

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

В.В. Салмин, Д.Ю. Вавилкин

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАНЯЕМОСТИ
МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПУТЕМ ПОДБОРА
АНТИКОРРОЗИОННЫХ СМАЗОЧНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Пенза 2013

УДК. 620.193

ББК 39.33

C16

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортные машины» А.А. Грабовский (ПГУ);
кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация и автоматизация производства» И.Н. Петровнина (ПГУАС)

Салмин В.В.

C16 **Обеспечение сохраняемости мобильной техники путем подбора антикоррозионных смазочных материалов: моногр. / В.В. Салмин, Д.Ю. Вавилкин. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 136 с.**

ISBN 978-5-9282-0978-0

Рассмотрены вопросы атмосферной коррозии мобильной техники, защиты ее от коррозии путем научного обоснования выбора защитных смазок и консервационных жидкостей, математического моделирования процессов коррозионного разрушения металлов при атмосферной коррозии. Изложена методика и приведены результаты экспериментальных исследований и их экономическое обоснование.

Подготовлена на кафедре «Эксплуатация автомобильного транспорта» и предназначена для работников производства, преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области обеспечения сохраняемости мобильной техники путем подбора антикоррозионных смазочных материалов.

ISBN 978-5-9282-0978-0

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2013

© Салмин В.В., Вавилкин Д.Ю., 2013

ВВЕДЕНИЕ

Решение общечеловеческих, глобальных проблем энерго- и ресурсосбережения, как в машиностроении, так и в агропромышленном комплексе (АПК) неразрывно связаны с решением вопросов защиты техники от коррозии.

Современная сельскохозяйственная техника (СХТ), дорожно-строительные машины и просто мобильная техника, используемая в коммунальном хозяйстве, эксплуатируются периодически в течение одного или двух сезонов в год.

Большая часть мобильной техники хранится на открытых площадках предприятий, при этом она подвергается агрессивному воздействию окружающей среды (колебаниям температуры, влажности, воздействию ветра, солнечной радиации, пыли и др.). Основным видом воздействия внешней среды на технику является атмосферная коррозия и вызванный ею коррозионный износ материалов, деталей и узлов, что приводит к ее преждевременным отказам. Например, по данным Северного А.Э., усталостная прочность изделий из стали при хранении в течение 12 месяцев на открытой площадке снижается на 28 – 58 %. Поэтому актуальным вопросом для эксплуатации такой техники является не только улучшение ее технико-экономических показателей, но и показателей надежности, в частности, ее сохраняемости.

Для обеспечения временной противокоррозионной защиты техники применяется большое количество консервационных и рабоче-консервационных смазок. Однако нерешенность ряда вопросов теоретического и практического характера приводит к необоснованному применению защитных средств, которые либо не обеспечивают необходимую продолжительность хранения техники, либо увеличивают затраты на ее консервацию. В настоящее время, как в нашей стране, так и за рубежом имеются стандартизованные методы испытаний антикоррозионных смазочных материалов (АСМ). Однако все они имеют большое количество недостатков, самым главным из которых является то, что оценка защитных свойств производится в единицах, которые не позволяют оценить срок их действия, а лишь показывают величину коррозии металла.

В связи с этим актуальными являются:

1) проведение дальнейших исследований, направленных на изучение процессов старения АСМ в условиях атмосферной коррозии и создание метода ускоренного испытания, позволяющего достоверно имитировать различные климатические условия работы защитных смазок;

2) обоснование критериев или показателей, позволяющих на основании полученных математических зависимостей определять продолжительность работы защитных покрытий и выполнить подбор антикоррозионных материалов, обеспечивать сохраняемость мобильной техники (МТ), как в различных климатических зонах, так и в течение требуемого времени хранения.

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1. Общая характеристика условия работы мобильной техники и антикоррозионных смазочных материалов

Рабочие и силовые машины, оборудование и транспортные средства составляют около 64,3 % металлического фонда автотракторного и сельскохозяйственного производства [1]. Однако при эксплуатации этой техники расход металла не прекращается, из-за его расхода на ремонт и обслуживание. В настоящее время в нашей стране затраты на ремонт и обслуживание автотракторной и сельскохозяйственной техники в значительной мере являются затратами на поддержание машин в работоспособном состоянии и обеспечении их, регламентированной заводом-изготовителем, производительности. При этом ежегодная стоимость ремонтов автотракторной и сельскохозяйственной техники, с увеличением сроков ее эксплуатации возрастает, например, стоимость ремонтов тракторов к 9...10-и летнему сроку эксплуатации приближается к первоначальной стоимости вновь изготовленной единицы.

Расход запасных частей, содержащих металл, высок. Для основных видов автотракторной и сельскохозяйственной техники расход металла в виде запасных частей, при эксплуатации, количество металла, в 1,5 раза превышает использованное для изготовления (рис. 1.1). Это дает основание сделать вывод, что срок службы металла в среднем в два раза меньше по сравнению со сроком эксплуатации техники.

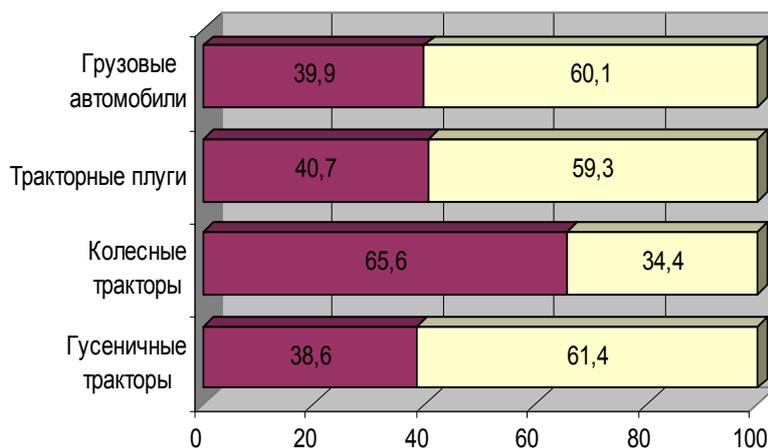


Рис. 1.1. Структура расхода металла для производства и эксплуатации техники (красная зона – производство; желтая зона – эксплуатация)

Анализ статистических данных [2] по распределению отказов агрегатов и систем автомобилей позволил установить, что наиболее подвержены отказам рамы и кузова автомобилей. На их ремонт затрачивается наибольшее количество времени. Отказы несущих конструкций тракторов (рамы и ходовой части) составляют 20 %, количество отказов при длительной эксплуатации достигает 40 % [3]. Причинами отказов техники в 19 % случаях становятся коррозия и усталостные повреждения металла [4] (рис. 1.2).

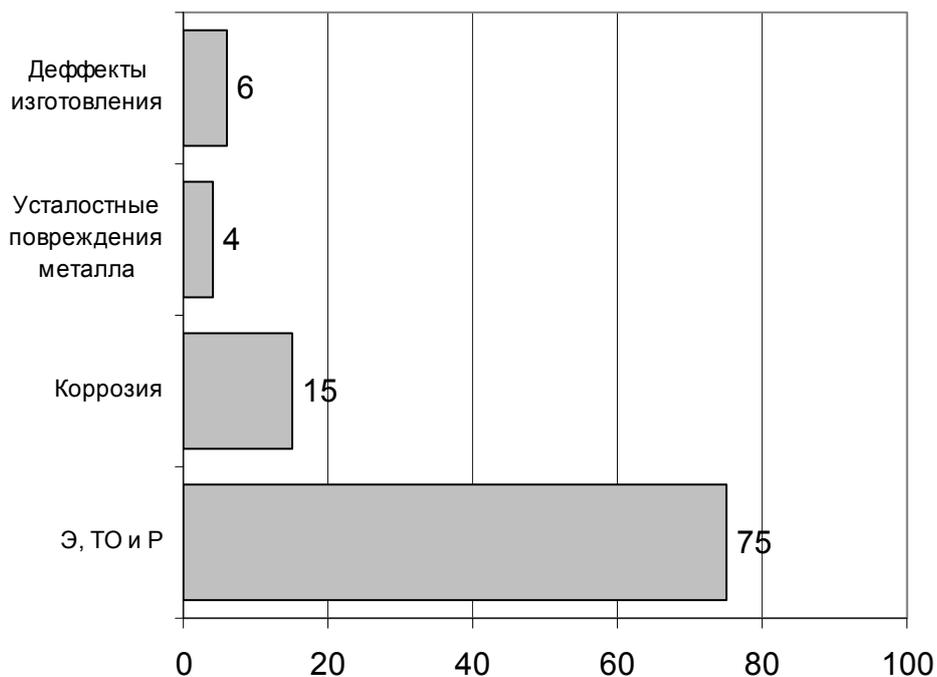


Рис. 1.2. Причины отказов техники

1.1.2. Требования к особенностям конструкции и материалам деталей, узлов и агрегатов. Стали для машиностроения

Большинство деталей автотракторной и СХТ при эксплуатации воспринимают значительные статические и динамические нагрузки [5]. Кроме того в условиях реальной эксплуатации детали и агрегаты машин подвергаются коррозионно-механическому износу (в частности окислительному), и изнашиванию при фреттинг-коррозии.

Стремление конструкторов автотракторной техники к снижению металлоемкости, повышению топливной экономичности и энергонасыщенности не позволяют при разработке их конструкций идти по пути увеличения сечений, габаритных размеров и массы деталей. Поэтому к материалам, применяемым при производстве, эксплуатации, обслуживании, ремонте и восстановлении предъявляются требования [6, 7] в соответствии с которыми материалы должны: обеспечивать статическую и динамическую прочность; минимизировать опасность усталостного разрушения

детали; обеспечивать высокую износостойкость трущихся поверхностей; обеспечивать высокую температурную и коррозионную стойкость.

Перечисленным требованиям наиболее полно отвечают легированные стали. В нормализованном и улучшенном состоянии они, при ограниченных сечениях, обеспечивают необходимые эксплуатационные качества изготавливаемых из них деталей. В результате модифицирования они приобретают (химико-термической обработки с последующей закалкой и низкотемпературным отпуском) высокую твердость и износостойкость рабочих поверхностей при высоких удельных нагрузках, однако при этом происходит значительное удорожание техники.

При массовом характере продукции, выпускаемой автомобильной, тракторной промышленностью и сельскохозяйственным машиностроением, вопрос стоимости имеет первостепенное значение (стоимость легированных сталей примерно в 2 ÷ 4 раза выше стоимости углеродистых качественных сталей). Более дешевые низколегированные и качественные стали применяют в тех случаях, когда это не вызывает снижения надежности и ресурса деталей и конструкций, в которые они входят.

Химический состав влияет на механические, физические и технологические свойства металлов и сплавов. На свойства сталей в первую очередь оказывает влияние процент содержания в них углерода. Для производства автомобильных деталей применяют, как правило, мало- и средне-углеродистые качественные и высококачественные стали, содержащие до 0,5 % углерода. При изготовлении пружин и рессор применяют высокоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,7 %. Кроме того, высокоуглеродистые стали широко используются в автотракторостроении и ремонтном производстве при изготовлении режущего инструмента.

С повышением содержания углерода в стали: увеличивается ее временное сопротивление и предел текучести, твердость в нормализованном и отпущенном состояниях; возрастает твердость после закалки и отпуска; уменьшаются относительное удлинение и ударная вязкость; снижается ее свариваемость.

Легирующие элементы оказывают разностороннее влияние на свойства стали: хром повышает твердость, уменьшает ржавление; никель дает высокую прочность и пластичность, коррозионную стойкость; вольфрам увеличивает твердость и красностойкость; ванадий повышает плотность, прочность, сопротивление удару, истиранию; кобальт повышает жаропрочность, магнитопроницаемость; молибден увеличивает красностойкость, прочность, сопротивление окислению при высоких температурах; марганец, при содержании свыше 1 %, увеличивает твердость, износоустойчивость, стойкость против ударных нагрузок; титан повышает прочность, сопротивление коррозии; алюминий повышает окалиностойкость; ниобий повышает кислотостойкость; медь уменьшает коррозию. В сталь вводят

также бор, селен, азот, цирконий. В легированной стали может находиться одновременно несколько легирующих элементов.

Стали, применяемые в автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении, подразделяются на: углеродистые (стали обыкновенного качества, качественные стали, стали специального назначения) и легированные. Марки сталей, наиболее часто применяемые в автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении [6–9], приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Материал основных деталей рам и кузовов отечественных легковых, грузовых автомобилей, автобусов и с/х машин

№ п/п	Наименование деталей	Марки сталей (основные)
1	2	3
1.	Рамы и кабины грузовых автомобилей	
1.1.	Продольные балки	Сталь 30Г, Сталь 14Г2АФ Сталь 25, Сталь 19ХГС
1.2.	Поперечины	Сталь 19ХГС, сталь 14ХГС, сталь 14Г2, сталь 12ГС, Сталь 25, Сталь 20, Сталь 20КП, сталь 08, сталь 08КП
1.3.	Буфер	Сталь 20, Сталь 25 Сталь 20КП, сталь 08
1.4.	Кабины	Сталь 10, Сталь 08
1.5.	Направляющие замков колесных дисков	Ст. 3
2.	С/х техника	
2.1.	Диски плугов, сеялок, борон, лапы культиваторов	Сталь 65Г, Сталь 70Г
2.2.	Витые пружины	Сталь 65Г, Сталь 70Г, Сталь 60С2
2.3.	Лапы культиваторов для рыхления почвы	Ст. 6
2.4.	Отвалы плугов	Ст. 2
2.5.	Сегменты, вкладыши, ножи	Сталь У 9
2.6.	Пальцевые брусья режущих аппаратов уборочных машин	Ст. 5, Ст. 6, Сталь 45
2.7.	Зубья молотильных барабанов	СТ 6, Сталь 45
2.8.	Бичи молотильных барабанов	Ст. 5
2.9.	Рамы, каркасы, сварные конструкции	Ст 3, Ст 5
2.10.	Валы ответственных узлов, передающие значительные нагрузки	Сталь 40, Сталь 45, Сталь 40Х, Сталь 45Х
2.11.	Кабины	Сталь 10, Сталь 08
3.	Профили кузовов автобусов	
3.1.	Уголок	Сталь 08, Сталь 40, Ст 3
3.2.	Тавр	Сталь 08, Сталь 20
3.3.	Квадрат	Сталь 10, Сталь 20
4.	Кузова легковых автомобилей	
4.1.	Лонжероны	Сталь 20
4.2.	Панели кузова	Сталь 10, Сталь 08

1.1.3. Изменение состояния техники при эксплуатации

1.1.3.1. Износ машин при эксплуатации

Различают несколько видов изнашивания (ГОСТ 23002-78): механическое, коррозионно-механическое, абразивное, гидро- и газообразивное, усталостное, эрозионное, гидро- и газоэрозионное, кавитационное, изнашивание при заедании, окислительное, электроэрозионное, изнашивание при фреттинге и фреттинг-коррозии [11-14]. Определены два вида коррозии (ГОСТ 5272-68 с доп. 1980 г.) – химическая и электрохимическая; около 40 видов коррозии: атмосферная (сухая, влажная, мокрая), газовая, подземная, биокоррозия, структурная и т.д. [15, 16].

В общий износ МТ свой вклад вносят все виды трения и изнашивания, а также оба типа и большинство видов коррозии. Износ МТ при эксплуатации описывается уравнением [11]:

$$\begin{aligned} I_{\text{общ}} = \sum \Delta I = & \Delta M + \Delta XK + \Delta FX + \\ & + \Delta EX = \Delta A + \Delta \text{Э} + \Delta K + \Delta \text{ГЭ} + \Delta O + \Delta Z + \Delta \Phi + \Delta \text{ГК} + \Delta Y + \Delta \text{П} + \\ & + \Delta \text{ВИ} + \Delta \text{КТ} + \Delta \text{КУ} + \Delta \text{ФК} + \Delta \text{АК} + \Delta \text{КК} + \Delta \text{КО} + \Delta \text{ЭП} + \\ & + \Delta \text{ЩК} + \Delta \text{РК} + \Delta \text{МК} + \Delta \text{ВО} + \Delta \text{КР}, \end{aligned} \quad (1.1)$$

где I – общий износ; O – отдельные виды износа; Δ – доля отдельных видов износа; обозначения отдельных видов износа: A – гидро- и газоабразивный, Z – при заедании, K – кавитационный, M – механический, O – окислительный, П – усталостное выкрашивание (питтинг), Y – усталостный износ, Φ – фреттинг-износ, Э – электроэрозионный (электрический), АК – атмосферная коррозия, ВИ – водородный износ, ВО – водородное охрупчивание, ГК – газовая и зольная коррозия, ГЭ – гидро- и газоэрозионный, эрозионный, КК – кислотная, КО – контактная, КР – коррозионное растрескивание, КТ – коррозия при трении, КУ – коррозионно-усталостный износ, МК – межкристаллитная, РК – расслаивающая, ФК – фреттинг-коррозия, ФХ – физико-химический (механохимический) износ (эффект Ребиндера), ХК – химическая, ЩК – щелевая, ЭП – электрохимический питтинг, ЭХ – электрохимическая коррозия.

При оценке общего износа большое внимание уделяется коррозионным факторам: в 50-60-е гг. коррозию и износ рассматривали отдельно, но с середины 80-х гг. и по настоящее время преобладает единый системный подход к общему износу машин и механизмов. Особое внимание уделяется таким видам износа, как электрохимический и усталостный питтинг (точечное выкрашивание), цилиндрическая усталость и коррозионная усталость, фреттинг коррозия, водородное охрупчивание и водородный износ.

В различных агрегатах и узлах автомобилей с/х машин и др. техники одни виды износа могут протекать последовательно и параллельно, один вид может переходить в другой, причем сочетание различных видов

износа, как правило, обеспечивает значительный отрицательный эффект. Например, электрохимическая коррозия при хранении автомобилей и др. техники даже в тех случаях, когда она не вызывает потери массы и не дает видимых глазом коррозионных поражений, ухудшает функциональные свойства поверхностей пар трения и подготавливает их в дальнейшем к интенсивным деформационно-адгезионному, абразивному, водородному, коррозионно-механическому и пр. видам износа при трении и вибрации.

Понятия химического и электрохимического износа эквивалентны понятиям химической и электрохимической коррозии. Понятия физического и физико-химического износа включают в себя сложную совокупность понятий контактных взаимодействий, трения, старения, эрозии, электрических и акустических явлений, адсорбции, хемосорбции, «эффекта Ребиндера» и т.д. На практике все эти процессы и явления тесно связаны между собой. Например, фреттинг-коррозия, наблюдаемая во многих узлах трения, зависит от всех четырех рассматриваемых процессов [14]. Для некоторых сложных изделий выделяют основные узлы, надежностью и долговечностью которых лимитируется надежность и долговечность всего изделия. Для этих узлов, кроме того, определяют условия, при которых тот или иной фактор износа является доминирующим [14, 17, 18, 19, 20]. Физические процессы, прежде всего трение и связанное с ним высокое локальное давление в узлах трения (а также акустическая вибрация, кавитация, и др.), резко усиливают общий процесс изнашивания. Анализируя различные точки зрения на соотношение коррозионного и механического износа в автомобильном двигателе, С.В. Венцель отмечает, что во всех случаях коррозию следует рассматривать как фактор, интенсифицирующий механический износ.

Вопрос коррозионного износа принял еще большее значение при переходе на V-образные двигатели с использованием гидравлических толкателей клапанов, принудительной вентиляции картера и в связи с существенным изменением режимов работы автомобилей. Гидравлические толкатели клапанов подвержены интенсивной электрохимической коррозии. Повышенный их износ вызывает утечку масла вдоль его корпуса, клапаны начинают «стучать», ухудшая общее коррозионное состояние двигателя, что выражается в повышенном износе вкладышей подшипников. Электрохимическая коррозия развивается на всех внутренних поверхностях двигателя. Так, видимые невооруженным глазом коррозионные точки и пятна появляются на гильзах цилиндров, клапанах, пружинах, подшипниках и других ответственных деталях при гаражном хранении автомобилей в районе Мурманска на пятый-шестой месяц, в Москве – на третий-пятый, в Ташкенте – на шестой, в Батуми – на десятые сутки хранения. Использование в этих случаях рабоче-консервационных масел

позволяет увеличить индукционный период – гарантийный срок до появления коррозионных поражений – до 3...5 лет.

Для оценки влияния на общий износ двигателя электрохимических процессов коррозии можно рассмотреть случаи использования автотракторной техники в различных условиях: при хранении, периодической эксплуатации и «легкой» работе машин, когда из-за повышенного содержания воды в нефтепродуктах процессы электрохимической коррозии развиваются особенно интенсивно, и при нормальной эксплуатации. Многочисленные данные говорят о том, что в первом случае износ машин значительно больше. Превалирующее значение коррозионного износа в «легких» условиях эксплуатации подтверждено многочисленными натурными испытаниями автомобилей и сельскохозяйственной техники на различных маслах и топливах. Самоходные комбайны и другая сельскохозяйственная техника, эксплуатирующаяся сезонно (30-60 дней в году), а остальное время не используемая, изнашивается в 3...5 раз быстрее, чем грузовые автомобили, сделанные на базе примерно таких же агрегатов и узлов, что и комбайны, но эксплуатирующиеся в течение всего года. В результате на ремонт комбайнов (в расчете на рабочий день) затрачивается в 4...5 раз больше средств, чем на ремонт тракторов и автомобилей. Отдельные ответственные детали сельскохозяйственной техники, не защищенные рабоче-консервационными или консервационными продуктами, в результате стоянки на открытых площадках подвергаются коррозии на глубину 0,1...0,2 мм за первый год хранения [11, 14].

1.1.3.2. Коррозия при хранении техники

Характерная особенность СХТ – кратковременное периодическое использование в работе и длительный нерабочий период [5, 7, 10, 11, 12, 14, 21]. Как правило, в нерабочий период техника хранится на открытых площадках и подвергается разрушению под действием атмосферной коррозии, солнечной радиации и перепадов температуры.

Наиболее часто встречающийся вид разрушения деталей машин (металлических поверхностей) – атмосферная коррозия, являющаяся одним из типов электрохимической коррозии. Это электрохимический процесс, возникающий из-за склонности металлов растворяться в электролитах и окисляться кислородом. Условие для процесса атмосферной коррозии – контакт металла с водой и кислородом. Кислород в окружающем воздухе и влага на поверхность металла попадают при атмосферных осадках (дождь, роса, туман, мокрый снег) и в результате адсорбции металлом паров воды. В пленке влаги, которая попадает на поверхность деталей машин, есть растворенные газы, соли, кислоты и щелочи. Поэтому пленка влаги является электролитом. Как только поверхность металла находится в кон-

такте с электролитом, начинается разрушение металлической структуры – коррозионный процесс.

Степень увлажнения поверхности металла – основной фактор, определяющий скорость атмосферной коррозии. Атмосферная коррозия подразделяется на мокрую (наличие пленки влаги, видимой невооруженным взглядом; при 100 %-й относительной влажности воздуха, или при непосредственном попадании влаги на поверхность металла); влажную (происходит при относительной влажности ниже 100 % в тончайшем, невидимом слое влаги, образующейся вследствие конденсации, без непосредственного попадания влаги на поверхность); сухую (полное отсутствие влаги на поверхности металла) [12].

Скорость процесса коррозии зависит от агрессивности среды, продолжительности ее воздействия, температуры воздуха, состояния поверхности металла (состава и структуры защитной пленки), химического состава металла и наличия механических напряжений, особенностей конструкции (наличие сварных швов, болтовых и заклепочных соединений, сочетание отдельных элементов, образующих полости и щели, в которых конденсируется влага).

При адсорбции влаги на поверхности металла появляется тончайшая (0,001...0,01 мкм) пленка влаги в виде мельчайших частиц, что приводит к окислению металла. В дальнейшем образуется более толстая (0,01...1 мкм) сплошная пленка и возникает электрохимический процесс, резко увеличивающий скорость коррозии. При толщине пленки более 1 мм ухудшается диффузия кислорода к поверхности металла, и скорость процесса коррозии, наоборот, замедляется. Особенно интенсивно происходит этот процесс при многократном погружении металла в электролит (попеременное смачивание и высушивание).

Коррозионная стойкость не является абсолютной характеристикой металла. Изделия из конструкционных сталей в неодинаковых средах корродируют по-разному. В наиболее агрессивных средах (минеральные и органические удобрения, ядохимикаты) коррозионная стойкость углеродистой стали Ст. 3 выше стойкости конструкционных [12]. При атмосферной коррозии и в средах с низкой коррозионной активностью наблюдается обратное явление. Это объясняется различным содержанием углерода в сталях, частицы которого являются катодными включениями.

При хранении сельскохозяйственной техники коррозия разрушает и качественно изменяет поверхность деталей, что снижает износостойкость, усталостную прочность и приводит к преждевременному выходу машин из строя. Предварительная коррозия значительно увеличивает скорость изнашивания изделий из стали, снижает усталостную прочность изделий из стали, что связано главным образом с образованием концентраторов напряжений из-за появления коррозионных пятен и питтингов. По мере увеличе-

ния коррозии понижается предел выносливости изделия: после предварительной коррозии на открытой площадке он достигает наименьшего значения.

Предел усталостной прочности изделий из стали 20 при хранении в закрытом помещении без защитного покрытия за год снижается на 10 %, а при хранении на открытой площадке – на 28 %. Для изделий из сталей марок Ст. 3 и У8 эти показатели соответственно составляют 35 и 40, 59 и 66 % (рис. 1.3).

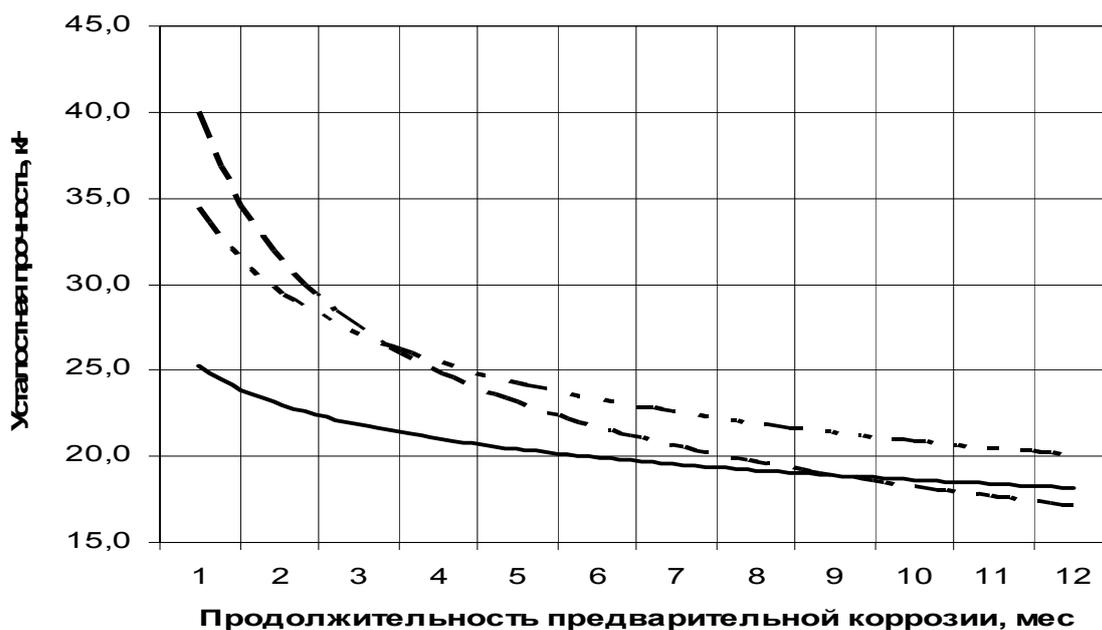


Рис. 1.3. Влияние предварительной атмосферной коррозии на усталостную прочность сталей:
 _____ – Ст.3; - - - - - сталь 20; -.-.-.- – сталь У8 [12]

Тонкий слой (0,05...0,1 мм) защитной антикоррозионной смазки или воскового покрытия уменьшает изменение предела усталостной прочности изделий из разных углеродистых сталей. Поэтому консервация металлических изделий при хранении – важная операция, которую обязательно нужно выполнять. Под руководством Северного Э.А. в 2007 – 2008 гг. проведены исследования, которые указывают на значительное уменьшение снижения усталостной прочности втулочно-роликовых цепей при применении мер временной противокоррозионной защиты при их хранении [22].

На снижение усталостной прочности влияет не общая потеря массы от коррозии, а глубина коррозионных питтингов, которые являются концентраторами напряжений. Поскольку продолжительность хранения сельскохозяйственных агрегатов в несколько раз превышает длительность их использования, то и коррозионные разрушения металлов за время хране-

ния машин, особенно если не соблюдаются правила консервации, могут достигнуть большей величины, чем в период их работы.

Таким образом, защита МТ от коррозии и коррозионно-механических разрушений – является важной и актуальной задачей. Ее решение позволит значительно повысить эксплуатационные показатели работы машин.

1.1.4. Защита СХТ от коррозии

Для уменьшения коррозионного разрушения узлов и агрегатов машин проводятся мероприятия по защите от коррозии – противокоррозионная защита. Она условно подразделяется на постоянную и временную.

Постоянная противокоррозионная защита предусматривает использование коррозионностойких материалов (легированных сталей, полимеров, композиционных материалов, гальванических, фосфатных, лакокрасочных покрытий и др.), применение анодной и катодной защит и других способов защиты от коррозии.

Временная противокоррозионная защита – возобновляемый комплекс мероприятий по защите АТ и СХТ от коррозии и коррозионно-механического изнашивания во время изготовления, межоперационного или длительного хранения, транспортирования и эксплуатации. Важное место среди средств временной противокоррозионной защиты занимают антикоррозионные смазочные материалы.

Разработке способов повышения долговечности, например, автомобильных кузовов, эффективности коррозионной защиты металлоизделий во всех отраслях уделяется большое внимание.

