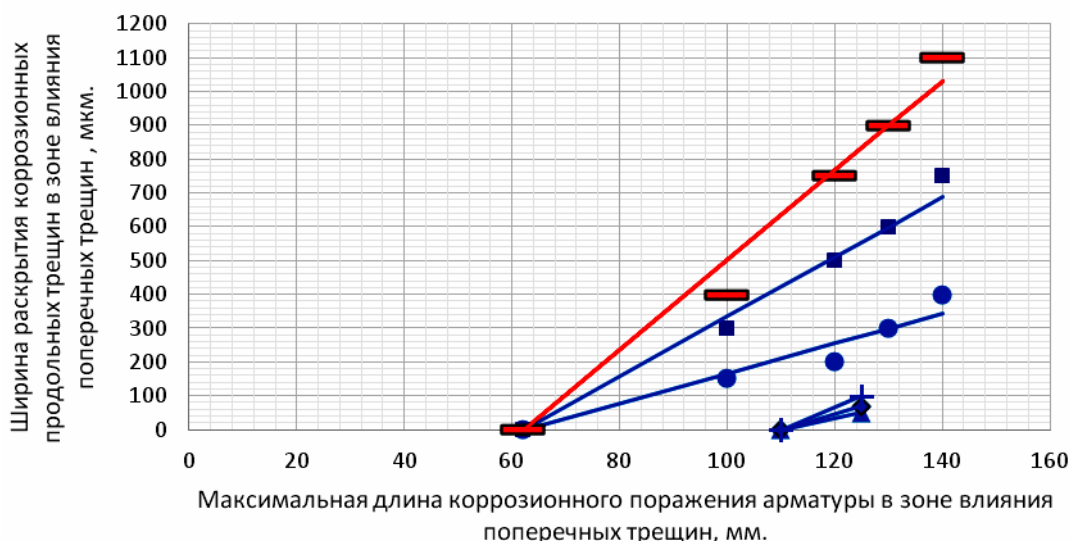


Рис. 3.64. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В 30, в зависимости от максимальной длины коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-III и А-I $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 3.61–3.63 при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;150), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;200), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;300), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;400) – $a_T^{прод} = 4,41 \cdot \ell_{кор}^{max} - 274$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,40$ мм (110;0), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;50) – $a_T^{прод} = 2 \cdot \ell_{кор}^{max} - 200$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;300), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;500), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;600), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;750) – $a_T^{прод} = 8,82 \cdot \ell_{кор}^{max} - 547$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,40$ мм (110;0), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;70) – $a_T^{прод} = 4,67 \cdot \ell_{кор}^{max} - 513$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (62;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (100;400), $a_{crc} = 0,30$ мм (120;750), $a_{crc} = 0,40$ мм (130;900), $a_{crc} = 0,50$ мм (140;1100) – $a_T^{prod} = 13,24 \cdot \ell_{кор}^{max} - 821$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,40$ мм (110;0), $a_{crc} = 0,50$ мм (125;100) – $a_T^{prod} = 6,67 \cdot \ell_{кор}^{max} - 733$.

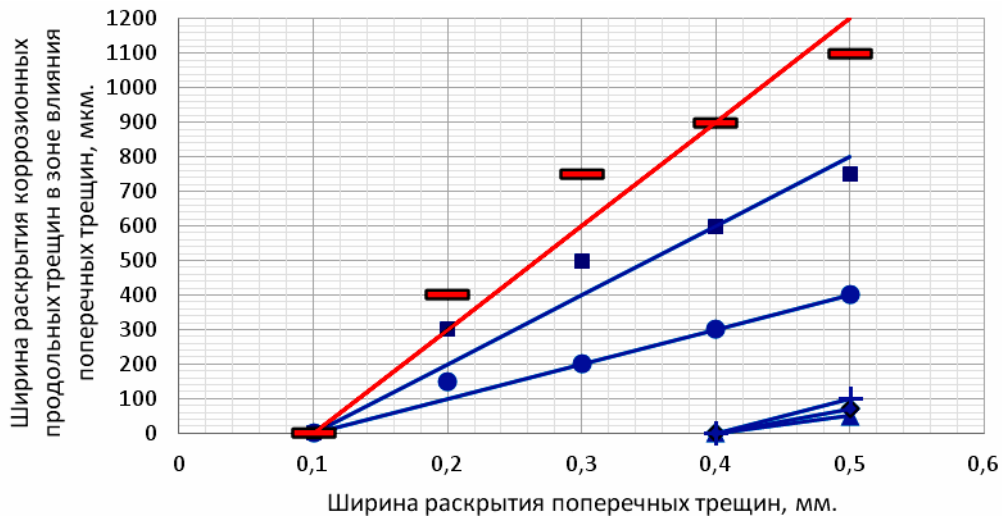


Рис. 3.65. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,5$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{max}$ от $\delta_{кор}^{сред}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III.

Окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;0;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;150;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;200;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;300;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;400;140) – $a_T^{prod} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;0;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;50;125) – $a_T^{prod} = 500 \cdot a_{crc} - 200$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;0;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;300;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;500;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1600;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1750;140) – $a_T^{prod} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;0;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;70;125) – $a_T^{prod} = 700 \cdot a_{crc} - 280$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;0;62), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;400;100), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;750;120), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;900;130), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1100;140) – $a_T^{prod} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;0;110), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;100;125) – $a_T^{prod} = 1000 \cdot a_{crc} - 400$.

В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{max}$ в мм, с учётом $\delta_{кор}^{сред}$.

Т а б л и ц а 3.19

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от максимальной длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис. 1.26 [257]	Класс арматуры	$a_T^{прод} = f(a_{crc}) / a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{max})$ при a_{crc}					Уравнения регрессии $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{max})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
Нижняя	А-III	-	-	-	0 (110)	50(125)	$a_T^{прод} = 500 \cdot a_{crc} - 200$
		-	-	-	0 (110)	50(125)	$a_T^{прод} = 2 \cdot \ell_{кор}^{max} - 200$
	А-I	0(62)	150(100)	200(120)	300(130)	400(140)	$a_T^{прод} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$
		0(62)	150(100)	200(120)	300(130)	400(140)	$a_T^{прод} = 4,41 \cdot \ell_{кор}^{max} - 274$
Средняя	А-III	-	-	-	0(110)	70(125)	$a_T^{прод} = 700 \cdot a_{crc} - 280$
		-	-	-	0(110)	70(125)	$a_T^{прод} = 4,67 \cdot \ell_{кор}^{max} - 513$
	А-I	0(62)	300(100)	500(120)	600(130)	750(140)	$a_T^{прод} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$
		0(62)	300(100)	500(120)	600(130)	750(140)	$a_T^{прод} = 8,82 \cdot \ell_{кор}^{max} - 547$
Верхняя	А-III	-	-	-	0(110)	100(125)	$a_T^{прод} = 1000 \cdot a_{crc} - 400$
		-	-	-	0(110)	100(125)	$a_T^{прод} = 6,67 \cdot \ell_{кор}^{max} - 733$
	А-I	0(62)	400(100)	750(120)	900(130)	1100(140)	$a_T^{прод} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$
		0(62)	400(100)	750(120)	900(130)	1100(140)	$a_T^{прод} = 13,24 \cdot \ell_{кор}^{max} - 821$

Примечание. $a_T^{прод}$ в мкм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{max}$ в мм; a_{crc} в мм.

На рис. 3.66 согласно данным рис. 3.5 представлено графическое изображение средней длины коррозии арматуры классов А-I и А-III в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры

классов А-I и А-III, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

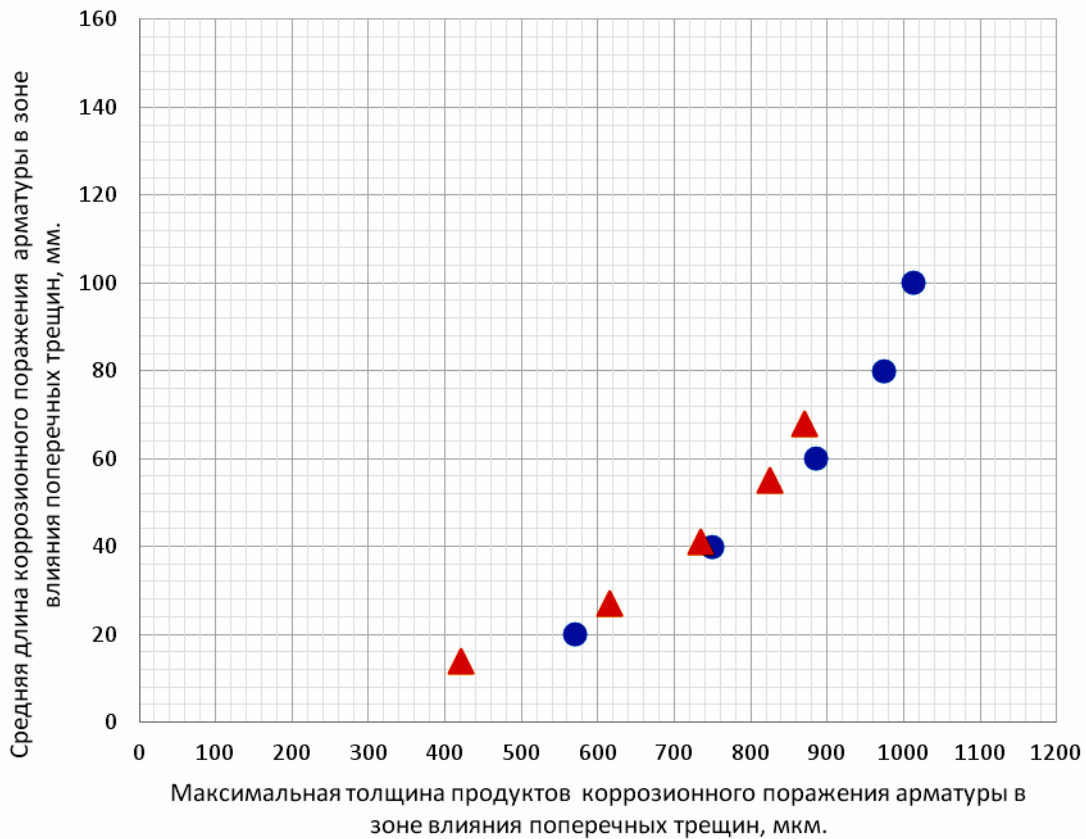


Рис. 3.66. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III $l_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=30, в зависимости от максимальной толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{п.к.}^{max}$ в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III.

Окружность – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (570;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (750;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (885;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (975;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (1013;100); треугольник – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (420, 14), $a_{crc} = 0,20$ мм (615;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (735;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (825;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (870;68), где $l_{кор}^{сред}$ в мм, $\delta_{п.к.}^{max}$ в мкм.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин с максимальной

глубиной коррозии арматуры, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали классов А-I и А-III, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 3.66 содержится соответственно на рис. 3.67–3.69.

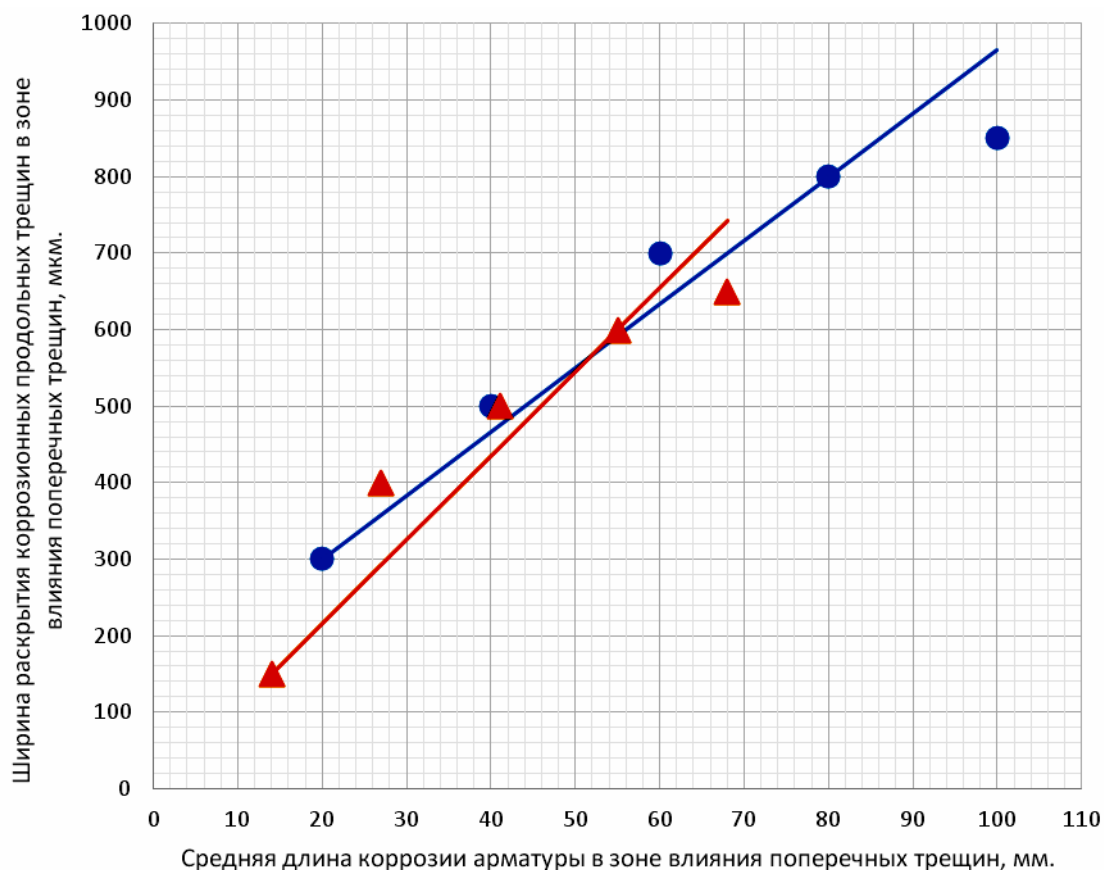


Рис. 3.67. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;300), $a_{crc} = 0,20$ (40;500), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;700), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;800), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;850). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами – $a_{crc} = 0,10$ мм (14;150), $a_{crc} = 0,20$ (27;400), $a_{crc} = 0,30$ мм (41;500), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;600), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;650).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 133 + 8,33 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 10,98 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 4$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

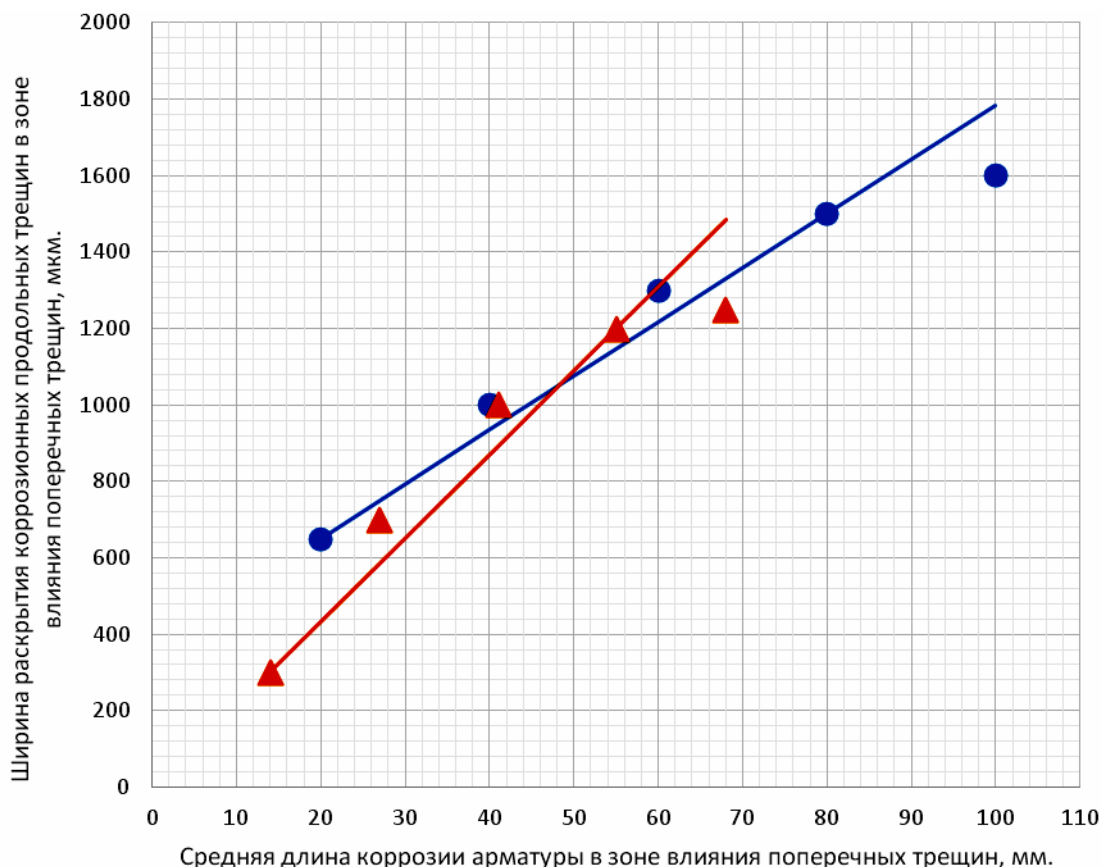


Рис. 3.68. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;650), $a_{crc} = 0,20$ (40;1000), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;1300), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;1500), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;1600). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (14;300), $a_{crc} = 0,20$ (27;700), $a_{crc} = 0,30$ мм (41;1000), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;1200), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;1250).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 367 + 14,17 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 21,95 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 7$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

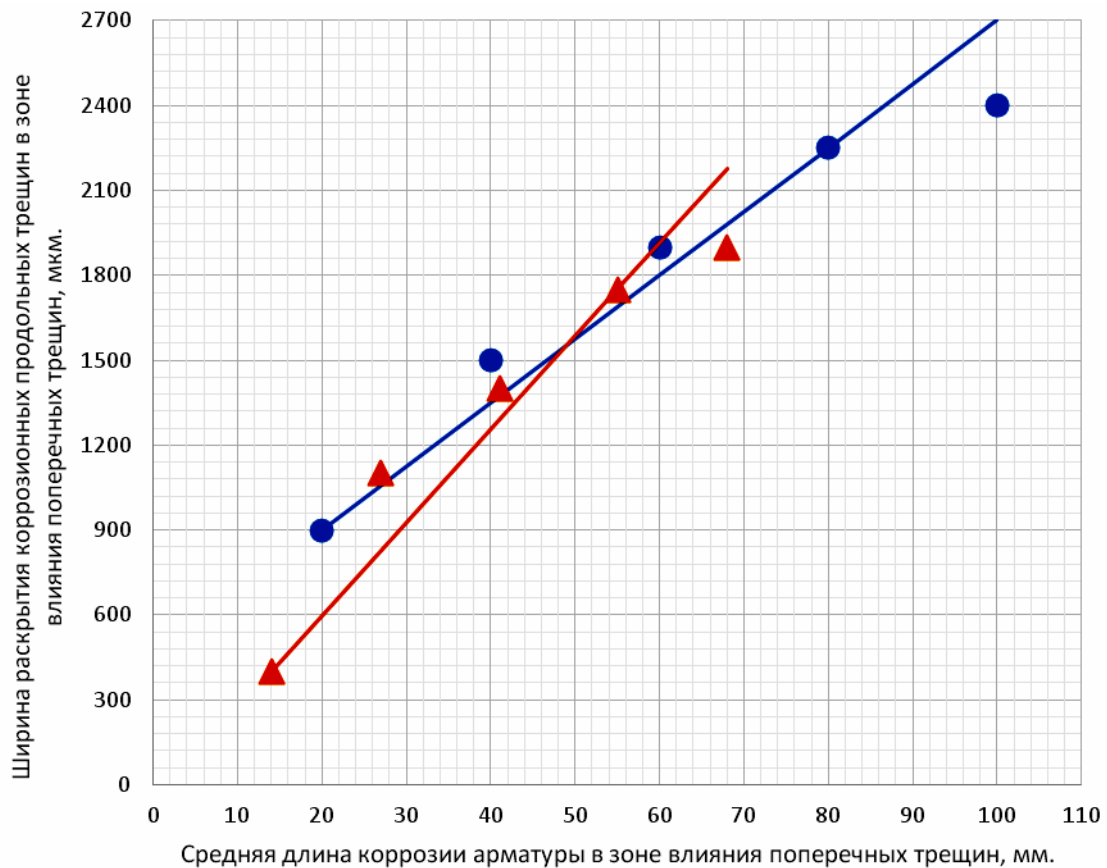


Рис. 3.69. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{3.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом максимальной глубины коррозии арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при верхней функциональной прямой (рис. 1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;900), $a_{crc} = 0,20$ (40;1500), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;1900), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;2250), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;2400). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами – $a_{crc} = 0,10$ мм (14;400), $a_{crc} = 0,20$ (27;1100), $a_{crc} = 0,30$ мм (41;1400), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;1750), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;1900).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 450 + 22,5 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 32,93 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 61$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

В сводной табл. 3.20 показаны значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{3.с.б} = 25$ мм и в зависимости от средней

длины коррозии арматуры классов А-I и А-III, при максимальной глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.3.70 и 3.71), при полуторкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

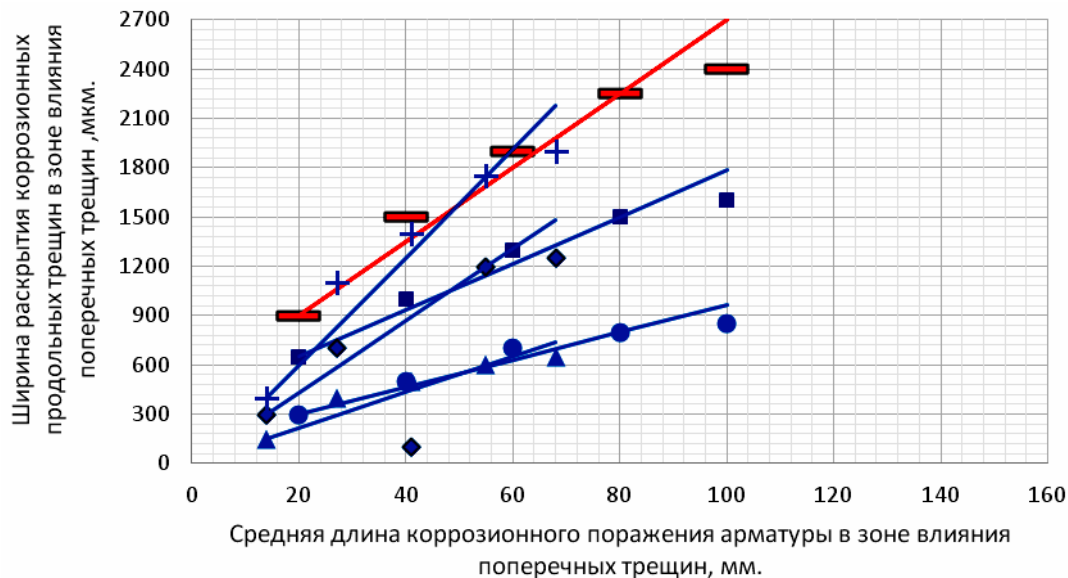


Рис. 3.70. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с толщиной защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В 30, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-III и А-I $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{\text{crc}} = 0,10 \div 0,5$ мм, с учётом максимальной глубины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 3.67–3.69 при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (20;300), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (40;500), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (60;700), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (80;800), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (100;850) – $a_T^{\text{прод}} = 133 + 8,33 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (14;150), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27;400), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (41;500), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (55;600), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (68;650) – $a_T^{\text{прод}} = 10,98 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 4$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (20;650), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (40;1000), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (60;1300), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (80;1500), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (100;1600) – $a_T^{\text{прод}} = 367 + 14,17 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{\text{crc}} = 0,10$ мм (14;300), $a_{\text{crc}} = 0,20$ мм (27;700), $a_{\text{crc}} = 0,30$ мм (41;1000), $a_{\text{crc}} = 0,40$ мм (55;1200), $a_{\text{crc}} = 0,50$ мм (68;1250) – $a_T^{\text{прод}} = 21,95 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 7$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;900), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;1500), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;1900), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;2250), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;2400) – $a_T^{prod} = 450 + 22,5 \cdot \ell_{кор}^{сред}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (14;400), $a_{crc} = 0,20$ мм (27;1100), $a_{crc} = 0,30$ мм (41;1400), $a_{crc} = 0,40$ мм (55;1750), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;1900) – $a_T^{prod} = 32,93 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 61$.

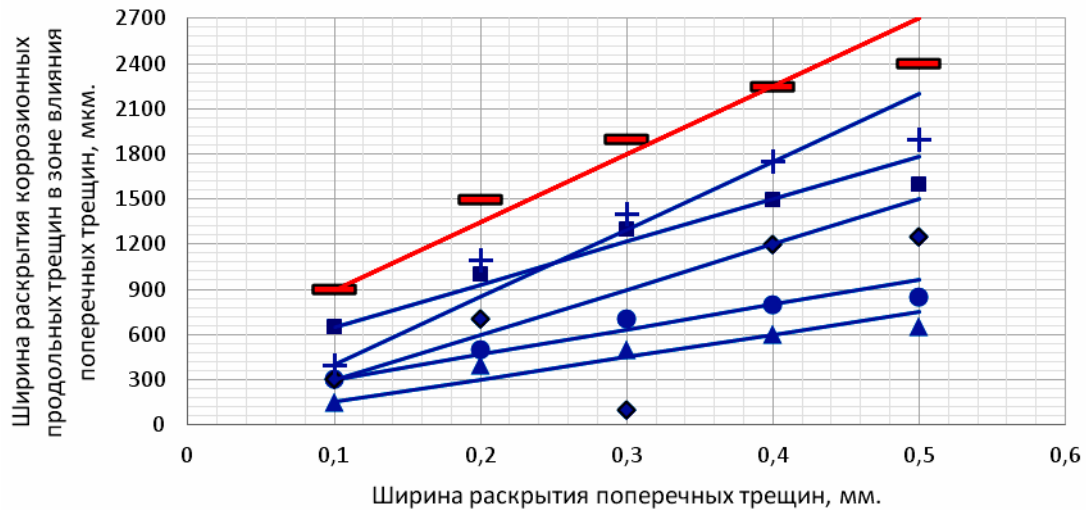


Рис. 3.71. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{max}$ при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III.

Окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;300;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;500;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;700;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;800;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;850;100) – $a_T^{prod} = 433 + 1667 \cdot a_{crc}$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;150;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;400;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;500;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;600;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;650;68) – $a_T^{prod} = 1500 \cdot a_{crc}$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;650;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1000;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1300;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1500;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1600;100) – $a_T^{prod} = 367 + 2833 \cdot a_{crc}$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;300;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;700;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1000;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1200;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1250;68) – $a_T^{prod} = 3000 \cdot a_{crc}$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;900;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1400;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1900;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;2250;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;2400;100) – $a_T^{prod} = 450 + 4500 \cdot a_{crc}$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;400;14), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;1100;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;1400;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;1750;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1900;68) – $a_T^{prod} = 4500 \cdot a_{crc} - 50$.

В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{сред}$ в мм, с учётом $\delta_{кор}^{max}$.

Т а б л и ц а 3.20

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба, с учётом максимальной глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{max}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис.1.26[257].	Класс арматуры	$a_T^{prod} = f(a_{crc}) / a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$ при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{prod} = f(a_{crc})$, $a_T^{prod} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
Нижняя	А-III	150(14)	400(27)	500(41)	600(55)	650(68)	$a_T^{prod} = 1500 \cdot a_{crc}$
		150(14)	400(27)	500(41)	600(55)	650(68)	$a_T^{prod} = 10,98 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 4$
	А-I	300(20)	500(40)	700(60)	800(80)	850(100)	$a_T^{prod} = 133 + 1667 \cdot a_{crc}$
		300(20)	500(40)	700(60)	800(80)	850(100)	$a_T^{prod} = 133 + 8,33 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
Средняя	А-III	300(14)	700(27)	1000(41)	1200(55)	1250(68)	$a_T^{prod} = 3000 \cdot a_{crc}$
		300(14)	700(27)	1000(41)	1200(55)	1250(68)	$a_T^{prod} = 21,95 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 7$
	А-I	650(20)	1000(40)	1300(60)	1500(80)	1600(100)	$a_T^{prod} = 367 + 2833 \cdot a_{crc}$
		650(20)	1000(40)	1300(60)	1500(80)	1600(100)	$a_T^{prod} = 367 + 14,17 \cdot \ell_{кор}^{сред}$
Верхняя	А-III	400(14)	1100(27)	1400(41)	1750(55)	1900(68)	$a_T^{prod} = 4500 \cdot a_{crc} - 50$
		400(14)	1100(27)	1400(41)	1750(55)	1900(68)	$a_T^{prod} = 32,93 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 61$
	А-I	900(20)	1500(40)	1900(60)	2250(80)	2400(100)	$a_T^{prod} = 450 + 4500 \cdot a_{crc}$
		900(20)	1500(40)	1900(60)	2250(80)	2400(100)	$a_T^{prod} = 450 + 22,5 \cdot \ell_{кор}^{сред}$

П р и м е ч а н и е . a_T^{prod} в мкм; в круглых скобках – $\ell_{кор}^{сред}$ в мм; a_{crc} в мм.

На рис. 3.72 согласно данным рис. 3.5 показано графическое изображение средней длины коррозии арматуры классов А-I и А-III в расчётных поперечных трещинах в зоне чистого изгиба с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры классов А-I и А-III, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали.

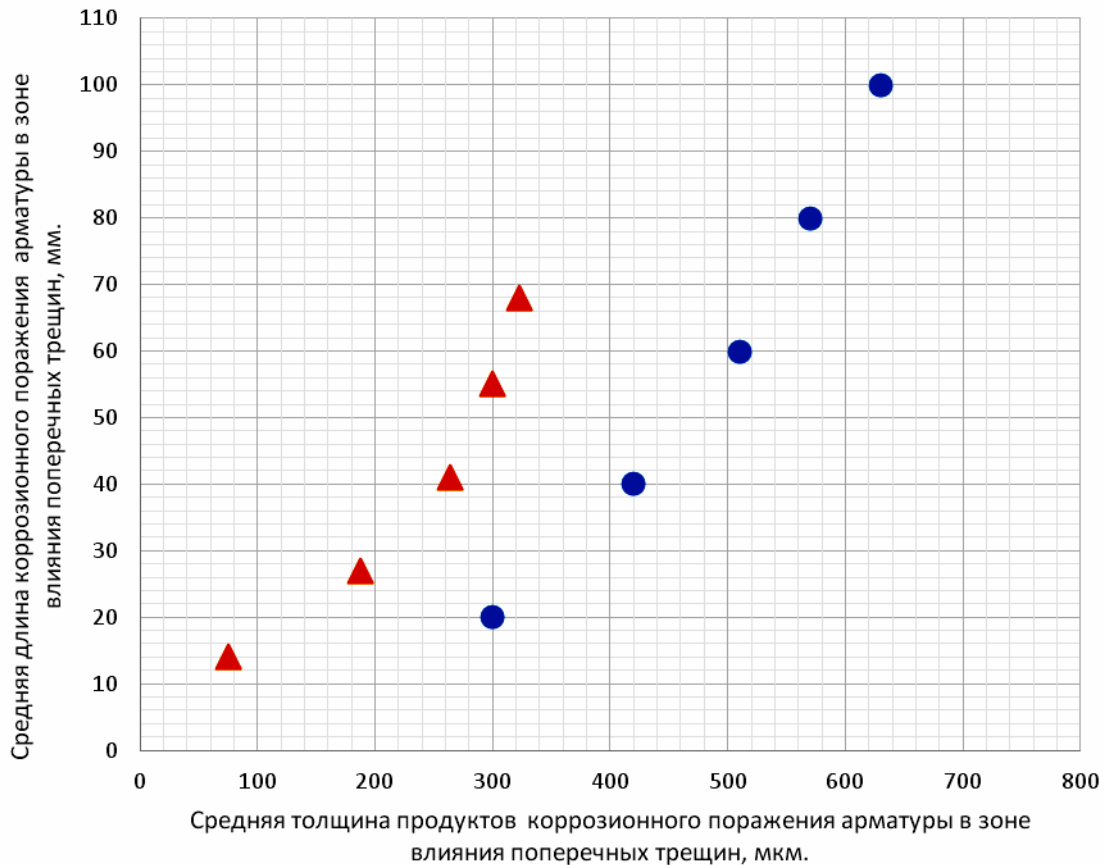


Рис. 3.72. Средняя длина коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-I и А-III

$\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин в железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В=30, в зависимости от средней толщины продуктов коррозии арматуры $\delta_{п.к}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин бетона с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры, при увеличении толщины продуктов коррозии стальной арматуры в 1,5 раза, по сравнению с металлом арматуры, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки. Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III.