Специалисты фирмы «Порше» (ФРГ) доказали возможность создания автомобиля со сроком эксплуатации 20 лет без ремонтных воздействий на элементы кузова. Это может быть достигнуто использованием новых коррозионностойких материалов. Широкому применению предлагаемых материалов препятствует их высокая стоимость.

Один из способов, позволяющих значительно повысить коррозионную стойкость кузова – использование в кузовостроении оцинкованного стального листа. Главной проблемой при его использовании является сохранение цинкового слоя в швах, то есть местах точечной сварки. Кроме того, оцинкованный металл, в большинстве случаев представляет собой гальваническую пару, что вызывает электрохимическую коррозию, а при сварке – выделение отравляющих веществ.

Применение в качестве защитных покрытий цветных металлов (цинка, алюминия, хрома и др.) повышает срок службы кузовов на 4...6 лет, но значительно увеличивает их стоимость. Благодаря развитию химической промышленности, и, прежде всего, отраслей, производящих пластмассы, стало возможным заменить дорогостоящие покрытия из цветных металлов более экономичными полимерными материалами [23].

1.1.4.1. Средства временной противокоррозионной защиты деталей, узлов, агрегатов МТ и металлоизделий

Для повышения долговечности кузовов многие зарубежные фирмы выполняют нанесение антикоррозионных материалов на конвейерах основного производства, хотя это и приводит к усложнению технологического процесса, по этому пути впоследствии пошли и отечественные автозаводы.

Агрессивность окружающей среды приводит к тому, что антикоррозионное покрытие, нанесенное на кузов автомобиля при его изготовлении, теряет защитные свойства после некоторого срока эксплуатации. Для восстановления защитных свойств, в процессе эксплуатации, кузов необходимо подвергать дополнительной обработке антикоррозионными составами, наносимыми на днище, во внутренние (скрытые) полости кузовных деталей и т.д.

Ко всем материалам, применяемым при антикоррозионной обработке кузовов, предъявляются требования:

- слой антикоррозионной защиты должен образовывать прочную и эластичную пленку, стойкую к механическим воздействиям (при вибрации и деформации кузова) и не поддающуюся разрушающему действию влаги и солевых смесей и растворов;

- пленка должна быть водонепроницаемой, несмачиваемой;

- материал покрытия должен обладать хорошей проникающей способностью, то есть попадать во все микротрещины и поры до момента высыхания;

- сохранять пластичность при колебаниях температур от -50 до $+70$ °С;

- не должен оказывать разрушающего (химического) воздействия на ЛКП кузова, на пластмассовые и резиновые детали.

- материалы, предназначенные для антикоррозионной защиты днища кузова, кроме защитных свойств, должны иметь высокую механическую прочность, повышенную адгезию к поверхности металла и обладать противозадирными свойствами.

Первым отечественным промышленным образцом-прототипом современных АСМ является масло К-15 (ЦИАТИМ-217 ГОСТ 9185-59). Оно предназначалось для защиты от коррозии узлов и агрегатов АТТ из легированной стали и цветных металлов. Эксплуатационные свойства К-15 были не высокими. В дальнейшем во ВНИИ НП на основе масла К-15 разрабатываются масла К-17 и К-17Н. Масло К-17 состоит из масла К-15 с добавлением 1 % окисленного петролатума, 0,3 % дифениламина и 10 % присадки ПМСЯ; в масле К-17Н среди указанных компонентов добавлено 2 % нитрита натрия.

Испытаниями, проведенными в середине 60-х гг. в НИИ-21 и НИИ-25 установлено, что имеется существенный недостаток ингибированных масел – отсутствие эксплуатационных свойств [24]. Для получения рабоче-

консервационных масел (на тот момент – наиболее перспективной группы АСМ), к существующим товарным к моторным и трансмиссионным маслам добавляют вместе с присадками, улучшающими эксплуатационные свойства, специальные присадки – ингибиторы коррозии. В качестве таких присадок рекомендуют [22]: фосфорсодержащие присадки, нефтяные сульфонаты, амины и некоторые производные аминов – полиамины; аминокислоты, соли органических кислот (жирных кислот, оксикислот и пр.) с различными аминами; соли нефтяных сульфокислот с органическими аминами; соли хлоридов, хромовой или борной кислот с аминами, продукты взаимодействия (комплексные соли) различных жирных кислот, нефтяных сульфокислот и аминов; продукты формальдегидной конденсации алкилфенолов, монохлоруксусной кислоты и аминов (дифениламина).

В результате работ, проведенных в 1963-64 гг. заводом «Нефтегаз», НИИ-21 и НИИ-25, разработана первая отечественная маслорастворимая присадка АКОР-I (НГ-106). Ее испытания показали, что присадка значительно повышает защитные свойства моторных масел, не ухудшая их эксплуатационных качеств. Введением в моторные и трансмиссионные масла 10 % присадки АКОР-I добиваются получением их рабоче-консервационных свойств.

Другой путь получения защитных присадок-ингибиторов – подбор композиций функциональных присадок к маслам. Результат разработки этого направления – подбор композиции присадок (КП). КП, вводимая в масло в количестве 19-20 % существенно повышает рабочие и консервационные свойства товарных моторных, трансмиссионных и др. масел.

Защитные свойства пластичных углеводородных смазок, моторных и трансмиссионных масел 1-го поколения (60-е гг.) низки вследствие высокой влагонепроницаемости пленок, недостаточной прилипаемости к поверхности металлов, склонности к сползанию и стеканию с защищаемых поверхностей под действием повышенной температуры.

В соответствии с современными представлениями наиболее приемлемыми и перспективными для использования в качестве консервационных материалов являются пленкообразующие ингибированные нефтяные составы (ПИНС) [11, 14, 23]. ПИНС – это средство временной противокоррозионной защиты на основе высокомолекулярных пленкообразующих нефтепродуктов с добавками ингибиторов коррозии и растворителей. После испарения растворителя на металле остается сформировавшаяся пленка продукта. Этот оставшийся продукт по своим свойствам и назначению может представлять собой твердые и полутвердые композиции, близкие к лакокрасочным полимерным покрытиям и восковым пленкам, а также пластичные смазки разной концентрации или ингибированные минеральные либо синтетические масла. В отличие от неснимаемых, изоляционных лакокрасочных полимерных материалов, битумных мастик и восковых

составов, ПИНСы – активные, ингибированные смазочные материалы, которые могут использоваться не только для защиты неокрашенных и окрашенных наружных поверхностей, но и сложных металлических изделий с различными узлами трения, для консервации влажных и мокрых поверхностей, скрытых внутренних профилей, где применение лакокрасочных покрытий вообще невозможно.

Наличие растворителей (нефтяных, углеводородных, хлорорганических или воды), специально подобранных загустителей и значительного количества маслорастворимых ингибиторов коррозии обеспечивает следующие особенности и преимущества ПИНС перед традиционными защитными маслами, смазками и эмульсиями:

- легкость нанесения методом воздушного или безвоздушного распыления (пульверизацией), окунанием, кистью;

- высокие защитные свойства в тонкой пленке (при толщине пленки 20–50 мкм, они на один-два порядка эффективнее ингибированных масел и пластичных смазок, при 100–200 мкм обеспечивают лучшую защиту, чем пластичные смазки при толщине до 5 мм);

- проникание в микроразрывы, микротрещины, микродефекты металла, эффективность в условиях контактной питтинговой и щелевой коррозии, коорозионно-механического растрескивания и усталости, фреттинг-коррозии, коррозии при трении в машинах и механизмах;

- возможность использования для наружной консервации без расконсервации, в отличие от плотных консервационных смазок, способность вытеснять воду с поверхности металла;

- отдельные виды ПИНС по абразивостойкости, и атмосферостойкости (дождь, снег, ветер, солнечная радиация) приближаются к специальным мастикам и ЛКП и намного превосходят пластичные смазки;

- возможность введения в состав ПИНС большого количества ПАВ (50–70 %) поверхностного и объемного действия, в том числе традиционных или фторосодержащих, а также активных наполнителей типа сульфида молибдена, графита и загустителей типа модифицированных силикагелей, позволяет разрабатывать уникальные смазочные материалы с очень высокими защитными, смазывающими, противоизносными и противозадирными свойствами;

- некоторые виды ПИНС весьма эффективны как дополнительная защита поврежденных (и неповрежденных) поверхностей лакокрасочных, битумных и восковых покрытий.

Пленкообразующие ингибированные нефтяные составы относятся к так называемым смываемым покрытиям, т.е. покрытиям, удаляемым нефтяными растворителями.

Важное место среди средств временной противокоррозионной защиты АТТ занимают антикоррозионные смазочные материалы, к которым отно-

сятся: ингибиторы коррозии (ИК); консервационные (КМ) и рабоче-консервационные (РКМ) масла; пленкообразующие ингибированные нефтяные составы (ПИНС); защитные водовытесняющие составы (ЗВВС). Основные области применения АСМ приведены в табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1 . 2

Области применения АСМ [23, 25].

Вид АСМ	Основное назначение
1	2
ИК	Введение в рабочие масла для внутренней консервации металлоизделий. Компонент моторных и трансмиссионных масел с улучшенными противокоррозионными свойствами, ПИНС, ЗВВС, КМ, РКМ и топлив
КМ	Для защиты от коррозии наружных и внутренних поверхностей АТ и СХТ и ЗИП, хранящихся при кратковременной (сезонной) и межоперационной защите, при длительной хранении без непосредственного воздействия климатических факторов
РКМ	Для хранения, транспортирования, периодической и постоянной эксплуатации АТТ
ПИНС	
группа Д-1	Для длительной консервации наружных поверхностей грузовых автомобилей, сельскохозяйственной техники, дорожных и коммунальных машин.
группа Д-2	Для длительной консервации наружных поверхностей грузовых автомобилей, сельскохозяйственной техники, дорожных и коммунальных машин. АСМ этой группы образуют на металле более тонкие пленки покрытий, чем продукты группы Д-1
группа МЛ-1 группа МЛ-2 (тиксотропные)	Для защиты скрытых и труднодоступных поверхностей АТ и СХТ
группа З.Ч.	Для дополнительной защиты от коррозии деталей с гальваническими и лакокрасочными покрытиями, а также ЗИП и проката (металлического листа) при межоперационном хранении
ЗВВС	Для удаления влаги; там, где нужны хорошие проникающие свойства

1.1.4.2. Изменение эксплуатационных (защитных) свойств АСМ

В рассмотрении изменения ЭС АСМ в настоящее время положена теоретическая модель, разработанная Т.И. Богдановой и Ю.Н. Шехтером [23]. Теоретическая модель описывает энергетические взаимодействия в динамической системе «воздух-электролит-металл-АСМ в растворителе» и динамическо-статической системе «воздух-вода-металл-пленка покрытия». С помощью теоретической модели и механизма действия АСМ оценивают следующие состояния:

1. Химические, физические и физико-химические свойства в растворителе, определяемые компонентами АСМ и взаимодействиями между этими компонентами.

2. Процессы и явления, происходящие при нанесении составов на металлические поверхности. К ним относятся: вытеснение электролита (воды) с поверхности металла; смачивание металла, растекаемость по металлу, проникание в микроразоры, микротрещины и пр.; испарение растворителя и формирование пленки под воздействием сил адгезии и когезии; процессы хемосорбции и адсорбции ПАВ на поверхности металла; окончательное формирование пленки покрытия.

3. Механизм действия сформировавшейся пленки на металле, зависящий от особенностей ее строения, физико-химических, коллоидных и реологических свойств активного вещества.

Среди ЭС АСМ наибольший интерес представляют защитные свойства, характеризующие механизм защитного действия пленки.

Механизм защитного действия сформировавшейся пленки смазки на поверхности металла определяется следующими факторами [14, 23, 26-32]: защитными свойствами адсорбционно-хемосорбционных пленок на самой поверхности металла; торможением электрохимических процессов коррозии благодаря анодной и (или) катодной поляризации металла пленкой покрытия (поляризационная составляющая защитного эффекта); предохранением металла от коррозии благодаря механической изоляции его поверхности от влаги, кислорода воздуха, хлоридов, диоксида серы и других веществ (изоляционная, омическая составляющая защитного эффекта); динамическим «противоборством» указанных выше факторов во времени с внутренними и внешними явлениями, способствующими разрушению защитного слоя (окисление и старение пленки во времени, воздействие дождя, абразивного износа, трения, проникания через слой пленки воды, агрессивного электролита или газа, изменение адгезионно-когезионных характеристик пленки и пр.).

Согласно электрохимической теории коррозии металлов, скорость коррозии (сила коррозионного тока – I_k), пропорциональна возникающей ЭДС и обратно пропорциональна сумме омического и поляризационного сопротивлений процесса.

Изоляционная (омическая) составляющая защитного эффекта ($R_{ом}$) смазочного материала зависит от толщины его слоя, паро-, газо- и водонепроницаемости этого слоя, а также от его гигроскопичности. Эти показатели связаны со структурой, реологическими и адгезионными свойствами смазочного материала и с теми изменениями, которые происходят в смазке при эксплуатации или хранении (химическая или коллоидная стабильность, окисляемость и т. д.). Изоляционная составляющая исчезает при удалении слоя покрытия. Поэтому пористость покрытия, микродефекты структуры, разрыв пленки, смываемость, температура сползания продукта имеют в этом случае решающее значение.

В общем случае адгезионно-когезионные силы, определяют такие понятия, как липкость пленки, ее механическую удаляемость (отрываемость), реологические свойства (твердость, пластичность), стойкость к атмосферным осадкам. Однако сами по себе адгезионно-когезионные свойства неингибированных пленок, особенно изоляционные характеристики, не определяют уровня их защитных свойств.

Проведенные исследования по определению общего, омического и поляризационного сопротивлений под пленками разнообразных смазочных материалов показали, что изоляционная составляющая защитного эффекта во всех случаях носит подчиненный характер в защите от электрохимической коррозии, так как сама доля омического сопротивления в общем сопротивлении защитной пленки даже для неингибированных смазок невелика; например для смазки ПВК она равна 0,6 %, для ЦИАТИМ-221 – 2,6 %, для ингибированных смазок, консервационных масел и ПИНС – около 1-5 %.

Таким образом, для смазочных материалов главной является вторая, поляризационная составляющая защитного действия и связанное с этим торможение электрохимических реакций коррозионного процесса. Тем не менее, роль изоляционного слоя нельзя недооценивать, так как именно эта «шуба» – наружный слой смазочного материала – защищает адсорбционно-хемосорбционные поверхностные пленки от разрушения электролитом, от вытеснения его за счет энергии двойного электрического слоя электролита, от механического разрушения каплей воды и т.д. При этом оказывается, что толстая, но «рыхлая» и ненадежная «шуба» пластичных смазок (толщиной до 5 мм) может быть с успехом заменена на тонкую (20-100 мкм), но необычайно прочную, связанную с металлом сильными адгезионно-когезионными свойствами пленку ПИНС.

Высокие абсолютное и относительное значения поляризационного сопротивления под пленками смазочного материала могут вызываться тремя принципиально разными причинами:

1. Если в состав защитной пленки с низкой адгезией к металлу включен водорастворимый ингибитор коррозии или если сам электролит, прони-

кающий через пленку смазочного материала содержит водо- или водомаслорастворимые ингибиторы, то торможение электрохимической коррозии будет проходить подетально изученным механизмам ингибирования в водных средах в результате торможения анодной и (или) катодной реакции коррозионного процесса;

2. В неингибированных смазочных материалах с высокой адгезией к металлу (пушечная смазка) высокое поляризационное сопротивление может возникнуть из-за трудностей протекания электрохимических реакций под слоем смазочного покрытия;

3. Процессы десорбции воды, адсорбции и хемосорбции маслорастворимых ингибиторов коррозии на металле.

Изменение защитных свойств АСМ основывается на ряде доказанных фактов. Одними из основополагающих в рассмотрении снижения свойств смазок, являются работы В.М. Мартынова [33].

Выделяются следующие причины изменения ЭС АСМ – испарение компонентов (активного вещества); контакт с влажной средой (атмосферой); самопроизвольное выделение жидкой фазы; окисление жидкой фазы.

Испарение активного вещества приводит к увеличению вязкости и предельного напряжения сдвига, уменьшению толщины пленки, изменению смазочной способности (наиболее необходимой для рабоче-консервационных составов), а в некоторых случаях к значительному уплотнению и образованию корок, которые могут растрескиваться и тем самым ухудшать защитные свойства АСМ. Применительно к индивидуальным веществам и многокомпонентным системам, испаряемость при любой температуре протекает соответственно аналитической зависимости Тейлора:

$$\ln V = k_0 - \frac{\lambda}{RT}, \quad (1.2)$$

где k_0 – постоянная; λ – молярная теплота испарения, считается постоянной в рассматриваемом диапазоне температур; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура.

Применимость зависимости (1.2) подтверждена экспериментально. Таким образом, влияние испарения компонентов смазки на ее ЭС обосновано.

При поглощении паров воды или этилового спирта происходит уплотнение смазки ЦИАТИМ-221 – возрастание вязкости и предела прочности. Характерной особенностью уплотнения является то, что вязкость с ростом количества поглощенных паров проходит через максимум, достигая при малых градиентах скорости деформации 2...2,5-кратного исходного значения, а предел прочности линейно возрастает с количеством поглощенного спирта, увеличиваясь при этом в десятки раз (в 55 раз при поглощении 3 % спирта). При поглощении паров воды предел прочности

сначала линейно возрастает, а затем остается постоянным (при поглощении до 4 % воды).

Поглощение паров воды смазкой ЦИАТИМ-221 приводит к изменению предельного масловыделения, т.е. к изменению коллоидной стабильности. Оценивая стабильность количеством отжатого масла на приборе КСА в течение 1 часа, установлено, что максимальная стабильность (то же, что минимальное количество отжатого масла) соответствует 1 % поглощенной воды или содержанию 0,56 миллимолей воды в 1 г смазки. Дальнейшее увеличение содержания воды понижает стабильность смазки.

Таким образом, максимальные вязкость и предел прочности, минимальное значение выделяющегося (отжимаемого) масла обнаруживается у смазки, содержащей примерно 0,5 миллимолей воды в гр. смазки или около 1 %.

Максимальное масловыделение увлажненной смазки является линейной функцией приложенной нагрузки, т.е. и для этого случая осуществляется та же закономерность, что и для исходных, свежееизготовленных смазок.

При хранении в атмосферных условиях скорость и глубина коррозионного поражения поверхности данного металла под слоем смазки определяется скоростью влаго- и воздухопроницаемости через смазку, скоростью проникновения коррозионно-агрессивных компонентов среды (атмосферы), составом смазки и условиями консервации.

Количество паров воды или кислорода, поступающее через слой смазки к поверхности металла, определяется уравнением

$$m - A \ln(1 - Bm) = Ct, \quad (1.3)$$

где m – количество газа (пара) в граммах, прошедшее за время t через поверхность пленки; A , B и C – постоянные, определенным образом связанные между собою.

В случае, когда под слоем смазки не происходит накапливание диффундирующего вещества и последнее полностью расходуется на образование новых продуктов (продуктов коррозии), количество паров воды или кислорода вычисляется по формуле

$$m = \frac{\Pi(P_0 - P)St}{\delta}, \quad (1.4)$$

где Π – постоянная проницаемости; P_0 и P – давление паров (газа) соответственно по одну и другую сторону пленки; δ – толщина пленки смазки; S – площадь поверхности, покрытая смазкой.

Самопроизвольное выделение жидкой фазы (масла) вызывает изменение физико-химических параметров смазки – вязкости, приводящее к ее возрастанию. При экспериментальной проверке проведено искусственное

удаление масла из смазок ЦИАТИМ 201 и ЦИАТИМ 221. Установлено, что при удалении 20 % масла значение вязкости исследуемым смазкам лежит в тех же пределах, что и для исходных образцов. Следовательно, при отсутствии других процессов, масловыделение не опасно для большинства механизмов. Это кузова автомобилей, рамные и несущие конструкции, детали рабочих органов СХТ. К повышению вязкости, обусловленной выделением масла, чувствительна ограниченная часть прецизионных механизмов машин. Это подшипники, прецизионные пары ТНВД, вкладыши коленчатых валов.

В процессе окисления вязкость и предел прочности смазок возрастают и при кислотном числе, равном 8 мг КОН, увеличение достигает 1,5...2-кратного исходных значений. Следовательно, если нет других побочных явлений, то при окислении в естественных условиях за длительный промежуток времени смазки не потеряют своих рабочих функций, определяемых объемно-механическими свойствами при использовании в узлах трения с большими сдвиговыми усилиями, и могут не обеспечить нормального запуска и последующей эксплуатации прецизионных машин с малыми сдвиговыми усилиями.

Однако вязкость и предел прочности смазки ЦИАТИМ-221 при реальных условиях хранения на изделиях могут изменяться значительно больше, что определяется иными факторами, в частности контактом смазки с влажной атмосферой.

Рассмотренные исследования различных авторов показывают, что основными факторами, оказывающими влияние на процесс коррозии под слоем смазки являются: испарение компонентов смазки (активного вещества) и контакт смазки с влажной средой. Эти процессы приводят к снижению толщины пленки, которая является одной из характеристик ЭС АСМ и изменениям коллоидной стабильности смазок, происходящей в результате колебания масловыделения смазок при контакте с влажной средой.

1.2. Анализ физико-химических параметров, влияющих на процессы старения антикоррозионных смазочных материалов при эксплуатации мобильной техники

При хранении и эксплуатации техника подвергается воздействию внешних и внутренних факторов.

К внешним воздействующим факторам (ВВФ), по ГОСТ 26883-86, относятся:

- механические ВВФ – крен, механическое давление, статическое давление;
- климатические ВВФ – атмосферные осадки, атмосферные выпадающие осадки, атмосферные конденсированные осадки, морской туман,

статическая (ий) пыль (песок), динамическая (ий) пыль (песок), ветер, коррозионно-активный агент морской воды, коррозионно-активный агент почвенно-грунтовой среды, коррозионно-активный агент окружающей среды, тепловой удар, атмосферное давление, интегральное солнечное излучение;

- биологические ВВФ – бактерии, плесневелые грибы, обрастатели;
- ВВФ специальных сред – рабочий раствор.

Внутренними факторами являются процессы старения и изнашивания, зависящие, кроме прочего, от природы материала, то есть от химического состава сталей и АСМ. Процессы старения происходят непрерывно, причем они совершаются как во время работы, так и во время хранения и транспортирования изделий. Изнашивание проявляется в основном в процессе эксплуатации и зависит от воздействия внешних факторов, от режимов эксплуатации и работы изделий. Вероятность влияния внутренних факторов возрастает по мере увеличения длительности эксплуатации и при нарушении режимов работы, которые могут характеризоваться: частотой включений и переключений, вызывающей в изделиях переходные процессы; перенапряжениями; толчками и т. д. Частые включения и переключения некоторых изделий могут также влиять на механическое изнашивание их конструктивных элементов. В изделиях, предназначенных для циклических режимов работы, существенное влияние на тепловые режимы оказывают соотношения продолжительности работы и перерывов. Действие внутренних факторов во многих случаях зависит от схем и конструкций изделий.

Выделяются следующие ВВФ, влияющие на процесс протекания атмосферной коррозии (рис.1.4).

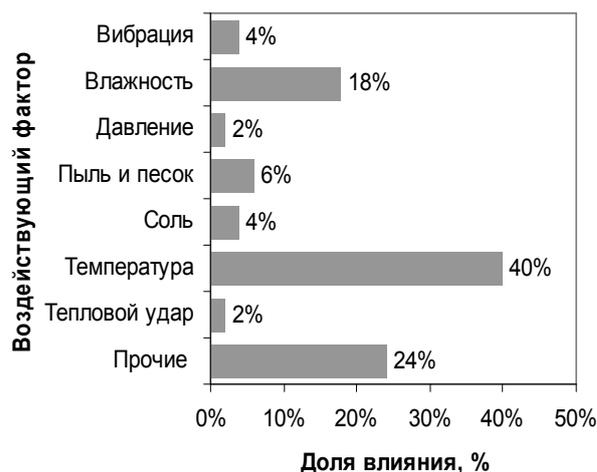


Рис. 1.4. Доли влияния климатических факторов

Основным ВВФ, влияющим ход коррозии является температура, а остальные воздействующие факторы усиливают ее негативное воздействие. Согласно законам химической кинетики, скорость химической реакции, (в т.ч. и коррозии), возрастает в 2...4 раза при повышении температуры на каждые 10 °С:

$$V = V_0 \cdot \gamma^{\frac{T-T_0}{10}}, \quad (1.5)$$

где γ – температурный коэффициент (коэф. Вант-Гоффа), $\gamma = 2 \div 4$.

Коэффициент Вант-Гоффа позволяет предварительно определить:

– во сколько раз можно ускорить коррозионный процесс путем повышения температуры, например для железа, $\gamma = 1,24 \div 1,38$, для цинка – $\gamma = 1,09 \div 1,20$;

– механизм процесса – коэффициент Вант-Гоффа является одним из критериев, отличающих диффузионный процесс от химического.

Установлено, что скорость атмосферной коррозии возрастает после достижения первого критического порога влажности (относительная влажность – 70 %) и еще более возрастает при достижении второго критического порога влажности (относительная влажность – 97 %).

Процесс коррозии в условиях повышенной влажности (выше критического порога влажности) в присутствии коррозионно-активных веществ объясняется явлением депассивации поверхности металла. Любой металл на воздухе мгновенно покрывается оксидной пленкой (пленкой сорбированного кислорода), толщина которой колеблется от мономолекулярных до видимых размеров. Во влажной атмосфере эта пленка имеет переменный состав и содержит конденсированную влагу.

Формы конденсации могут быть различными и зависят от природных кислородных соединений металлов, входящих в оксидную пленку и количества конденсирующейся влаги. Химическая конденсация наблюдается при взаимодействии конденсирующейся влаги с компонентами оксидной пленки. Капиллярная конденсация протекает вслед за химической и заключается в заполнении влагой микропор оксидной пленки. В условиях химической и капиллярной конденсации влаги коррозионный процесс подчиняется законам сухой коррозии, протекающей до второго критического порога влажности. Конденсирующаяся влага при этом не может служить растворителем агрессивных агентов, содержащихся в воздухе.

При достижении первого критического порога влажности, который зависит не только от уровня влажности, но и характера агрессивных веществ, происходит поверхностная конденсация. Создающаяся пленка конденсата влаги уже является растворителем агрессивных веществ, содержащихся в воздухе. В воздухе, содержащем пары SO_2 , порог критической влажности наступает при относительной влажности 65...75 %, а при наличии паров галоидопроизводных кислот интенсивная коррозия отмечается уже при 50 % влажности (при предварительном контакте с парами NaCl – 55 %). При поверхностной конденсации происходит разрушение оксидной пленки, в результате чего растворенные в пленке влаги агрессивные вещества приходят в соприкосновение с металлом и вызывают электролитические процессы кислородной деполяризации. Коррозия в этом случае протекает под слоем электролита.

Различают две стадии атмосферной коррозии: начальную и протекающую в присутствии слоя ржавчины на поверхности металла. Если для

начальной стадии присутствие агрессора обязательно, то для второй – не обязательно, т.к. некоторое количество его всегда содержится в ржавчине.

В тоже время, при повышении температуры происходит ускорение процесса испарения и, следовательно, сокращение продолжительности смачивания поверхности, уменьшение концентраций кислорода и др. агрессивных газов, что приводит к снижению скорости коррозии.

Концентрация агрессивных веществ оказывает влияние на скорость коррозионного процесса. Скорость химической реакции в каждый момент времени пропорциональна концентрациям реагентов, возведенных в некоторые степени (закон Действующих масс):

$$V = k \cdot [A]^n \cdot [B]^m; \text{ для реакции } aA + bB = \dots, \quad (1.6)$$

где n и m – порядки реакции по соответствующим веществам; $n+m$ – общий порядок реакции.

Поскольку многие коррозионные реакции связаны с участием газов (испарение) изменение давления значительно влияет на скорость реакции. В данном случае непосредственно давление определяет концентрации газов.

$$pV = \nu RT. \quad (1.7)$$

Перенесем ν в правую часть, а RT – в левую и учтем, что $\nu/V = c$, получим:

$$P / (R \cdot T) = c. \quad (1.8)$$

Давление и молярная концентрация газа связаны прямопропорционально.

Значительное увеличение коррозионного разрушения происходит при увеличении концентрации SO_2 . Исследованиями [55–57] установлено, что солнечная радиация (УФ-облучение) оказывает влияние на коррозию (защитную эффективность консервационных составов). Это влияние связано с тем, что в результате облучения на пленке масла образуются продукты окисления, которые снижают агрессивное воздействие среды SO_3 . По имеющимся, и подтвержденным настоящим исследованием данным, в ряде случаев, величины коррозионного поражения опытных образцов некоторых смазок значительно меньше, чем у контрольных. Влияние УФ-облучения определяется как интенсивностью облучения, так и составом металлов и защитных покрытий.

Основной эффект воздействия ветра состоит из приложения к поверхности силы, сопровождается усталостными явлениями, выветриванием материала, засорением, эрозией, наведенной вибрацией. Вследствие ветровой нагрузки возникают отказы: структурное разрушение, механическое

повреждение, увеличенный износ. Сила, оказывающая давление на поверхность детали пропорциональна квадрату скорости ветра:

$$P = \frac{\rho_{\text{возд}} \cdot V_{\text{вв}}^2}{2}, \quad (1.9)$$

где $\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха, $\rho_{\text{возд}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$; $V_{\text{вв}}$ – скорость воздуха (ветра), м/с.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что скорость протекания атмосферной коррозии и старение АТТ и СХТ в основном определяется температурой. Другие ВВФ, такие как относительная влажность, атмосферное давление, УФ-излучение (средняя месячная интегральная плотность потока суммарного солнечного излучения) и ветровая нагрузка (средняя непрерывная продолжительность скорости ветра) – усиливают воздействие температуры.

Исследованиями В.Г. Акимова [43, 44] установлено, что развитие коррозионных процессов металлов во времени описывается с помощью пяти наиболее характерных типов зависимостей. Первый тип зависимости «коррозия-время» (К-Т), рис. 1.5, соответствует случаю, когда условия в ходе коррозионного процесса не меняются и вторичные процессы, связанные с образованием защитных пленок, практической роли не играют.

В этом случае, скорость коррозии будет оставаться постоянной, т.к. факторы, ускоряющие и замедляющие коррозию, уравниваются друг друга.

Второй тип зависимости «К-Т» (рис. 1.6) характеризует процессы коррозии, подверженные замедлению. Это, в одном случае, связано с появлением защитных пленок, тормозящих процесс коррозии. В другом случае – со снижением воздействия коррозионного агента.

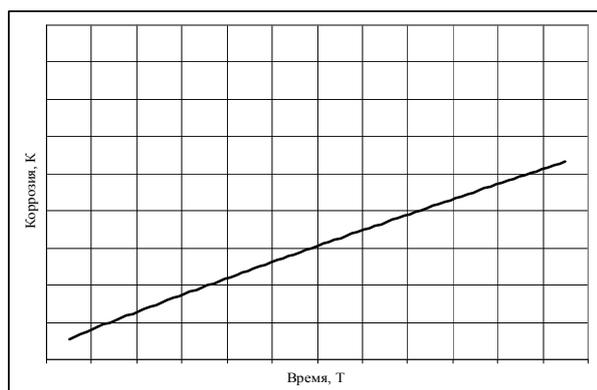


Рис. 1.5. Первый тип зависимости К-Т

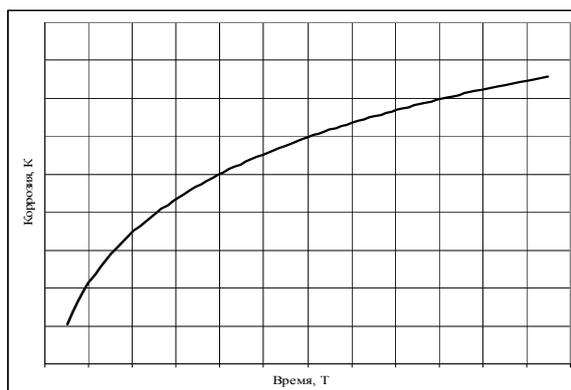


Рис. 1.6. Второй тип «К-Т»

Кривая «К-Т» третьего типа относится к процессам, идущим с ускорением. В этом случае, непосредственно в ходе коррозии возникают причины, увеличивающие скорость протекания коррозии. К числу таких причин относятся разрушение защитных пленок; обнажение новых катодных участков и т.д.

Четвертый тип кривой «К-Т» представляет собой сложную кривую, которую можно рассматривать как совмещение второго и третьего типа (или же второй тип зависимости с периодом индукции).

Пятый тип кривой К-Т также представляет собой сложную кривую, у которой превалирует второй тип (замедление коррозионного старения, в связи с появлением защитных пленок). После чего, третий тип – происходит разрушение защитных пленок, и скорость коррозии увеличивается. Кривая «К-Т» пятого типа наиболее точно описывает процесс старения АТТ и СХТ при применении мер временной противокоррозионной защиты.

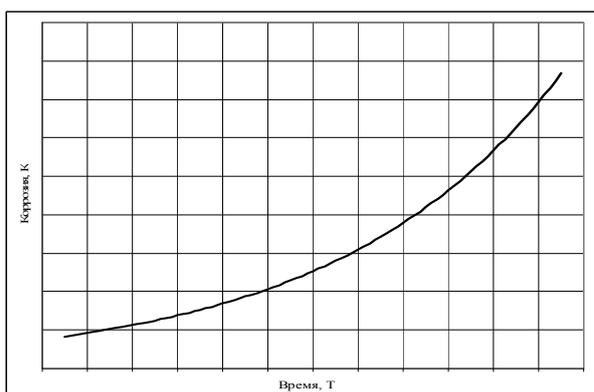


Рис. 1.7. Третий тип зависимости К-Т

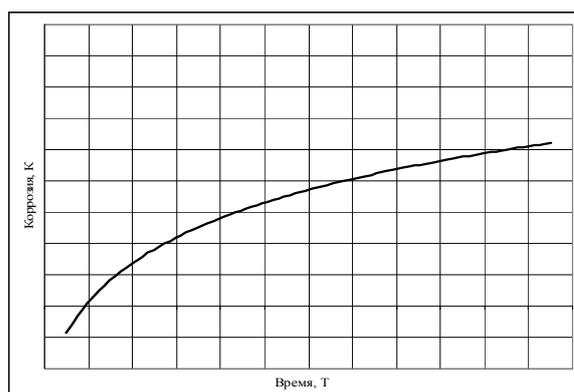


Рис. 1.8. Четвертый тип «К-Т»

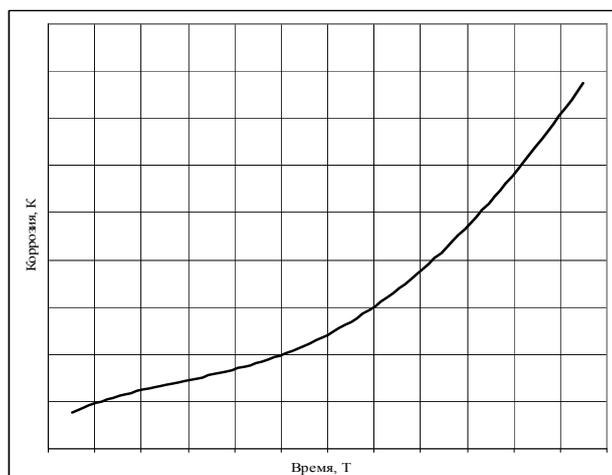


Рис. 1.9. Пятый тип зависимости К-Т

1.3. Анализ факторов, методов и технических устройств, обеспечивающих контроль над процессами изменения эксплуатационных свойств антикоррозионных смазочных материалов

1.3.1. Методики моделирования и прогнозирования изменений ЭС АСМ

Необходимым условием повышения качества АСМ является проведение всех видов испытаний на стадиях проектирования и производства, в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. При этом большая роль принадлежит лабораторным испытаниям, реализуемым с помощью средств испытаний, воспроизводящих воздействие внешних факторов/

Современные средства испытаний представляют собой совокупность испытательного оборудования, информационно-измерительных систем и средств измерений. Испытательное оборудование предназначено для воспроизведения механических, климатических, биологических, радиационных, космических и других ВВФ.

Для разработки оптимальных свойств АСМ и расчета ожидаемых сроков защиты изделий от коррозии в 80-е гг. XX в. предложена система моделирования и оптимизации их функциональных свойств (СМОФС). В основу разработанной системы положены механизм защитного действия АСМ, практические условия их применения, принцип оценки свойств в условных единицах – баллах по каждому показателю с последующей сверкой в обобщенную балльную оценку, отражающую суммарный уровень защитных свойств. В связи с особенностями пленкообразующих ингибированных нефтяных составов – существованием их в растворителе и в виде активного вещества, или сухого остатка (пленки), разнообразны их реологические и физико-химические свойства.

Все свойства АСМ в соответствии с предложенной системой были условно разделены на семь функций (ФС), характеризующих свойства в растворителе – $ФС_1$, $ФС_2$, $ФС_3$, и в сформированной пленке покрытия (активном веществе) – $ФС_4$, $ФС_5$, $ФС_6$, $ФС_7$. Каждая из функций ФС складывается из дифференциальных свойств – ДФС, которые описываются методами исследований и показателями этих методов, выраженных в относительных безразмерных величинах.

Под суммарными функциональными свойствами ПИНС (как и любого нефтепродукта) понимается обобщенная функция полезности данного продукта, т.е. совокупность всех его свойств, описываемая с необходимой и достаточной полнотой и достоверностью, обеспечивающая особенности применения этого продукта и гарантийные сроки защиты им металлоизделий. Для описания и оценки свойств АСМ, с целью возможного использования методов математического моделирования и планирования

эксперимента, а также для оптимизации составов, свойств, технологии производства и применения их вводятся понятия об идеальных и реальных материалах – эталонах сравнения – и система относительных оценок свойств и явлений.

При оценке свойств продукта в бальной системе каждое функциональное свойство принято за 100 баллов, то есть суммарное функциональное свойство (СФС) равно:

$$\text{СФС} = \sum_1^7 \text{ФС} = \sum_1^{21} \text{ДФС} = 700. \quad (1.10)$$

Таким образом идеальный АСМ (Э_1) имеет максимальную общую оценку – 700 баллов, а каждое его дифференциальное функциональное свойство – 33,3 балла.

По СМОФС принято, что существует прямая пропорциональная зависимость между суммарными функциональными свойствами АСМ как их обобщенной функцией полезности k и гарантийными сроками защиты ими металлоизделий в различных условиях (Γ):

$$\text{СФС} = k \times \Gamma, \quad (1.11)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Для оценки отдельных свойств АСМ используют широкий круг методов, разработанных, с одной стороны; для оценки свойств минеральных масел, пластичных смазок, эмульсолов, битумов и других нефтепродуктов, с другой; для оценки свойств лакокрасочных материалов [34–38]. Кроме того, разработаны целевые методы, предназначенные для оценки свойств ПИНС как нового класса защитных смазочных материалов.

В соответствие с необходимыми ДФС АСМ, а также количеством определяемых показателей, проводится ранжирование каждого показателя на три категории: В – выше нормы, Н – норма, Х – хуже нормы, т.е. дается переводная шкала показателей из абсолютных значений в относительные, безразмерные величины. При этом представляет интерес не конкретное значение показателя, а попадание значения в некоторые интервалы. Выбор методов оценки дифференциальных и индивидуальных свойств и показателей проведен с помощью математического метода «экспертных оценок».

Применительно к каждому конкретному случаю для характеристики АСМ выбирают комплексы методов и комплексы показателей, содержащие полную информацию о функциональных свойствах. Для оценки свойств по системе моделирования и оптимизации выбраны типичные представители продуктов согласно их классификации (отечественные и соответствующие им зарубежные аналоги; последние выбирались из числа продуктов высокого качества с известной характеристикой, областями

применения, гарантийными сроками защиты в разных условиях хранения, транспортирования и эксплуатации металлоизделий).

В зависимости от назначения продукта указанные характеристики различны; часть из них включены в ГОСТ или ТУ и соответственно нормируются. При разработке новых антикоррозионных материалов некоторые характеристики учитывают как основные, и они входят в систему предварительного отбора композиций. В систему моделирования и оптимизации свойств эти характеристики не входят, хотя для идеального АСМ (Θ_1) они могут учитываться.

Основными ЭС АСМ являются защитные свойства. Оценка защитных свойств ПИНС проводят при их непосредственном испытании в коррозионных камерах различной конструкции. В 70-80-е гг. XX в. были апробированы многочисленные прямые методы оценки защитных свойств с целью прогнозирования сроков защиты и установления скорости коррозии металлов. В работах П.В. Стрекалова, Ю.Н. Михайловского, Г.Б. Кларка и других исследователей, изучена кинетика развития коррозионных процессов под пленками влаги, в присутствии диоксида серы и хлора в специальных автоматизированных установках и камерах, а также на атмосферных испытательных станциях стран-членов СЭВ [34–38]; сделана попытка моделирования в камерах искусственного климата атмосферной коррозии металлов за счет ее ускорения с повышением температуры.

В работе А.А. Герасименко и В.А. Ефимова проведено исследование значимости факторов атмосферной коррозии металлов методом парных сравнений при экспертных оценках (было исследовано 35 факторов). По мнению авторов, для получения грубой приближенной модели атмосферной коррозии достаточно варьировать три фактора:

1. Характер контакта с агрессивной средой/
2. Толщину и равномерность водной среды и рН раствора/
3. Характер загрязнения.

Для получения более реальных моделей следует варьировать 7 или 11 факторов. Таким образом, моделирование в камерах или на климатических станциях даже простейшего случая атмосферной коррозии металлов и способов их защиты является весьма сложным (но необходимым).

Важнейшей характеристикой АСМ, от которой во многом зависят защитные свойства, является толщина пленки покрытия. Толщину пленки определяют весовым методом. Кроме того, используют следующие методы: для твердых (восковых, битумных) и полутвердых пленок – микрометрический метод (микрометры типа МК-0,25), толщиномеры типа «ТЛКП», магнитные приборы «ИТП-1»), для тонких, прозрачных, полутвердых и масляных пленок – метод светового свечения (двойной микроскоп МИС-11).

Наряду с методами, входящими в систему моделирования и оптимизации, для общей характеристики защитных материалов всех типов и их классификации используется ряд известных методов, оценивающих вязкость составов в растворителе, толщину их пленки, характеристики активного вещества.

Показатели толщины пленки, а также ее внешний вид включаются в ТУ и ГОСТ на продукты; оговаривается и при какой толщине определяют защитные свойства.

Кроме того, учитывают методы коррозионных испытаний ингибиторов атмосферной коррозии (ГОСТ 9.041-74, ГОСТ 9.505-86), ингибированных полимерных покрытий (ГОСТ 9.042-75) и лакокрасочных покрытий (ГОСТ 9.074-77, 16948-79, 9.056-75 и др.). Наиболее распространены методы отечественных и зарубежных лабораторных испытаний материалов и способы оценки их защитных свойств: по убыли массы пластин; визуальная оценка в баллах; по количеству перешедшего в ПИНС металла и пр.

Такой подход к прогнозу защитных свойств нефтепродуктов, в том числе ПИНС, может дополнять и углублять систему моделирования и оптимизации функциональных свойств, но не может заменить принципов этой системы, основанной на механизме действия защитных продуктов.

1.3.2. Ускоренные коррозионные испытания ЭС АСМ

Коррозионная стойкость не является абсолютным свойством самого металла, не в меньшей степени она определяется характером коррозионной среды. Разнообразие условий внешней среды предопределяет использование различных методов для определения коррозионной стойкости металлов. Эта мысль выражена Бергманом и Миерсом: «Сопrotивление коррозии, есть свойство металла самого по себе, как, например, предел прочности, но свойство, зависящее и от природы металла, и от характера среды. Каждый метод коррозионного испытания должен исходить из этого фундаментального понятия на механизм коррозии металлов» При выборе метода испытаний необходимо учитывать условия эксплуатации изделий и механизм коррозионного процесса, протекающего в этих условиях; а сущность коррозионных испытаний состоит в определении долговечности данного металла, защищенного исследуемым защитным материалом, в определенных условиях эксплуатации.

Лабораторные коррозионные испытания, если испытываются сравнительно стойкие химические материалы в относительно мало активных средах, или когда для защиты применяются эффективные средства, оказываются очень длительными. Эта тенденция начала отчетливо проявляться с применением АСМ 2-го поколения. С применением АСМ 3-го поколения – продолжительность лабораторных испытаний будет только возрастать. Указанные причины снижают ценность полученной информации, обуслав-

ливают необходимость разработки методов, позволяющих в относительно короткое время получить результаты, пригодные для практического использования. Как вариант развития данного направления можно считать методики позволяющие получать «теоретические кривые» по менее информативным, но легко определяемым показателям эксплуатационных свойств АСМ [39]. При этом неприемлемыми следует считать такие методы ускорения испытаний, которые резко изменяют механизм коррозионного процесса.

Испытания АСМ в лабораториях производятся в условиях, когда действие того или иного фактора, определяющего скорость атмосферной коррозии, усиливается. Обычно это достигается путем того, что образцы металлов, покрытые слоем испытуемого АСМ, подвергают воздействию:

- повышенной влажности и температуры;
- паров морской воды;
- паров воздуха, содержащего повышенные концентрации SO_2 ;
- периодической конденсацией влаги;
- непосредственного полива струей воды или раствора поваренной соли.

В настоящее время широко применяются стандартизованные и перспективные методики для проведения ускоренных испытаний эксплуатационных качеств АСМ. Наиболее распространены следующие методы испытаний (рис. 1.10) [14, 23, 34-38, 40, 41].

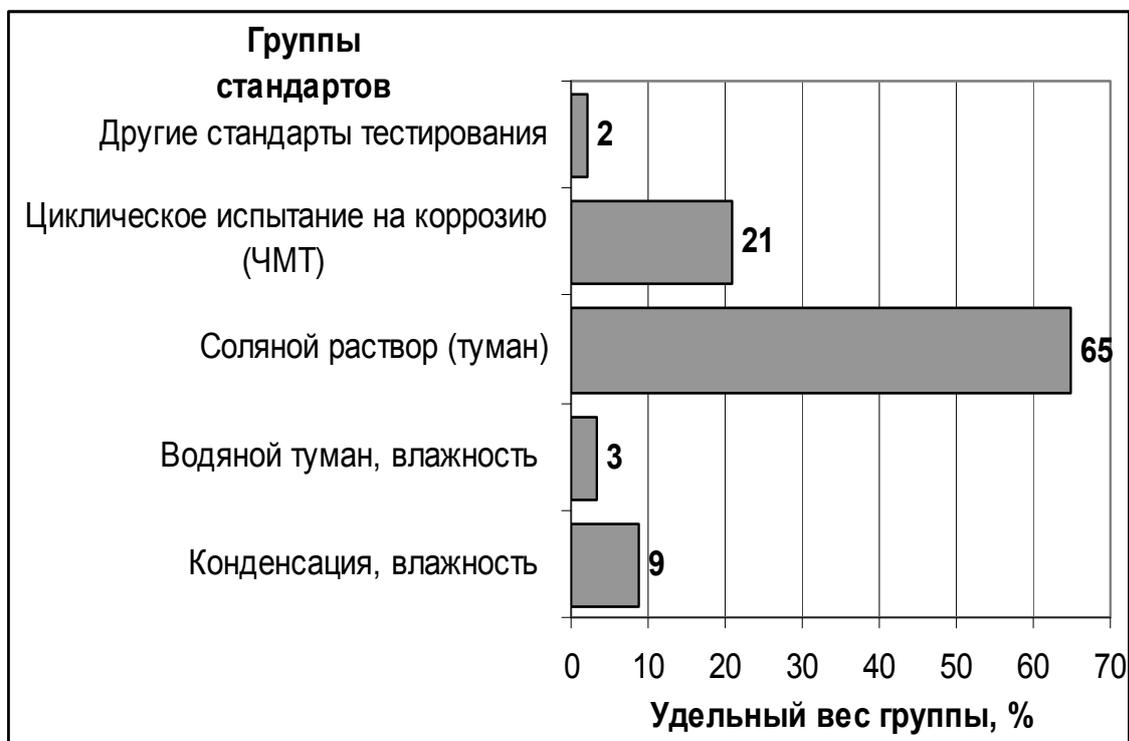


Рис.1.10. Применяемые методы испытаний АСМ в зависимости от параметров ВВФ

Как видно из гистограммы, наибольшее распространение получили методы испытаний с применением соляного тумана. К очевидным преимуществам данных методов следует отнести возможность значительного сокращения времени проведения испытаний. В соответствии с [14, табл. 9], для испытаний АСМ (на стали) в термовлагокамере время до появления коррозии составляет 1000–2000 ч, а при испытаниях в камере соляного тумана – 300-600 ч.

Применение солевых растворов для проверки коррозионной устойчивости защитных покрытий впервые было предложено в 1914 году. В 1939 г. был принят стандарт испытаний ASTM В 117. Этот метод предполагает длительное воздействие на образцы, покрытые испытываемым АСМ, соляного тумана 5-процентной концентрации.

В течение последующих 70 лет предпринимались попытки улучшить метод путем принятия различных дополнений. Несмотря на эти дополнения, общепризнанным остается факт, что результаты таких испытаний не слишком хорошо коррелируют с поведением различных материалов, которое наблюдается в реальных условиях. В настоящее время параметры проведения тестов на стойкость покрытий к воздействию соляного тумана описаны в различных международных стандартах – ISO 9227, а также ряде стандартов ASTM и DIN [40-42].

Известны методы и способы оценки ЭС АСМ на атмосферную коррозию путем воздействия на испытываемый образец соляного тумана. Наиболее распространен метод оценки АСМ в камере соляного тумана, ГОСТ 9.054-75. Определение защитных свойств заключается в выдерживании АСМ, нанесенных на металлические пластинки, в атмосфере соляного тумана при температуре 35 ± 2 °С и распылении 5 %-го раствора хлористого натрия. Продолжительность испытаний устанавливают документацией на консервационный материал или в соответствии с целью проведения испытаний. Оценку защитной способности проводят в соответствии с п.1.5. указанного стандарта.

Известен метод оценки АСМ [14, 23], по которому на пластинки, подвешенные в горизонтальном положении, распыляют 5 %-й раствор хлорида натрия (расход воздуха 12-15 дм³/мин) в течение 7 ч; затем в течение 17 ч камера остывает. Длительность одного цикла – 24 ч. Наиболее распространены, продолжительность для определительных испытаний 200 ч, контрольных – 300 и 600 ч. Оценку защитной способности проводят в соответствии с п.1.5. ГОСТ 9.054-75.

Существует ускоренный метод испытаний АСМ [14, 23], при реализации которого на пластины из Сталь 10 с пленкой АСМ определенной толщины помещают в насыщенный раствор хлорида натрия, содержащий 1 % (масс.) пероксида водорода (в пересчете на активный пероксид), при 45 ± 2 °С на 3 ч. Пластинки извлекают и выдерживают на воздухе в течение

30 мин. Затем пластинки помещают в эксикатор над зеркалом дистиллированной воды, содержащей 1 % (масс.) пероксида водорода. С помощью рассчитанного количества реагентов (серная кислота и тиосульфат натрия) в воздушном пространстве эксикатора образуется диоксид серы (до 1 мг/л). Эксикатор помещают в термостат при 50 ± 3 °С на 4 ч. После этого 16 ч. эксикатор остывает до комнатной температуры. Общая продолжительность испытаний (1 цикл) – 24 ч. Недостатками приведенных методов являются: технологические особенности, снижающие точность моделирования процессов коррозии и понижающие информативность: при реализации данного метода не учтено влияние отрицательных температур, испытание проводится лишь в интервале положительных температур.

Известен способ ускоренных испытаний на атмосферную коррозию (а.с. 805133). Сущность способа заключается в повышении точности при испытании изделий, предназначенных для эксплуатации в субтропической зоне, путем выдерживания консервационных материалов, нанесенных на металлические пластинки, в атмосфере соляного тумана и сернокислого натрия при повышенной влажности и температуре, на $5-10$ °С выше максимальной для данной зоны, с последующим охлаждением до температуры на $10-15$ °С ниже минимальной для субтропической зоны. Способ реализуется следующим образом. Атмосфера соляного тумана в данном случае создается распылением в испытательной камере раствора, изготовленного растворением в дистиллированной воде хлористого натрия в количестве 33 ± 3 г/л и сернокислого натрия в количестве $5 \pm 0,5$ г/л. По данному способу предусмотрен следующий режим испытания. Испытуемое изделие выдерживают в камерах: 1-й режим: выдержка при температуре $+27 \pm 2$ °С в течение 2 ч; 2-й режим: выдержка при температуре $+55 \pm 2$ °С и влажности 5 % в течение 36 ч; 3-й режим: выдержка при температуре $+40 \pm 2$ °С и влажности 90-95 % в течение 116 ч; 4-й режим: выдержка при температуре -20 ± 2 °С в течение 12 ч, влажность при этом не контролируют.

Таким образом, общая продолжительность цикла составляет $2 \text{ ч} + 36 \text{ ч} + 116 \text{ ч} + 12 \text{ ч} = 166 \text{ ч} \sim 7$ суток. В данном случае один цикл эквивалентен 1-му году испытаний в реальных условиях. Количество циклов устанавливается в зависимости от цели испытаний. Обработка результатов проводится по п. 1.5 ГОСТ 9.054-80.

Недостатками данного способа являются: технологические особенности, снижающие информативность: длительность и неразрывность режимов испытаний и самого цикла, вследствие чего данный способ рассматривает изменение эксплуатационных качеств только на следующих целых календарных отрезках времени – 1, 2, 3 и более лет. В то же самое время, из-за неразрывности цикла пользуясь предлагаемым способом невозможно определить изменение эксплуатационных качеств консервационных

материалов на дробных календарных отрезках времени, например – 1,2; 1,8; 2,3; 3,5 т.д. лет.

Известен зарубежный метод оценки ASTM В 117 [40–42]. Метод используется для оценки относительного сопротивления коррозии защищенных и не защищенных материалов в атмосфере соляного тумана при повышенной температуре. Перед помещением образцов в камеру соляного тумана, устанавливается следующий режим испытаний – температура 35 °С (95 °F) и расход воздуха 12 мл/ч. Положение испытываемых образцов задается по умолчанию для типового размещения и составляет угол 15÷30° по вертикали. Длительность одного испытательного цикла составляет 24 ч, общая продолжительность испытаний является переменной – от 24 до 5000 часов.

Недостатками этого метода являются, применение в конструкции камеры экран-пластинки из органического стекла для предотвращения попадания брызг раствора на пластинки с нанесенными консервационными материалами; применение распылителя и как следствие необходимость применения компрессорной установки для подачи воздуха и приспособления поддержания уровня жидкости; при реализации данного метода не учтено влияние отрицательных температур, испытание проводится лишь в интервале положительных температур и высокая длительность испытаний.

Общими недостатками способов являются: необходимость применения в конструкции камеры экран-пластинки из органического стекла для предотвращения попадания брызг раствора на пластинки с нанесенными консервационными материалами; как правило, не учитывается влияние отрицательных температур; применение распылителя и как следствие необходимость применения компрессорной установки и приспособления поддержания уровня жидкости; невысокая точность, малая информативность; использование дополнительного агрессивного реагента (сернокислый натрий или аналоги); длительность одного цикла; искажение кинетики механизма коррозионного процесса вследствие превышения температуры испытания свыше 60 °С.

Выводы

Проведенный анализ состояния вопроса, основанный на изучении НИР, НИОКР, НТД и литературных источников, позволяет сделать следующие выводы:

1. Автотракторная и сельскохозяйственная техника, периодически и постоянно эксплуатирующиеся во всех макроклиматических районах России в процессе хранения подвергаются отрицательному воздействию атмосферной коррозии. В результате из-за коррозионного и коррозионно-механического износа конструкционных материалов деталей, узлов и агрегатов эксплуатационные показатели АТ и СХТ существенно снижаются.

2. Для уменьшения последствий коррозии применяется комплекс мер противокоррозионной защиты. Наиболее приемлемой для сельскохозяйственной техники при сезонной эксплуатации является временная противокоррозионная защита (применение антикоррозионных смазочных материалов). Применение АСМ при хранении СХТ позволяет минимизировать коррозионные количественные и качественные потери металлов.

3. Использование АСМ начато в середине 60-х гг. XX в. Разработанные в 70-80 гг. нормативно-техническая и другая документация, проведенные НИР и НИОКР регламентируют применение некоторых марок антикоррозионных материалов.

4. Разработка, как рецептура составов, так и РТМ для применения перспективных АСМ связано с проведением длительных исследований и испытаний.

5. Одним из оптимизирующих решений вопроса уменьшения продолжительности исследований в указанное время является разработка СМОФС. Несмотря на преимущества, система не располагала оценочным показателем, комплексно оценивающим изменения ЭС АСМ и защищенных сталей. Система моделирования позволяет оценить ЭС по бальной шкале, с использованием эталона.

6. Это привело к:

– выражению, в частности защитных свойств покрытий, в условных единицах не всегда объективно описывающих их применение в конкретных условиях эксплуатации – не давалось ответа о пригодности АСМ к использованию. Следовательно, практическая ценность бальной шкалы оценок ЭС в условных единицах для предприятий, эксплуатирующих СХТ – не достаточна;

– с разработкой в конце 80-х гг. АСМ III-го поколения, обладающего более высокими эксплуатационными качествами, использование эталонов СМОФС – некорректно и малоприспособно для дальнейших научных и прикладных исследований.

7. Благодаря появлению комплекса КИЗМ, его развитию в систему СМОФС и ее использованию в исследованиях, происходит обособление АСМ в самостоятельный класс нефтепродуктов для машин, механизмов, металлоизделий и других конструкционных материалов, производимых промышленностью. Это ставит перед наукой и производством новые задачи. Важнейшие из них: ускорение лабораторных испытаний нефтепродуктов, разработка способов определения и создание методик прогнозирования изменения защитных свойств АСМ.

8. Ускоренные испытания позволяют сократить сроки оценки ЭС АСМ. Характерные для современных способов недостатки снижают их информативность и искажают оценочные показатели.

9. Прогнозирование изменения ЭС АСМ, а, следовательно, и определение гарантированных сроков их применения и хранения СХТ в настоящее время базируется на эмпирических и априорных зависимостях, характерных для определенной марки покрытия. Эмпирика снижает универсальность методик прогнозирования. Таким образом, развитие прогнозирования сдерживается:

- отсутствием теоретической модели коррозионного процесса металла под слоем защитного покрытия;
- отсутствием критерия выбраковки металлоизделий, т.е. не установлено предельно допустимое коррозионное поражение.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АНТИКОРРОЗИОННЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

2.1. Выбор и теоретическое обоснование критерия (параметра) комплексно оценивающего процессы изменения физико-химических показателей антикоррозионных смазочных материалов

Для оценки коррозионной стойкости металла и ЭС АСМ при проведении ускоренных испытаний применяются следующие показатели коррозии: изменение внешнего вида; изменение массы образцов (весовой метод); изменение величины площади, подвергшейся коррозионному поражению; определение глубины проникновения коррозии; определение времени до появления первого очага коррозии; определение числа очагов коррозии, появившихся за определенный промежуток времени; определение времени, необходимого для появления коррозии на определенной части поверхности; изменение электрического сопротивления; изменение механических (ЭС материала пластин); изменение отражательной способности поверхности металла и др.