Окружность – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (300;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (420;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (510;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (570;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (630;100); треугольник – значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами, возрастающими по оси ординат: $a_{crc} = 0,10$ мм (75; 14), $a_{crc} = 0,20$ мм (188;27), $a_{crc} = 0,30$ мм (264;41), $a_{crc} = 0,40$ мм (300;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (323;68), где $\ell_{кор}^{сред}$ в мм, $\delta_{п.к}^{сред}$ в мкм.

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры в зоне влияния поперечных трещин, со средней глубиной коррозии арматурной стали, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры классов А-I и А-III, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис.1.26 и 3.72 представлена соответственно на рис. 3.73–3.75.

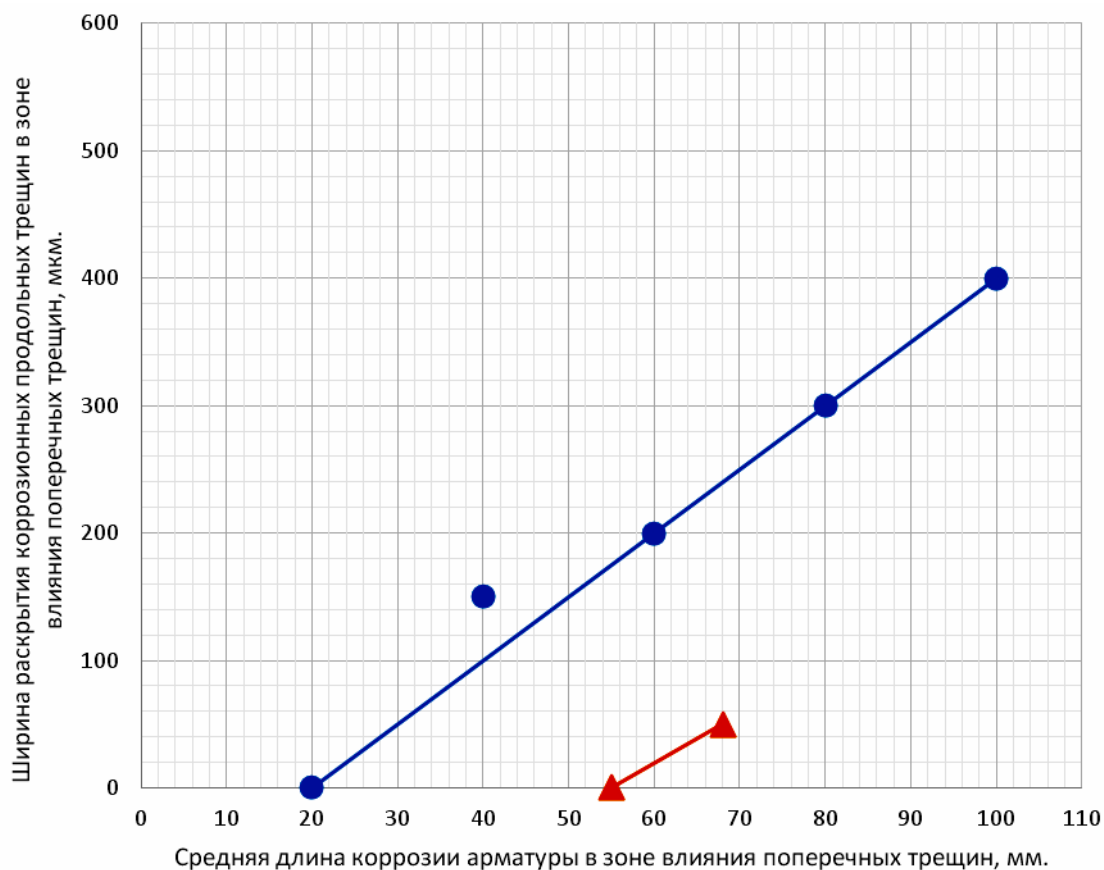


Рис. 3.73. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $l_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, при нижней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;150), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;200), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;300), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;400). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,40$ мм (55;0), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;50).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 5 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 100$; треугольник $a_T^{\text{прод}} = 3,85 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 212$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

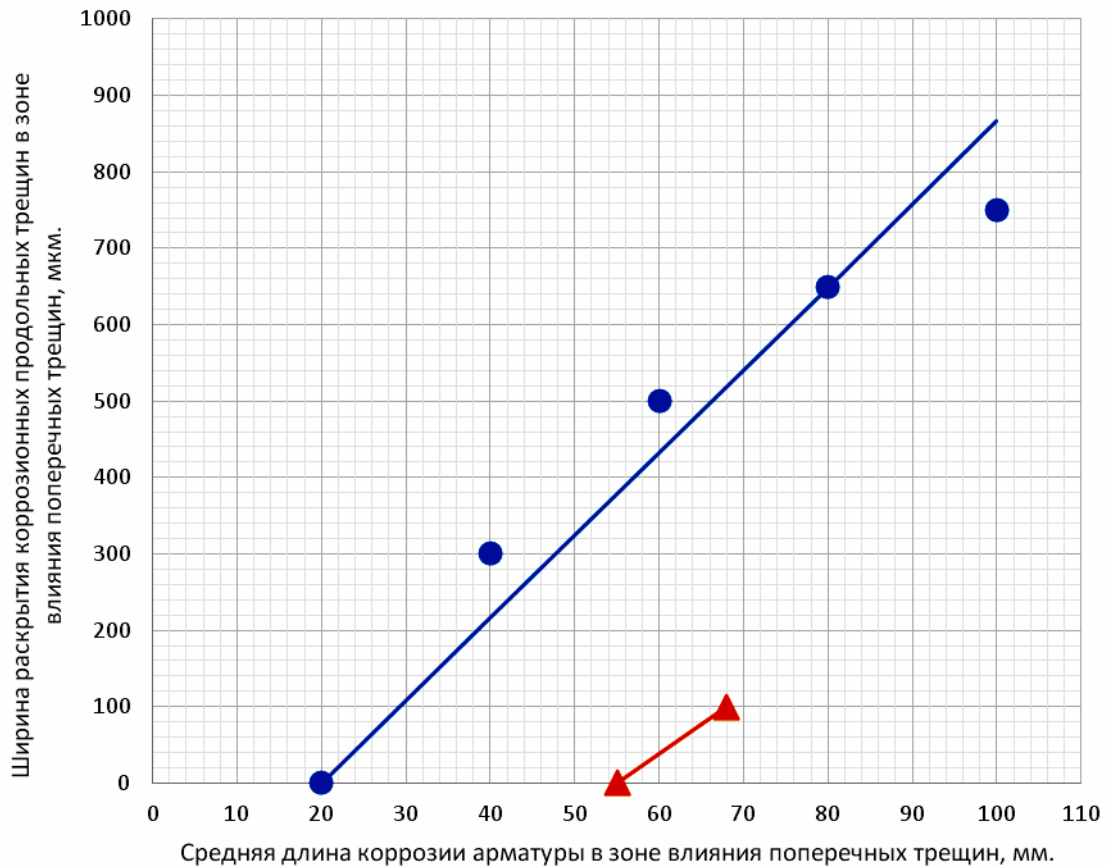


Рис. 3.74. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при средней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;0), $a_{crc} = 0,20$ (40;300), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;500), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;650), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;750). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,40$ мм (55;0), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;100).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 10,83 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 217$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 7,69 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 423$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

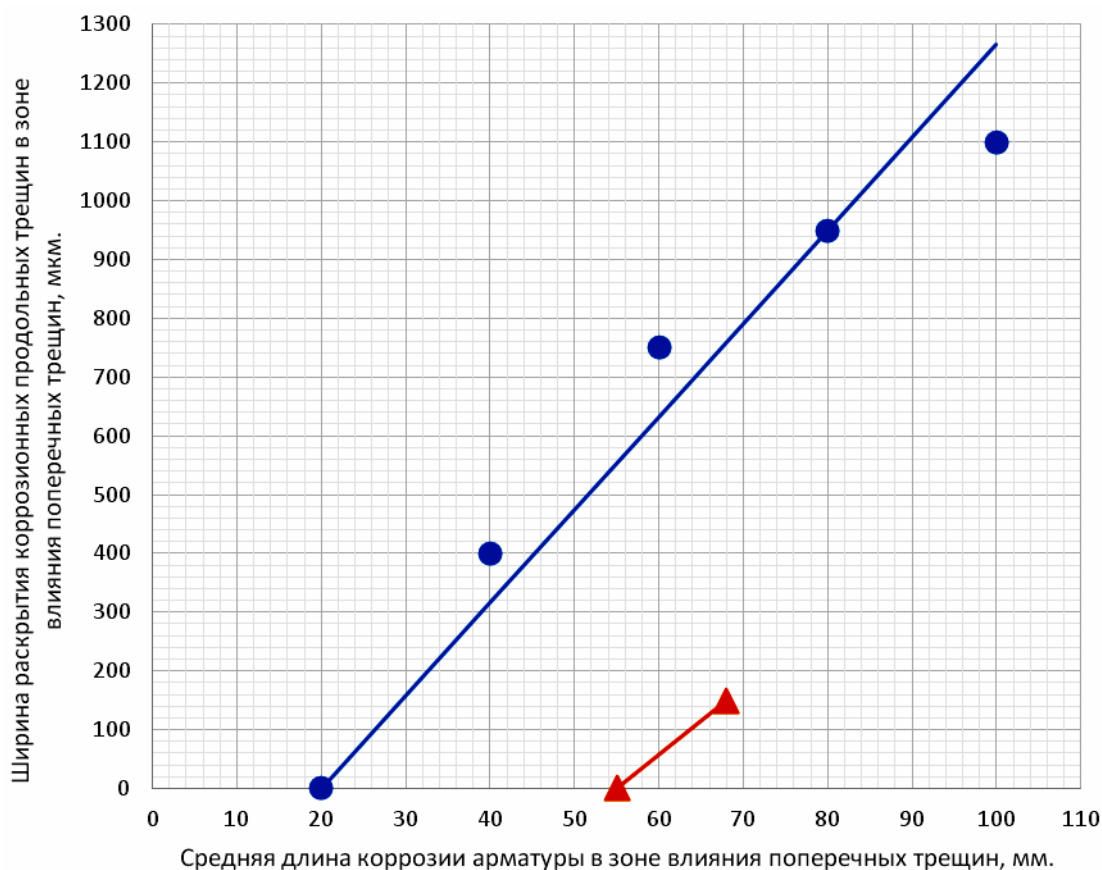


Рис. 3.75. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на железобетонных образцах с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зависимости от средней длины коррозионного поражения арматуры $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в зоне влияния поперечных трещин, при толщине защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классе бетона В 30, с учетом средней глубины коррозии арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии металла арматуры, при верхней функциональной прямой (рис.1.26), при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность – А-I, треугольник – А-III. Окружности, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,10$ мм (20;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;400), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;570), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;950), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;1100). Треугольники, по возрастающей оси ординат, имеют следующие значения ширины раскрытия поперечных трещин с координатами: $a_{crc} = 0,40$ мм (55;0), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;150).

Уравнения регрессии: окружность – $a_T^{\text{прод}} = 15,83 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 317$; треугольник – $a_T^{\text{прод}} = 11,54 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 635$, где $\ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$ в мм, $a_T^{\text{прод}}$ в мкм.

В сводной табл. 3.21 содержатся значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и в зависимости от средней

длины коррозии арматуры классов А-I и А-III, при средней глубине её коррозионного поражения, с учётом нижней, средней и верхней функциональных прямых (рис.3.76 и 3.77), при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, при действии постоянной изгибающей нагрузки.

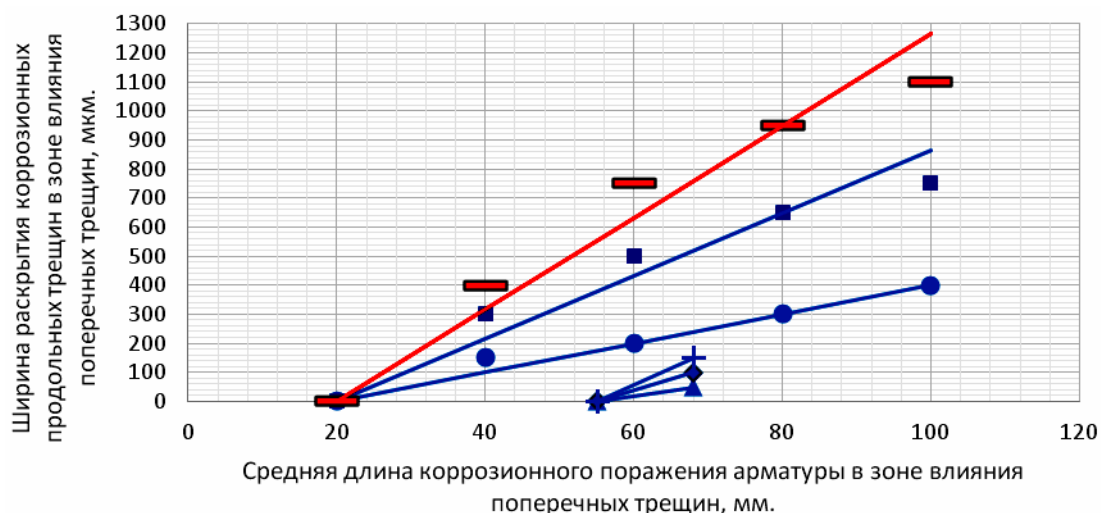


Рис. 3.76. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{прод}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм на поверхности опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с толщиной защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм и классом бетона В 30, в зависимости от средней длины коррозии арматуры диаметром 14 мм классов А-III и А-I $l_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин, с учётом средней глубины коррозионного поражения арматуры и 1,5-кратного увеличения толщины продуктов коррозии арматурной стали, по сравнению с металлом арматуры, при нижней, средней и верхней функциональных прямых согласно рис. 3.73–3.75 при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III. Увеличение значений ширины раскрытия поперечных трещин для всех геометрических символов возрастает по оси ординат, которые имеют соответствующие координаты и уравнения регрессии: окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;150), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;200), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;300), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;400) – $a_T^{прод} = 5 \cdot l_{кор}^{сред} - 100$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,40$ мм (55;0), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;50) – $a_T^{прод} = 3,85 \cdot l_{кор}^{сред} - 212$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;300), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;500), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;650), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;750) – $a_T^{прод} = 10,83 \cdot l_{кор}^{сред} - 217$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,40$ мм (55;0), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;100) – $a_T^{прод} = 7,69 \cdot l_{кор}^{сред} - 423$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (20;0), $a_{crc} = 0,20$ мм (40;400), $a_{crc} = 0,30$ мм (60;750), $a_{crc} = 0,40$ мм (80;950), $a_{crc} = 0,50$ мм (100;1100) – $a_T^{prod} = 15,83 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 317$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,40$ мм (55;0), $a_{crc} = 0,50$ мм (68;150) – $a_T^{prod} = 11,54 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 635$.