При выборе показателя коррозии необходимо учитывать предполагаемый характер коррозии: для металлов, склонных к язвенной коррозии, не применим метод оценки по весовым потерям и, наоборот, для металлов, подвергающихся равномерной коррозии, не характерен глубинный показатель.

Метод определения коррозии по потерям массы образца (ГОСТ 9.054-75) является наиболее простым и надежным, поскольку он непосредственно указывает количество металла, разрушенного коррозией. Этот метод используется в тех случаях, когда коррозия носит более или менее равномерный характер, и обычно применяется при изучении малоуглеродистых сталей, чугуна, цинка, меди.

Допускается оценивать коррозию металла (защитную способность АСМ, нанесенных на пластинки из цветных металлов), по изменению массы за время испытаний. Оценку защитных способностей весовым методом производят по показателю коррозии « K » (г/м²), вычисляемому по формуле

$$K = \frac{P}{F}, \quad (2.1)$$

где P – изменение массы пластинки, г; F – площадь поверхности пластинки, м².

Защитную способность консервационных материалов оценивают по среднему арифметическому результату значений, определенных на параллельно испытываемых пластинках. Расхождение результатов испытаний на отдельных пластинках не должно превышать 20 %. При определении потери массы важно тщательно (в соответствии с рекомендациями [46]) удалить продукты коррозии.

Аналогичным является показатель проницаемости (Π). В этом случае коррозионное разрушение выражают в толщине разрушенного металла Π (мм/год). Пересчет потерь массы металла на проницаемость производится по формуле

$$\Pi = \frac{K}{\rho} \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

где K – коррозия г/м^2 ; ρ – плотность металла ($7,68 \text{ г/см}^3$).

При проведении испытаний на коррозионную устойчивость сталей и защитных свойств АСМ определяющее значение принадлежит не скорости коррозии, а ее суммарной величине (1). Следовательно, для оценки эксплуатационных качеств АСМ целесообразно установить контрольные уровни, основанные на интегральном принципе, означающем, что отказ или иное предельное состояние агрегатов АТТ наступают, когда величина коррозии « K » достигает или становится больше некоторого критического значения $K = \delta$ (г/м^2) [24]:

$$K \geq \delta, \text{ г/м}^2. \quad (2.3)$$

Принятие указанного контрольного уровня позволяет:

- характеризовать изменения эксплуатационных свойств АСМ, при эксплуатации и лабораторных исследованиях, в процессе развития коррозии образцов, защищенных исследуемым покрытием;
- определить значение коррозионного разрушения, при достижении которого при эксплуатации АТ и СХТ требуется возобновление защитного покрытия (переконсервация).

2.2. Ранжирование и анализ факторов. Разработка математической модели работы антикоррозионных смазочных материалов

2.2.1. Факторный анализ параметров окружающей среды

Основными задачами факторного анализа являются [47–51] сокращение числа переменных (редукция данных) и определение структуры взаимосвязи между переменными. В нашем случае, для определения числа факторов, подлежащих моделированию в лабораторных условиях, интерес представляет именно взаимосвязь и взаимозависимость факторов окру-

жающей среды. Факторный анализ выполнен по статистическим данным изменения погодных условий во время проведения полевого (натурного) эксперимента

При проведении полевого эксперимента, в соответствии с методикой [52] фиксировались следующие независимые переменные: время хранения, мес.; температура хранения, К; атмосферное давление, кПа; относительная влажность воздуха, % [53]; скорость ветра, м/с; плотность потока прямого солнечного излучения вне зависимости от облачности, Вт/м² (по данным ГОСТ 16350-80). Выделяемые и фиксируемые факторы являются общими, т.к. они воздействуют на все признаки (параметры) объекта исследования. Для факторного анализа взяты следующие данные (табл. 2.1).

При проведении факторного анализа значения климатических параметров приводились к нормальным условиям: температура $T_n = 293,15$ К, атмосферное давление $p_n = 101300$ Па, относительная влажность $f_n = 60$ % [54], скорость ветра $v_n = 3$ м/с [73,74], плотность потока солнечного излучения $Q_n = 420,6$ Вт/м² (ГОСТ 16350-80).

Т а б л и ц а 2 . 1

Изменения климатических факторов в 2009–2010 гг.

Время хранения t , мес.		Температура T , К	Относительная влажность φ , %	Атмосферное давление P , кПа	Скорость ветра w , м/с	Плотность потока прямого солнечного излучения вне зависимости от облачности, солнечного излучения Q , Вт/м ²
1	2	3	4	5	6	7
Апрель	1	278,15	55	101,3	4	367,3
Май	2	287,15	57	101,1	4	410,1
Июнь	3	293,15	61	101,5	4	420,6
Июль	4	294,15	63	100,8	3	401,3
Август	5	290,15	69	101,1	3	404,8
Сентябрь	6	288,15	66	101,6	3	389,1
Октябрь	7	280,15	67	101,6	5	308,9
Ноябрь	8	273,15	82	101,9	4	224,2
Декабрь	9	264,15	82	102,0	4	193,7
Январь	10	256,15	80	102,5	2	217,3
Февраль	11	262,15	77	102,3	4	303,6
Март	12	269,15	79	101,5	5	387,4

Для приведения значений климатических факторов применяется формула

$$X_i = \frac{x_i}{X_n}, \quad (2.4)$$

где x_i – наблюдаемое значение климатического фактора, X_n – нормальное значение климатического фактора.

В результате обработки данных в среде Statistica 7 получены собственные значения, дисперсии и накопленные дисперсии климатических факторов (см. табл. 2.2.).

Т а б л и ц а 2 . 2

Факторный анализ ВВФ

Климатические факторы	Собственные значения	Дисперсия, %	Накопленные собственные значения	Накопленная дисперсия, %
<i>T</i>	2,657564	53,15128	2,657564	53,1513
<i>f</i>	1,313558	26,27116	3,971122	79,4224
<i>P</i>	0,717125	14,34250	4,688247	93,7649
<i>w</i>	0,216308	4,32616	4,904555	98,0911
<i>Q</i>	0,095445	1,90890	5,000000	100,0000

Полученные оценки указывают на доминирование таких климатических факторов, как температура окружающей среды, относительная влажность, атмосферное давление и скорость ветра (ветер). Плотность потока солнечного излучения (солнечная радиация), несмотря на существенное влияние на процессы атмосферной коррозии [10, 12, 21, 55, 56] при отдельном воздействии на антикоррозионные материалы и изделия влияния не оказывает, это подтверждается исследованиями, проведенными В.В. Пашковым [57].

Таким образом, в ходе факторного анализа статистических данных изменения погодных условий выявлены значимые климатические факторы такие, как: температура, относительная влажность, атмосферное давление, скорость ветра. При построении физико-химической и математической моделей и проведении экспериментальных исследований антикоррозионных материалов в лабораторных условиях, моделирование указанных факторов – обязательно.

2.2.2. Анализ внутренних (качественных) факторов системы «металл-пленка АСМ»

Широко применяемый оценочный показатель «К» не достаточно точно отображает коррозионные свойства сталей и ЭС АСМ. Его необходимо дополнить корректирующими коэффициентами.

Коэффициент сталей *S*, как указано ранее (подразд. 1.1) химические состав стали, оказывает существенное влияние на ее ЭС. В настоящее время химический состав сталей нормируется ГОСТ и указывается в марочниках. С целью оценки влияния состава стали на кинетику процесса коррозии необходимо ввести оценочный показатель (критерий). Применение такого критерия важно с точки зрения оценки их антикоррозионных свойств и сравнения сталей между собой по химическому составу.

Анализ справочных данных источников [6–9] позволил установить, что качественный состав сталей (табл. 2.3), наиболее часто применяемых для изготовления сельскохозяйственной и автотракторной техники, можно оценить с помощью безразмерного критерия, который рассчитывается по формуле:

$$s = \sum (q_i^{\text{оп}}) / q_i^{\text{к}} \quad (2.5)$$

где s – критерий оценки антикоррозионных свойств стали; $q_i^{\text{оп}}$ – суммарное содержание (доля) элементов опытным образце стали (Сталь 08), %; $q_i^{\text{к}}$ – суммарное содержание (доля) элементов в контрольном образце стали (Ст. 3), %.

Таким образом, качественный состав стали Ст. 3 определяется как суммарное содержание химических активных элементов, равное 2,248 %. Условно примем, что коэффициент качественного состава стали Ст. 3 $S^{\text{Ст3}} = 1,000$. Качественный состав стали 08 определяется суммарным содержанием химических элементов, равным 1,895 %. Тогда коэффициент качественного состава стали 08 определяется расчетом (по формуле (2.5)) составляет $S^{\text{сталь 08}} = 1,895/2,248=0,843$ (табл. 2.3).

Т а б л и ц а 2 . 3

Качественный состав сталей

Марка	Химический состав сталей, %										
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Всего
Сталь 3	0,220	0,300	0,650	0,300	0,050	0,040	0,300	0,008	0,300	0,080	2,248
Сталь 08	0,120	0,370	0,650	0,000	0,040	0,035	0,100	0,250	0,250	0,080	1,895
	$S^{\text{сталь08}}$										0,843

Проведенная экспериментальная проверка показала, что, зная химический состав, стали можно прогнозировать интенсивность процесса старения изделий из сталей обычного качества и качественных сталей при хранении, а разработанный критерий позволяет учитывать степень влияния химического состава стали на протекание скорости процесса коррозии.

Коэффициент АСМ L. Учитывая важность характеристики АСМ – содержание активного вещества (1.1), качественный состав АСМ можно оценить с помощью безразмерного коэффициента, который рассчитывается по формуле [39], применимой для всего ассортимента с содержанием активного вещества от 0 до 100 %:

$$l = q^{\text{акт.вещ}} \quad (2.6)$$

где l – коэффициент оценки качественного состава АСМ, $q^{\text{акт.вещ}}$ – содержание активного вещества в образце АСМ (К-17, ПВК, Мовиль, Тектил МЛ), доля.

Применение стали Ст. 3 и консервационного масла К-17 в качестве контрольных образцов позволяет рассматривать повышение количественных показателей эксплуатационных характеристик всего ассортиментного перечня сталей и защитных составов по отношению к обладающим наиболее низкими эксплуатационными качествами (табл. 2.4).

Т а б л и ц а 2 . 4

Качественный состав АСМ

Марка АСМ	Химические свойства	
		Содержание активного вещества, %, не менее
К-17	Значение	16
	<i>l</i>	0,160
ПВК	Значение	100
	<i>l</i>	1,000
Мовиль	Значение	50
	<i>l</i>	0,500
Тектил МЛ	Значение	42
	<i>l</i>	0,420

Факторный анализ ВВФ и принимаемых коэффициентов S и L , дал следующие результаты (табл. 2.5).

Т а б л и ц а 2 . 5

Факторный анализ внешних и внутренних факторов системы «сталь – пленка АСМ»

Факторы	Собственные значения	Дисперсия, %	Накопленные собственные значения	Накопленная дисперсия, %
T	2,556547	42,60911	2,556547	42,6091
φ	1,015391	16,92319	3,571938	59,5323
P	1,000000	16,66667	4,571938	76,1990
w	1,000000	16,66667	5,571938	92,8656
s	0,311649	5,19415	5,883587	98,0598
l	0,116413	1,94022	6,000000	100,0000

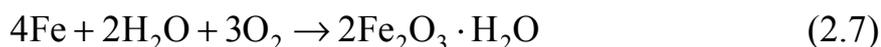
Как видно из проведенного анализа применение при расчетах коэффициентов состава позволяет снизить влияние ВВФ и учитывать состав, как сталей, так и АСМ.

Ранжирование ВВФ показало, что при разработке теоретической модели процесса атмосферной коррозии необходимо учитывать такие параметры, как температура окружающей среды (T), относительная влажность воздуха (φ), атмосферное давление (P), скорость ветра (w) и внутренние

факторы системы – свойства АСМ, которые можно оценить рядом их теплофизических и химических показателей.

2.3. Расчетно-теоретический анализ и прогнозирование работы АСМ при эксплуатации мобильной техники

Атмосферную коррозию стали можно представить суммарной реакцией между железом, водой и кислородом, приводящей к образованию ржавчины:



Ржавление стали, выражается в образовании ржавчины – окиси железа Fe_2O_3 . Окись железа имеет вид порошка от темно-красного до чёрно-фиолетового цвета.

Т а б л и ц а 2 . 6

Свойства окиси железа

Параметр	Значение
Плотность кристалла, г/см^3	5,24
Теплоёмкость, C_p° , в Дж/(моль*К)	113,91
Энергия Гиббса, G_{298}° , кДж/моль	-742
Молекулярная масса, кг/моль	0,1597

При использовании средств временной противокоррозионной защиты необходимо устранить возможность появления подобных изменений стали. Отсюда следует, что для обеспечения гарантированной защиты, покрытие должно выдерживать энергетическое воздействие, сопоставимое с приводящим к образованию окиси железа (ржавчины). Другими словами, согласно реакции атмосферной коррозии (2.7), требуется установить, какое минимальное энергетическое воздействие должна выдерживать защитная смазка, т.е. установить контрольный уровень начала коррозионного процесса.

Из физической химии известно, что изменение энтальпии металла ΔH в ходе процесса атмосферной коррозии происходит из-за движущей силы процесса. В химических процессах одновременно действуют два противоположных фактора – энтропийный ($T\Delta S$) и энтальпийный (ΔH). Суммарный эффект этих противоположных факторов в процессах, протекающих при постоянном давлении и температуре, определяет изменение энергии Гиббса. Движущей силой процесса является изобарный потенциал (энергия Гиббса) – ΔG :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S. \quad (2.8)$$

Энергию Гиббса следует понимать как полную химическую энергию системы. Данная зависимость применяется для описания реакции с учетом направления ее протекания.

Из этого выражения следует, что

$$\Delta H = \Delta G - T\Delta S, \quad (2.9)$$

то есть некоторое количество теплоты расходуется на увеличение энтропии процесса, эта часть энергии используется для совершения полезной работы.

$$Q = T\Delta S, \quad (2.10)$$

где T – температура процесса, К; ΔS – изменение энтропии процесса, Дж/моль.

Другая часть теплоты (ΔG) может быть использована для совершения работы – коррозионного процесса. Поэтому энергию Гиббса часто называют также свободной энергией.

Энергия Гиббса определяется как

$$\Delta G = -RT \ln K_p, \quad (2.11)$$

где R – универсальная газовая постоянная, $R = 8314$ кДж/(кмоль·К); K_p – константа скорости процесса атмосферной коррозии.

Следовательно, энергетику процесса атмосферной коррозии можно описать уравнением:

$$Q = \Delta H - \Delta G. \quad (2.12)$$

Характер изменения энергии Гиббса позволяет судить о принципиальной возможности осуществления процесса. При $\Delta G < 0$ процесс может протекать, при $\Delta G > 0$ процесс протекать не может (иными словами, если энергия Гиббса в исходном состоянии системы больше, чем в конечном, то процесс принципиально может протекать, если наоборот – то не может). Если же $\Delta G = 0$, то система находится в состоянии химического равновесия. Речь идёт исключительно о принципиальной возможности протекания реакции. В реальных же условиях реакция может не начинаться и при соблюдении неравенства $\Delta G < 0$ (по кинетическим причинам).

Коррозионный процесс стали выражается в окислении железа, т.е. необходимо знать массу прокорродировавшего железа. Масса ржавчины может быть определена по уравнению энтальпии. Из термодинамики известно, что изменение энтальпии можно определить из выражения:

$$\Delta H = c_{pm} \cdot \Delta m_m \cdot \Delta T, \quad (2.13)$$

где c_{pm} – удельная теплоемкость металла, участвующего в процессе коррозии; Δm_m – масса металла, окислевшегося в процессе коррозии; ΔT – изменение температуры в процессе атмосферной коррозии, К.

В нашем случае, это теплоемкость продукта реакции – окиси железа Fe_2O_3 . Согласно справочным данным, $c_p^{\text{моль}} (Fe_2O_3) = 113,91 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$, или $c_p^{\text{кг}} (Fe_2O_3) = 713,28 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Масса металла, окислевшегося в процессе коррозии – это масса ржавчины, $\Delta m_m (Fe_2O_3)$. Масса может быть выражена в единицах – килограмм или моль.

Из формулы (2.13) выразим массу металла, подвергшегося коррозии (массу ржавчины):

$$\Delta m_m = \frac{\Delta H}{c_{pm} \cdot \Delta T}. \quad (2.14)$$

Преобразуем зависимость (2.9), описывающую энергетику реакции, с учетом энтропии и изобарного потенциала:

$$\Delta H = T\Delta S - RT \ln K_p. \quad (2.15)$$

Преобразуем (2.15) – вынесем температуру процесса за скобки:

$$\Delta H = T(\Delta S - R \ln K_p). \quad (2.16)$$

Произведение констант $R \ln K_p$ можно определить, используя справочные данные (табл. 2.6) по стандартной энергии Гиббса по зависимости (2.11). Константа реакции K_p составляет:

$$-\ln K_p = \frac{\Delta G}{RT}, \quad (2.17)$$

подставляя численные значения: $\Delta G_{298}^0 = -472 \text{ кДж/моль}$, $R = 8,314 \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$ и $T = 298,15 \text{ К}$ – получим, что

$$\ln K_p = -\frac{-472000}{8,314 \cdot 298,15} = 299,336.$$

Также известна еще одна зависимость, связывающая стандартную энергию Гиббса с константой реакции:

$$\Delta G_{298}^0 = -5,71 \lg K_p, \quad (2.18)$$

причем, при применении данной формулы стандартная энергия Гиббса подставляется для вычислений в кДж/моль:

$$-472 = -5,71 \lg K_p.$$

Откуда

$$\lg K_p = 130, \text{ или } K_p = 10^{130},$$

тогда, $\ln K_p = \ln 10^{130} = 299,336$.

Таким образом, расчет, проведенный по двум равносильным зависимостям, позволяет установить, что константа процесса коррозии стали – образования ржавчины, составляет $\ln K_p = 299$. Это дает основание сделать вывод, что величина $\ln K_p$ определена, верно, и может использоваться в дальнейших вычислениях.

Таким образом, произведение констант $R \cdot \ln K_p$ движущей силы процесса составит:

$$R \ln K_p = 8,314 \cdot 299 = 2485,8.$$

Эта величина является функцией от единиц массы, в данном случае от килограммов. $R \ln K_p = f(\text{кг}) = R \ln K_p^{\text{кг}} = 2485,8$. В химии для массового описания процессов используется единица массы – моль. Переход от килограммов к молям производится умножением на молярную массу вещества. Следовательно, $R \ln K_p = f(\text{моль}) = R \ln K_p^{\text{моль}} = R \ln K_p^{\text{кг}} \cdot \mu(\text{Fe}_2\text{O}_3) - R \ln K_p^{\text{моль}} = 2485,8 \cdot 0,1597 = 397$. Оба рассчитанные численные значения $R \ln K_p$ – равнозначны и могут применяться для проверки правильности расчетов.

Учитывая изложенное, энтальпия образования, рассчитанная по (2.16) определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta H^{\text{кг}} &= T(\Delta S - R \ln K_p^{\text{кг}}), \\ \text{или } \Delta H^{\text{моль}} &= T(\Delta S - R \ln K_p^{\text{моль}}), \\ \text{т.е. } \Delta H^{\text{кг}} &= T(\Delta S - 2485,8), \\ \text{или } \Delta H^{\text{моль}} &= T(\Delta S - 397). \end{aligned} \quad (2.19)$$

Проведя замену в (2.8) получим, что масса ржавчины составит:

$$\begin{aligned} \Delta m(\text{Fe}_2\text{O}_3)^{\text{кг}} &= \frac{T(\Delta S - 2485,8)}{c_p^{\text{кг}}}, \\ \text{или } \Delta m(\text{Fe}_2\text{O}_3)^{\text{моль}} &= \frac{T(\Delta S - 397)}{c_p^{\text{моль}}}. \end{aligned} \quad (2.20)$$

Из данной формулы видно, что масса металла, подверженного атмосферной коррозии – продукта коррозии, зависит от температуры процесса (T), изменения температуры процесса (ΔT) и изменения энтропии (ΔS). Удельная теплоемкость продукта реакции – $c_p = \text{const}$.

Так как процесс коррозии является длительным, то условно принято оценку скорости процесса коррозии производить за время, численно равное одному году. По справочным данным скорость коррозии железа составляет 200 мкм/год.

Для умеренных климатических широт среднегодовая температура составляет около 6 °C (279,15 К) – эту температуру примем за приведенную температуру процесса. Годовой перепад температур для Пензы составляет $T_{\text{max}} = 313,15 \text{ К}$, $T_{\text{min}} = 232,15 \text{ К}$, $\Delta T = 81 \text{ К}$.

Считая время процесса $\tau = 1 \text{ год} = 31536000 \text{ с}$, окиси железа $\rho^{\text{кг}}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 5240 \text{ кг/м}^3$ или $\rho^{\text{моль}}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 836,8 \text{ моль/м}^3$, скорость процесса коррозии можно выразить следующим образом:

$$V_{\text{к}} = \frac{m(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{\tau}. \quad (2.21)$$

Массу можно определить как

$$m = hS_{\text{д}}\rho_{\text{м}}, \quad (2.22)$$

где $\rho_{\text{м}}$ – плотность окиси железа; $\rho^{\text{кг}}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 5240 \text{ кг/м}^3$ или $\rho^{\text{моль}}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 836,8 \text{ моль/м}^3$.

Тогда скорость коррозии стали определится как:

$$V_{\text{к}} = \frac{m_{\text{м}}}{\tau} = \frac{hS_{\text{д}}\rho_{\text{м}}}{\tau} = \frac{T(\Delta S - 24681)}{c_{\rho\text{м}}\Delta T\tau}. \quad (2.23)$$

Учитывая наличие числовых значений температуры и изменения температуры, теплоемкости и плотности металла (в формулах (2.17) – (2.23)), объединим их в постоянную γ , получим, что

$$\gamma = \frac{T}{\rho_{\text{м}}c_{\rho\text{м}}\Delta T}. \quad (2.24)$$

$$\gamma^{\text{кг}} = \frac{279,15}{5240 \cdot 713,28 \cdot 81} = 0,92 \cdot 10^{-6},$$

$$\text{или } \gamma^{\text{моль}} = \frac{279,15}{836,8 \cdot 113,91 \cdot 81} = 36,16 \cdot 10^{-6}.$$

С учетом константы γ , глубина коррозии h , м, представим как

$$\frac{h}{\tau} = \gamma \frac{\Delta S - R \ln K_{\text{р}}}{S_{\text{д}}\tau}. \quad (2.25)$$

Проведем следующие математические преобразования полученной зависимости (2.25): умножим правую и левую часть тождества на время процесса τ ; разделим правую и левую часть тождества на установленную константу γ .

$$\frac{h}{\gamma} = \frac{\Delta S - R \ln K_{\text{р}}}{S_{\text{д}}}. \quad (2.26)$$

Для определения максимального значения изменения энтропии в коррозионном процессе, определим $\Delta S_{\text{макс}}$ из уравнения (2.26), приняв, что площадь поверхности детали, подверженной коррозии $S_{\text{д}} = 1 \text{ м}^2$; $h_{\text{макс}}$ – по спра-

вочным данным для окисления железа под действием атмосферной коррозии, которая составляет $h_{\max} = 200 \cdot 10^{-6}$ м/год, это позволяет ввести соотношение полученных констант $-h/\gamma$, причем

$$\frac{h}{\gamma^{\text{кг}}} = \frac{200 \cdot 10^{-6}}{0,92 \cdot 10^{-6}} = 217,4,$$

$$\text{или } \frac{h}{\gamma^{\text{моль}}} = \frac{200 \cdot 10^{-6}}{36,16 \cdot 10^{-6}} = 5,6. \quad (2.27)$$

Подставив принятые численные значения в (2.26), получим

$$217,4 = \Delta S^{\text{кг}} - 2485,8, \quad \Delta S^{\text{кг}} = 2485,9 + 217,4 = 2703,2,$$

$$\text{или } 5,6 = \Delta S^{\text{моль}} - 397, \quad \Delta S^{\text{моль}} = 397 + 5,6 = 402,6.$$

Отсюда следует, что глубина коррозионных разрушений зависит от площади поверхности детали, подверженной воздействию атмосферной коррозии и изменению энтропии процесса ΔS . Следовательно $\Delta h = f(\Delta S, S_0)$.

Проведем проверку полученных значений энтропии из предположения, что рассчитанные значения энтропии процесса совпадают с аналогичными показателями, полученными переводом единиц массы из килограммов в моль. Проверка проводится по формуле:

$$\delta = \left| \frac{\Delta S^i - \Delta S_p^i}{\Delta S^i} \right| \cdot 100\%,$$

где ΔS^i – значения энтропии, рассчитанные по зависимости (20); ΔS_p^i – значения энтропии, полученное переводом массовых единиц из килограммы в моль, и наоборот.

Значения энтропии ΔS_p^i составляют – $\Delta S_p^{\text{кг}} = 2521,6$ Дж/(кг·К), $\Delta S_p^{\text{моль}} = 431,7$ Дж/(моль·К).

$$\delta^{\text{кг}} = \left| \frac{2703,2 - 2521,6}{2703,2} \right| \cdot 100\% = 1,72\%,$$

$$\delta^{\text{моль}} = \left| \frac{402,6 - 431,7}{402,6} \right| \cdot 100\% = 2,22\%.$$

Как видно из проведенных расчетов, средняя погрешность определения энтропии процесса коррозии не превышает 2,5 %. Это указывает на:

- верность теоретического описания процессов, происходящих при старении деталей СХТ, в частности – коррозии сталей и образовании ржавчины;

- высокую точность расчетов, достигаемую при использовании предложенной теоретической модели коррозии стали.

С учетом полученного максимального изменения энтропии (2.26) коррозионного разрушения железа при атмосферной коррозии определим максимальное значение энергии $Q_{\text{M max}}$ для атмосферной коррозии в условиях умеренного климата при $T = 279,15$ К.

$$Q_{\text{M max}} = \Delta S_{\text{max}} T, \quad (2.28)$$

$$Q_{\text{M max}}^{\text{кг}} = 2703,2 \cdot 279,15 = 754598,28 \text{ Дж},$$

$$Q_{\text{M max}}^{\text{кг}} = 754,6 \text{ кДж}$$

или

$$Q_{\text{M max}}^{\text{моль}} = 402,6 \cdot 279,15 = 112385,79 \text{ Дж},$$

$$Q_{\text{M max}}^{\text{моль}} = 112,4 \text{ кДж}.$$

Чтобы уменьшить величину энергии коррозионных разрушений необходимо создать условия (обеспечить противокоррозионную защиту) при которых глубина проникновения $h = 0$. Это возможно в том случае (20), если $\Delta S = 2485,8$ Дж, то есть равняется энергии Гиббса и изменение энтропии смазочного материала должна быть равна или меньше энергии Гиббса:

$$\Delta S_{\text{см}} = \frac{\Delta Q}{T} = \Delta G, \quad (2.29)$$

при $\Delta S_{\text{см}} \leq \Delta S = 2485,8$, Дж/(кг·К),

где $\Delta S_{\text{см}}$ – изменение накопленной энтропии смазки за период хранения, Дж/(кг·К).

Так как в ходе теоретических исследований установлено, что скорость процесса и глубина коррозионных разрушений зависят от площади детали и изменения энтропии (2.26), представим процесс разрушения как функцию от изменения энтропии, не учитывая площадь детали (2.26):

$$V_{\text{кр}} = \frac{m}{\tau} = f[\Delta S_{\text{см}}(\tau)]. \quad (2.30)$$

На основе Энтропийной теории старения масел, разработанной профессором Салминым В.В., представим процесс изменения энтропии смазки в виде физической модели, состоящей из периодически повторяющихся циклов, включающих в себя 6 идеальных термодинамических процесса. Данный цикл представим графически в T, S координатах.

$$\Delta S_{\text{см}}(1 \text{ цикл}) = \Delta S_{1-2} + \Delta S_{2-3} + \Delta S_{3-4} + \Delta S_{4-5} + \Delta S_{5-6} + \Delta S_{6-7}. \quad (2.31)$$

Предложенная графическая модель (рис. 2.1) состоит из следующих процессов:

– процесс 1–2 при $T_1 = T_2 = \text{const}$ – изотермический процесс выдержки деталей (или АСМ) в ночное время. Продолжительность процесса $\tau = 4$ – с 00.00 ч до 4.00 ч;

– процесс 2–3 при $P_{2-3} = \text{const}$ – изобарный процесс нагрева смазки. Характеризуется изменением ее температуры в зависимости от температуры воздуха. Продолжительность $\tau = 4$ ч – с 4.00 до 8.00 ч;

– процесс 3–4 при $T_3 = T_4 = \text{const}$, изотермический процесс выдержки смазки при дневной температуре. Продолжительность процесса $\tau = 4$ ч – с 8.00 до 12.00 ч;

– процесс 4–5 при $\Delta Q = \text{const}$ – адиабатный процесс охлаждения смазки с дневных температур до вечерних. Продолжительность процесса $\tau = 4$ ч – с 12.00 до 16.00 ч;

– процесс 5–6 при $T_5 = T_6 = \text{const}$ – изотермический процесс выдержки деталей (АСМ) в вечернее время. Продолжительность процесса $\tau = 4$ ч – с 16.00 до 20.00 ч;

– процесс 6–7 $\Delta Q = \text{const}$, адиабатный процесс охлаждения смазки с вечерних до ночных температур. Продолжительность процесса $\tau = 4$ ч – с 20.00 до 00.00 ч.