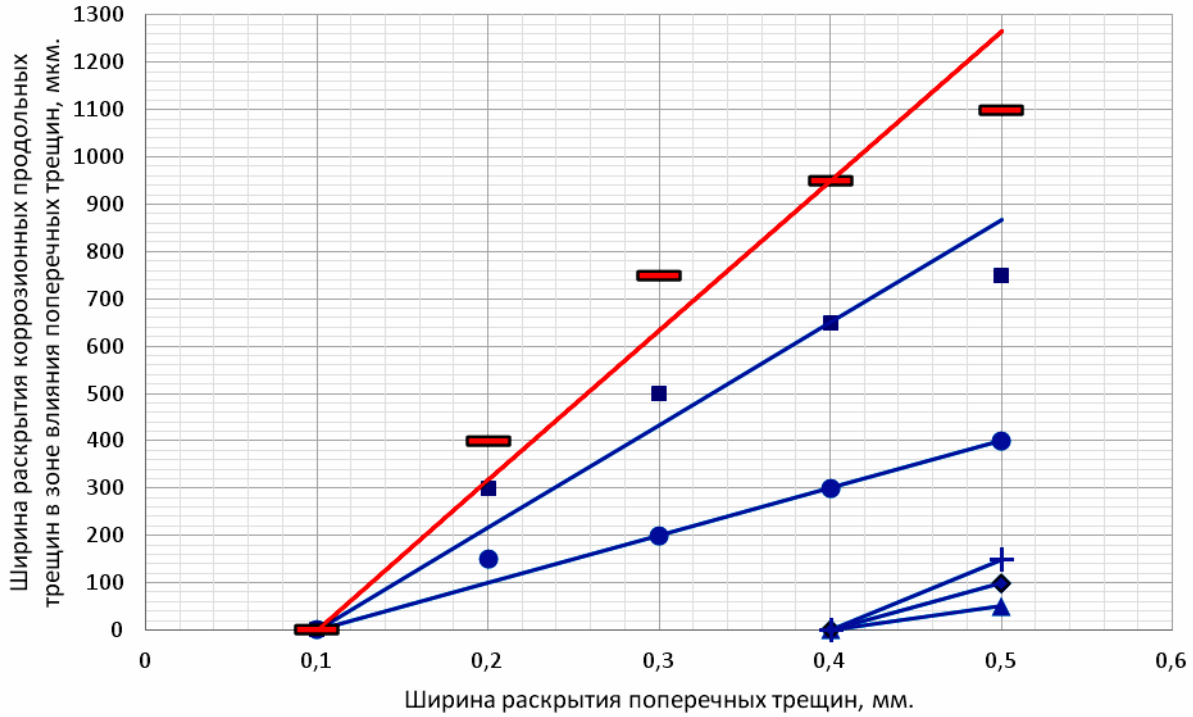


Рис. 3.77. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин a_T^{prod} в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм опытных железобетонных образцов с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба балок, с учётом зависимости $\ell_{кор}^{сред}$ от $\delta_{кор}^{сред}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Условные обозначения: окружность, квадрат, прямоугольник – класс А-I; ромб, треугольник, засечка – класс А-III.

Окружность, класс А-I, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;0;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;150;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;200;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;300;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;400;100) – $a_T^{prod} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$.

Треугольник, класс А-III, нижняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;0;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;50;68) – $a_T^{prod} = 500 \cdot a_{crc} - 200$.

Квадрат, класс А-I, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;0;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;300;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;500;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;650;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;750;100) – $a_T^{prod} = 2167 \cdot a_{crc} - 217$.

Ромб, класс А-III, средняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;0;55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;100;68) – $a_T^{prod} = 1000 \cdot a_{crc} - 400$.

Прямоугольник, класс А-I, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,10$ мм (0,10;0;20), $a_{crc} = 0,20$ мм (0,20;400;40), $a_{crc} = 0,30$ мм (0,30;750;60), $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;950;80), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;1100;100) – $a_T^{prod} = 3167 \cdot a_{crc} - 317$.

Засечка, класс А-III, верхняя функциональная прямая – $a_{crc} = 0,40$ мм (0,40;0,55), $a_{crc} = 0,50$ мм (0,50;150;68) – $a_T^{прод} = 1500 \cdot a_{crc} - 600$.

В координатах условных обозначений третье значение в круглых скобках – $\ell_{кор}^{сред}$ в мм, с учётом $\delta_{кор}^{сред}$.

Т а б л и ц а 3.21

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм в железобетонных образцах с размерами 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона и от средней длины коррозии арматуры $\ell_{кор}^{сред}$ в зоне влияния поперечных трещин с $a_{crc} = 0,10 \div 0,50$ мм в области чистого изгиба, с учётом средней глубины коррозии арматуры $\delta_{кор}^{сред}$, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, и полученные уравнения регрессии, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Место расположения на рис. 1.26 [257]	Класс арматуры	$a_T^{прод} = f(a_{crc}) / a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$ при a_{crc}					Уравнения регрессии: $a_T^{прод} = f(a_{crc})$, $a_T^{прод} = f(\ell_{кор}^{сред})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
Нижняя	А-III	-	-	-	0(55)	50(68)	$a_T^{прод} = 500 \cdot a_{crc} - 200$
		-	-	-	0(55)	50(68)	$a_T^{прод} = 3,85 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 212$
	А-I	0(20)	150(40)	200(60)	300(80)	400(100)	$a_T^{прод} = 1000 \cdot a_{crc} - 100$
		0(20)	150(40)	200(60)	300(80)	400(100)	$a_T^{прод} = 5 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 100$
Средняя	А-III	-	-	-	0(55)	100(68)	$a_T^{прод} = 1000 \cdot a_{crc} - 400$
		-	-	-	0(55)	100(68)	$a_T^{прод} = 7,69 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 423$
	А-I	0(20)	300(40)	500(60)	650(80)	750(100)	$a_T^{прод} = 2167 \cdot a_{crc} - 217$
		0(20)	300(40)	500(60)	650(80)	750(100)	$a_T^{прод} = 10,83 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 217$
Верхняя	А-III	-	-	-	0(55)	150(68)	$a_T^{прод} = 1500 \cdot a_{crc} - 600$
		-	-	-	0(55)	150(68)	$a_T^{прод} = 11,54 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 635$
	А-I	0(20)	400(40)	750(60)	950(80)	1100(100)	$a_T^{прод} = 3167 \cdot a_{crc} - 317$
		0(20)	400(40)	750(60)	950(80)	1100(100)	$a_T^{прод} = 15,83 \cdot \ell_{кор}^{сред} - 317$

Примечание. $a_T^{прод}$ в мкм; в круглых скобках показаны значения $\ell_{кор}^{сред}$ в мм; a_{crc} в мм.

В табл. 3.22 представлены значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ на поверхности железобетонных образцов с размерами 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-I и А-III, в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин a_{cre} на поверхности защитного слоя бетона, с учётом максимальной и средней длины коррозии арматуры, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при увеличении толщины продуктов коррозии арматуры в полтора раза.

Результаты табл.3.22 свидетельствуют об относительном увеличении ширины раскрытия коррозионных продольных трещин, в результате коррозии арматуры класса А-I в расчётных поперечных трещинах бетона, по отношению к арматуре класса А-III, в равных по величине a_{cre} , для всех рассматриваемых зависимостей $l_{кор}$ от $\delta_{кор}$.

В табл. 3.23 представлены абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона с толщиной $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных балок с размерами 2000×200×70 мм, с рабочей арматурой классов А-I и А-III, при соответствующих зависимостях $a_T^{\text{прод}} = f(a_{cre}; l_{кор} \text{ от } \delta_{кор})$, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматуры.

Результаты табл. 3.23 показывают снижение относительных значений ширины раскрытия коррозионных продольных трещин с увеличением a_{cre} , соответственно для арматуры класса А-I, по отношению к арматуре класса А-III. Например, при верхней функциональной прямой (рис.1.26) [257], для $a_T^{\text{прод}} = f(a_{cre}; l_{кор}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{кор}^{\text{max}})$, данный относительный показатель имеет величину 2,25 в $a_{cre}=0,10$ мм и значение 1,26 в $a_{cre}=0,50$ мм.

Таблица 3.22

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин $a_T^{\text{прод}}$ в зоне влияния поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона с $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных образцов $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм классов А-III и А-I, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона a_{crc} , с учётом максимальной и средней длины коррозии, а также максимальной и средней глубины коррозии арматуры в зоне влияния поперечных трещин, и полученные соответствующие уравнения регрессии, при 1,5-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали

Место расположения прямой на рис. 1.26 [257]	Класс арматуры	$a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}}); a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}});$ $a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}}); a_T^{\text{прод}} = f(a_{crc}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$					Уравнения регрессии: $\frac{a_T^{\text{прод}}}{a_{crc}} = f(a_{crc})$ $\frac{a_T^{\text{прод}}}{a_{crc}} = f(\ell_{\text{кор}})$
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
1	2	3	4	5	6	7	8
Нижняя	А-III	140(40); – –; 150(14)	100(70); – –; 400(27)	480(94); – –; 500(41)	600(110); 0(110) 0(55); 600(55)	650(125); 50(125) 50(68); 650(68)	$a_T^{\text{прод}} = 1533 \cdot a_{crc} - 600; a_T^{\text{прод}} = 500 \cdot a_{crc} - 200;$ $a_T^{\text{прод}} = 500 \cdot a_{crc} - 200; a_T^{\text{прод}} = 1500 \cdot a_{crc}$
		140(40); – –; 150(14)	100(70); – –; 400(27)	480(94); – –; 500(41)	600(110); 0(110) 0(55); 600(55)	650(125); 50(125) 50(68); 650(68)	$a_T^{\text{прод}} = 6 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 100; a_T^{\text{прод}} = 2 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 200;$ $a_T^{\text{прод}} = 3,85 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 212; a_T^{\text{прод}} = 10,98 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 4$
	А-I	300(62); 0(62) 0(20); 300(20)	500(100); 150(100) 150(40); 500(40)	600(120); 200(120) 200(60); 700(60)	750(130); 300(130) 300(80); 800(80)	800(140); 400(140) 400(100); 850(100)	$a_T^{\text{прод}} = 150 + 1500 \cdot a_{crc}; a_T^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{crc} - 100;$ $a_T^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{crc} - 100; a_T^{\text{прод}} = 133 + 1667 \cdot a_{crc}$
		300(62); 0(62) 0(20); 300(20)	500(100); 150(100) 150(40); 500(40)	600(120); 200(120) 200(60); 700(60)	750(130); 300(130) 300(80); 800(80)	800(140); 400(140) 400(100); 850(100)	$a_T^{\text{прод}} = 6,41 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 97; a_T^{\text{прод}} = 4,41 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 274;$ $a_T^{\text{прод}} = 5 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 100; a_T^{\text{прод}} = 133 + 8,33 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$

Окончание табл. 3.22

1	2	3	4	5	6	7	8
Средняя	А-III	300(40); – –; 300(14)	700(70); – –; 700(27)	1000(94); – –; 1000(41)	1500(110); 0(110) 0(55); 1200(55)	1250 (125); 70(125) 100(68); 1250(68)	$a_T^{\text{прод}} = 17 + 2833 \cdot a_{crc}$; $a_T^{\text{прод}} = 700 \cdot a_{crc} - 280$; $a_T^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{crc} - 400$; $a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{crc}$
		300(40); – –; 300(14)	700(70); – –; 700(27)	1000(94); – –; 1000(41)	1500(110); 0(110) 0(55); 1200(55)	1250 (125); 70(125) 100(68); 1250(68)	$a_T^{\text{прод}} = 11,18 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 147$; $a_T^{\text{прод}} = 4,67 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 513$; $a_T^{\text{прод}} = 7,89 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 423$; $a_T^{\text{прод}} = 21,95 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 7$.
	А-I	6050(62); 0(62) 0(20); 650(20)	1000(100); 300(100) 300(40); 1000(40)	1300(120); 500(120) 500(60); 1300(60)	1500(130); 600(130) 650(80); 1500(80)	1600(140); 750(140) 750(100); 1600(100)	$a_T^{\text{прод}} = 300 + 3000 \cdot a_{crc}$; $a_T^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{crc} - 200$; $a_T^{\text{прод}} = 2167 \cdot a_{crc} - 217$; $a_T^{\text{прод}} = 367 + 2833 \cdot a_{crc}$.
		6050(62); 0(62) 0(20); 650(20)	1000(100); 300(100) 300(40); 1000(40)	1300(120); 500(120) 500(60); 1300(60)	1500(130); 600(130) 650(80); 1500(80)	1600(140); 750(140) 750(100); 1600(100)	$a_T^{\text{прод}} = 13,24 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 291$; $a_T^{\text{прод}} = 8,82 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 547$; $a_T^{\text{прод}} = 10,83 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 217$; $a_T^{\text{прод}} = 367 + 14,17 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$
Верхняя	А-III	400(40); – –; 400(14)	1050(70); – –; 1100(27)	1400(94); – –; 1400(41)	1750(110); 0(110) 0(55); 1750(55)	1900(125); 100(125) 150 (68); 1900(68)	$a_T^{\text{прод}} = 4500 \cdot a_{crc} - 50$; $a_T^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{crc} - 400$ $a_T^{\text{прод}} = 1500 \cdot a_{crc} - 600$; $a_T^{\text{прод}} = 4500 \cdot a_{crc} - 50$
		400(40); – –; 400(14)	1050(70); – –; 1100(27)	1400(94); – –; 1400(41)	1750(110); 0(110) 0(55); 1750(55)	1900(125); 100(125) 150 (68); 1900(68)	$a_T^{\text{прод}} = 19,29 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 371$; $a_T^{\text{прод}} = 6,67 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 733$; $a_T^{\text{прод}} = 11,54 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 635$; $a_T^{\text{прод}} = 32,93 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 61$.
	А-I	900(62); 0(62) 0(20); 900(20)	1500(100); 400(100) 400(40); 1500(40)	1900(120); 750(120) 750(60); 1900(60)	2800(130); 900(130) 950(80); 2250(80)	2400(140); 1100(140) 1100(100); 2400(100)	$a_T^{\text{прод}} = 467 + 4333 \cdot a_{crc}$; $a_T^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{crc} - 300$; $a_T^{\text{прод}} = 3167 \cdot a_{crc} - 317$; $a_T^{\text{прод}} = 450 + 4500 \cdot a_{crc}$.
		900(62); 0(62) 0(20); 900(20)	1500(100); 400(100) 400(40); 1500(40)	1900(120); 750(120) 750(60); 1900(60)	5500(130); 2800(130) 950(80); 2250(80)	2400(140); 1100(140) 1100(100); 2400(100)	$a_T^{\text{прод}} = 19,23 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 292$; $a_T^{\text{прод}} = 13,24 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} - 821$; $a_T^{\text{прод}} = 15,83 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} - 317$; $a_T^{\text{прод}} = 450 + 22,5 \cdot \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}}$.

Примечание. В круглых скобках указаны численные значения длины коррозии арматуры $\ell_{\text{кор}}$ в зоне влияния поперечных трещин. Значения $\ell_{\text{кор}}$ и a_{crc} в мм; $a_T^{\text{прод}}$ и $\delta_{\text{кор}}$ в мкм.

Т а б л и ц а 3.23

Влияние профиля рабочей арматуры на абсолютные и относительные значения ширины раскрытия коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона с толщиной $\delta_{з.с.б} = 25$ мм железобетонных балок с размерами $2000 \times 200 \times 70$ мм, с рабочей арматурой диаметром 14 мм класса А-III и класса А-I, для соответствующих зависимостей $a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{erc}}; \ell_{\text{кор}} \text{ от } \delta_{\text{кор}})$, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии металла арматуры, при действии постоянной изгибающей нагрузки

Расположение функциональной прямой на рис. 1.26 [257]	Зависимость $a_{\Gamma}^{\text{прод}}$	Класс арматуры	Уравнения регрессии	a_{erc} , мм				
				0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нижняя	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{erc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$	А-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 150 + 1500 \cdot a_{\text{erc}}$	300(62)	500(100)	600(120)	750(130)	800(140)
		А-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1533 \cdot a_{\text{erc}} - 600$	140(40)	400(70)	480(94)	600(110)	650(125)
		Отношение:		2,14(1,55)	1,25(1,43)	1,25(1,28)	1,25(1,18)	1,23(1,12)
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{erc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	А-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{erc}} - 100$	0(62)	150(100)	200(120)	300(130)	400(140)
		А-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 500 \cdot a_{\text{erc}} - 200$	-	-	-	0(110)	50(125)
		Отношение		-	-	-	-(1,18)	8(1,12)
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{erc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$	А-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 133 + 1667 \cdot a_{\text{erc}}$	300(20)	500(40)	700(60)	800(80)	850(100)
		А-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1500 \cdot a_{\text{erc}}$	150(14)	400(27)	500(41)	600(55)	650(68)
		Отношение:		2(1,43)	1,25(1,48)	1,4(1,46)	1,33(1,45)	1,31(1,47)
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{erc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	А-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{erc}} - 100$	0(20)	150(40)	200(60)	300(80)	400(100)
		А-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 500 \cdot a_{\text{erc}} - 200$	-	-	-	0(55)	50(68)
		Отношение:		-	-	-	-(1,45)	8(1,47)
Средняя	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{erc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$	А-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 300 + 3000 \cdot a_{\text{erc}}$	600 (62)	1000(100)	1300(120)	1500(130)	1600(140)
		А-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 17 + 2833 \cdot a_{\text{erc}}$	300(40)	700(70)	1000(94)	1150(110)	1250(125)
		Отношение:		2(1,55)	1,43(1,43)	1,3(1,28)	1,30(1,18)	1,28(1,12)

Окончание табл. 3.23

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2000 \cdot a_{\text{crc}} - 200$	0(62)	300(100)	500(120)	600(130)	750(140)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 700 \cdot a_{\text{crc}} - 280$	-	-	-	0(110)	70(125)
		Отношение:	-	-	-	-(1,18)	10,7(1,12)	
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 367 + 2833 \cdot a_{\text{crc}}$	650(20)	1000(40)	1300(60)	1500(80)	1600(100)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}}$	300(14)	700(27)	1000(41)	1200(55)	1250(68)
		Отношение:	2,17(1,43)	1,43(1,48)	1,3(1,46)	1,25(1,45)	1,28(1,47)	
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 2167 \cdot a_{\text{crc}} - 217$	0(20)	300(40)	500(60)	650(80)	750(100)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 400$	-	-	-	0(55)	100(68)
		Отношение:	-	-	-	-(1,45)	7,5(1,47)	
Верхняя	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 467 + 4333 \cdot a_{\text{crc}}$	900(62)	1500(100)	1900(120)	2200(130)	2400(140)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 4500 \cdot a_{\text{crc}} - 50$	400(40)	1050(70)	1400(94)	1750(110)	1900(125)
		Отношение:	2,25(1,55)	1,43(1,43)	1,36(1,28)	1,26(1,18)	1,26(1,12)	
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{max}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3000 \cdot a_{\text{crc}} - 300$	0(62)	400(100)	750(120)	900(130)	1100(140)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1000 \cdot a_{\text{crc}} - 400$	-	-	-	0(110)	100(125)
		Отношение:	-	-	-	-(1,18)	11(1,12)	
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{max}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 450 + 4500 \cdot a_{\text{crc}}$	900(20)	1500(40)	1900(60)	2250(80)	2400(100)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 4500 \cdot a_{\text{crc}} - 50$	400(14)	1100(27)	1400(41)	1750(55)	1900(68)
		Отношение:	2,25(1,43)	1,36(1,48)	1,36(1,46)	1,29(1,45)	1,26(1,47)	
	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = f(a_{\text{crc}}; \ell_{\text{кор}}^{\text{сред}} \text{ от } \delta_{\text{кор}}^{\text{сред}})$	A-I	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 3167 \cdot a_{\text{crc}} - 317$	0(20)	400(40)	750(60)	950(80)	1100(100)
		A-III	$a_{\Gamma}^{\text{прод}} = 1500 \cdot a_{\text{crc}} - 600$	-	-	-	0(55)	150(68)
		Отношение:	-	-	-	-(1,45)	7,33(1,47)	

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Степанова, В.Ф. Способ химической обработки прокорродированной арматуры и его влияние на прочность сцепления арматуры с бетоном [Текст] / В.Ф. Степанова, Л.И. Елшина // Коррозия и защита железобетонных гидротехнических сооружений: тез. докл. науч. техн. семинара. – Южно-Сахалинск, 1989. – С. 118-119.
2. Мигунов, В.Н. Экспериментально-теоретическое моделирование армированных конструкций в условиях коррозии [Текст]: моногр. / В.Н. Мигунов, И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников. – Пенза, ПГУАС, 2014. – 362 с.
3. Петров, В.В. Нелинейная инкрементальная строительная механика [Текст] / В.В. Петров. – М.: Инфра-Инженерия, 2014. – 480 с.
4. Frangopol, D.M. Reliability of reinforced concrete girders under corrosion attack / D.M. Frangopol, K.Y. Lin, A.C. Estes // Journal of Structural Engineering, ASCE. – 1997. – 123(3). – P. 286-297.
5. Lentz, A. Half-cell potential measurements for condition assessment / A. Lentz, T. H. Johnsen, M. H. Faber // Proceedings of First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. – Barcelona, July 2002. – P. 365-366.
6. Ванникова, Е.М. К защите стен производственных зданий от воздействия хлора [Текст] / Е.М. Ванникова // Промышленное строительство. – 1961. – №8. – С. 55-62.
7. Винарский, В.Я. О противокоррозионной защите цехов хлорного производства [Текст] / В.Я. Винарский // Промышленное строительство. – 1963. – №4. – С. 35-37.
8. Городецкий, В.К. Результаты обследования строительных конструкций отделения хлорирования химико-металлургического завода [Текст] / В.К. Городецкий // Износ и защита конструкций промышленных зданий в агрессивной среде: сб. Вып. 5. – М.: Стройиздат, 1973. – 197 с.
9. Долговечность железобетона в агрессивных средах [Текст] / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шисль // Совм. Изд СССР – ЧССР – ФРГ. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.
10. Пухонто, Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен) [Текст] / Д.М. Пухонто. – М.: АСВ, 2004. – 424 с.
11. Маринин, А.Н. Соппротивление железобетонных конструкций воздействию хлоридной коррозии и карбонизации [Текст] / А.Н. Маринин, Р.Б. Гарибов, И.Г. Овчинников. Саратов: «Рата», 2008. – 259 с.
12. Васильев, А.И. Прогноз коррозии арматуры железобетонных конструкций автодорожных мостов в условиях хлоридной агрессии и карбони-

зации [Текст] / А.И. Васильев, А.М. Подвальный // Бетон и железобетон. – 2002. – №6. – С. 27-32.

13. Агаджанов, В.И. Экономика повышения долговечности и коррозионной стойкости строительных конструкций [Текст]/В.И. Агаджанов – М.: Стройиздат, 1988. – 144 с.

14. СНиП 2.03.11-85* Защита строительных конструкций от коррозии [Текст] / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП, 1986. – 46 с.

15. Горюнов, Б.Ф. Предварительно напряженный железобетон в гидротехническом строительстве [Текст] / Б.Ф. Горюнов. – Л.: Госстройиздат, 1953. – 167 с.

16. Цискрели, Г.Д. О расчете железобетонных конструкций на появление трещин [Текст] /Г.Д. Цискрели //Известия ТНИСГЭИ. – Т.3. – Тбилиси, 1950. – С.141-151.

17. Цискрели, Г.Д. Об опасности трещин в гидротехнических бетонных и железобетонных конструкциях [Текст]/ Г.Д. Цискрели // Известия ТНИСГЭИ, т.9. – Тбилиси: Госэнергоиздат, 1955. – С.89-103.

18. Эристов, В.С. Снижение стоимости строительства гидроэлектростанций [Текст] / В.С. Эристов. – М.: Госэнергоиздат, 1958. – 42 с.

19. Гениев, Г.А. Некоторые вопросы теории упругости и пластичности железобетона при наличии трещин [Текст] / Г.А. Гениев, Г.А. Тюнин //Новые методы расчета строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1968. – С. 9-14.

20. Немировский, Я.М. Пересмотр некоторых положений теории раскрытия трещин в железобетоне [Текст] / Я.М. Немировский // Бетон и железобетон. – 1970. – №3. – С. 5-8.

21. Broms, B.B. Crack width and crack spacing in reinforced concrete members. "J.A.C.I.", 1965, v.62, N 10. – P. 1237-1256.

22. Broms, B.B. Teori for berakning av sprickvidd och sprickavstand i armerade betongkonstruktioner. "Cement och Betong", 1968, v.43, N1.- P. 52–64(шведск.).

23. Broms, B.B., Lutz, L.A. Effect of arrangement of reinforcement on crack width and spacing of reinforced concrete members. J.A.C.I., 1965, vol.62, N11. – P. 1395-1410.

24. Dabrowski, K., Sadowski, A. Obliczanie szerokosci rozwarcia prostopadlych do osi w zginanych belkach zebetowych. "Inzynieria i budownictwo", 1968, v.25t N 9, S. 321–326.

25. Gergely, P., Lutz, L.A. Maximum crack width in reinforced concrete flexural members. 'J.A.C.I.', 1968, v. 65, N 7. – P.554-555 .

26. Morisset, A. Evolution de la fissuration de poutres en beton arme en milieu naturel et en milieu conditionne. «A.I.T.B. et T.P.», 1968, N 246. – P. 914–917.

27. Zielinski, A. Przyczynek do teorii rys. «Inzynieria i budoir- nictwo», 1967, N 2. – P. 58-62.

28. Цыба, О.О. Трещиностойкость и деформативность растянутого железобетона с ненапрягаемой и напрягаемой стержневой арматуры, имеющей различную относительную площадь смятия поперечных рёбер [Текст]: дис.... канд. техн наук / О.О. Цыба. – М.: НИИЖБ, 2012. – 204 с.

29. Вербецкий, Г.П. Механизм и кинетика коррозии бетона и арматуры в гидротехнических сооружениях, эксплуатируемых с допущением трещинообразования [Текст]: дис.... д-ра техн. наук / Г.П. Вербецкий. – Тбилиси, 1979. – 409 с.

30. ГОСТ 31384-2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2010. – 46 с.

31. Алексеев, С.Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне [Текст] / С.Н. Алексеев. – М.: Госстройиздат, 1962. – 186 с.

32. Алексеев, С.Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне [Текст] / С.Н. Алексеев. – М.: Стройиздат, 1968. – 228 с.

33. Алексеев, С.Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде [Текст] / С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.

34. Мигунов, В.Н. Моделирование влияния агрессивной газовой среды на долговечность обычных железобетонных конструкций и коррозию арматуры [Текст] / В.Н. Мигунов // Строительные материалы. – 2011. – №8. – С.35-37.

35. Кескюлла, Т.Э. Коррозионное разрушение железобетонных конструкций животноводческих зданий [Текст] / Т.Э. Кескюлла, Я.А. Мильян, В.И. Новгородский // Бетон и железобетон. – 1980. – № 9. – С. 43-45.

36. Мигунов, В.Н. Исследование долговечности железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в свиноводческих зданиях [Текст] / В.Н. Мигунов // Повышение долговечности строительных конструкций в агрессивных средах: тез. докл. и сообщ. республ. науч.-техн. семинара. – Уфа: НИИЖБ, НИИпромстрой, 1987. – С. 71-73.

37. Мигунов, В.Н. Влияние поперечных и продольных трещин на долговечность, деформационные и прочностные свойства обычных железобетонных элементов в различных агрессивных условиях [Текст] / В.Н. Мигунов, Ю.П. Скачков, И.И. Овчинников // Бетон и железобетон. – 2012. – №3 –С. 20-23.

38. Попеско, А.И. Расчет железобетонных конструкций, подверженных коррозии: дис.... д-ра техн. наук [Текст] / А.И. Попеско. – СПб., 1996. – 350 с.

39. Венников, В.А. Теория подобия и моделирования: учеб, пособие для вузов[Текст] / В.А. Венников. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.

40. МГСН 5.02-99. Проектирование городских мостовых сооружений. [Текст] – М.: ГУН «НИАЦ», 1999. – 67 с.
41. СНиП 32-05-2002 «Мосты и трубы».
42. Платонов, А.С. Новые нормы проектирования, строительства и приемки в эксплуатацию мостовых сооружений [Текст] / А.С. Платонов, А.И. Васильев, Ю.М. Жуков // Совершенствование проектирования мостовых сооружений: тр. ГП «Росдорнии», НИЦ «Мосты» ОАО ЦНИИС. Вып. 12. – М.: Информавтодор. – 2002. – С. 3-12.
43. Полак, А.Ф. К теории коррозии бетона [Текст] / А.Ф. Полак // Труды БашНИИСтроя. Вып.6. – М: Стройиздат, 1966. – С.278-292.
44. Полак, А.Ф. Коррозия железобетонных конструкций зданий нефтехимической промышленности [Текст] / А.Ф.Полак, В.Б. Ратинов, Г.Н. Гельфман. – М.: Стройиздат,1971. – 176 с.
45. Alekseev, S. N., Ivanov F, M. Durability of reinforced concrete to aggressive media. 1993, A. A. BALKEMA PUBLISHERS. – 394 p.
46. Гусев, Б.В. Физико-математическая модель процессов коррозии арматуры железобетонных конструкций в агрессивных средах. [Текст] / Б.В. Гусев, А.С. Файвусович. – М.: Научный мир, 2009. – 56 с.
47. Болотин, В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений [Текст] / В.В. Болотин. – М.: Стройиздат, 1982. – 351 с.
48. Болотин, В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций [Текст] / В.В. Болотин. – М.: Машиноведение, 1984. – 312 с.
49. Ржаницын, А.Р. Теория расчёта строительных конструкций на надёжность[Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1978. – 239с.
50. Чирков, В.П. Прогнозирование ширины продолжительного раскрытия трещин изгибаемых элементов с учётом случайных факторов [Текст] / В.П. Чирков, С.А. Зенин // Бетон и железобетон. – 2002. – №3. – С.13-15.
51. Чирков, В.П. Вероятностный расчёт ширины раскрытия нормальных трещин [Текст] / В.П. Чирков, С.А. Зенин. // Бетон и железобетон. – 2002. – №6. – С. 21-27.
52. Васильев, А.И. Вероятностные оценки сроки службы эксплуатируемых автодорожных мостов в условиях коррозии арматуры[Текст] / А.И. Васильев // Бетон и железобетон. – 2003. – №2. – С. 17-20.
53. Васильев, А.И. Вероятностная оценка остаточного ресурса физического срока службы железобетонных мостов [Текст] / А.И. Васильев // Проблемы нормирования и исследования потребительских свойств мостов. Труды ЦНИИС. Вып. 28. – М., 2002. – С. 101-120.
54. Розанов, Ю.А. Случайные процессы [Текст] / Ю.А. Розанов. – М.: Наука, 1971. – 183с.