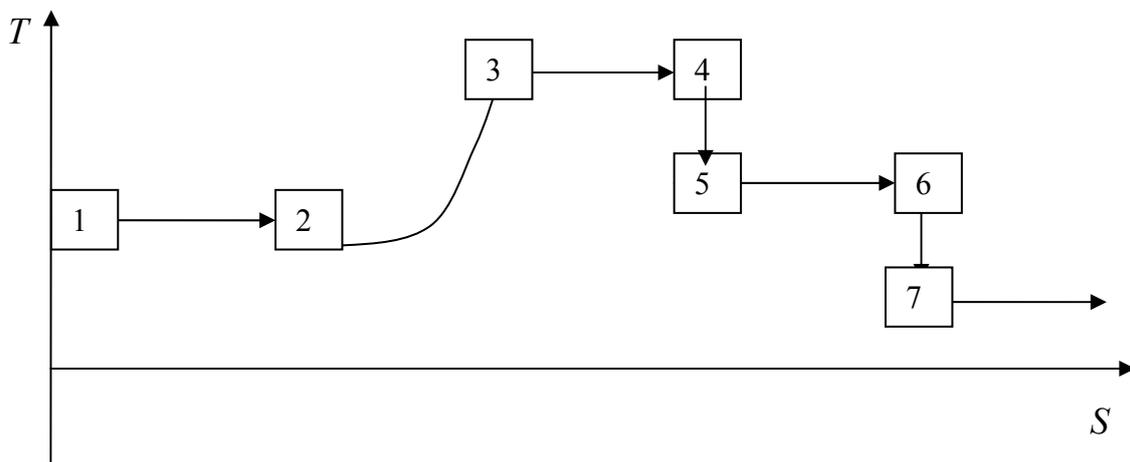


Рис. 2.1. Модель накопления энтропии смазочным материалами в процессе атмосферной коррозии

Расчет изменений энтропии при протекании указанных изопроецессов выполним по формулам:

ΔS_{1-2} – изменение энтропии при изотермическом процессе:

$$\Delta S_{1-2} = \frac{\Delta Q_{1-2}}{T_{1-2}}, \quad (2.32)$$

где T_{1-2} – средняя температура процесса, К,

$$T_{1-2} = \frac{T_1 + T_2}{2}; \quad (2.33)$$

ΔQ_{1-2} – состоит из теплоты химических реакций Q_x и теплоты физических воздействий Q_ϕ – теплоты конвективного теплообмена Q_k ,

$$\Delta Q_{1-2} = Q_x + Q_k. \quad (2.34)$$

Теплота химических реакций – Q_x .

$$Q_x = R_{\text{см}} T_H \ln \frac{P_1}{P_2}, \quad (2.35)$$

где $R_{\text{см}}$ – индивидуальная газовая постоянная смазки.

Удельная газовая постоянная определяется как

$$R_{\text{см}} = R/\mu_{\text{см}}, \quad (2.36)$$

где $\mu_{\text{см}}$ – молекулярная масса смазки.

Молекулярная масса смазки, кмоль, определяется:

$$\mu_{\text{см}}^{20^\circ\text{C}} = 250\sqrt{\lg(v_{20} + 0,8)}, \quad \mu_{\text{см}}^{50^\circ\text{C}} = 300\sqrt{\lg(v_{50} + 0,8)}, \quad (2.37)$$

где v_{20} – кинематическая вязкость смазки, сСт, при 20 °С; v_{50} – кинематическая вязкость смазки, сСт, при 50 °С.

Давление начала изотермической выдержки, Па, определяется:

$$P_1 = \rho_{1\text{возд}} R_{\text{возд}} T_1 + \left(\frac{\Phi_1}{100} \right) P_{\text{нп}} f(T_1), \quad (2.38)$$

где $\rho_{1\text{возд}}$ – плотность воздуха при температуре T_1 и давлении B_1 ; $R_{\text{возд}} = 287$ Дж/(кг·К); $P_{\text{нп}} f(T_1)$ – табличное значение.

Давление насыщенных паров воды является табличным значением. Его можно определить по справочным данным, графику (рис. 2.2) или из зависимости:

$$P_{\text{нп}} = 0,00078 \cdot \exp(0,051 \cdot T_0). \quad (2.39)$$

T_0, K	$P_{\text{нп}}, \text{МПа}$
273	610,8
278	871,9
283	1227,7
288	1704,1
293	2337
298	3166
303	4241
308	5622
313	7375
318	9584
323	12335
328	15740
333	19917
338	25010
343	31170

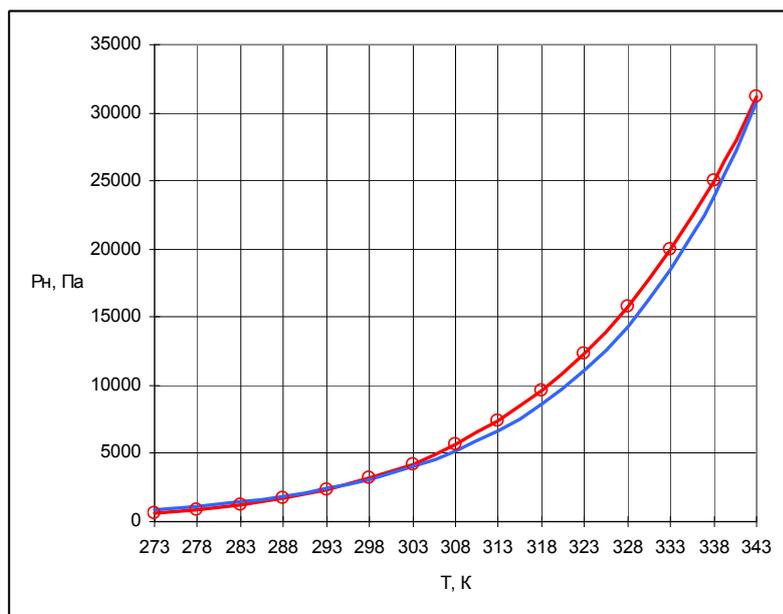


Рис. 2.2. Зависимость давления насыщенных паров воды от температуры

Давление окончания изотермической выдержки, Па, определяется аналогично (2.38):

$$P_2 = \rho_{2\text{возд}} R_{\text{возд}} T_2 + \left(\frac{\Phi_2}{100}\right) P_{\text{нп}} f(T_2), \quad (2.40)$$

где $\rho_{2\text{возд}}$ – плотность воздуха при температуре T_2 и давлении B_2 ; $R_{\text{возд}} = 287$ Дж/(кг·К); $P_{\text{нп}} f(T_2)$ – табличное значение.

Плотность воздуха, соответствующая определенной температуре, определяется как

$$\rho_{1\text{возд}} = \rho_{\text{н}} \frac{B_1 \cdot 273,15}{0,101325 \cdot T_1}. \quad (2.41)$$

Теплота конвективного теплообмена – Q_k .

$$Q_k = \alpha_{1-2} S_d \tau_{1-2} \Delta T_{1-2}, \quad (2.42)$$

где ΔT_{1-2} – изменение температуры, К; α_{1-2} – коэффициент теплоотдачи конвективного теплообмена, Вт/(м²К),

$$\Delta T_{1-2} = T_1 - T_2. \quad (2.43)$$

$$\alpha_{1-2} = \frac{\text{Nu}_{\text{возд}} \lambda_{\text{возд}}}{l}, \quad (2.44)$$

где $\text{Nu}_{\text{возд}}$ – число Нуссельта, $\lambda_{\text{возд}}$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(мК); l – определяющий размер детали, м.

Согласно справочным данным, при температуре – 10 °С, $\lambda_{\text{возд}} = 2,361 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К), при 40 °С – $\lambda_{\text{возд}} = 2,756 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К). Так как коэффициент теплопроводности воздуха изменяется незначительно в широком диапазоне температур, примем $\lambda_{\text{возд}} = 2,442 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К), как при температуре $T = 273,15$ К.

В качестве определяющего размера детали принимается толщина защитной смазки.

$$\delta_{\text{см}} = \frac{m_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}} S_d}. \quad (2.45)$$

Критерий Нуссельта будет определяться из критериального уравнения, имеющего при внешнем обтекании тонких тел вид:

$$\text{Nu} = B \text{Re}_{\text{возд}}^n, \quad (2.46)$$

где B, n – const.

Табличные значения B, n для ламинарного движения воздуха вдоль поверхности земли равны: $B=0,6; n = 0,5$.

Тогда

$$\text{Nu} = 0,6 \cdot \text{Re}_{\text{возд}}^{0.5} \quad (2.47)$$

Число Рейнольдса для воздуха определяется из зависимости:

$$\text{Re}_{\text{возд}} = \frac{V_{\text{возд}} \delta_{\text{см}}}{\nu_{\text{возд}}}, \quad (2.48)$$

где $\nu_{\text{возд}}$ – кинематическая вязкость воздуха, $13,28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – табличное значение; $V_{\text{возд}}$ – скорость ветра (средняя за ночь), м/с.

В случае, если скорость ветра $V_{\text{возд}} = 0$, то $\text{Nu}_{\text{возд}} = 6,2$ – свободная конвекция при отсутствии ветра

ΔS_{2-3} – изменение энтропии при изобарном процессе:

$$\Delta S_{2-3} = \frac{\Delta Q_{2-3}}{T_{2-3}}. \quad (2.49)$$

ΔQ_{2-3} состоит из теплоты лучистого теплообмена (теплового потока) $Q_{\text{л}}$.

Величина теплового потока, идущая на нагрев смазки в дневное время будет определяться из закона Стефана-Больцмана:

$$Q_{\text{л}} = \varepsilon \cdot C_0 \cdot \tau_{2-3} \cdot 3600 \cdot S_{\text{д}} \cdot \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3}{100} \right)^4 \right], \text{ Дж}, \quad (2.50)$$

где ε – степень черноты тела. Для смазки принимаем $\varepsilon \approx 0,96$; C_0 – постоянная Стефана-Больцмана, $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$; $S_{\text{д}}$ – площадь поверхности покрытая смазкой, $S_{\text{д}} = 0,00549 \text{ м}^2$; τ_{2-3} – время изобарного нагрева, $\tau_{2-3} = 4$ часа;

При адиабатном процессе энтропия $\Delta S_{4-5} = \Delta S_{6-7} = \Delta S = 0$.

Энтропии изотермических процессов ΔS_{3-4} и ΔS_{5-6} определяются аналогично ΔS_{1-2} с учетом изменений температуры, барометрического давления, скорости ветра и влажности, соответствующих данному времени суток.

При покрытии материала (стали) защитной пленкой, то ΔQ и ΔS процесса, а также $V_{\text{кр}}$ – будут другими, так как часть энергии израсходуется на разрушение защитной пленки.

Если допустить, что срок хранения определяется временем работы защитного покрытия (испарением активного вещества и уменьшения толщины пленки), то скорость и время процесса старения можно определить так:

$$V_{\text{с}} = \frac{\delta}{\tau_{\text{хр}}}, \quad (2.51)$$

где δ – толщина защитной пленки, м; $\tau_{\text{хр}}$ – время хранения, с; $V_{\text{с}}$ – скорость процесса старения пленки, $[\text{г}/\text{м}^2]\text{с}^{-1}$,

$$\tau_{\text{хр}} = \frac{\delta}{V_{\text{с}}}. \quad (2.52)$$

Если
$$\delta = \frac{m_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}} S_{\text{д}}}, \quad (2.53)$$

а $V_{\text{см}} = V_0 \exp(-\frac{E_a}{RT})$ – уравнение Аррениуса, то время хранения можно определить как:

$$\tau_{\text{хр}} = \frac{m_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}} S_{\text{д}}} \cdot \frac{1}{V_0 \exp(-\frac{E_a}{RT})}, \quad (2.54)$$

где V_0 – начальная скорость разрушения покрытия, $[\text{г}/\text{м}^2]\text{с}^{-1}$, определяется экспериментально – $V_0 = a_0 \sqrt{T_0}$; здесь a_0 – свободный член, $a_0 \approx 0,001 \text{ м}/(\text{с}\cdot\text{К})$, $T_0 = 273,15 \text{ К}$.

Приняв, что энергия активации процесса находится как $E_a = T \cdot \Delta S_{\text{цикл}} \cdot \mu_{\text{см}}$, (где $\mu_{\text{см}}$ – молекулярная масса смазки, $\text{кг}/\text{моль}$), тогда согласно уравнению Аррениуса

$$\ln V_{\text{кр}} = A - \frac{B}{T}, \quad (2.55)$$

где A и B – константы процесса; T – температура процесса, К ; $V_{\text{кр}}$ – скорость коррозии, $[\text{г}/\text{м}^2]\text{с}^{-1}$.

Скорость процесса в данном случае, определяет быстроту уменьшения толщины пленки защитного покрытия.

Если принять, что энергия активации процесса – эквивалентна изменению энтропии (чем больше энергия разрушения, тем больше накопленная энтропия смазочного защитного материала), время разрушения пленки можно рассчитать из зависимости:

$$\tau_{\text{хр}} = \frac{m_{\text{м}}}{\rho_{\text{см}} S_{\text{д}} V_0 e^{(\Delta S/R\mu_{\text{см}})}}, \quad (2.56)$$

где $\mu_{\text{см}}$ – молекулярная масса смазки, моль .

В условиях открытого хранения АТТ, СХТ и др. изделий, процесс изменения энтропии можно представить как совокупность термодинамических изо-процессов [67]. Таким образом, убыль массы защитного покрытия будет зависеть от количества повторений суточных циклов изменений энтропии за определенный период времени. В этом случае, убыль массы рассчитывается по зависимости:

$$m_{\text{см}} = \tau_{\text{хр}} \rho_{\text{см}} S_{\text{д}} V_0 e^{N \frac{\Delta S}{R\mu_{\text{см}}}}, \quad (2.57)$$

где N – количество циклов ($N = 30$), $N = \tau_{\text{хр}} / (24 \cdot 3600 \cdot t_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}})$, $t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла, ч , $t_{\text{ц}} = 12 \text{ ч}$; $n_{\text{ц}}$ – количество циклов, $n_{\text{ц}} = 60$. Для одного месяца $t_{\text{ц}} = 12 \text{ ч}$, $n_{\text{ц}} = 60$.

Учитывая изменение энтропии и параметров окружающей среды (2.54), (2.57), [26–23]) в течение суток, убыль массы АСМ можно найти из уравнения:

$$m_{\text{см}} = Ae^{[B(C+D+E+F)]} \rightarrow 0, \quad (2.58)$$

$$A = \tau_{\text{xp}} \rho_{\text{см}} S_{\text{д}} V_0 \cdot \frac{1}{t_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}}}, \quad B = \frac{\tau_{\text{xp}}}{24 \cdot 3600 \cdot R \cdot \mu_{\text{см}} \cdot t_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}}}, \quad C = R \mu_{\text{см}} \ln \frac{P_{\text{нач}}^{\text{H}}}{P_{\text{кон}}^{\text{H}}},$$

$$D = c_{\text{см}} V_{\mu} \ln \frac{T_{\text{нач}}^{\text{д}}}{T_{\text{кон}}^{\text{д}}}, \quad E = R \mu_{\text{см}} \ln \frac{P_{\text{нач}}^{\text{д}}}{P_{\text{кон}}^{\text{д}}}, \quad F = c_{\text{см}} V_{\mu} \ln \frac{T_{\text{нач}}^{\text{H}}}{T_{\text{кон}}^{\text{H}}},$$

где T – температура смазки, К; V_{μ} – молярный объем (постоянная, $V_{\mu} = 22,4 \text{ м}^3/\text{к}\cdot\text{моль}$); $c_{\text{см}}$ – теплоемкость смазки, кДж/кг·К;

Плотность смазки:

$$\rho_{\text{см}} = 855 + 0,05 \cdot (T - 273,15), \quad (2.59)$$

При расчетах плотность смазки т.к. температура воздуха изменяется незначительно плотность смазки примем $\rho_{\text{см}} = 890 \text{ кг/м}^3$.

При проведении расчетов установлено, что показатель степени, в которую возводится число Эйлера « e » – принимает очень малое значение, $B(C+D+E+F) \rightarrow 0$. Как известно, любое число в степени «0» обращается в единицу, т.е. $\exp [B(C+D+E+F)] = 1$. Следовательно, убыль массы АСМ будет определяться членом «А»:

$$m_{\text{см}} = \tau_{\text{xp}} \rho_{\text{см}} S_{\text{д}} V_0 \cdot \frac{1}{t_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}}}. \quad (2.60)$$

Рассмотрим механическую составляющую теплоты физических воздействий. Как указано в подразд. 1.2, ветровая нагрузка создает давление, определяемое по уравнению (1.9), из которой можно выразить силу F по формуле

$$F = \frac{\rho_{\text{возд}} \cdot V_{\text{вв}}^2}{2}, \quad (2.61)$$

где $\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха, $\rho_{\text{возд}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$; $V_{\text{вв}}$ – скорость воздуха (ветра), м/с.

Механическое воздействие можно рассчитать из зависимостей:

$$Q_{\text{м}} = P_{\text{атм}} V_{\text{вв}} S_{\text{д}} \cdot \frac{\tau_{\text{xp}}}{24 \cdot 3600 \cdot t_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}}}, \quad (2.62)$$

$$Q_{\text{мех}} = F \delta, \quad (2.63)$$

где $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, Па.

Интересующее нас изменение толщины слоя смазки определяется по (2.63), как $\delta = \frac{Q_{\text{мех}}}{F}$, или с учетом (2.62) и (2.57):

$$\frac{m_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}} S_{\text{д}}} = 2 \cdot \frac{P_{\text{атм}} V_{\text{вв}} S_{\text{д}} \tau_{\text{хр}}}{24 \cdot 3600 \cdot \rho_{\text{возд}} V_{\text{вв}}^2 t_{\text{ц}} n_{\text{ц}}}, \quad (2.64)$$

или

$$m_{\text{см}} = 2 \cdot \frac{P_{\text{атм}} \rho_{\text{см}} S_{\text{д}}^2 \tau_{\text{хр}}}{24 \cdot 3600 \cdot \rho_{\text{возд}} V_{\text{вв}} t_{\text{ц}} n_{\text{ц}}}. \quad (2.65)$$

Таким образом, зависимость для определения массы защитного покрытия имеет вид:

$$m_{\text{см}} = \frac{\tau_{\text{хр}} \rho_{\text{см}}}{t_{\text{ц}} n_{\text{ц}}} \left(S_{\text{д}} V_0 + 2 \cdot \frac{P_{\text{атм}} S_{\text{д}}^2}{24 \cdot 3600 \cdot \rho_{\text{возд}} V_{\text{вв}}} \right). \quad (2.66)$$

Так как для упрощения расчетов используются среднемесячные значения параметров, то в зависимости (2.62) применяются среднемесячные статистические данные изменений ВВФ (атмосферного давления и скорости ветра).

Рассчитав для каждого цикла значение накопленной энтропии смазки ($\Delta S_{\text{цикл}}$), и зная максимальную энтропию ее разрушения $\Delta S_{\text{max}} = \Delta S_{\text{см}} = = 2485,8$ Дж/(кг·К), за год можно определить гарантированное время хранения металла под слоем смазки по формуле:

$$\tau_{\text{хр}} = \beta \cdot n \cdot 24 = \frac{\Delta S_{\text{max}} \cdot \beta}{\Delta S_{\text{цикл}}} \cdot 24, \text{ ч}, \quad (2.67)$$

где β – коэффициент заданной (требуемой) продолжительности хранения, равный отношению количества заданных (требуемых) месяцев хранения техники к 12 месяцам (1 год); n – количество циклов, которые может выдержать защитная пленка; 24 – продолжительность одного цикла, ч.

Если принять, что энергия активации процесса – есть изменение энтропии (чем больше энергия разрушения, тем больше будет энтропия смазочного защитного материала), то массу защитной пленки, необходимой для защиты детали от коррозии, можно рассчитать по формуле

$$m_{\text{см}} = 3600 \cdot \tau_{\text{хр}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot S_{\text{д}} \cdot V_0 \cdot \exp\left(\frac{n \cdot \Delta S_{\text{цикл}} \cdot \mu_{\text{см}}}{R}\right) \rightarrow 0, \text{ кг}. \quad (2.68)$$

Таким образом, зависимость для определения массы защитного покрытия с учетом механического воздействия и циклового накопления энтропии примет вид:

$$m_{\text{см}} = 3600 \cdot \tau_{\text{хр}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot S_{\text{д}} \cdot V_0 \cdot \exp\left[\frac{(n \cdot T \cdot \Delta S_{\text{цикл}} + q_{\text{мех}}) \cdot \mu_{\text{см}}}{R \cdot T}\right] \rightarrow 0, \text{ кг}. \quad (2.69)$$

Так как суточные изменения атмосферных параметров могут достигать значительных перепадов, а сам процесс расчета является достаточно трудоемким, то с целью его упрощения и получения средних, более стабильных, значений атмосферных параметров необходимо использовать среднемесячные статистические данные изменений ВВФ (атмосферного давления, температуры, относительной влажности и скорости ветра). Кроме того, чтобы оценить достоверность и адекватность разработанных моделей по результатам натурального и лабораторного экспериментов, при определении величины коррозии необходимо перейти к стандартному показателю коррозии « K », который можно рассчитать по формуле

$$K = \frac{1}{1000 \cdot S_d} \cdot \left[\frac{T \cdot \left(\left(\Delta S - m_{см} \cdot \frac{\tau_{кр}}{24 \cdot \beta} \cdot \Delta S_{цикл} \right) - 2485,8 \right)}{C_p \cdot \Delta T} \right], \text{ г/м}^2. \quad (2.70)$$

Выводы

1. В результате анализа научно-технической литературы выбран критерий, позволяющий комплексно оценивать процессы старения и изменения физико-химических показателей АСМ при хранении техники.

2. При определении установленного показателя применяется метод определения коррозии по потерям массы образца. Это позволяет непосредственно определить количество металла, разрушенного коррозией. Этот метод используется в тех случаях, когда коррозия носит более или менее равномерный характер, и обычно применяется при изучении малоуглеродистых сталей, чугуна, цинка, меди. Определенный таким способом показатель учитывает предполагаемый характер коррозии (равномерная коррозия), а также допускает проведение пересчета в показатель проницаемости (глубина питтинга) – применяемым к металлам, склонным к язвенной коррозии.

3. выбранный критерий оценки коррозионного процесса обладает универсальностью.

4. На основании анализа литературы и в результате ранжирования факторов, оказывающих влияние на процесс атмосферной коррозии, установлено, что доля влияния каждого фактора имеет следующие величины: температура T – 42,61...53,15 %; относительная влажность ϕ – 16,92...26,27 %; атмосферное давление P – 14,34...16,67 %; скорость ветра w – 4,33...16,67, химический состав стали s – 5,19 %, содержание активного вещества АСМ l – 1,94 %.

5. Установлено, что воздействие солнечной радиации на систему «металл – пленка АСМ» опосредовано, через температуру воздуха.

6. Разработана физико-химическая модель коррозионного процесса сталей под слоем защитного покрытия, позволяет определить кинетику процесса коррозии по параметру скорости и уменьшения толщины защитного покрытия.

7. Разработана математическая модель, позволяет: определить скорость процесса коррозии в отсутствие АСМ; оценить защитные свойства АСМ и определить продолжительность хранения МТ.

8. При ранжировании и анализе факторов установлено, что в рассмотренных условиях эксплуатации изделий, покрытых наиболее распространенными защитными материалами, состав АСМ и сталей оказывают существенного влияние на коррозионный процесс и старение изделий при хранении. Это учтено коэффициентами: учета качественного состава АСМ – l (изменяется в пределах от 1,000 до 0,843 для исследуемых сталей) и химического состава сталей – s (изменяющийся в пределах от 0,160 до 1,000).

9. Предложенный оценочный показатель, дополнен коэффициентами, повышает информативность методики используемой для определения, контроля и прогнозирования изменения эксплуатационных свойств защитных покрытий и анализа коррозионных процессов при хранении в атмосферных условиях.

10. В ходе математического моделирования и расчетно-теоретического анализа уточнены методические задачи на прогнозирование изменение ЭС АСМ. В частности, отмечена необходимость установления контрольных уровней оценочного критерия, определяющих предельное состояние (коррозию) агрегатов МТ при хранении.

3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Общие положения экспериментальных исследований

Эффективность защитных свойств АСМ проверяется на специально изготовленных образцах металлов: сталь – Ст. 10, Ст. 3, Ст. 45, Ст. 30ХГСА и др.; медь – М-1, М-2, МО; алюминиевые сплавы – АК-6, Д-1, Д-16, Д-19 и др.; чугун; магниевые сплавы – МЛ-5, МЛ-10, МЛ-11, МЛ-19, МА-1, МА-2, МА-5 и т.п. Методы определения ЭС АСМ аналогичны коррозионным испытаниям металлов – ГОСТ 9.505-86, 9.401-91, 9.054-75.

Для испытаний используют пластинки размером $[(50 \times 50) \pm 0,2]$ мм, толщиной $3,0 \div 5,5$ мм. При проведении исследовательских испытаний, или же когда для испытаний применяются дорогостоящие материалы, допускается применять пластинки других размеров и из других металлов и сплавов. При проведении испытаний защитной способности АСМ можно использовать специальные детали, сборки, подшипники. Очевидно, что наиболее достоверные данные о защитной эффективности АСМ в условиях эксплуатации можно получить по результатам испытаний их на готовых изделиях.

Все методы коррозионных испытаний, в нашем случае определения эксплуатационных (защитных) свойств АСМ, разделены на группы (ГОСТ 5272-68): лабораторные испытания – коррозионные испытания металла, проводимые в искусственных условиях; испытания в природных условиях (полевые испытания) – коррозионные испытания металла, проводимые в атмосфере, в море, в почве и т.п.; эксплуатационные испытания – коррозионные испытания машин, аппаратов, сооружений и т.п. в эксплуатационных условиях; ускоренные испытания – коррозионные испытания, проводимые в условиях, близких к эксплуатационным, но дающие результаты в более короткий срок.

При выполнении диссертационной работы проведены полевые и лабораторные испытания образцов стали, покрытых исследуемыми АСМ.

Не параллельность больших граней пластинок и шероховатость поверхности определяются требованиями пп. 1.2.6 и 1.2.7 ГОСТ 9.054-75.

Пластинка имеет: отверстие для подвешивания, расположенное по середине одной из сторон, на расстоянии 5 мм от края; маркировку (порядковый номер) на бумажных бирках, прикрепленных к пластинке капроновой нитью.

Пластинки обезжиривают последовательно уайт-спиритом (ГОСТ 3134-78) и ацетоном (ГОСТ 2768-84), затем высушивают.

Для нанесения на испытуемые пластинки АСМ, их на 1 мин погружались четырехкратным окунанием в консервационный материал при температуре $20 \div 25$ °С. Затем пластинки извлекаются и выдерживаются на

воздухе в подвешенном состоянии в течение 24 ч. В данном случае, четырехкратным окунанием достигается единая равномерность и толщина покрытия пластинки, характерная для каждого из испытываемых АСМ.

Для выявления хода коррозии в процессе испытания периодичность съёмов образцов установлена программами лабораторных и полевых испытаний.

После проведения испытания с пластин снимают АСМ фильтровальной бумагой и ватой, последовательно уайт-спиртом и ацетоном, согласно рекомендациям [46, ГОСТ 9.907-83], затем высушивают.

Анализом методов испытаний (подразд. 1.3) установлено, что при оценке ЭС АСМ необходимо решить важные научно-практические задачи [67–69]. Одним из путей решения этих задач является разработка метода ускоренных лабораторных испытаний ЭС АСМ, позволяющего устранить недостатки существующих методов.

Для реализации предлагаемого метода необходимо провести: выбор материала контрольных образцов металла и смазки; ранжирование и установление номинальных режимов атмосферных воздействий; выбор информативного показателя; обоснование режимов проведения испытания и количества циклов испытаний (продолжительность); получить зависимость для прогнозирования срока службы защитного покрытия.

3.1.1. Ранжирование и выбор сталей для исследований

Анализом технической литературы установлено, что в автотракторостроении наиболее распространены стали обыкновенного качества (марка-представитель Ст. 3) и качественные стали (марка-представитель сталь 08).

Для проведения исследований, учитывая требования ГОСТ 9.054-75, допуски по взаимозаменяемости образцов и распространённость отдельных марок сталей, выбраны стали Ст.3 и сталь 08.

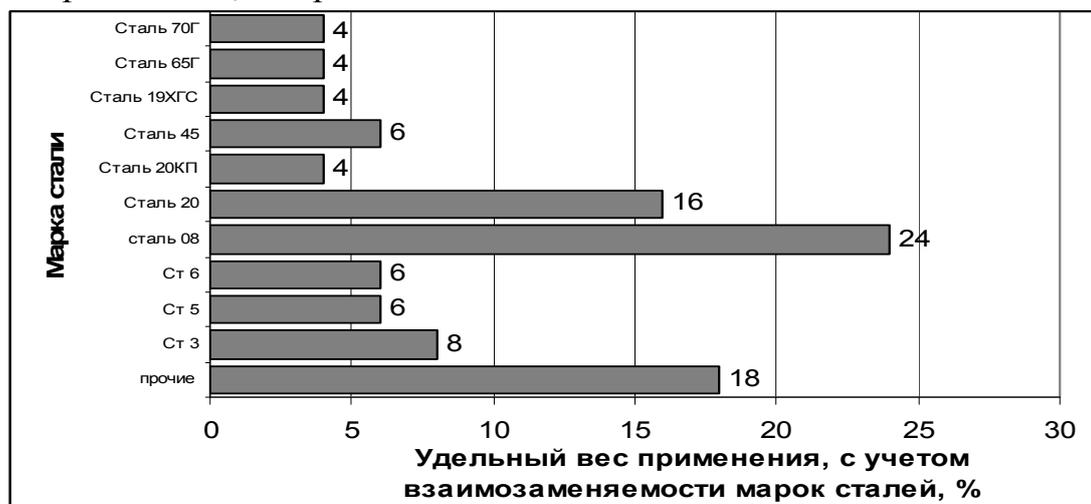


Рис. 3.1. Применение сталей в автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении по маркам

Таблица 3.1

Взаимозаменяемость отдельных марок сталей [6]

Заменяемые марки сталей	Марки сталей заменителей*
1	2
Стали обычного качества	
Ст. 1, БСт. 1	Сталь 08,10, Ст.3
Ст.2, БСт.3	Сталь 10,15,15Г, Ст.3
Ст.3	Сталь 20,15Г,20Г
Ст.4, БСт.4	Сталь 20,20Г,25,25Г, Ст.3
Ст.5, БСт.5	Сталь 30,30Г,35,35Г,40,40Г, Ст.3
Ст.6, БСт.6	Сталь 45,45Г,50,50Г, Ст.3
Качественные стали	
Сталь 08	Сталь 10

В качестве заменителей указаны марки сталей, обеспечивающие примерно те же или несколько лучшие механические свойства по сравнению с заменяемыми сталями, применение которых наиболее целесообразно по экономическим соображениям.

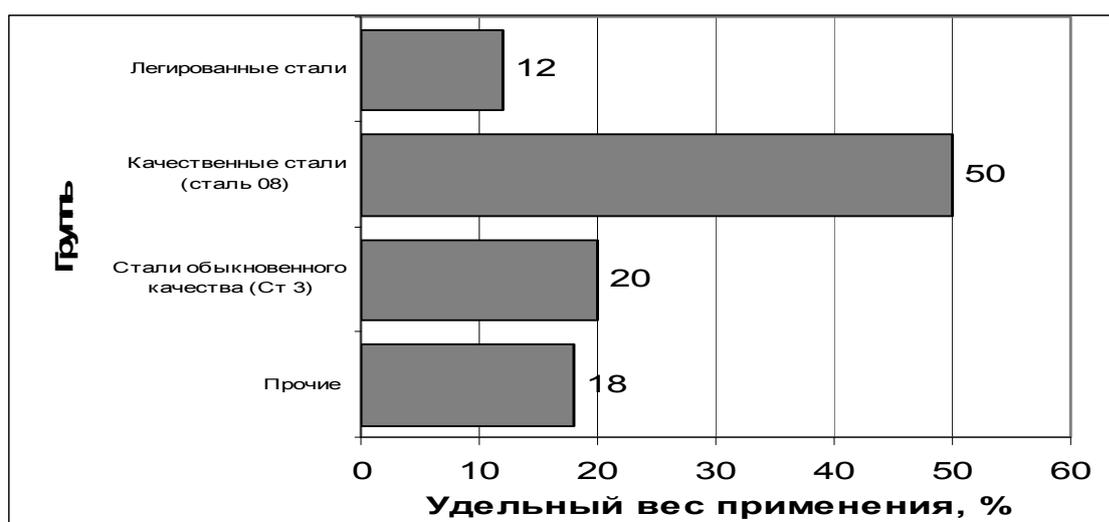


Рис. 3.2. Применение сталей в автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении по группам

3.1.2. Ранжирование и выбор АСМ для исследований

Ассортимент современных антикоррозионных смазочных материалов, применяемых для временной противокоррозионной защиты МТ, представлен группами, имеющими наиболее характерные марки-представители, подобранные с учетом взаимозаменяемости, описанной в подразд. 1.2.

Как видно из рис. 3.3 для групп АСМ наибольшее применение имеют марки-представители: КМ – К-17 и ПВК, МЛ-1 – Мовиль, МЛ-2 – Тектил-МЛ и ЗВВС – ЗВВД (рис.3.3).

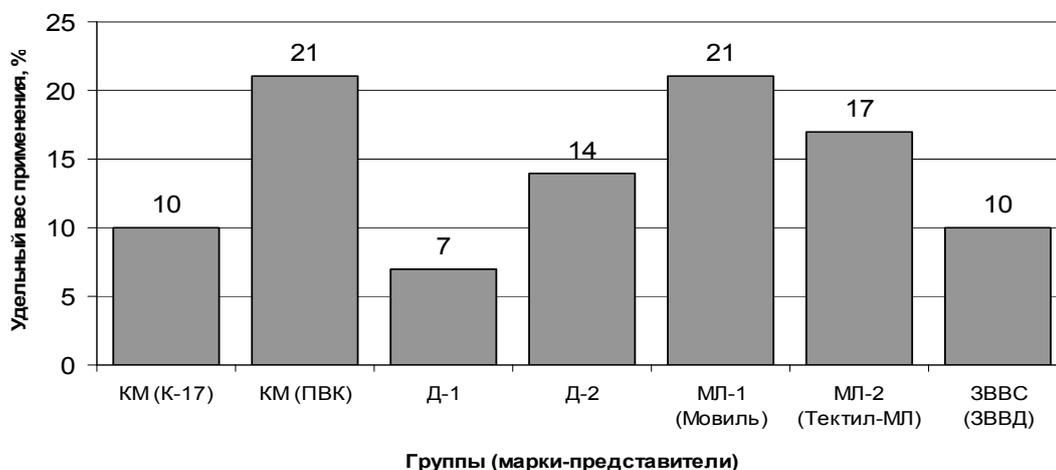


Рис. 3.3. Группы АСМ и наиболее распространенные марки-представители

Назначение и рекомендуемый способ применения наиболее распространенных АСМ приведен в табл. 3.2 [25].

Т а б л и ц а 3 . 2

АСМ, применяемые для проведения технологического и технического обслуживания СХТ при хранении

Марка АСМ	Назначение АСМ	Рекомендуемый способ применения
Масло консервационное К-17 (ГОСТ 10877-76)	Для наружной консервации металлических поверхностей. Срок защитного действия при хранении в закрытом помещении или под навесом. Срок действия при закрытом хранении – до 1,5 лет	Распылением, кистью
Смазка пушечная ПВК (ГОСТ 19537-83)	Для наружной консервации металлических поверхностей. Срок защитного действия при открытом хранении – до 1,5 лет	Распылением, кистью, погружением в нагретом до 80-90 °С состоянии. Можно разбавить обезвоженным отфильтрованным минеральным маслом (моторным, веретенным) в соотношении 1:1 или 1:2
Мовиль ТУ 2332-044-05788576-2003	Автоконсервант порогов, предназначен для защиты от коррозии внутренних поверхностей деталей коробчатого сечения корпуса и съемных частей кузова новых и бывших в эксплуатации автомобилей	Распылением, кистью
Тектил МЛ	Для покрытия днищ кузовов автомобилей	Распылением, кистью

3.2. Методика натурального (полевого) эксперимента

При проведении натуральных испытаний в течение 2009–2010 гг. были выполнены исследования в условия атмосферной коррозии следующих образцов сталей: Ст. 3 и Стали 08, покрытых консервационными составами К-17, ПВК, Мовиль и Тектил-МЛ.

Цель натуральных испытаний:

1. Определение коррозионной стойкости сталей, покрытых защитными составами и оценки защитной способности средств противокоррозионной защиты.

2. Установление сроков сохранения свойств материалов и сохраняемости образцов, а также прогнозирование изменения их показателей, в том числе и гарантийных сроков хранения.

3. Установление климатической стойкости образцов АСМ в условиях, имитирующих реальные условия хранения в части воздействия на них климатических факторов.

4. Исследование характера и кинетики процесса коррозии с целью оценки противокоррозионных свойств металлов и средств противокоррозионной защиты с целью обоснованного выбора для хранения СХТ и разработки лабораторного метода (физической модели) ускоренных испытаний при воздействии различных климатических факторов.

5. Проверка теоретических разработок, выполненных во второй главе диссертации.

Испытания образцов состояли из следующих этапов: экспонирование образцов на открытое хранение; периодические осмотры; регулярное снятие образцов (по плану эксперимента) с испытаний; проведения метеорологической экспертизы снятых образцов и обработки метеорологических данных. Контроль процесса коррозии осуществлялся по показателю коррозии «К». Обработка результатов испытаний проводилась с использованием пакета компьютерных программ.

Для выявления кинетики процесса коррозии стальных пластин и изменения ЭС АСМ был составлен план съема образцов из экспозиции по истечению 1-го, 2-го, 4, 6, 8, 10, 11 и 12-го месяцев опытной консервации.

Участок, на котором на открытом воздухе находились исследуемые материалы, соответствовал требованиям ГОСТ 9.906-83.

Размещение образцов на территории хранения (г. Пенза), по своим климатическим параметрам соответствовал представительскому пункту Умеренного макроклиматического района – г. Москва. Для обоснования возможности размещения участка на территории г. Пенза, был проведен предварительный расчет параметров коррозии пластин с целью возможности убедиться в том, что проведенный натуральный эксперимент – воспроизводим [77]. Для этой цели были собраны статистические данные по изме-

нениям среднемесячной температуры для городов Москва и Пенза, приведенные в табл. 3.3. Результаты этих данных сведены в табл. 3.4.

Для каждой серии параллельных опытов (месяца) вычислено среднеарифметическое значение функции отклика:

$$\overline{T}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k T_{ji}, (j=1,2,\dots,N; N=12), \quad (3.1)$$

где T – среднемесячная температура, К (табл. 3.3., 3.4); k – число параллельных опытов, проведенных при одинаковых условиях, $k=2$.

Т а б л и ц а 3 . 3

Данные по изменениям среднемесячной температуры
для городов Москва и Пенза

№ п/п	Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
г. Москва													
1.	1991	-6,3	-6,6	-1,2	7,1	13,3	18,9	18,0	16,0	11,0	6,4	1,0	-4,1
2.	1992	-5,2	-4,3	1,7	5,2	12,0	16,7	18,6	18,0	13,1	2,2	-2,5	-4,4
3.	1993	-4,3	-4,8	-1,9	5,8	14,5	14,1	17,4	15,4	7,0	4,6	-8,1	-3,6
4.	1994	-3,5	-11,3	-3,0	7,2	10,0	14,6	17,4	15,8	13,6	5,0	-2,6	-7,9
5.	1994	-5,9	-10,9	2,6	9,2	14,4	19,6	17,6	16,8	12,8	6,5	-2,8	-9,5
6.	1995	-10,0	-9,7	-3,1	6,4	15,7	16,6	18,9	17,3	9,8	6,0	3,9	-7,1
7.	1996	-8,9	-7,2	-3,0	5,6	13,3	17,2	18,5	17,2	9,0	4,5	1,0	-7,2
8.	1997	-7,7	-4,7	-2,9	4,7	11,0	17,9	18,7	17,1	8,5	3,7	-3,9	-7,6
9.	1998	-4,8	-7,5	-1,4	3,9	13,7	20,0	18,8	15,4	10,6	5,6	-8,1	-5,8
10.	1999	-4,4	-6,2	-0,8	9,6	8,8	21,5	21,7	16,4	11,8	7,4	-5,0	-1,7
11.	2000	-6,1	-2,7	-0,7	11,1	10,8	16,2	19,4	16,7	10,0	7,2	-5,1	-2,6
12.	2001	-4,3	-7,2	-2,0	11,0	11,2	16,3	23,0	17,0	12,1	4,8	-5,6	-10,5
13.	2002	-4,8	-0,3	2,2	7,3	12,6	16,9	22,7	17,1	12,0	2,5	-1,6	-12,6
14.	2003	-7,2	-8,5	-2,7	4,9	15,7	13,0	20,8	17,0	11,4	5,6	1,1	-2,1
15.	2004	-6,5	-7,0	1,4	4,7	11,6	15,4	19,1	18,5	12,1	5,9	-1,7	-2,9
16.	2005	-3,0	-8,8	-5,9	7,3	14,9	16,5	19,3	18,1	12,7	6,0	1,3	-4,1
17.	2006	-10,8	-13,2	-3,6	6,1	12,6	18,3	18,1	17,7	13,4	7,0	0,8	1,2
18.	2007	-1,6	-10,9	4,8	5,8	15,9	17,5	19,0	20,4	11,8	7,0	-2,0	-1,9
19.	2008	-5,8	-1,4	2,0	9,6	11,5	15,8	19,2	17,6	11,0	9,0	2,3	-1,7
Среднее		-5,7	-7,0	-0,8	7,1	12,8	17,0	19,3	17,1	11,3	5,7	-2,1	-4,9
г. Пенза													
1.	1991	-7,7	-9,4	-5,7	7,5	15,4	20,8	19,6	16,8	12,0	8,6	-2,5	-9,3
2.	1992	-7,0	-9,4	-2,3	5,8	12,1	17,6	18,4	17,7	13,5	3,4	-1,8	-7,2
3.	1993	-6,5	-9,5	-4,4	5,1	14,9	15,5	18,5	16,2	7,9	4,2	-10,7	-7,3
4.	1994	-6,0	-16,9	-6,8	7,0	12,8	15,8	16,4	15,8	15,3	6,0	-2,7	-10,8
5.	1994	-9,0	-3,6	-1,4	11,5	16,4	20,8	19,0	17,3	14,0	6,1	-0,7	-10,3
6.	1995	-16,3	-12,0	-8,6	4,0	17,5	18,3	20,8	17,9	10,9	4,8	2,1	-9,8
Среднее		-8,1	-9,0	-3,2	7,2	14,2	18,1	20,1	18,3	12,5	5,9	-2,3	-7,7

Таблица 3.4

Эксперимент для проверки воспроизводимости опытов

№ серии опытов	Результаты параллельных экспериментов		\bar{T} , К	S^2
	T_M , К	T_{II} , К		
1	2	3	4	5
1	-5,7	-8,1	-6,900	2,880
2	-7,0	-9,0	-8,000	2,000
3	-0,8	-3,2	-2,000	2,880
4	7,1	7,2	7,150	0,005
5	12,8	14,2	13,500	0,980
6	17,0	18,1	17,550	0,605
7	19,3	20,1	19,700	0,320
8	17,1	18,3	17,700	0,720
9	11,3	12,5	11,900	0,720
10	5,7	5,9	5,800	0,020
11	-2,1	-2,3	-2,200	0,020
12	-4,9	-7,7	-6,300	3,920

Таким образом, для первого месяца наблюдений среднеарифметическое значение среднемесячной температуры составляет значение:

$$T_1 = (-5,7 - 8,1) / 2 = -6,9 \text{ К.}$$

Вычислим оценку дисперсии для каждого месяца:

$$s_j^2 = \frac{1}{k-1} \sum (T_{ji} - \bar{T}_j)^2. \quad (3.2)$$

$$s_1^2 = \frac{1}{2-1} [(-5,7 + 6,9)^2 + (-8,1 + 6,9)^2] = 2,880.$$

Для проверки воспроизводимости опытов найдем отношение наибольшей из оценок дисперсий к сумме всех оценок дисперсий – расчетное значение критерия Кохрена:

$$G_p = \frac{\max s_j^2}{\sum_{j=1}^N s_j^2}. \quad (3.3)$$

$$G_p = 3,920 / 15,070 = 0,260.$$

Если выполняется условие:

$$G_p \leq G, \quad (3.4)$$

то опыты считаются воспроизводимыми, а оценки дисперсий – однородными.

Соответствующее значение критерия Кохрена $G=0,541$ определено по таблицам [77] для следующих параметров: $P=0,95$; $N=12$; $k=2$; $f=k-1=2-1=1$.

Условие (3.4) выполнено, следовательно, опыты можно считать воспроизводимыми, а размещение участка для экспонирования образцов на территории г. Пенза – обоснованным.

Участок для экспонирования образцов расположен на ровной площадке на естественном грунте с травяным покровом высотой не более 15 см.

На участке отсутствуют: большие водоемы; реки; застаивание талой и дождевой вод – создающих микроклимат, отличающийся от климата района.

Участок отдален от источников загрязнения воздуха: вентиляционных установок предприятий и других устройств, выделяющих большое количество водяного пара, сажи, углекислого, сернистого и других газов.

Размер участка определяется объемом испытаний образцов, а также спецификой образцов. Для проведения натурального эксперимента в течение одного года пластин сталей ($50 \times 50 \times 2$), покрытых защитными материалами в количестве 192 шт. используется участок площадью 25 м^2 .

На участке предусмотрена открытая площадка с естественным грунтом, на которой экспонируются образцы. Площадка удалена от одноэтажных зданий и деревьев на расстояние не менее 10-кратной высоты этих объектов. Площадка – квадратная с направлением сторон с севера на юг (5×5). Ограждение участка не мешает свободной аэрации. На площадке располагается стенд для экспонирования образцов под открытым небом.

Ввиду необходимости наличия сложной и дорогостоящей метеорологической аппаратуры и техническими сложностями выполнения регулярных наблюдений и фиксации информации об изменении погодных условий по ГОСТ 9.906-83 допускается использование наблюдений и измерений климатических параметров, проведенных в специализированных организациях. Для регистрации изменений ВВФ использованы статистические данные сайта www.Meteorprog.ua. [53] по наблюдениям за погодой в г. Пенза (Пензенская обл., РФ) в течение времени проведения испытаний (табл. 3.5).

При контроле состояния образцов проведены замеры показателя коррозии, определяемого по изменению массы за время испытаний. Оценку защитных способностей весовым методом производят по показателю коррозии K ($\text{г}/\text{м}^2$) – пп. 1.5.10, 1.5.11 (ГОСТ 9.054-75). Защитную способность консервационных материалов оценивают по среднему арифметическому результату значений, определенных на параллельно испытываемых пластинках. При этом расхождение результатов испытаний на отдельных пластинках не должно превышать 20 %.

Пример данных представлен в табл.3.6.

Т а б л и ц а 3 . 5

Фактическая погода в г. Пензе в апреле 2009 г.

Местное время		Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °С	Влажность, %	Атмосферное давление, мм.рт.ст.
Дата	Время суток				
1	2	3	4	5	6
2009-04-01	01	3	7	81	764
2009-04-01	03	3	7	71	765
2009-04-01	04	3	5	81	764
2009-04-30	20	3	22	20	753
2009-04-30	21	3	19	24	754
2009-04-30	22	3	17	30	754
Среднее значение		4	5	55	762

Т а б л и ц а 3 . 6

Величина коррозии Ст. 3 под АСМ после 1 мес. (720 ч)
полевых испытаний

АСМ	№ п/п	вес-1, г	вес-2, г	Площадь, м ²	<i>K</i>	<i>K</i>
К-17	1.2.29.	35,03465	35,03396	0,00527	0,130	0,135
	1.2.35.	35,21895	35,21821	0,00528	0,140	
	1.2.34.	35,29485	35,29408	0,00568	0,135	
ПВК	1.1.22.	37,42535	37,42315	0,00500	0,440	0,355
	1.2.14.	37,44745	37,44530	0,00560	0,384	
	1.3.5.	37,59527	37,59397	0,00536	0,242	
Мовиль	1.3.35.	38,50320	38,50230	0,00496	0,181	0,256
	1.1.11.	38,50760	38,50630	0,00533	0,244	
	1.1.12.	38,52060	38,51890	0,00498	0,342	
Тектил МЛ	1.3.26.	39,91630	39,91494	0,00536	0,254	0,261
	1.3.19.	40,15995	40,15843	0,00522	0,291	
	1.3.32.	40,21220	40,21088	0,00552	0,239	

3.3. Методика лабораторного многофакторного эксперимента

Для описания областей применения МТ и защитных материалов условия хранения, транспортирования, периодической и постоянной эксплуатации условно делят на пять категорий: Л – легкие; С – средние; Ж – жесткие, ОЖ – очень жесткие и ОТ – особо тяжелые (специфические) условия. В характеристику условий входят: параметры макроклимата климата – категория атмосферы, особенности макроклимата, климатические варианты и специфика изготовления, хранения, транспортирования, эксплуатации; вид металлических изделий, особенности их конструкции и материалов; вид и особенности применяемых мер противокоррозионной защиты.

3.3.1. Параметры макроклимата и условий эксплуатации СХТ

Категория атмосферы определяется условиями, указанными в табл. 3.7. Условия эксплуатации в табл. 3.8., характеристики макроклимата (по ГОСТ 15150-69, ГОСТ 16350-80, СНиП 23-01-99) приведены в табл.3.9 а и б.

Т а б л и ц а 3 . 7

Категория атмосферы

Категория атмосферы	Содержание SO ₂ , мг/м ²	Содержание хлоридов, мг/(м ² ·сут)	Прочие факторы
1. Сельская (горная, лесная)	До 0,02	До 0,3	Частицы удобрений, пыль
2. Промышленная	0,02÷2,0	0,3÷2,0	Озон (2÷6)·10 ⁻⁶ %, твердые частицы (сажа, пыль, зола)
3. Морская	0,02÷0,20	2÷2000	Озон

Т а б л и ц а 3 . 8

Условия эксплуатации СХТ и АСМ

Вариант эксплуатации	Категория атмосферы	Категория макроклимата			
		I.	II.	III.	IV.
1	2	3	4	5	6
Периодическая эксплуатация:					
сельскохозяйственной техники с хранением на открытых площадках	1	ОЖ	ОЖ	ОЖ	ОТ
то же при гаражном хранении	1	Ж	Ж	Ж	ОЖ
автомобилей с хранением на открытых площадках	2	ОЖ	ОТ	ОЖ	ОТ
то же при гаражном хранении	2	Ж	Ж	Ж	ОЖ
Постоянная эксплуатация:					
автомобилей, двигателей, трансмиссий и пр.	2	С	Ж	Ж	Ж
кузовов, крыльев, днища автомобилей	2	ОТ	ОТ	ОЖ	ОТ
скрытых сечений автомобилей	2	ОЖ	ОЖ	ОЖ	ОТ
автотракторной и строительной техники	1	Ж	ОЖ	ОЖ	ОТ

Изменения параметров для макроклиматических районов можно установить по нормативной документации (ГОСТ 15150-69, ГОСТ 16350-80, СНиП 23-01-99) и по статистическим данным наблюдений метеорологических станций.

Таблица 3.9а

Характеристики макроклимата

№ п/п	Макро-климатический район	Климатический район	Пункт		Средне-годовая расчетная температура, °С	Влажность средняя относительная, при 20 °С, %	Прочие факторы
	Наименование	Наименование	Представительский	Экстремальный			
I.	Холодный	Очень холодный	Якутск	Оймякон	-10	80	Обледенение, сильные ветры
		Холодный	Салехард				
II.	Умеренный	Умеренно холодный	Тюмень	Улан-Уде	5	80	Дожди, грозы, иней, обледенение
		Умеренный	Москва	Мурманск, Волгоград			
		Умеренно влажный	Владивосток	Курильск			
		Умеренно теплый	Киев	Ростов-на-Дону			
		Умеренно теплый влажный	Минск	Рига, Таллин			
		Умеренно теплый с влажной зимой	Одесса	Новороссийск			
III.	Тропический сухой	Жаркий сухой	Ташкент		27	80	Пыль, песок, песчаные бури
		Очень жаркий	Ашхабад	Термез			
IV.	Тропический влажный	Теплый влажный	Батуми	Астара	27	95	Ливни, грозы, биологические факторы

Т а б л и ц а 3 . 9 б

Характеристики макроклимата

Показатели	Холод- ный	Умерен- ный	Тропический сухой	Тропический влажный
Температура, °С				
– предельная минимальная	- 65	- 45	- 20	- 10
– предельная максимальная	35	45	55	50
– средняя зимняя расчетная	- 50	- 30	- 10	3
– средняя летняя расчетная	30	35	45	45
– среднегодовая расчетная	- 10	5	27	27
Влажность средняя относительная при 20 °С, %	80	80	80	95

В Докладе по особенностям климата на территории Российской Федерации за 2005 г. [78, 79] указано на изменения (потепление) климата. Тенденция к потеплению климата в целом на территории России продолжается. По среднегодовым данным (декабрь-ноябрь) средняя скорость потепления в 1976–2005 гг. составила 0,48 °С/10 лет. Интенсивность потепления максимальна в весенний сезон года (0,6 °С/10 лет).

На всей территории России среднегодовая температура воздуха превысила норму на 1,6 °С. Особенно крупные положительные аномалии (более 2...3 °С) отмечались в 2005 году на севере страны в Мурманской, Архангельской обл., Республике Коми, Ямало-Ненецком, Ханты-Мансийском, Таймырском, Эвенкийском АО и на севере Республики Саха (Якутия). Зима 2004-2005 гг. на Европейской территории была теплее, чем в среднем многолетнем.

Лето 2010 года в целом по России было одним из самых теплых за весь период наблюдений. С 1900 г. лишь однажды (в 2001 г.) средняя температура лета была больше, чем в 2010 г.

Осень 2005 г. стала также очень теплой. Сентябрь оказался самым теплым в истории страны. Во многих районах России были превышены рекордные или близкие к ним значения среднемесячной температуры воздуха. Очень сухой оказалась прошедшая осень в Москве. Сумма осадков, выпавших в Москве осенью 2005 г., составляет 88 мм, и она замыкает первую десятку самых сухих осенних сезонов в Москве с 1891 г. Последний раз подобная сухая осень была в Москве в 1975 г. Осенью 2005 года температура воздуха, осредненная по территории России, достигла рекордной величины. Температурная аномалия составила +2,7 °С.

Очевидно, что для исследования параметров ВВФ и анализа их изменения необходимо:

– при исследованиях температуры и влажности – руководствоваться данными метеостанций за 1991–2008 гг.;

– при исследованиях атмосферного давления и ветровой нагрузки, ввиду их незначительного изменения (что подтверждается нормативной документацией и статистикой наблюдений) – руководствоваться данными ГОСТ 15150-69, ГОСТ 16350-80 и СНиП 23-01-99.

Для исследования изменения температуры, проанализированы данные наблюдений на примере г. Якутска (табл. 3.10).

Необходимые значения температуры для Холодного макроклиматического района складываются из значений для представительских и экстремальных пунктов (табл. 3.11). Соответственно, для Умеренного, Тропического сухого и Тропического влажного макроклиматических районов параметры температуры имеют значения (табл. 3.12).

Т а б л и ц а 3 . 1 0

Статистические данные по среднемесячной температуре г. Якутска с 1991 по 2008 гг.

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1991	-31,9	-35,7	-22,2	-4,2	7,2	14,2	19,7	16,7	4,9
1992	-39,4	-32,1	-20,7	-3,3	7,7	17,1	18,9	14,3	6,4
1993	-32,4	-31,8	-21,1	-9,1	6,8	16,1	19,6	15,1	5,9
1994	-45,0	-34,0	-19,7	-5,2	8,2	14,5	17,3	14,3	7,1
1994	-35,8	-27,5	-22,2	-6,1	6,7	17,9	18,3	15,3	5,8
1995	-38,4	-32,1	-22,1	-5,5	6,6	17,4	18,6	13,2	5,6
1997	-37,1	-32,1	-29,0	-2,4	9,3	15,5	20,0	17,2	4,8
1998	-39,7	-30,6	-21,6	-5,8	5,3	20,2	21,3	18,1	5,0
1999	-34,2	-34,8	-25,7	-5,6	7,8	17,2	19,9	13,5	6,4
2000	-37,7	-32,8	-20,4	-2,2	8,3	16,6	19,2	15,0	5,5
2001	-39,2	-38,0	-19,1	-7,0	8,2	16,1	22,8	14,7	3,8
2002	-36,7	-29,4	-18,2	-3,2	8,5	18,1	19,4	16,9	6,6
2003	-40,0	-33,7	-15,5	-3,9	5,1	14,4	21,1	16,4	7,3
2004	-39,1	-36,7	-20,1	-4,9	6,1	13,7	18,1	13,7	6,8
2005	-39,4	-35,2	-20,8	-0,3	8,6	17,7	18,7		
2006	-42,9	-35,3	-20,9	-3,5	7,6	17,3	18,9	15,8	7,0
2007	-33,9	-36,5	-18,3	-1,6	9,2	16,6	16,6	16,8	7,0
2008	-37,8	-30,5	-13,0	-5,8	9,9	19,5	19,8	16,7	5,4
Среднее	-37,8	-33,3	-20,6	-4,4	7,6	16,7	19,3	15,5	6,0

Т а б л и ц а 3 . 1 1

Статистические данные по среднемесячной температуре холодного макроклиматического района с 1991 по 2008 гг.

Город	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Салехард	-23,0	-22,4	-14,9	-8,8	0,2	9,8	14,8	11,5	5,1
Оймякон	-46,3	-42,1	-31,0	-13,6	3,2	13,1	16,1	11,3	2,3
Якутск	-37,8	-33,3	-20,6	-4,4	7,6	16,7	19,3	15,5	6,0
Среднее	-35,7	-32,6	-22,2	-8,9	3,7	13,2	16,7	12,8	4,5

Т а б л и ц а 3 . 1 2

Статистические данные по среднемесячной температуре Умеренного, Тропического сухого и Тропического влажного макроклиматических районов с 1991 по 2008 гг.

М/район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Умеренный	-7,4	-6,8	-1,8	5,9	11,9	16,3	19,3	18,2	12,7
Т. сухой	2,8	5,6	11,1	17,6	23,2	28,4	30,2	28,7	22,8
Т. влажный	7,1	7,3	8,4	11,9	16,4	20,4	22,8	23,0	20,2

В данном случае величины температуры – независимые, носят случайный характер. Очевидно, что среди значений температуры можно выделить интервалы, характеризующие ее изменения для каждого макроклиматического района.

Путем оценки случайных величин [75, 76] (температуры) определим наиболее характерные режимы эксплуатации СХТ и АСМ на территории бывшего СССР.

Исходные данные – статистические данные по среднемесячной температуре Холодного макроклиматического района располагаем в порядке возрастания их абсолютных значений:

– 35,8; -34,8; -32,6; -25,8; -22,4; -8,9; -8,7; 3,7; 4,4; 12,7; 13,1; 16,7.