55. Гузеев, Е.А. Основы расчёта и проектирования железобетонных конструкций повышенной стойкости в коррозионных средах: дис...д-ра техн. наук [Текст] / Е.А. Гузеев. – М.: НИИЖБ., 1981. – 349 с.
56. Казанников, А.П. Влияние режимов нагружения на развитие деформаций железобетонных балок [Текст]: дис.... канд. техн. наук / А.П. Казанников. – М.: НИИЖБ, 1977 – 244с.
57. Матаров, И.А. Исследование работы железобетонных изгибаемых элементов под многократно повторными нагрузками [Текст] / И.А. Матаров // Труды ЦНИИС. Вып.21, 4/1. – М.: Трансжелдориздат, 1956. – 276 с.
58. Михайлов, К.В. О напряженном состоянии при многократно повторяющихся нагрузках [Текст] / К.В. Михайлов, В.М. Салюков // Бетон и железобетон. – 1963. – № 8. – С.341-345.
59. Александровский, С.В. Ползучесть бетона при периодических воздействиях [Текст] / С.В. Александровский, В.Я. Багрий. – М.: Стройиздат, 1970. – С. 5, 16-17.
60. Барашиков, А.Я. Исследование длительной работы железобетонных конструкций при переменных нагрузках [Текст]: дис.... д-ра техн. наук / А.Я. Барашиков. – Киев, 1977. – 297 с.
61. Гордеева, Т.Ф. Исследование изгибаемых железобетонных элементов при повторных статических нагружениях [Текст]: дис.... канд. техн. наук / Т.Ф. Гордеева.– Киев.: НИИСК, 1970. – 208 с.
62. Крамарчук, П.П. Исследование деформаций бетона и железобетонных элементов под действием длительных повторных нагрузок [Текст]: дис.... канд. техн. наук / П.П. Крамарчук. – Киев.: КИСИ, 1971. – 186 с.
63. Мурашко, Л.А. Исследование напряженно деформированного состояния железобетонных рам при длительных постоянных и периодических нагрузках [Текст]: дис... канд. техн. наук / Л.А. Мурашко. – Киев: КИСИ, 1974.
64. Барашиков, А.Я. Исследование деформативности железобетонных рам [Текст] / А.Я. Барашиков. И.А. Мурашко, Г.М. Реминец. – Киев: Будивельник, 1974.
65. Гуца, Ю.П. Разработать рекомендации по расчету ширины раскрытия и условиям закрытия трещин в изгибаемых элементах при сложных режимах загрузки. Научно-технический отчет [Текст] / Ю.П. Гуца, И.Ю. Ларичева. – М.: НИИЖБ, 1979.
66. Крылов, С.М. Провести исследование влияния длительной нагрузки переменного уровня на трещиностойкость и деформативность изгибаемых элементов и разработать предложения по внесению изменений и дополнений в главу СНиП II-21-75 [Текст] / С.М. Крылов [и др.] // Научно-технический отчет. НИИЖБ. – М., 1981.
67. Колыщенко, Н.Н. Исследование длительных деформаций замкнутых рам [Текст]: дис.... канд. техн. наук / Н.Н.Колыщенко. – Киев, 1978.

68. Конакбаева, К.К. Исследование прочности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов на щебне фосфорного производства Казахстана: дис.... канд. техн. наук [Текст] / К.К. Конакбаева. – Киев, 1973. – 160 с.

69. Крамарчук, П.П. Исследование деформаций бетона и железобетонных элементов под действием длительных повторных нагрузок [Текст]: дис.... канд. техн. наук / П.П. Крамарчук. – Киев, 1971. – 186 с.

70. Кузнецова, Л.Ф. Исследование напряженно-деформированного состояния предварительно напряженных железобетонных балок под действием длительных ступенчато переменных нагрузок [Текст]: дис.... канд. техн. наук / Л.Ф. Кузнецова. – Киев, 1973. – 193 с.

71. Лучко, И.И. Исследование деформативности, трещиностойкости и несущей способности железобетонных изгибаемых элементов из мелкозернистых бетонов при кратковременном и длительном действии нагрузки: автореф. дис.... канд. техн. наук [Текст] / И.И. Лучко. – Киев: НИИСК, 1980. – 23 с.

72. Новотарский, И.П. Исследование изгибаемых железобетонных элементов при постоянных и периодических нагрузках высокого уровня: дис.... канд. техн. наук [Текст] / И.П. Новотарский. – Киев, 1977. – 184 с.

73. Новотарский, И.П. Деформации железобетонных балок при длительных переменных нагрузках высокой интенсивности [Текст] / И.П. Новотарский, А.Я. Барашиков, Н.А. Мурашко // Строительные конструкции: сб. Вып.29. – Киев: Будивельник, 1977. – С.68-73.

74. Подобед, Д.П. Исследование деформативности и трещиностойкости железобетонных изгибаемых элементов кольцевого сечения с прядевой арматурой при длительных и кратковременных загрузках [Текст]: дис.... канд. техн. наук / Д.П. Подобед. – Минск, 1976. – 186 с.

75. Протопопов, В.Б. Влияние статически переменной нагрузки на трещинообразование в обшивке корпуса железобетонных судов [Текст]: дис... канд. техн. наук / В.Б. Протопопов. – Горький, 1963. – 274 с.

76. Санников, К.В. Исследование трещиностойкости железобетонных предварительно напряженных элементов с высокопрочной арматурой при кратковременном и длительном действии нагрузки [Текст]: дис... канд. техн. наук / К.В. Санников. – М., 1972. – 150 с.

77. Таршиш, В.А. Исследование трещиностойкости и деформативности центрально растянутых предварительно напряженных элементов, армированных проволочной арматурой, при многократных повторных нагружениях [Текст]: дис.... канд. техн. наук / В.А. Таршиш. – М., 1971. – 201 с.

78. Александровский, С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия с учетом ползучести [Текст] / С.В. Александровский. – М.: Стройиздат, 1966. – 443 с.

79. Юсупов, З.Ю. Исследование напряжённо-деформированного состояния преднапряжённых балок из высокопрочного бетона при длительных переменных нагрузках высокой интенсивности [Текст]: дис... канд. тех. наук / З.Ю. Юсупов. – Киев, 1977 с.

80. Алексеев, С.Н. Долговечность железобетонных конструкций в условиях ветрового воздействия [Текст] / С.Н. Алексеев, М.Щ. Гусейнов, Н.К. Розенталь //АзНИИСтройматериалов и сооружений им. Дадашева: сб. трудов. – 1968. – №10.

81. Бондаренко, В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона [Текст]/ В.М. Бондаренко. – Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1968. – 323 с.

82. Прокопович, И.Е. Влияние длительных процессов на напряженное и деформированное состояние сооружений [Текст] / И.Е. Прокопович. – М.: Госстройиздат, 1963. – 260 с.

83. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Текст]. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 24 с.

84. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры [Текст]. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 53 с.

85. Бондаренко, В.М. Износ, повреждения и безопасность железобетонных сооружений [Текст] / В.М. Бондаренко, А.В. Боровских. – М.: И.Д. Русанова, 2000. – 144 с.

86. Бондаренко, В.М. Вопросы управления гистерезисными энергопотерями строительных конструкций [Текст] / В.М. Бондаренко // Бетон и железобетон. – 1995. – №2. –С.22-25.

87. Бондаренко, В.М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона [Текст]/ В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко. – М.: Стройиздат, 1982. – 287 с.

88. Старосельский, А.А. Коррозия и долговечность железобетона в условиях электрического воздействия [Текст]: дис... д-ра техн. наук / А.А. Старосельский. – Харьков, 1982. – 491 с.

89. Эванс, Ю.Р. Коррозия и окисление металлов [Текст] / Ю.Р. Эванс. – М.: Машгиз, 1962. – 885с.

90. Степанова, В.Ф. Теоретические основы и практическое обеспечение сохранности арматуры в бетонах на пористых заполнителях [Текст]: дис.... д-ра техн наук / В.Ф. Степанова. – М.: НИИЖБ, 2003. – 268 с.

91. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты [Текст] / В.М. Москвин, Ф.И. Иванов С.Н., Алексеев, Е.А. Гузеев; под ред. В.М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.

92. Москвин, В.М. Условия и формы коррозии стальной арматуры в бетоне [Текст] / В.М. Москвин, С.Н. Алексеев, В.И. Новгородский// Мате-

риалы секций VI конференции по бетону и железобетону, подготовленная НИИ бетона и железобетона. Вып. 1. – М.: Стройиздат, 1966. – С. 89-94.

93. Алексеев, С.Н. Коррозия и защита арматуры железобетонных конструкций [Текст]: дис... д-ра техн. наук/ С.Н. Алексеев. – М.: НИИЖБ, 1970. – 283 с.

94. Артамонов, В.С. Защита от кооррозии транспортных сооружений [Текст]: справочная книга / В.С. Артамонов, Т.М. Молтина; под ред. С.Г. Веденева. – М.: Транспорт, 1976. – 192 с.

95. Бабушкин, В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона [Текст] / В.И. Бабушкин. – М.: Госстройиздат, 1968. – 187 с.

96. Иванов, Ф.М. Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии [Текст] / Ф.М. Иванов. – М.: Транспорт, 1968. – 175 с.

97. Новгородский, В.И. Защита стальной арматуры от коррозии в бетонах на основе гипсоцементнопуццоланового вяжущего [Текст] / В.И. Новгородский, Т.А. Васильева // Строительные материалы. – 1976. – №8. – С. 353-355.

98. Ратинов, В.Б. Химия в строительстве [Текст] / В.Б. Ратинов, Ф.М. Иванов. – М.: Стройиздат, 1977. – 220 с.

99. Полак, А.Ф. Основы коррозии железобетона. Математическое моделирование процесса с применением ЭВМ [Текст] / А.Ф. Полак. – Уфа: УНИ, 1986. – 69 с.

100. Розенталь, Н.К. Исследование защитных свойств тяжелого бетона по отношению к стальной арматуре [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук / Н.К. Розенталь. – М.: НИИЖБ, 1970. – 24 с.

101. Розенталь, Н.К. Способ оценки коррозионного состояния стальной арматуры в железобетонных конструкциях [Текст] / Н.К. Розенталь // Изучение стойкости железобетона в агрессивных средах. – М.: Стройиздат, 1980. – С.72-80.

102. Яковлев, В.В. Об оценке агрессивности среды по отношению к железобетону [Текст] / В.В. Яковлев, Т.Н. Гельфман // Труды НИИпром-строя. – Уфа, 1982. – С. 65-71.

103. Tuutti K. Corrosion of steel in concrete. Swedish Cement and Concrete Research Inst. Stockholm, 1982. – 469p.

104. Beeby A.W. Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete. The Structural Engineering (London), v. 56A, No. 3, 1978. - P. 77-81.

105. Schiessl P. Admissible crack width in reinforced concrete structures. Behaviour in service of Concr. Str. Colloquium. – Liege, 1975.

106. Stelzel W. Korrosion der hochfesten Bewehrungsstahle. MPA fur das Bauwesen der Technischen Hochschule Munhen Bericht, No 60, 1964.

107. Алексеев, С.Н. Кинетика карбонизации бетона [Текст] / С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь// Бетон и железобетон. – 1969. – №4. – 22 с.

108. Абоймова, З.Г. Влияние параметров газовой среды хлористого водорода и пористости мелкозернистого бетона на кинетику продвижения агрессивного фронта [Текст] / З.Г. Абоймова, В.М. Кравцов, А.Ф. Полак // Совершенствование и организация промышленного строительства: тр. науч. исслед. ин-та пром. стр-ва. – М.: 1975. – Вып.16. – С. 278-283.
109. Яковлев, В.В. Кинетика коррозии стальной арматуры в бетоне, содержащем хлориды [Текст] / В.В. Яковлев, Г.В.Тененбаум, С.Н. Алексеев // Защита металлов. – 1988. – Т. XXIV. – №3. – С.485-488.
110. Thoft-Christensen P. Deterioration of concrete structures / P. Thoft-Christensen // Proceedings of First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. – Barcelona, 2002. – P. 65-69.
111. Розенталь, Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости: дис.... д-ра техн. наук [Текст] / Н.К. Розенталь. – М.: НИИЖБ, 2004. – 432 с.
112. Нигол, Т.К. Состояние железобетонных конструкций в животноводческих зданиях [Текст] / Т.К. Нигол, А.О.Каск, Х.К. Ваприс // Исследования по строительству. Строительная теплофизика. Долговечность конструкций. – Таллин: Изд-во «Валгус», 1977. – С. 83-93.
113. Москвин, В.М. Трещины в железобетоне и коррозия арматуры [Текст] / В.М. Москвин, С.Н. Алексеев, Г.П. Вербецкий, В.И. Новгородский – М.: Стройиздат, 1971. – 144 с.
114. Розенталь, Н.К. Методы и приборы для изучения кинетики карбонизации бетона [Текст] / Н.К. Розенталь, П.В. Язев // Бетон и железобетон. – 1972. – №11. – С. 19.
115. Чирков, В.П. Прогнозирование сроков службы железобетонных конструкций: учеб. пособие [Текст] / В.П. Чирков. – М.: МИИТ, 1997. – 56 с.
116. СП 28.13330.2012. Свод правил. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. [Текст]. – М.: Министерство регионального развития, 2012. – 190 с.
117. ГОСТ Р 52804-2007. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытания. – М.: Стандартинформ, 2008. – 30 с.
118. Бережнов, К.П. Коррозионно-механическая прочность строительных сталей в агрессивных средах [Текст] / К.П. Бережнов, В.В. Филиппов // Цветная металлургия. – 1986. – № 9. – С. 70-72.
119. Кудайбергенов, Н.Б. Основы обеспечения долговечности стальных строительных конструкций промзданий в агрессивных средах [Текст]: автореф. дис.... д-ра техн. наук / Н.Б. Кудайбергенов. – М., 1994. – 31 с.
120. Вольберг, Ю.Л. Учет воздействия агрессивной среды на несущую способность стальных конструкций в строительстве [Текст] / Ю.Л. Воль-

берг, А.С. Коряков// Сб. тр. МИСИ «Металлические конструкции в строительстве». – М.: МИСИ, 1983. – С.28-35.

121. Карпенко, Г.В. Влияние среды на прочность и долговечность металлов [Текст] / Г.В. Карпенко. – Киев: Наукова думка, 1976. –125 с.

122. Томашев, Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов [Текст] / Н.Д. Томашев. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 592 с.

123. Corrosion of Steel in Concrete. State of the art report. Final draft, RILEM Technical Committee 60-CSC «Corros. of Steel in Concr.» apr. 1986.

124. Розенталь, Н.К. Новое в СП 28.13330.2012 «СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии» [Текст] / Н.К. Розенталь, Г.В. Чехний// Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №2. – С. 57-59.

125. Holden W.R., Page C.L. Short N.R. The influence of chloride and sulfates on durability. Conf. of Corr. of Reinforcement in Concr. Constr. London, June 1983. – P. 143-150.

126. Беженар, В.П. Повышение стойкости железобетонных конструкций предприятий калийных удобрений [Текст] / В.П. Беженар, С.Н. Алексеев // Бетон и железобетон. – 1983. – №2. – С. 23-26.

127. Овчинников, И.Г. Прочность и долговечность железобетонных конструкций в условиях сульфатной агрессии [Текст] / И.Г. Овчинников, Р.Р. Инамов, Р. Б. Гарибов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2001. – 163 с.

128. Степанов, С.Н. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций, работающих в агрессивных средах с учётом коррозионного износа рабочей арматуры: дис.... канд. техн. наук [Текст]/ С.Н. Степанов. – Нижний Новгород: НГАСУ, 2005. – 180 с.

129. Степанов, С.Н. Оценка технического состояния, прогнозирование и продление долговечности железобетонных конструкций, с использованием комплексных графоаналитических диаграмм (КГЛД ОППД ЖБК) [Текст] / С.Н.Степанов // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкций: материалы Четвертой Всероссийской конференции. – Чебоксары: Чувашский университет, 2003. – С. 50–59.

130. Степанов, С.Н. Методика оценки, прогнозирования и продления долговечности железобетонных конструкций объектов природопользования с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций, по комплексным графоаналитическим диаграммам, с технико-экономическим обоснованием [Текст] / С.Н.Степанов // Современные проблемы гуманизации и гармонизации управления: материалы 4 Международной междисциплинарной научно-практической конференции. – Харьков: Харьковский национальный университет, 2003. – С. 321.

131. ГОСТ 9908-85. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости [Текст].

132. Елшина, Л.И. Химические способы удаления ржавчины и их влияние на коррозионное поведение арматуры в бетоне: автореф. дис.... канд. техн. наук [Текст] / Л.И. Елшина.– М., 1990. – 24 с.

133. Овчинников, И.Г. Влияние сульфатосодержащих сред на физико-механические свойства бетона [Текст] / И.Г. Овчинников, Р.Р. Инамов. – Саратов: СГТУ 2000. – 74 с. – Деп. в ВИНТИ 05.05.00. № 1297-ВОО.

134. C. Bob – Probabilistic assessment of reinforcement corrosion in existing structures. Proceedtngs of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK.1996. – P. 17-28.

135. Овчинников, И.Г. Моделирование поведения сжимаемого железобетонного элемента, усиливаемого внешней стальной обоймой после воздействия агрессивной хлоридсодержащей среды [Текст] / И.Г.Овчинников, В.В. Раткин, Р.Б. Гарибов // Изв. вузов. – 2003. – №1. – С. 9-15.

136. Гузеев, Е.А. Учёт агрессивных воздействий в нормах проектирования конструкций [Текст] / Е.А. Гузеев, С.Н. Алексеев, Н.В. Савицкий // Бетон и железобетон. – 1992. – №10. – С-8-9.

137. Гузеев, Е.А. Расчет железобетонных конструкций с учетом кинетики коррозии бетона третьего вида [Текст] / Е.А. Гузеев, Н.В. Савицкий, А.А. Тютюк // Коррозионная стойкость бетона, арматуры и железобетона в агрессивных средах: сб. трудов. – М.: НИИЖБ, 1990. – С. 59-66.

138. Гузеев, Е.А. Расчет железобетонных конструкций с учетом кинетики коррозии бетона третьего вида[Текст] / Е.А. Гузеев, Н.В. Савицкий // Коррозионная стойкость бетона, арматуры и железобетона в агрессивных средах: сб. науч. тр. НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1988. – С. 16-19.

139. Бондаренко, В.М. К вопросу об оценке силового сопротивления железобетона повреждению коррозионными воздействиями [Текст]/ В.М. Бондаренко, В.Н. Прохоров // Известия вузов. Строительство. – 1998. – № 3. – С. 30-41.

140. Roberts, M.B. A proposed empirical corrosion model for reinforced concrete / M. B. Roberts, C. Atkins, V. Hogg // Struct. Bldg. I.C.E. – 2000. – № 140(1). – P. 1-11.

141. Леонович, С.Н. Коррозия арматуры: общие подходы к расчету долговечности железобетонных конструкций [Текст] / С.Н. Леонович // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2002. – №1. – С. 38-43.

142. Зайцев, Ю.В. Прочность и долговечность конструкционных материалов с трещиной: монография[Текст] / Ю.В. Зайцев, С.Н. Леонович. – Минск: БНТУ, 2010. – 360 с.

143. Hakkinen, T. Influence of high slat content on the basic mechanical prooprties and carbonation of concrete / T. Hakkinen. – Espoo, Finland: technical research center of Espoo, publicatons 144, 1993. – 99 p.

144. Урбанович, И.Н. Оценка долговечности железобетона с помощью ультразвука [Текст] / И.Н. Урбанович, С.Н. Алексеев // Бетон и железобетон. – 1986. – №5. – С. 8-10.
145. Цикерман, Л.Я. Долгосрочный прогноз опасности грунтовой коррозии металлов [Текст] / Л.Я. Цикерман – М.: Недра, 1966. – 176 с.
146. Цикерман, Л.Я. Диагностика коррозии трубопроводов с применением ЭВМ [Текст] / Л. Я. Цикерман. – М.: Недра, 1977. – 319 с.
147. Овчинников, И.Г. Моделирование поведения железобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридсодержащих сред [Текст] / И.Г. Овчинников, В.В. Раткин, А.А. Землянский. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2000. – 232 с.
148. Яковлев, В.В. Прогнозирование коррозионной стойкости бетона и железобетона в агрессивных жидких и газовых средах [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / В.В. Яковлев. –Уфа, 2000. – 411 с.
149. Blank G. Gunkel P, Smolczyk H.G. On the Distribution on chlorid between the Hardening Cementpaste and Its Pore Solution, International Congress on the chemistry of Cement, communications, Theme 4, 1986 Vol.V. – P.73-79.
150. Haynes Harvey H. Permeability of Concrete in Sea Water. Performance of Concrete in Marine Environment, Sp – 65, American Concrete Institute, Detroit, 1980. – P.21-38.
151. Гельфман, Г.Н. О коррозии железобетона в атмосфере цеха по производству монохлоруксусной кислоты [Текст] /Г.Н. Гельфман, Л.Г. Карлова, Л.И. Табачник, А.А. Оратовская//Труды БашНИИСтроя. вып. IX. – М.: Стройиздат, 1969. – С.264-271.
152. Сайтиев, С.Ш. О состоянии строительных конструкций в цехе по производству хлорвиниловой смолы [Текст] / С.Ш. Сайтиев, Г.Н. Гельфман // Сб. трудов НИИпромстроя. Вып. XIII. –Уфа: НИИпромстрой, 1973. – С.197-200.
153. Сетков, В.Ю. Срок службы монолитных железобетонных перекрытий промздании в среде, содержащей хлор [Текст] / В.Ю. Сетков, И.С. Шибанова, О.П. Рысева // Бетон и железобетон. – 1991. – №9. – С.27-28.
154. Розенталь, Н.К. Состояние железобетонных конструкций цехов по производству хлора и каустика [Текст] / Н.К. Розенталь, В.П. Шевяков // Тр. НИИЖБ. – Вып. 11. – 1974. – С. 14-17.
155. Шавыкина, М.В. Оценка сроков службы железобетонных конструкций при коррозии арматуры [Текст] / А.И. Шавыкина // Бетон и железобетон. – 2006. – №5. – С.26-31.
156. Ванникова, Д.М. Исследование процессов коррозии и защита стен производственных зданий, эксплуатируемых в условиях хлорной агрессии: автореф. дис.... канд. техн. наук [Текст] / Д.М. Ванникова. – М.: МАРХИ, 1962. – 22 с.

157. Zivica V Corrosion of reinforcement induced by environment containing chloride and carbon dioxide/V. Zivica, // Bulletin of Materials Science. 2003. – Vd.26.–№6. – P.605-608.

158. Чирков, В.П. Оценка ресурса железобетонных конструкций при коррозии арматуры[Текст] / В.П. Чирков, А.Н. Кардангушев // Изв. вузов. – 1992. – №3. – С. 3÷9.

159. Чирков, В.П. Ресурс железобетонных плит покрытия железнодорожных зданий [Текст] / В.П. Чирков, А.Н. Кардангушев // Бетон и железобетон. – 1992. – №5. – С. 25-27.

160. Гарибов, Р.Б. Прочность и деформативность железобетонных несущих конструкций при агрессивных воздействиях окружающей среды [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук / Р.Б. Гарибов. – Пенза: ПГУАС, 2008. – 30 с.

161. Гарибов, Р.Б. Моделирование проникания хлоридсодержащих сред в железобетонные конструктивные элементы [Текст] / Р.Б. Гарибов, И.И. Овчинников //Бетон и железобетон. – 2010. – №4. – С.26-30.

162. Tanner P., Andrade C, Rio O., Moran F. Towards a consistent design for durability II Proc. of the 13th FIP Congress. Amsterdam. – 1998. – P. 1023-1028.

163. Corrosion of Steel in Concrete. RTLEM Report. – 1980. – 102 p.

164. Saetta A. Coupled environmental-mechanical damage model of RC structures / A. Saetta, R. Scotta, R. Vitaliani // Journal of engineering mechanics. – 1999 – Vol. 125(8). – P. 930-940.

165. Braun K. Przyczynę do problemu awarii, katastrof i wzmocnienia budowli. Proba klasyfikacji konstrukcji do wzmocnienia, «Inżynieria i budownictwo», 1969. N 4. – P. 150-152.

166. Иосилевский, Л.И. Долговечность предварительно напряженных железобетонных балочных пролетных строений мостов [Текст]/ Л.И. Иосилевский – М.: Транспорт, 1967. – С.287.

167. Нилендер, Ю.А. Поверхностная прочность бетона и связь ее с появлением трещин [Текст]/ Ю.А. Нилендер // Коррозия бетона: труды конференции. – М.: Изд-во АН СССР, 1937. – С.255-301.

168. Пирадов, К.А. Механика разрушения железобетона [Текст] / К.А. Пирадов, В.А. Гузеев. – М.: Новый век, 1998. – 190 с.

169. Watstein D. Mathey R., JACI, N1, July. 1959. – V 31.

170. Persson M. Investigation of the impact of load-induced cracking on the initiation time on steel corrosion in concrete / M. Persson. – Dundee, Scotland: Lulea University of Technology, 2000. – 70 p.

171. Алексеев, С.Н. Влияние трещин в бетоне на интенсивность коррозии арматуры в трещинах железобетона[Текст]/ С.Н. Алексеев, В.И. Новгородский // Бетон и железобетон. – 1964. – № 11. – С.511-514.

172. Москвин, В.М. Коррозия арматуры в бетоне [Текст] / В.М. Москвин // Строительная промышленность. – 1951. – № 12. – С. 15-18.
173. Москвин, В.М. Влияние трещин в бетоне на степень коррозии арматуры в железобетонных конструкциях [Текст] / В.М. Москвин, С.Н. Алексеев, В.И. Новгородский // Гидротехническое строительство. – 1965. – № 2. – С.20-27.
174. Новгородский, В.И. Исследование влияния трещин в бетоне на коррозию арматуры железобетонных конструкций [Текст]: дис ... канд техн. наук / В.И. Новгородский. – М.: НИИЖБ, 1964. – 133 с.
175. Шаламов, Н.П. Анализ результатов обследования промышленных зданий, эксплуатируемых при наличии в них агрессивных сред [Текст] / Н.П. Шаламов // Исследования в области защиты бетона и других строительных материалов от коррозии: труды НИИЖБ. Вып.2. – М.: Госстройиздат, 1958. – С.62-80.
176. Carpanier L., Soratz M. Contribution a letude de la corrosion des armatures dans le beton arme. «A.I.T.V. et T.P.» 1966, N 223-224. – P. 817-843.
177. Honigman E. «Beton und Eisen», 34, N 19, 1935. – P.301-306.
178. Petrocokino M.D. Les divers aspects de la corrosion des armures dans les ouvrages en beton arme et precontraint. «A.I.T.V. et T.P, N 153, 1960. – P. 915-936.
179. Tremper B, The corrosion, of reinforcing steel in cracked, concrete* «J.A.C.I.», 1947, vol.18, N 10, p.1137-1143; vol. 19, N 4. – P. 1144-1147.
180. Мигунов, В.Н. Ширина раскрытия трещин в изгибаемых железобетонных элементах при воздействии переменной нагрузки и агрессивной среды [Текст]: дис. канд тех. наук / В.Н. Мигунов. – М.: НИИЖБ, 1985. – 214 с.
181. Вербецкий, Г.П. Лабораторные исследования коррозии арматуры в трещинах железобетона в напряженном состоянии [Текст] / Г.П. Вербецкий // Известия ТНИСГЭИ, т.14. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – С.163-173.
182. Вербецкий, Г.П. Исследование коррозии арматуры в трещинах железобетона [Текст] / Г.П. Вербецкий // Бетон и Железобетон. – 1964. – № 11. – С.507-510.
183. Вербецкий, Г.П. Механизм образования коррозионных макропар в трещинах железобетона [Текст] / Г.П. Вербецкий // Известия ТНИСГЭИ, т.16. – М.: Энергия, 1965. – С. 329-337.
184. Гузеев, Е.А. Железобетонные конструкции для эксплуатации в агрессивных газовых средах [Текст] / Е.А. Гузеев // Бетон и железобетон. – 1969. – № 4. – С. 8-10.
185. Москвин, В.М. О механизме коррозии стальной арматуры в бетоне с трещинами [Текст] / В.М. Москвин, С.Н. Алексеев, В.И. Новгородский // Коррозия, методы защиты и повышения долговечности бетона и железобетона / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1965. – С.27-39.

186. Потапов, Ю.Б. Расчет долговечности железобетонных конструкций с учетом коррозии арматуры [Текст] / Ю.Б. Потапов, П.А. Головинский, Г.Д. Шмелев // Изв вузов Строительство. – 2003. – №6. – С. 113-117.

187. Определение допустимой ширины раскрытия трещин в разных конструкциях с учетом условий эксплуатации зданий и сооружений и требуемого срока службы. Тема № 18.8.6 по плану координации важнейших науч. иссл. работ в области строительства между странами-членами СЭВ на период по 1965 г. Отчет по плану НИИЖБ № 1307-65 [Текст]. – М.: НИИЖБ, 1965. – 187 с.

188. Полак, А.Ф. К теории газовой коррозии железобетона [Текст] / А.Ф.Полак, Р.Г. Хабибуллин // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. – 1982. – №7. – С. 70-73.

189. Полак, А.Ф. Моделирование коррозии железобетона и прогнозирование его долговечности. Итоги науки и техники. Коррозия и защита от коррозии [Текст] / А.Ф. Полак // ВИНТИ. Т.12. – М., 1986. – С. 12-35.

190. Трапезников, Л.П. Температурная трещиностойкость массивных бетонных сооружений [Текст] / Л.П. Трапезников. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – С. 61-74.

191. Шоу, Дж. Коррозионная стойкость железобетонных труб [Текст] / Дж. Шоу // Гражданское строительство. – 1965. – № 6. – С.3-10.

192. Rehm G., Rauen A. Korrosion von Stahl in Beton» «Betonsteinzeitung», 1968, N 5. – P. 258–264.

193. Вербецкий, Г.П. Механизм и закономерности развития коррозии арматуры в трещинах железобетона [Текст] / Г.П. Вербецкий // Защита от коррозии гидротехнических сооружений в речных водах. – М.: Энергия, 1968. – С.314-324.

194. Мигунов, В.Н. Экспериментально-теоретическое исследование коррозии и долговечности железобетонных конструкций с трещинами. Часть 1 [Текст]: моногр. / В.Н. Мигунов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 332 с.

195. Новгородский, В.И. О допустимой ширине кратковременного раскрытия трещин [Текст] / В.И. Новгородский // Бетон и железобетон. – 1984. – №7. – С. 41-42.

196. Мигунов, В.Н. Коррозия арматуры в трещинах железобетонных конструкций в газовой атмосфере производственных зданий [Текст] / В.Н. Мигунов // Изв. вузов. Строительство. – 2008. – №8. – С. 4-9.

197. Мигунов, В.Н. Теоретические исследования долговечности строительных железобетонных конструкций с трещинами в защитном слое бетона при воздействии на них газовой среды с кислотными газами [Текст] / В.Н. Мигунов // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник IX Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2009. – С. 27-31.

198. Розанов, Н.П. Контрфорсные плотины [Текст] / Н.П. Розанов. – М.: Стройиздат, 1949. – 288 с.
199. Юнг, В.Н. Введение в технологию цемента [Текст] / В.Н. Юнг. – М.: Госстройиздат, 1938. – 403 с.
200. Джонс, Р. Испытание бетона без разрушения [Текст] / Р. Джонс. – М., Стройиздат, 1964. – 140 с.
201. Hounig R.V. A device for determining the depth of surface cracks in concrete. «J.A.C.I.» v. 15, N 5 April 1944. – P. 401-406.
202. Москвин, В.М. Коррозия бетона [Текст] / В.М. Москвин. – М.: Госстройиздат, 1952. – 344 с.
203. Москвин, В.М. Коррозия бетона в гидротехнических сооружениях [Текст] / В.М. Москвин // Коррозия бетона и меры борьбы с ней, труды конференций. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – С.10-22.
204. Мурашев, В.И. Трещиностойчивость, жесткость и прочность железобетона [Текст] / В.И. Мурашев. – М.: Машстройиздат, 1950. – 258 с.
205. Саталкин, А.В. Раннее нагружение бетона и железобетона в мостостроении [Текст] / А.В. Саталкин, Б.А. Сенченко. – М.: Автотрансиздат, 1956. – 216 с.
206. Сорокер, В.М. О самовыздоровлении бетона [Текст] / В.М. Сорокер, А.Е. Десов // Строительная промышленность. – 1935. – № 4. – С. 25-27.
207. Судаков, В.Б. О «марочной» морозостойкости гидротехнических бетонов [Текст] / В.Б. Судаков // Труды координационных совещаний по гидротехнике. Вып. XIV. – Л.: Энергия, 1964. – 159 с.
208. Судаков, В.Б. Морозостойкость бетонов в разном возрасте [Текст] / В.Б. Судаков. – Л.: Энергия. – 1964. – 173 с.
209. Lauer K.R. Slate P.O. Autogenous heating of cement paste* «J.A.C.I.» vol. 27, N 10, June 1956.- P. 1083-1099.
210. Рекомендации по проектированию и усилению железобетонных хранилищ для сыпучих материалов, а том числе с повышенной температурой, применительно к условиям реконструкции. [Текст]. – Харьков: Промстрой проект Госстроя СССР, 1986. – 239 с.
211. Рекомендации по защите подземных бетонных конструкций от воздействия сероводородных минерализованных вод. [Текст]. – Тбилиси, 1979. – 20 с.
212. Сетков, В.Ю. Срок службы сборных железобетонных перекрытий промзданий в среде, содержащей хлор [Текст] / В.Ю. Сетков, И.С. Шибанова, О.П. Рысева // Бетон и железобетон. – 1994. – № 1. – С. 24-26.
213. Подвальный, А.М. Влияние прочности бетона и толщины защитного слоя на долговечность железобетона [Текст] / А.М. Подвальный // Бетон и железобетон. – 1969. – №3. – С. 8-13.