Среднее значение (среднегодовое значение) составляет:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.5)$$

$$\langle T \rangle = (-118,40/12) = -9,87.$$

Размах значений температуры:

$$z = x_{\max} - x_{\min}. \quad (3.6)$$

$$z = 16,7 - (-35,8) = 52,5.$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}. \quad (3.7)$$

$$\sigma = \sqrt{672,54} = 7,82.$$

Коэффициент вариации:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}. \quad (3.8)$$

$$v = 7,82 / (-9,87) = -0,79.$$

Далее, для удобства дальнейшей работы со статистическими данными они были разбиты на три интервала с размахом z . Частотность (вероятность) попадания температур в интервал определялась по формуле

$$\omega_i = \frac{n_i}{n}. \quad (3.9)$$

$$\omega = 6/12 = 0,50.$$

Вероятность отказа (доля воздействия определенного интервала температур):

$$F(x) = P\langle x_i < X \rangle \cong \frac{m(x)}{n} = \frac{n_i}{n}. \quad (3.10)$$

$$F(x) = 6/12 = 0,50.$$

Безотказность:

$$R(x) = P\langle x_i < 12 \rangle \cong \frac{n - m(x)}{n} = 1 - F(x). \quad (3.11.)$$

$$R = 1 - 0,50 = 0,50.$$

Таким образом, температурные режимы в пределах каждого макроклиматического района включают в себя отрицательные, средние и положительные температуры (табл. 3.13).

Т а б л и ц а 3 . 1 3

Наиболее характерные режимы эксплуатации АСМ по значениям параметров температуры

Номер интервала j	Интервал Δt , °C	Середина интервала	Число температур в интервале	Частотность (вероятность)	Оценка накопленных вероятностей	
					отказа F	безотказности R
1	2	3	4	5	6	7
Холодный макроклиматический район						
1	(-35,7)...(-14,74)	-25,22	6	0,50	0,50	0,50
2	(-14,74)...(-4,26)	-9,50	1	0,08	0,58	0,42
3	(-4,26)...16,70	6,22	5	0,42	1,00	0,00
Умеренный макроклиматический район						
1	(-7,40)...3,28	-2,06	5	0,42	0,33	0,67
2	3,28...8,62	5,95	2	0,17	0,58	0,42
3	8,62...19,30	13,96	5	0,42	1,00	0,00
Тропический влажный макроклиматический район						
1	7,10...13,46	10,28	6	0,50	0,50	0,50
2	13,46...16,64	15,05	1	0,08	0,58	0,42
1	2	3	4	5	6	7
3	16,64...23,00	19,82	5	0,42	1,00	0,00
Тропический сухой макроклиматический район						
1	2,80...13,76	1,38	5	0,42	0,42	0,58
2	13,76...19,24	16,50	2	0,17	0,58	0,42
3	19,24...30,20	24,72	5	0,42	1,00	0,00

Аналогично оцениваются случайные величины по другим ВВФ.

В связи с большим разбросом значений температур для макроклиматических районов, интерес представляет продолжительность определенного интервала температур в течение года. Длительность интервала воздействия температур представлена в табл. 3.14 и рис. 3.4.

Т а б л и ц а 3 . 1 4

Продолжительность воздействия интервалов температур

Интервал температур	Макроклиматический район				Общая повторяемость, %	Длительность периода, ч
	Холодный	Умеренный	Т.Влажный	Т.Сухой		
от (-50) до (-55)	0,00				0,000	0,00
от (-45) до (-50)	0,00				0,000	0,00
от (-40) до (-45)	0,00				0,000	0,00
от (-35) до (-40)	8,33	0,00			2,083	182,50
от (-30) до (-35)	16,67	0,00			4,167	365,00
от (-25) до (-30)	8,33	0,00			2,083	182,50
от (-20) до (-25)	8,33	0,00			2,083	182,50
от (-15) до (-20)	0,00	0,00			0,000	0,00
от (-10) до (-15)	0,00	0,00			0,000	0,00
от (-5) до (-10)	16,67	25,00			10,417	912,50
от (-5) до 0	0,00	16,67			4,167	365,00
от 0 до 5	16,67	0,00		8,33	6,250	547,50
от 5 до 10	0,00	16,67	33,33	25,00	18,750	1642,50
от 10 до 15	16,67	16,67	16,67	8,33	14,583	1277,50
от 15 до 20	8,33	25,00	16,67	16,67	16,667	1460,00
от 20 до 25	0,00	0,00	33,33	16,67	12,500	1095,00
от 25 до 30	0,00	0,00	0,00	16,67	4,167	365,00
от 30 до 35	0,00	0,00	0,00	8,33	2,083	182,50
от 35 до 40		0,00		0,00	0,000	0,00
от 40 до 45				0,00	0,000	0,00
Всего					100,0	8760,0

Данные табл. 3.14 и гистограммы рис. 3.4 указывают на различную продолжительность интервалов температур, как в пределах макроклиматического района, так и для всех климатических зон страны. Поэтому оценку продолжительности воздействия температур целесообразно проводить по частотности (вероятности) появления данного интервала, то есть разбить продолжительность года по формуле:

$$\Delta_i = t_{\text{год}} \cdot \omega_i, \quad (3.12)$$

где Δ_i – продолжительность i -го интервала температур, ч; $t_{\text{год}}$ – продолжительность года, ч, (8760 ч.); ω_i – частотность (вероятность i -го интервала температур, табл. 3.13.

Данные расчетов представлены в табл. 3.15.

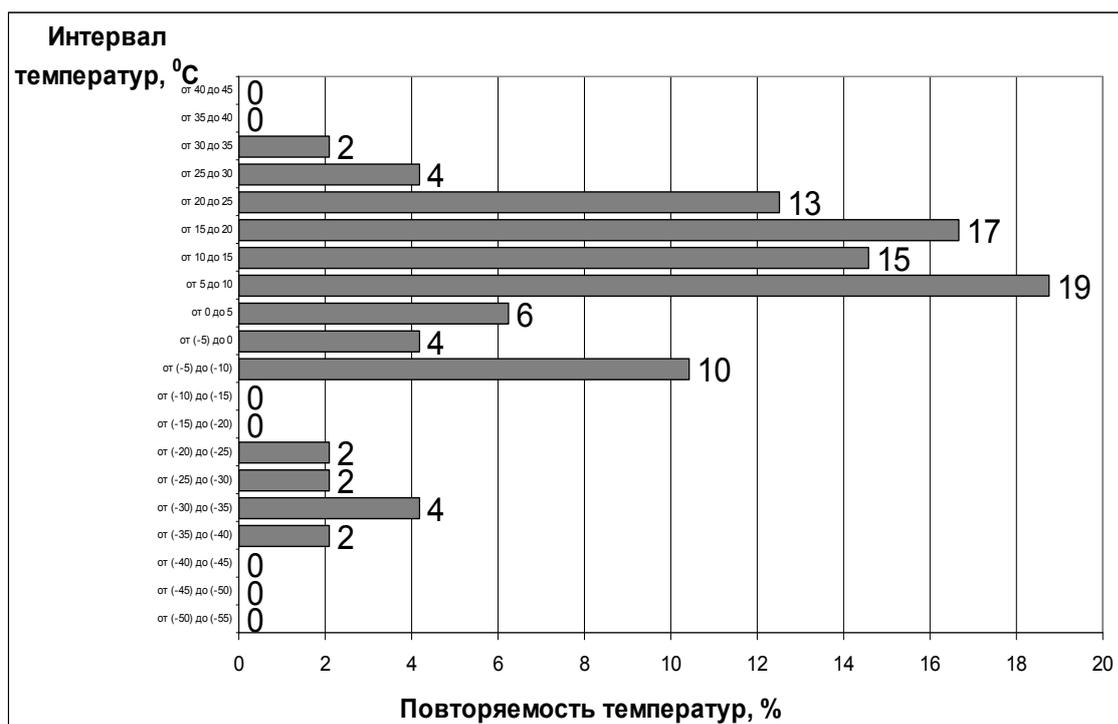


Рис. 3.4. Продолжительность интервалов температур

Таблица 3.15

Продолжительность воздействия интервала температур

Номер интервала j	Интервал Δt , °C	Середина интервала	Частотность (вероятность)	Продолжительность воздействия интервала температур, ч
Холодный макроклиматический район				
1	(-35,7)...(-14,74)	-25,22	0,50	4380,0
2	(-14,74)...(-4,26)	-9,50	0,08	700,8
3	(-4,26)...16,70	6,22	0,42	3679,2
Умеренный макроклиматический район				
1	(-7,40)...3,28	-2,06	0,42	3679,2
2	3,28...8,62	5,95	0,17	1489,2
3	8,62...19,30	13,96	0,42	3679,2
Тропический влажный макроклиматический район				
1	7,10...13,46	10,28	0,50	4380,0
2	13,46...16,64	15,05	0,08	700,8
3	16,64...23,00	19,82	0,42	3679,2
Тропический сухой макроклиматический район				
1	2,80...13,76	1,38	0,42	3679,2
2	13,76...19,24	16,50	0,17	1489,2
3	19,24...30,20	24,72	0,42	3679,2

Интервалы температур макроклиматических районов (табл. 3.13–3.15), можно разделить на низкие, средние и высокие температуры и сгруппи-

ровать. При группировке учтем среднее значение продолжительности i -го интервала температур (табл. 3.16). После проведения группировки видно, что интервалы температур имеют примерно одинаковую продолжительность, а их сумма составляет 8803,8 ч. Так как погрешность такого пересчета продолжительности воздействия i -х интервалов температур мала ($\delta = 5\%$), можно считать, сумма средних продолжительностей воздействий температур определенных интервалов составляет 8760 ч, или один год. При этом каждый из интервалов температур воздействует на СХТ примерно в течение 1/3 года.

Т а б л и ц а 3 . 1 6

Средняя продолжительность воздействия высоких, средних и низких температур макроклимата России

Номер интервала j	Интервал Δt , °C	Середина интервала	Продолжительность воздействия интервала температур, ч
1	2	3	4
Низкие температуры			
1	(-35,7)...(-14,74)	-25,22	4380,0
2	(-14,74)...(-4,26)	-9,50	700,8
3	(-7,40)...3,28	-2,06	3679,2
Среднее значение			2920,0
1	2	3	4
Средние температуры			
1	(-4,26)...16,70	6,22	3679,2
2	2,80...13,76	1,38	3679,2
3	3,28...8,62	5,95	1489,2
Среднее значение			2949,2
Высокие температуры			
1	8,62...19,30	13,96	3679,2
2	7,10...13,46	10,28	4380,0
3	13,46...16,64	15,05	700,8
4	16,64...23,00	19,82	3679,2
5	13,76...19,24	16,50	1489,2
6	19,24...30,20	24,72	3679,2
Среднее значение			2934,6

Сделанное допущение позволяет при проведении лабораторных испытаний и моделировании условий эксплуатации СХТ установить продолжительности воздействий температур.

Диаграммой (рис. 1.10, подразд. 1.2), и в работах [78, 79], указано, что из всех параметров ВВФ наиболее подвержена изменениям температура. Такие ВВФ как, относительная влажность, атмосферное давление, солнечное излучение и ветровая нагрузка изменяются в менее широких интер-

валах. Это позволяет при анализе их значений не проводить разбивку на макроклиматические районы. Полученные характерные интервалы значений будут интегральными – описывающими изменение ВВФ на всей территории эксплуатации МТ и АСМ.

Оценки значений относительной влажности приведены в табл. 3.17.

Значения атмосферного давления берем из табл. 23 ГОСТ 16350-80. При проведении оценок случайных величин выявлены наиболее характерные режимы эксплуатации АТТ и АСМ (табл. 3.18). Основной режим эксплуатации по атмосферному давлению соответствует интервалу $98,7 \div 100,2$ кПа.

Т а б л и ц а 3 . 1 7

Наиболее характерные режимы эксплуатации АСМ
по значениям параметров относительной влажности

Номер интервала j	Интервал $\Delta\Psi$, %	Середина интервала	Число значений в интервале	Частотность (вероятность)	Оценка накопленных вероятностей	
					отказа F	безотказности R
1	38,3...53,0	59,2	5	0,10	0,10	0,90
2	53,0...67,8	60,4	12	0,25	0,35	0,65
3	67,8...82,5	75,1	31	0,65	1,00	0,00

Т а б л и ц а 3 . 1 8

Наиболее характерные режимы эксплуатации АСМ
по значениям атмосферного давления

Номер интервала j	Интервал Δp , кПа	Середина интервала	Число значений в интервале	Частотность (вероятность)	Оценка накопленных вероятностей	
					отказа F	безотказности R
1	95,7...97,2	96,5	19	0,40	0,40	0,60
2	97,2...98,7	98,0	8	0,17	0,56	0,44
3	98,7...100,2	99,5	21	0,44	1,00	0,00

Ветровая нагрузка на территории эксплуатации АСМ характеризуется (ГОСТ 16350-80): средней скоростью, м/с; повторяемостью периодов непрерывной продолжительности скорости ветра выше и ниже уровня, близкого к средней скорости для периодов равных и более заданной продолжительности, ч.

Наиболее характерный режим эксплуатации по средней скорости ветра соответствует интервалу $3,5 \div 3,8$ м/с (табл. 3.19).

Т а б л и ц а 3 . 1 9

Наиболее характерные режимы эксплуатации АСМ
по значениям средней скорости ветра

Номер интервала j	Интервал Δv , м/с	Середина интервала	Число значений в интервале	Частотность (вероятность)	Оценка накопленных вероятностей	
					отказа F	безотказности R
1	2,9...3,2	3,1	3	0,25	0,25	0,75
2	3,2...3,5	3,4	1	0,08	0,33	0,67
3	3,5...3,8	3,7	8	0,67	1,00	0,00

Т а б л и ц а 3 . 2 0

Наиболее характерные режимы эксплуатации АСМ по повторяемости периодов непрерывной продолжительности скорости ветра выше и ниже уровня, близкого к средней скорости для периодов равных и более заданной продолжительности

Номер интервала j	Интервал Δv^n , ч	Середина интервала	Число значений в интервале	Частотность (вероятность)	Оценка накопленных вероятностей	
					отказа F	безотказности R
1	9...13	11	13	0,54	0,50	0,50
2	13...17	15	8	0,33	0,88	0,13
3	17...21	19	3	0,25	1,00	0,00

Наиболее характерный режим эксплуатации СХТ и АСМ по повторяемости периодов непрерывной продолжительности скорости ветра выше и ниже уровня, близкого к средней скорости для периодов равных и более заданной продолжительности – $9 \div 13$ ч (табл. 3.20).

3.3.2. Разработка методики лабораторных испытаний

Проведенная аналитическая работа, а именно анализ общей характеристики работы АСМ, анализ факторов и технических устройств, обеспечивающих контроль над процессами изменения ЭС АСМ, позволяют сделать выводы о необходимости разработки метода ускоренных испытаний защитной способности антикоррозионных материалов.

При проведении теоретических исследований установлен оценочный критерий, позволяющий комплексно оценивать ЭС АСМ.

При разработке методики испытаний необходимо решить ряд задач.

3.3.2.1. Наиболее распространенные режимы ВВФ

Установлено, что наиболее распространенным результатом воздействия окружающей среды на хранящуюся технику является атмосферная коррозия. Она, в свою очередь, зависит от климатических факторов.

Анализ ВВФ на территории макроклиматических районов позволяет сделать вывод о наличии наиболее характерных интервалов температур и их продолжительности воздействия (табл. 3.13-3.16). Учитывая уже установленное приоритетное воздействие температуры, указанные режимы возьмем за основу построения цикла испытаний. Значения относительной влажности и атмосферного давления, в этом случае, будут определяться конструкцией камеры. При этом необходимо стремиться к достижению следующих значений ВВФ: относительная влажность – 75,1 %, атмосферное давление ~ 100 кПа.

3.3.2.2. Приемы моделирования воздействия климатических факторов

Для проведения ускоренных лабораторных испытаний применяется форсирование воздействующих факторов. Это достигается в увеличении значения какого-либо воздействующего фактора системы. Согласно существующим приемам форсирования и проведения анализа физико-химических параметров целесообразно увеличивать значения температуры, относительной влажности и давления. Увеличение температуры позволяет интенсифицировать процесс испарения активного вещества при этом повышение температуры свыше 60 °С – неприемлемо.

Повышение влажности позволяет ускорить коррозионный процесс. При этом не обязательно добиваться повышения температуры. Результат достигается за счет перепада температур, приводящего к конденсации влаги на поверхности испытуемого изделия. В этом случае достаточно критической относительной влажности (70 %) и перепада температур 4...6 °С.

Увеличение давления при проведении испытаний существенно изменяет температуру. Несмотря на очевидные преимущества, при испытаниях АСМ этот вид форсирования не используется.

Таким образом, наиболее рационально моделирование режимов эксплуатации в следующей последовательности:

1. Воздействие повышенной температуры ($t \leq 60$ °С) и влажности ($\psi \geq 70$ %).

2. Ступенчатое понижение температуры при влажности $\psi \approx 70$ %.

Снижение температур проводится следующим образом:

- охлаждение образцов до температуры среднего интервала $t = 5...6$ °С и влажности $\psi \approx 70$ %.

- выдержка образцов при отрицательных температурах $t \approx -10$ °С и влажности $\psi \approx 70$ %.

Таким образом, наиболее рационально моделирование режимов эксплуатации в следующей последовательности:

1. Воздействие повышенной температуры ($t \leq 60 \text{ }^\circ\text{C}$) и влажности ($\psi \geq 70 \%$).

2. Ступенчатое понижение температуры при влажности $\psi \approx 70 \%$.

Снижение температур проводится следующим образом: охлаждение образцов до температуры среднего интервала $t = 5 \dots 6 \text{ }^\circ\text{C}$ и влажности $\psi \approx 70 \%$; выдержка образцов при отрицательных температурах $t \approx -10 \text{ }^\circ\text{C}$ и влажности $\psi \approx 70 \%$.

При этом, предварительный контакт поверхности с 3 %-м раствором NaCl позволяет снизить порог критической влажности до 55 %.

Испытания защитной способности АСМ проводятся циклически (ГОСТ 9.054-75), продолжительность одного цикла – 24 ч. Исходя из этого, возможно проведение режимов испытания в течение одного цикла. Так как продолжительность воздействия каждого интервала температур составляет $\sim 1/3$ года (см. табл. 3.16), целесообразно аналогично установить и продолжительность каждого режима, равную $1/3$ цикла. Кроме того, такая длительность режимов соответствует продолжительности рабочего дня персонала и полезному времени работы испытательного оборудования. Это позволяет делать стандартами перерывы при проведении испытаний и эффективно использовать оборудование.

3.3.2.3. Конструктивные решения

Повышение температуры и влажности достигается нагреванием объема испытательной камеры путем подачи нагретой коррозионной среды. Учитывая выявленные недостатки существующих конструкций, необходимо использовать способ повышения температуры и влажности, основанный на следующем.

При повышении температуры жидкости происходит испарение и парообразование. При этом пар стремится занять весь объем сосуда, в котором он содержится. Это свойство пара используется для распространения в объеме камеры коррозионной среды (паров соли NaCl). Требуемая концентрация паров создается испарением соляного раствора 5 % концентрации. Нагревание раствора ведется до достижения температуры испарения – температуры первого режима – $+60 \text{ }^\circ\text{C}$. Влажность коррозионной среды при этом составит $\psi \approx 83,4 \%$. Это соответствует критической влажности, достаточной для интенсификации коррозии (разрушения защитной пленки АСМ).

Смоделировать этот режим можно в камере, сконструированной по ГОСТ 9.054-75. Ее конструктивная особенность – наличие отверстий для выхода пара, позволяет производить сброс («сравливание») избыточного

давления паров NaCl, тем самым избежать повышения температуры режима и искажения кинетики коррозионного процесса.

Ступенчатое понижение температуры при влажности, близкой к критической производится следующим образом.

При моделировании режима средних температур прекращается нагревание и испарение коррозионной среды. При этом происходит охлаждение образцов до температуры 18...20 °С при отсутствии охлаждающей установки.

Режим отрицательных температур можно смоделировать выдержкой образцов в морозильной камере при температуре -4 °С.

При проведении обоих режимов влажность близка к порогу критической влажности. Повышение температур режимов с 5...6 до 18...20 °С и с -10 до -4 °С, дополнительно позволяет интенсифицировать испытания.

3.3.2.4. Выбор количества циклов

Количество циклов испытаний (продолжительность) устанавливается по НТД на испытуемый материал. Испытания на смену температур (ГОСТ 28209-89, 28224-89) проводятся при количестве 24-х часовых циклов, равном 10. Исходя из этого, целесообразно установить количество циклов, соответствующее требованиям: обоснованность продолжительности испытания и простоты расчета коэффициента ускорения процесса старения АСМ в лабораторных условиях, по сравнению с процессами в условиях эксплуатации. Этим требованиям соответствует количество циклов испытаний $n = 12$. Во-первых, при этом продолжительность испытаний близка к уже используемой продолжительности $t_{исп} = 300$ ч; при количестве полных циклов $n = 12$, продолжительность $t_{исп} = 288$ ч. Во-вторых, из соотношения времени проведения натурального эксперимента (12 мес.) и количества циклов $t_{xp}/n=12/12$ [мес./n], видно, что 1 цикл испытаний соответствует определенному астрономическому времени в месяцах. Это упрощает дальнейший пересчет в другие единицы времени.

3.3.2.5. Режимы проведения испытаний

Основываясь на приведенном анализе, предлагается способ ускоренных испытаний в атмосфере соляного тумана.

Температурный режим. Выделяются 3 наиболее характерных интервала: отрицательные, средние и положительные температуры. Относительная влажность 75,1 %. Атмосферное давление – 98,7÷100,2 кПа.

Режимы проведения испытаний устанавливаются, учитывая рекомендованное увеличение значений максимальных параметров ТВК при проведении лабораторных испытаний для температуры ~ на 15 % и рекомендации по их предельным значениям (подразд. 1.3.2); для атмосферного

давления – ГОСТ 9.054-80 метод 3; для влажности ~ 15 % – вследствие конструкционных особенностей камеры. Последовательность режимов устанавливается приемами моделирования воздействия климатических факторов (табл. 3.21).

Т а б л и ц а 3 . 2 1

Режимы проведения лабораторных испытаний ТВК

Номер режима	Температура, °С	Влажность, %	Давление, кПа	Длительность режима, ч
1.	60±2	83,4±2	99,5±0,2	8
2.	20±2	Не контролируется	Не контролируется	8
3.	-4±0	65,9±2	99,5±0,2	8

Применение 5 % соляного раствора в первом режиме цикла обосновывается ГОСТ 9.054-75 и проведенным анализом (см. подразд. 1.3.2).

Испытания проводят в камере из коррозионностойкого материала. Размер камеры 510×500×760 мм. Камера имеет в боковой стенке герметически закрывающуюся дверцу размером 200×320 мм, а в верхней стенке – два отверстия диаметром 6-7 мм для выхода воздуха. На расстоянии 20 мм от дна камеры размещен подогреватель (спираль из нихромовой проволоки, заключенная в трубку из термостойкого стекла). Камера снабжена терморегулятором для автоматического регулирования нагрева (рис. 3.5).

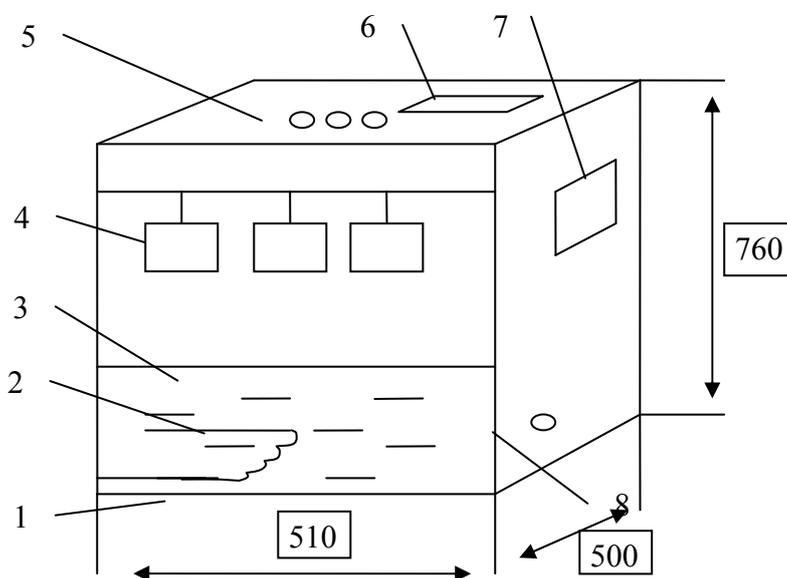


Рис. 3.5. Камера соляного тумана:

- 1 – камера; 2 – нагревающий элемент; 3 – соляной раствор; 4 – испытуемые пластины; 5 – отверстия для выхода пара; 6 – приборы контроля; 7 – дверца; 8 – регулятор температуры

При проведении испытания на дно камеры в лоток заливают соляной раствор в количестве 5 л. Устанавливают заданную температуру.

Испытание проводится циклически. Количество циклов – 12 по 24 часа. Цикл состоит из 3-х режимов по 8 ч. каждый.

Для проведения 1-го режима испытаний образцы подвергают воздействию соляного тумана, получаемого испарением 5 %-го раствора хлорида натрия. Испытуемые образцы выдерживают в камере при температуре $+60\pm 2$ °С, давлении $99,5\pm 0,2$ кПа и влажности $83,4\pm 2$ % в течение 8 ч. Давление и влажность устанавливается изменением температуры, и контролируются приборами.

При проведении 2-го режима испытаний нагрев и испарение соляного раствора прекращают, и в течение 8 ч камера остывает при температуре $+20\pm 2$ °С, давление и влажность при этом не контролируют.

При проведении 3-го режима испытаний образцы переносят в камеру холода, температура в которой -4 ± 2 °С и выдерживают их там, в течение 8 ч, давление и влажность при этом также контролируют с помощью приборов.

Время переноса из камеры в камеру не должно превышать 5 мин.

После проведения каждого цикла испытаний образцы изымают по 3 шт. и проводят оценку коррозионных поражений согласно подразд. 3.1.

3.3.2.6. Выбор контрольных образцов стали и АСМ

Во второй главе установлена необходимость выбора контрольных образцов объекта исследования. Как ранее указано в формулах (38) и (39) в качестве контрольных образцов выбраны для сталей – Ст. 3, для АСМ – К-17. Этот выбор основывается на следующем.

Коррозионные разрушения Ст. 3 в различных условиях эксплуатации изделия имеют среднюю величину по сравнению с другими сталями [10, 12]. Кроме того, такой показатель как снижение механических свойств (усталостной прочности) наиболее характерно иллюстрируется на стали Ст. 3 – табл. 3.22. Снижение усталостной прочности сталей имеет определенное значение. Для подтверждения выбора марки контрольной стали, оценим расхождение значений усталостной прочности со средним результатом, следующим образом. Ранее применяемым методом анализа случайных величин, установим интервалы значений усталостной прочности (зависимости (3.5) – (3.11)). Рассчитаем аналогичные показатели для каждой марки сталей табл. 3.23.

Из табл. 3.23 видно, что экспериментальные значения механических свойств сталей [12], распределены в интервалах.

Т а б л и ц а 3 . 2 2

Влияние предварительной коррозии при хранении на открытой площадке на усталостную прочность изделий и их износ при эксплуатации

Продолжительность атмосферной коррозии, мес.	Усталостная прочность стали, кН			
	Сталь Ст. 3	Сталь 20	Сталь У8	Среднее значение
1	2	3	4	5
1	34,0	25,0	40,0	33,0
2	30,0	23,2	31,5	28,2
3	27,5	22,0	27,5	25,7
4	25,5	21,0	25,0	23,8
5	24,0	20,5	23,2	22,6
6	23,2	20,0	21,5	21,6
7	22,7	19,5	20,5	20,9
8	22,0	19,3	19,5	20,3
9	21,3	19,0	19,2	19,8
10	21,0	18,5	18,5	19,3
11	20,5	18,4	17,7	18,9
12	20,0	18,0	17,0	18,3

Т а б л и ц а 3 . 2 3

Наиболее характерное изменение усталостной прочности сталей

Номер интервала j	Интервал Δ , кН	Середина интервала	Число значений в интервале	Частотность (вероятность)	Оценка накопленных вероятностей	
					отказа F	безотказности R
1	2	3	4	5	6	7
Среднее значение						
1	18,3..23,2	19,0	9	0,75	0,40	0,60
2	23,2..28,1	25,7	2	0,17	0,23	0,77
3	28,1...33,0	30,6	1	0,08	0,25	0,75
Сталь Ст. 3						
1	18,3..23,2	19,0	7	0,58	0,40	0,60
1	2	3	4	5	6	7
2	23,2..28,1	25,7	3	0,25	0,21	0,79
3	28,1...33,0	30,6	2	0,17	0,25	0,75
Сталь 20						
1	18,3..23,2	19,0	11	0,92	0,40	0,60
2	23,2..28,1	25,7	1	0,08	0,25	0,75
3	28,1...33,0	30,6	0	0,00	0,25	0,75
Сталь У8						
1	18,3..23,2	19,0	8	0,67	0,40	0,60
2	23,2..28,1	25,7	2	0,17	0,21	0,79
3	28,1...33,0	30,6	0	0,00	0,21	0,79

Судя по распределению (количеству значений) в интервалах, наиболее приемлемое для описания (сопоставления) изменения интересующих нас величин наблюдается у средних показателей и у стали Ст. 3. Значения усталостной прочности Ст. 3 находятся во всех предлагаемых интервалах. Это говорит о том, что изменения усталостной прочности данная марка стали наиболее качественно (полно) характеризуют изменение параметра, как остальных рассмотренных марок, так и других марок сталей автотракторного машиностроения.

В качестве контрольного АСМ целесообразно выбрать консервационное масло К-17. Данное масло имеет самое низкое содержание активного вещества – 16 %. Ввиду доказанной зависимости эксплуатационных (защитных) свойств от начального содержания активного вещества – сухого остатка, и изменения его содержания при эксплуатации, очевидно, что К-17 имеет самые низкие свойства из всего рассматриваемого ассортимента АСМ.

Таким образом, при принятии контрольной системы «металл-пленка АСМ» стали Ст. 3 и масла К-17, позволяет рассмотреть наиболее характерные процессы – коррозии стали под пленкой АСМ; и старение защитного материала при самых неблагоприятных условиях.

Выбор контрольных образцов сталей и АСМ устанавливает зависимости по которым можно рассчитать срок хранения любой другой марки стали, покрытой АСМ.