214. Мигунов В.Н. Экспериментально-теоретическое исследование коррозии и долговечности железобетонных конструкций с трещинами [Текст]: моногр. Ч.2 /В.Н. Мигунов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 304 с.

215. ГОСТ 8829-94. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования [Текст].

216. Мигунов, В.Н. Влияние переменной нагрузки и амплитуды изменения ширины раскрытия трещин на коррозионное поражение арматуры в трещинах железобетонных конструкций [Текст] / В.Н. Мигунов // Изв. вузов. Строительство.– 2002.– № 10.– С. 134–137.

217. Смоляго, Е.Г. Трещинообразование сборно-монолитных железобетонных конструкций с учетом коррозии [Текст]: автореф. канд. техн. наук [Текст] / Е.Г. Смоляго. – М.: МГАКХиС, 2010. – 28 с.

218. Селяев, В.П. Основы теории расчета композиционных конструкций с учетом действия агрессивных сред [Текст]: автореф. дис.... д-ра техн. наук / В.П. Селяев. – М., 1984. – 35 с.

219. Сетков, В.Ю. Степень агрессивного воздействия газообразной среды, содержащей сернистый ангидрид, на железобетонные конструкции [Текст] / В.Ю. Сетков, И.С. Шибанова // Известия вузов. Строительство и архитектура. – М., 1989. – № 7. – С.1-4.

220. Шаповалова, В.Я. Закономерности коррозии арматуры в трещинах железобетона при различных условиях воздействия агрессивных водных сред [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук / В.Я. Шаповалова. – Тбилиси: ГТУ, 1990. – 22 с.

221. Вербецкий, Г.П. Расчёт допускаемой ширины раскрытия трещин в конструкциях, эксплуатируемых в агрессивных водах [Текст] / Г.П. Вербецкий, В.Я. Шаповалова, О.А. Саралидзе //Бетон и железобетон. – 1990. – №3. – С.15-17.

222. СНиП 2.10.05-85*. Предприятия, здания и сооружения по хранению и переработке зерна [Текст]. – М.: ЦИТП, 1985. – 23 с.

223. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия [Текст]. – М.: ГУП ЦПП Минстроя России, 1996. – 35 с.

224. СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий [Текст]. – М.: ЦПП, 1985. – 66 с.

225. Мигунов, В.Н. Влияние переменной ступенчато-повторной нагрузки и агрессивной среды на несущую способность изгибаемых железобетонных конструкций и рабочей арматуры [Текст] / В.Н. Мигунов // Известия вузов. Строительство. – 2000. – №4. – С.129-132.

226. Мигунов, В.Н. Влияние переменной ступенчато-повторной нагрузки и агрессивной среды на кинетику жесткости и ширины раскрытия трещин изгибаемых железобетонных конструкций [Текст] / В.Н. Мигунов // Изв. вузов. Строительство. – 1998. – № 6. – С. 124-127.

227. Мигунов, В.Н. Установка для режимных испытаний железобетонных балок при действии медленно меняющихся нагрузок в присутствии агрессивной среды (статья) [Текст] / В.Н. Мигунов // Реферативный журнал строительства и архитектуры, ВНИИС, сер. 17, вып.7 – М., 1983. – 1 с.
228. Налимов, В.В. Теория эксперимента [Текст] / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
229. Налимов, В.В. Логические основания планирования эксперимента [Текст] / В.В. Налимов, Т.И. Голикова. – М.: Металлургия, 1981. – 151 с.
230. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента [Текст] / Х. Шенк. – М.: Изд-во Мир, 1972. – 381 с.
231. Рекомендации по обеспечению надёжности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении [Текст] / Харьковский Промстройини-проект. – М.: Стройиздат, 1990. – 9с.
232. СНиП 2.03.01 – 84. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст] / Госстрой СССР – М.: ЦИТП, 1985. – 79 с.
233. Ойт, Л.В. Коррозия и защита арматуры в золо- и шлакобетонах [Текст] / Л.В. Ойт // Изв. Вузов. «Строительство и архитектура». – 1974. – №5. – С.37-38.
234. Мигунов, В.Н. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций с учётом образования продольных трещин [Текст]/ В.Н. Мигунов // Известия вузов. Строительство. – 2009. – №11-12. – С. 101-107.
235. Мигунов, В.Н. Длительные экспериментальные исследования влияния продольных трещин в защитном слое бетона на изменение долговечности, кратковременной жёсткости и прочности внецентренно сжатых с малым эксцентриситетом строительных обычных железобетонных элементов [Текст] / В.Н. Мигунов, И.Г. Овчинников // Известия высших учебных заведений Строительство. – 2010. – №2. – С.125-130.
236. Мигунов, В.Н. Теоретические и экспериментальные исследования влияния трещин в защитном слое бетона на физико-технические характеристики изгибаемых, центрально-сжатых и внецентренно сжатых обычных железобетонных элементов [Текст]/ В.Н. Мигунов, И.Г. Овчинников // Дороги и мосты: сборник РОСДОНИИ. – – 2011. – Вып 25 / 1. – С. 181-201.
237. Мигунов, В.Н. Экспериментальные исследование влияния поперечных и продольных трещин на долговечность, деформационные и прочностные свойства обычных железобетонных элементов в условиях воздействия хлоридсодержащих сред [Текст] / В.Н. Мигунов, И.Г. Овчинников // Дороги и мосты: сборник РОСДОНИИ. – 2011. – Вып 26 / 2. – С. 173-204.
238. Васильев, А.И. Оценка коррозионного износа рабочей арматуры в балках пролётных строящихся автодорожных мостов [Текст] / А.И. Васильев // Бетон и железобетон. – 2000. – №2. – С.20-23.

239. Леонтьев, Л.Н. Техника статистических вычислений [Текст] / Л.Н. Леонтьев. – М.: Лесная промышленность, 1966. – 148 с.

240. Рысева, О.П. Долговечность изделий из железобетона для производств на Крайнем Севере с эксплуатационной средой, содержащей хлор [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук / О.П. Рысева. – Киев, 1990. – 19 с.

241. Сетков, В.Ю. Разрушение железобетонных конструкций промышленных зданий при действии хлора [Текст] / В.Ю. Сетков, И.С. Шибанова, О.П. Рысева // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – №11. – С.6-10.

242. Розенталь, Н.К. Исследование коррозии железобетона в среде газообразного хлора [Текст] / Н.К. Розенталь, В.П. Шевяков, Ф.М. Иванов // Повышение стойкости бетона и железобетона при воздействии агрессивных сред: сб. НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1975. – С. 4-14.

243. Шевяков, В.П. Диффузия хлор-ионов в бетон при его равновесной влажности [Текст] / В.П. Шевяков // Сб. тр. НИИЖБ «Повышение коррозионной стойкости бетонных и железобетонных конструкций». – М., 1974.

244. Шевяков, В.П. Исследование агрессивности газовой среды и коррозии железобетона в цехах получения хлора [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук / В.П. Шевяков. – М., 1974. – 30 с.

245. Шевяков, В.П. Температурно-влажностный режим цехов электролиза хлористого натрия [Текст] / В.П. Шевяков, Н.К. Розенталь // Долговечность строительных конструкций и материалов. Натурные обследования и теплофизика: сб. / ЦНИИСК. – Киев: Будівельник, 1974. – 63 с.

246. Мигунов, В.Н. Влияние внутренних факторов на скорость образования продольных трещин железобетонных конструкций с учётом коррозионного поражения арматуры класса А-I и А-II [Текст] / В.Н. Мигунов // Известия вузов. Строительство. – 2003. – №3. – С. 121-123.

247. Оценка действительного технического состояния и прогнозирование поведения железобетонных конструкций производственных зданий ВАЗа для обеспечения их эффективной эксплуатации: науч.-техн. отчёт (заключ) №446, рук. А.А. Прокопович [Текст]. – Куйбышев: Куйбышев. инж.-строит. ин-т, 1985. – 111 с.

248. Овчинников, И.Г. Моделирование ползучести железобетонных элементов конструкций транспортных сооружений в агрессивных средах [Текст] / И.Г. Овчинников, М.С. Пшеничников, В.В. Раткин. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2001. – 137 с.

249. Coronelli, D. Structural assessment of corroded reinforced concrete beams: modeling guidelines / D. Coronelli, P. Gambarova // Journal of structural engineering, ASCE. – 2004. – Vol. 130, № 8. – P. 1214-1224.

250. Hanjari, K. Z. Analysis of mechanical behavior of corroded reinforced concrete structures / K. Z. Hanjari, P. Kettil, K. Lundgren // *ACI Structural Journal*. – 2011. – Vol. 108, № 5. – P. 532-541.

251. Никитин, С.Е. Прочность и жёсткость изгибаемых железобетонных элементов с трещинами при коррозионных повреждениях [Текст]: автореф. канд. техн. наук / С.Е. Никитин. – СПб.: СПбГПУ, 2012. – 21 с.

252. Никитин, С.Е. Прочность и жёсткость изгибаемых железобетонных элементов с трещинами при коррозионных повреждениях [Текст]: дис.... канд. техн. наук / С.Е. Никитин. – СПб.: СПбГПУ, 2012. – 141 с.

253. Овчинников, И.Г. Моделирование напряженного состояния бетона вокруг корродирующего арматурного стержня [Текст]/ И.Г. Овчинников, Р.Р. Инамов // *Современные проблемы строительного материаловедения: Четвертые академические чтения РААСН: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1.* – Пенза: ПГАСА, 1998. – С. 126-127.

254. Овчинников, И.Г. Применение компьютерного моделирования для изучения кинетики коррозионного растрескивания железобетонных конструкций [Текст] / И.Г. Овчинников, Р.Р. Инамов // *Дистанционное образование, состояние и перспективы развития: Сб. материалов Всерос. науч.-метод. конф., 18-19 ноября 1998 г.* – Саратов: СГТУ, 1998. – С. 82-84.

255. Ovtchinnikov, I.G., Inamov RR. Modeling of Kinetics Formation of Cracks in Concrete Around Corrosion Core of a Reinforcement // *Concrete and concrete structures: Int. Conf.* – Kovice, 1998. – P. 87-88.

256. Пахомова, Е.Г. К методике оценки работоспособности железобетонных конструкции при нарушении сцепления арматуры с бетоном при коррозионных повреждениях [Текст] / Е.Г.Пахомова [и др.] // *Промышленное и гражданское строительство.* – 2011. – №8. – С. 28-29.

257. Меркулов, С.И. Работоспособность железобетона в условиях воздействия агрессивных сред [Текст]/ С.И. Меркулов, В.М. Дворников, Е.Г. Пахомова//*Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.* – 2006. – №10. – С.25.

258. Бондаренко, В.М. Развитие теории реконструированного железобетона [Текст] /В.М. Бондаренко, С.И. Меркулов//*Проблемы обеспечения безопасности строительного фонда России: Матер.III Межд. академ. чтений РАСН.* – Курск, Из-во Курск, ГТУ, 2004. – С.10-22.

259. Мигунов, В.Н. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций при воздействии переменной и постоянной нагрузки, агрессивной жидкой среды, содержащей хлорид – ионы, с учётом влияния внутренних факторов [Текст]/ В.Н. Мигунов// *Надёжность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов: материалы V Международной научно-технической конференции, часть 3, г. Волгоград, 23-24 апреля 2009.* – Волгоград: Волг ГАСУ, 2009. – С. 155-162.

260. Мигунов В.Н. Экспериментально-теоретические исследования влияния коррозионного поражения арматуры классов А-I и А-III на образование продольных трещин и изменение долговечности железобетонных конструкций [Текст] / В.Н. Мигунов// Известия вузов, Строительство. – 2004. – №1. – С. 110-114.

261. Мигунов, В.Н. Методика и результаты длительных экспериментальных исследований на прямых моделях железобетонных конструкций по влиянию переменной ступенчато-повторной изгибающей нагрузки и жидкой хлоридсодержащей среды на долговечность опытных балок и физико-механические характеристики рабочей арматуры [Текст] / В.Н. Мигунов, К.В. Шамшина // Сборник статей XV Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2015. – С.140-145.

262. Мигунов, В.Н. Влияние внутренних факторов железобетонных конструкций на коррозионную стойкость арматуры класса А-1 и А-111 в трещинах бетона [Текст] / В.Н. Мигунов// Известия вузов, Строительство. – №11. – 2001. – С. 125-129.

263. Мигунов, В.Н. Экспериментальное исследование кинетики коррозии арматуры в поперечных трещинах железобетонных конструкций [Текст] / В.Н. Мигунов, И.Г. Овчинников//Механика разрушения строительных материалов и конструкций: Материалы VIII Академических чтений РААСН – Международной научно-технической конференции. – Казань: КГАСУ, 2014. – С.186-193.

264. Ставская, И.С. Продольные трещины в защитном слое бетона в условиях коррозионных повреждений: автореф. дисс... канд. техн. наук [Текст] /И.С. Ставская. – М.: МГСУ, 2014. – 20 с.

265. Мигунов, В.Н. Влияние продуктов коррозии арматуры в поперечных трещинах железобетонных конструкций на процесс разрушения защитного слоя бетона [Текст] / В.Н. Мигунов, С.В. Бакушев, П.А. Агуреев // Сборник материалов Межрегиональной научно-практической конференции. – Пенза: ПГУАС, 2002. – С. 86-88.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ	3
1. КОРРОЗИЯ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ	9
1.1. Общие сведения	9
1.2. Коррозия арматуры в бетоне без трещин	11
1.3. Коррозия арматуры в трещинах бетона	30
1.4. Условия образования коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона	71
1.5. Алгоритм теоретических исследований влияния ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на ширину раскрытия коррозионных продольных трещин, при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки	79
2. ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ РАСЧЁТНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИН НА ШИРИНУ РАСКРЫТИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН, ПРИ ДЕЙСТВИИ ИЗГИБАЮЩЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ И ПОСТОЯННОЙ НАГРУЗКИ	83
2.1. Методика и результаты первого этапа теоретического исследования	83
2.1.1. Общие сведения	83
2.1.2. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали в зоне влияния поперечных трещин	85
2.1.3. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали	147
2.1.4. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали	184
2.2. Методика и результаты второго этапа теоретического исследования ширины раскрытия коррозионных продольных трещин	229
2.2.1. Общие сведения	229
2.2.2. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины	

раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали	236
2.2.3. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали	277
2.2.4. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали	314
3. ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ РАСЧЁТНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИН НА ПОВЕРХНОСТИ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА НА ШИРИНУ РАСКРЫТИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОЙ ИЗГИБАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ.....	365
3.1. Методика и результаты третьего этапа теоретического исследования.....	365
3.1.1. Общие сведения	365
3.1.2. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при трёхкратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали, в условиях воздействия постоянной изгибающей нагрузки.....	373
3.1.3. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при 2,25-кратном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали	412
3.1.4. Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин в зоне влияния поперечных трещин, в зависимости от ширины раскрытия расчётных поперечных трещин на поверхности защитного слоя бетона, при полуторократном увеличении толщины продуктов коррозии арматурной стали	446
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	479

Научное издание

Мигунов Виктор Николаевич

**ВЛИЯНИЕ РАСЧЁТНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИН
В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ НА ОБРАЗОВАНИЕ
КОРРОЗИОННЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН**

Монография

В авторской редакции

Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 1.09.15. Формат 60×84/16.

Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.

Усл.печ.л. 29,18. Уч.-изд.л. 31,375. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.

Заказ № 314.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.