3.4. Обработка результатов исследований и оценка погрешности математического моделирования

При построении математической модели работы АСМ при эксплуатации (хранении) МТ получены регрессионные модели процесса в виде уравнений регрессии, связывающих варьируемые факторы с параметром оптимизации – оценочным критерием защитных свойств. Обработка экспериментальных данных матрицы планирования и расчеты коэффициентов регрессии проведены методами факторного анализа данных в результате обработки данных по протеканию коррозионного процесса в условиях открытого хранения защищенных сталей в среде Statistica в следующей последовательности:

1. Определена воспроизводимость опытов.
2. Определена погрешность эксперимента.

Для проверки воспроизводимости опытов выполнено:

Для каждой серии параллельных опытов вычислено среднеарифметическое значение функции отклика (3.1).

Определена ошибка параллельных опытов каждой серии вычислением оценки дисперсии для каждого месяца (3.2).

Для проверки воспроизводимости опытов определено отношение наибольшей из оценок дисперсий к сумме всех оценок дисперсий – расчетное значение критерия Кохрена (3.3).

Принято, что если выполняется условие:

$$G_p \leq G, \quad (3.13)$$

то опыты считаются воспроизводимыми, а оценки дисперсий – однородными.

Для вычисления погрешности эксперимента выполнено:

Оценена дисперсия среднего значения:

$$s_T^2 = \frac{s_T^2}{k}. \quad (3.14)$$

Определены ошибки в определении коэффициентов b_i :

$$s_b^2 = \frac{s_y^2}{N}. \quad (3.15)$$

Принято, что при выполнении условия:

$$|b| \geq s_b \cdot t, \quad (3.16)$$

где t – значение критерия Стьюдента (табличное значение).

Коэффициент регрессии значим.

Проверялась гипотеза о значимости коэффициентов регрессии по полученным значениям t_i ; в дальнейшем, в математическую модель включали только значимые коэффициенты.

Проверена адекватность уравнения регрессии. Проверка осуществлена с помощью критерия Фишера:

$$F_p = \frac{\max(s_{ад}^2, s_T^2)}{\min(s_{ад}^2, s_T^2)}, \quad (3.17)$$

где $s_{ад}^2$ – оценка дисперсии адекватности.

В числителе дроби (3.17) находится большая, а в знаменателе – меньшая из указанных оценок дисперсий.

Оценка дисперсии адекватности вычислена по формуле

$$s_{ад}^2 = \frac{1}{N - B} \sum_{j=1}^N (T_j^э - T_j^р)^2. \quad (3.18)$$

С оценкой дисперсии адекватности связано число степеней свободы:

$$f_{ад} = N - B. \quad (3.19)$$

Уравнение считается адекватным, если выполняется условие:

$$F_p \leq F, \quad (3.20)$$

где F – значение критерия Фишера (табличное значение).

Выводы

1. Проведен анализ, на основании которого установлены наиболее характерные режимы воздействия климатических факторов.
2. Определены наиболее приемлемые методы ускорения старения АСМ в условиях лабораторных испытаний.
3. Разработана конструкция камеры соляного тумана.
4. Разработана методика экспериментальных исследований по оценке ЭС АСМ в условиях лабораторного эксперимента.
5. Установлены контрольные образцы сталей и АСМ, позволяющие прогнозировать изменение ЭС других сталей и защитных покрытий при хранении СХТ.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Результаты полевого (сравнительного пассивного) эксперимента

Данные испытания были проведены в соответствии с методикой, приведенной в подразд. 3.3, для исследования характера и кинетики изменения показателей АСМ при воздействии климатических факторов, подтверждения адекватности математической модели работа АСМ при эксплуатации МТ и эффективности разработанной методики ускоренных испытаний ЭС АСМ.

Для определения поведения исследуемых АСМ при защите наиболее распространенных сталей в течение 12 календарных месяцев, с апреля 2009 г. по апрель 2010 г. автором диссертации были проведены полевые испытания.

В результате выполненной работы получены данные, приведенные на рис. 4.1, 4.2 и в приложении.

Согласно п. 6 ГОСТ 15150-69 при определении параметров изделий, изменения которых вызываются сравнительно длительными процессами – старения, диффузии водяных паров (в нашем случае, атмосферной влажности), коррозии, гидролиза, воздействия агрессивных сред – используются эффективные значения факторов внешней среды. Ресурс или срок службы или сохраняемости объекта в этом случае рассчитывается по формулам приведенным в ГОСТ 15150-69, которые сравнивались с результатами расчетов по зависимостям полученным во второй главе.

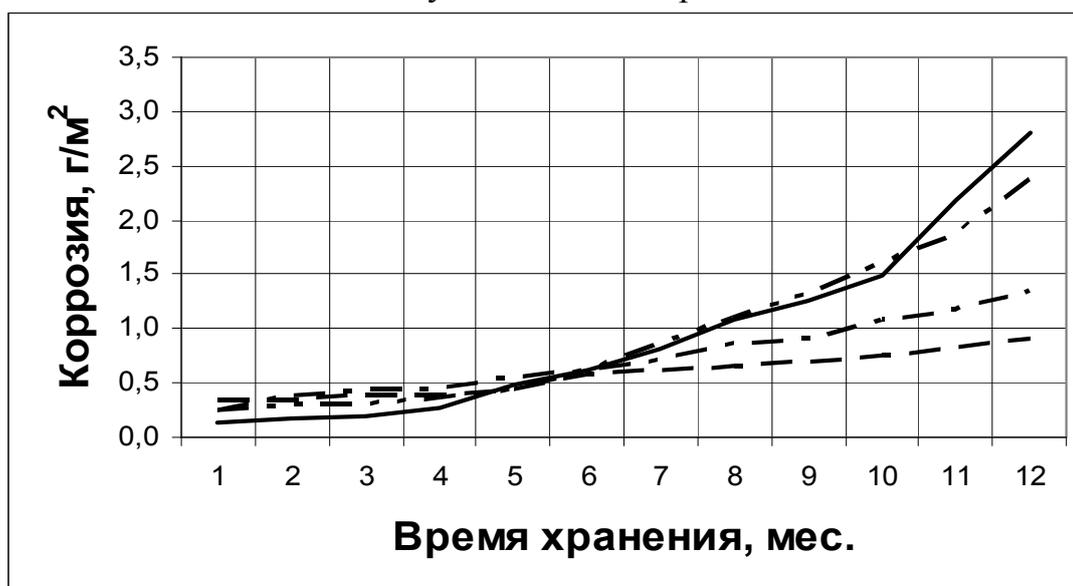


Рис. 4.1. Коррозия стали Ст. 3, покрытой АСМ в атмосферных условиях:
_____ - К-17; _____ – ПВК; _____ – Мовиль; _____ - Тектил МЛ



Рис. 4.2. Коррозия стали 08, покрытой АСМ в атмосферных условиях: _____ - К-17; ---- - ПВК; .-.-. - Мовиль; -.-.- Тектил МЛ

На основании проведенных сравнительных исследований было доказано, что с достаточной, для научных и практических целей, точностью для описания изменения ЭС АСМ в естественных условиях, можно использовать математические зависимости, имеющие экспоненциальный характер изменения от времени.

Результатами проведенного эксперимента подтверждены ряд ранее выдвинутых положений, а по численным значениям, полученным в ходе эксперимента (см. рис. 4.1, 4.2) видно, что при прочих равных условиях на протекание коррозионного процесса оказывают влияние химический состав стали и АСМ.

4.2. Результаты лабораторного эксперимента

Для практической проверки и апробации, ранее выдвинутых предположений, в течение 2009–2011 гг. авторами монографии были проведены лабораторные испытания ЭС АСМ по обозначенной в подразд. 3.3 разработанной методике.

В ходе эксперимента исследованию было подвергнуто испытанию 504 пластины из стали, покрытые защитными составами. Причем, для обеспечения достоверности и точности получаемых результатов, натурные экспериментальной исследования и замеры по оценке ЭС АСМ, а также лабораторные испытания проводились с трехкратной повторностью. Это позволило экспериментально подтвердить изложенные во разд.2 теоретические разработки и математические модели.

Для проверки критерия оценки антикоррозионных свойств стали – s были проведены испытания образцов Ст. 3 + К-17 и сталь 08 + К-17.

В результате экспериментально было установлено, влияние химического состава стали на процесс коррозии при хранении (см. рис. 4.2).

Для проверки коэффициента оценки качественного состава АСМ – / были проведены испытания экспозиций Ст. 3 + К-17 и Ст 3 + Тектил-МЛ. Это позволило экспериментально установить влияние качественного состава АСМ на защитные свойства покрытия (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Коррозия стали Ст. 3, покрытой АСМ при лабораторных испытаниях: _____ - К-17; ---- - ПВК; -.-.- - Мовиль; -.-.-.- Тектил МЛ

В результате проведения испытаний на образцах сталей Ст. 3 и 08 и марок АСМ К-17, ПВК, Мовиль и Тектил МЛ были получены количественные зависимости и проведены их аппроксимации, которые представлены на рис. 4.1–4.8.

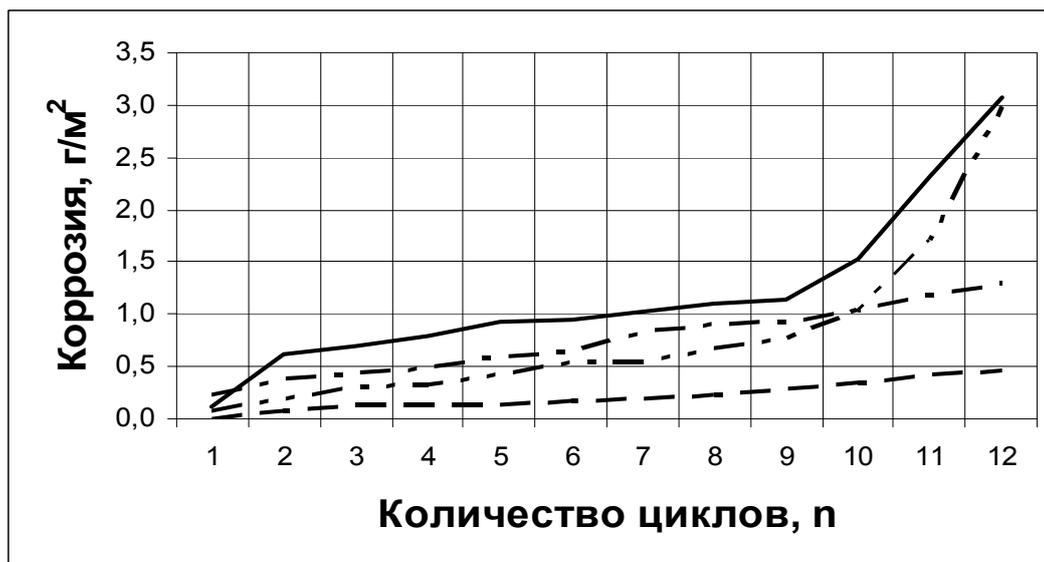


Рис. 4.4. Коррозия стали 08, покрытой АСМ при лабораторных испытаниях: _____ - К-17; ---- - ПВК; -.-.- - Мовиль; -.-.-.- Тектил МЛ

По результатам экспериментов можно сделать заключение о том, что протекание коррозионного процесса при воздействии ТВК по предлагаемой методике описывается полиномом 3-й степени. Это соответствует рекомендациям Г.В. Акимова. В данном случае численное значение показателя коррозии для всех пластин и АСМ экспозиции подвергнутых испытаниям было установлено, что точность оценок $\geq 0,95$. Это позволяет заявлять о достоверности полученных результатов.

Единообразный характер кривых, графически описывающих процесс изменения ЭС АСМ, а также характер количественных зависимостей полученных в ходе эксперимента, говорит о том, что разработанная оригинальная методика универсальна, следовательно, ее можно применять для определения ЭС других марок АСМ и материалах агрегатов МТ. В этом случае, применение определенных марок АСМ и конструкционных материалов ограничивается:

- для производственных целей – их необходимостью для потребителя (отдельными требованиями и заинтересованностью);
- для исследовательской деятельности – целями и задачами исследования.

При анализе графиков рис. 4.3 и 4.4 было подтверждено влияние химического состава стали на процесс коррозии изделия при хранении. Согласно полученным результатам, коррозия сталей покрытых консервационным маслом К-17 достигает значений приведенных в табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4 . 1

Соотношение коррозии сталей Ст. 3 и 08, покрытых маслом К-17 при испытаниях в камере соляного тумана

Продолжительность хранения, мес.	Коррозия, г/м ²		Увеличение коррозии ΔК, %
	Ст. 3	сталь 08	
1	2	3	4
1	0,444	0,186	58,1
2	0,590	0,554	6,1
3	0,713	0,648	9,1
4	0,726	0,741	-2,1
5	1,000	0,879	12,1
6	1,125	0,941	16,4
7	1,167	1,000	14,3
8	1,478	1,100	25,6
9	2,043	1,196	41,5
10	2,664	1,535	42,4
11	3,093	2,329	24,7
12	3,798	3,069	19,2
Среднее значение	1,570	1,182	22,3

Из табл. 4.1 видно, что при коррозионные разрушения стали Ст. 3, достигают больших значений (в среднем на 22,3 %), чем разрушения стали 08. Это свидетельствует о том, что при повышении содержания в стали химических активных веществ на 15,7 % (см. табл. 4.1), коррозионная стойкость, в рассматриваемых условиях, снижается на 22,3 %. Это согласуется с выводами А.Э. Северного о коррозионной стойкости сталей. Согласно этим выводам, коррозионная стойкость зависит от среды, в которой проходит процесс. Величина коррозионной стойкости стали Ст. 3 зависит от коррозионной активности среды. В наиболее агрессивных средах (минеральные и органические удобрения, ядохимикаты) – коррозионная стойкость Ст. 3 выше, чем у конструкционных сталей. При понижении коррозионной активности среды (например, соляной туман) – напротив, коррозионная стойкость стали снижается.

Таким образом, в ходе теоретических и экспериментальных исследований был установлен и подтвержден зависимости, позволяющие прогнозировать изменение коррозионной стойкости сталей при хранении. Целесообразность применения таких зависимостей обоснована снижением затрат на проведение экспериментальных исследований и достаточной точностью расчетов, которые подтверждены экспериментально.

Анализ графиков рис. 4.3 и 4.4 позволил установить влияние состава АСМ на процесс коррозии изделия при хранении. Согласно полученным результатам, коррозия стали Ст. 3 покрытой консервационным маслом К-17 и Тектилом-МЛ достигает значений представленных в табл. 4.2.

Т а б л и ц а 4 . 2

Соотношение коррозии стали Ст. 3 покрытой маслом К-17 и Тектилом-МЛ при испытаниях в камере соляного тумана

Продолжительность хранения, мес.	Коррозия, г/м ²		Увеличение коррозии ΔК, %
	К-17	Тектил-МЛ	
1	2	3	4
1	0,444	0,043	90,3
2	0,590	0,099	83,2
3	0,713	0,176	75,3
4	0,726	0,297	59,1
5	1,000	0,386	61,4
6	1,125	0,472	58,0
7	1,167	0,567	51,4
8	1,478	0,780	47,2
9	2,043	0,881	56,9
10	2,664	1,332	50,0
11	3,093	1,672	45,9
12	3,798	2,488	34,5
Среднее значение	1,570	0,766	59,4

На основании полученных данных установлено, что эксплуатационные свойства АСМ возрастают с увеличением содержания активного вещества. При увеличении содержания активного вещества (оцененного показателем I) на 26 % (см. табл. 4.2), защитные свойства возрастают в среднем на 59,4 %. Следовательно, выбранный оценочный показатель позволяет прогнозировать изменение ЭС АСМ при хранении МТ. Необходимость применения такого показателя при прогнозировании гарантированных сроков применения смазок и хранении МТ также подтверждена экспериментально.

4.3. Результаты исследование влияния климатических факторов на эксплуатационные свойства антикоррозионных смазочных материалов

Выявленные взаимосвязности показателей системы «металл-пленка АСМ» указывают на необходимость более детального изучения процесса и установление зависимостей, описывающих изменение показателя коррозии под действием каждого фактора в отдельности. Для решения этой задачи был проведен лабораторный эксперимент, при котором усиливалось воздействие одного из факторов, а остальные факторы фиксировались (оставались постоянными).

В результате лабораторного эксперимента было установлено, что при увеличении температуры воздуха на 10 °С процесс коррозии замедляется в 2,2 раза (рис. 4.5). Влажность воздуха с увеличением температуры уменьшается по экспоненциальной кривой (рис. 4.6). Увеличение относительной влажности на 10 % приводит к увеличению коррозии в 1,41 раза (рис. 4.7). С ростом атмосферного давления на 306 Па коррозия ускоряется в 1,66 раза (рис. 4.8). Увеличение скорости ветра на 1 м/с приводит к ускорению коррозии металлов в 1,52 раза (рис. 4.9). Повышение концентрации поверхностно-активных веществ в защитной смазке в 1,2 раза снижает коррозию в 0,88 раза (рис. 4.10). В ходе экспериментальных исследований разных марок сталей было подтверждено, что с увеличением в сталях легирующих добавок процесс коррозии замедляется (рис. 4.11).

В ходе экспериментальных исследований установлено, что при повышении температуры влажность воздуха снижается, это приводит к замедлению коррозии, но в тоже время ведет к высушиванию смазки, ее растрескиванию и в дальнейшем приводит к увеличению показателя коррозии из-за конденсации влаги на металле. При отрицательных температурах происходит вымораживание воздуха и влага выпадает на поверхность детали в виде снега (инея), что также значительно интенсифицирует процесс коррозии.

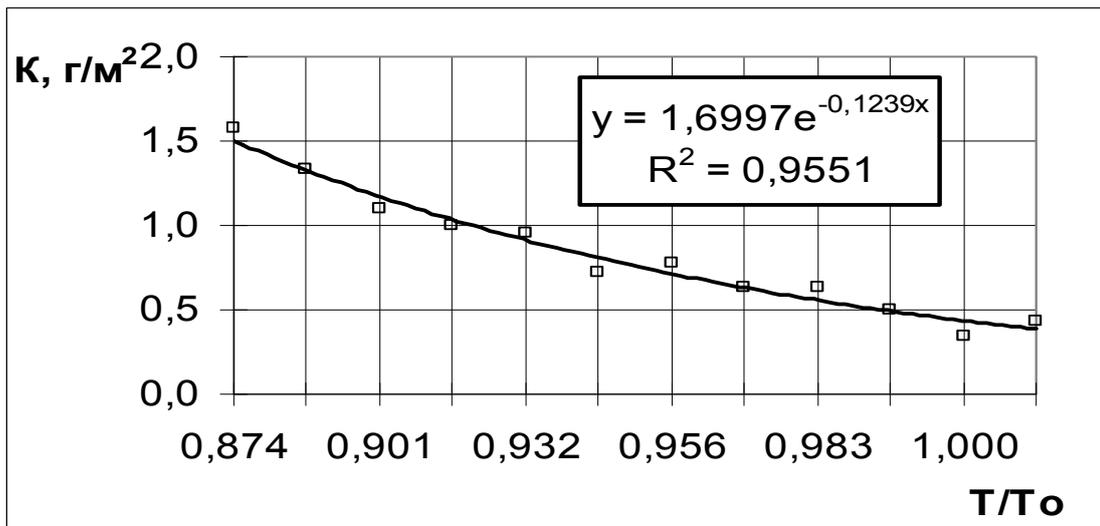


Рис. 4.5. Зависимость показателя коррозии металла от температуры воздуха

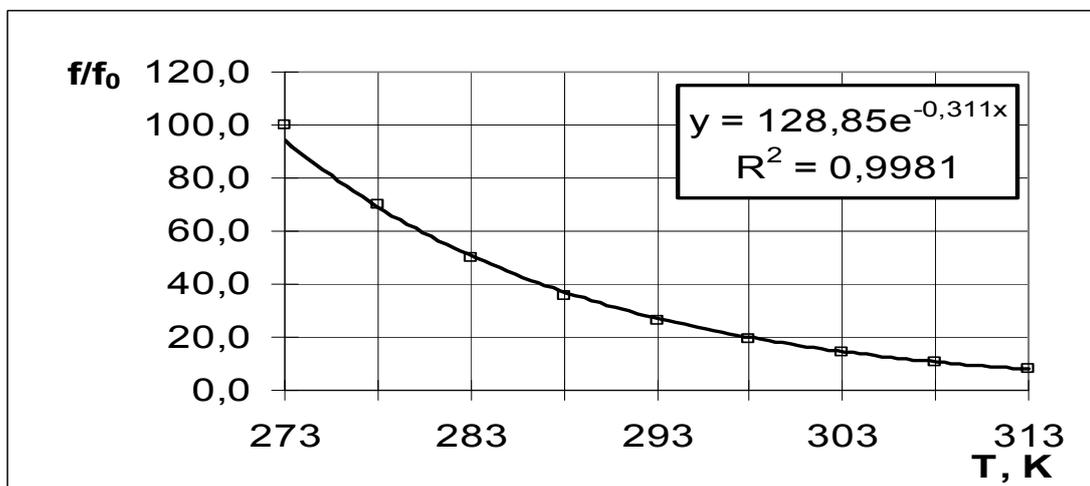


Рис. 4.6. Зависимость относительной влажности воздуха от температуры воздуха

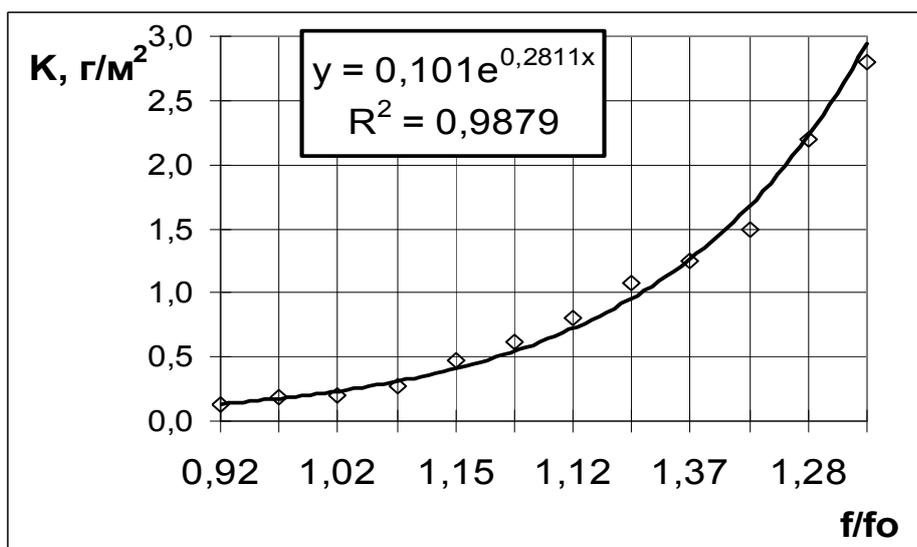


Рис. 4.7 Зависимость показателя коррозии металла от относительной влажности воздуха

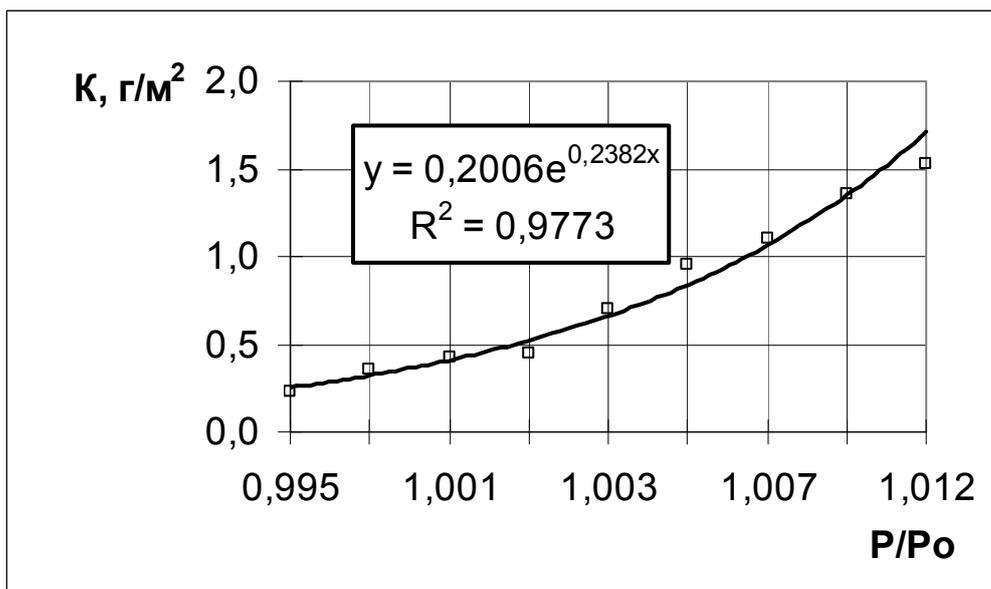


Рис. 4.8. Зависимость показателя коррозии металла от атмосферного давления

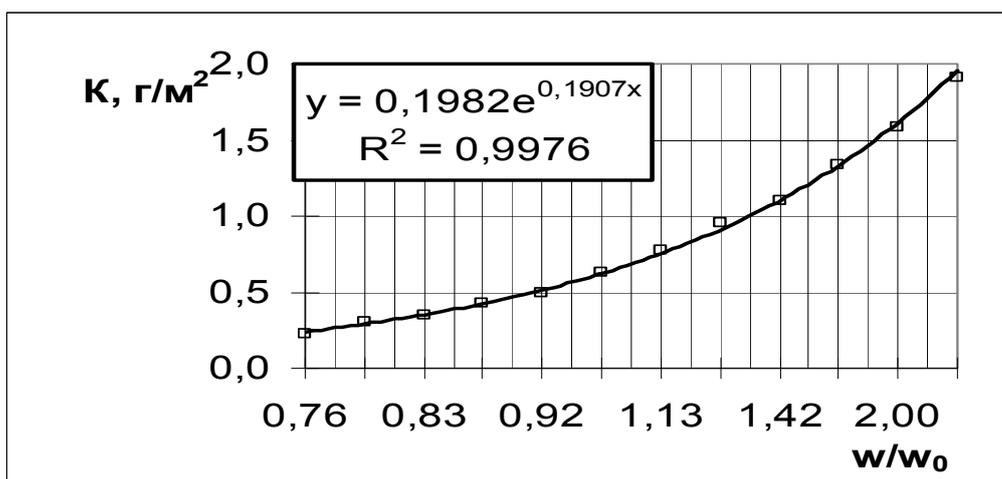


Рис. 4.9. Зависимость показателя коррозии металла от скорости ветра

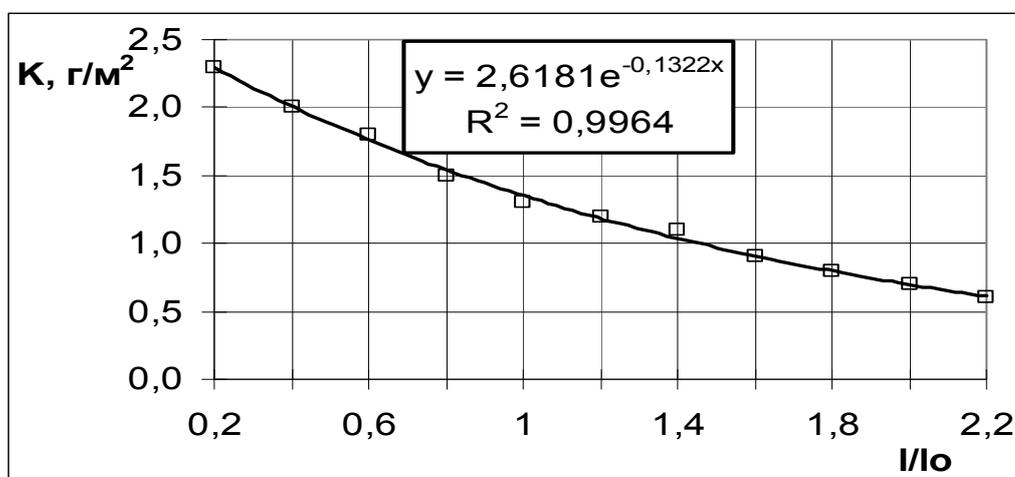


Рис. 4.10. Зависимость показателя коррозии металла от изменения концентрации поверхностно активных веществ в смазке

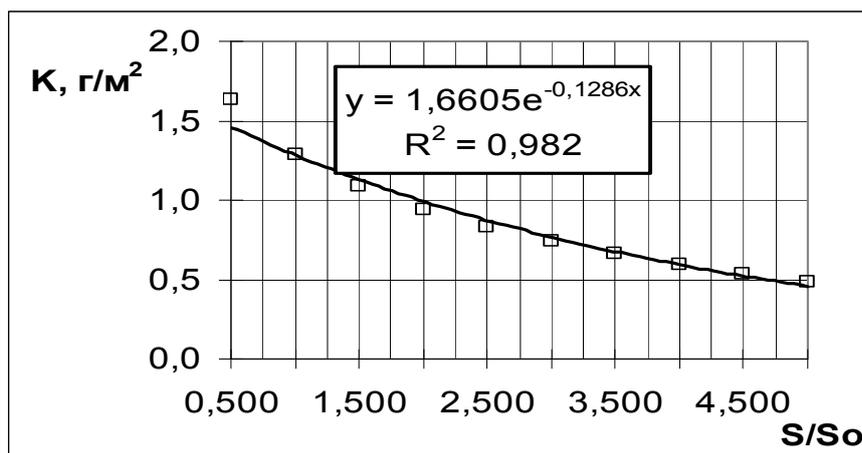


Рис. 4.11. Зависимость показателя коррозии металла от изменения концентрации легирующих добавок в сталях

При увеличении скорости ветра происходит интенсивное высушивание смазки и механическое ее разрушение, что также увеличивает показатель коррозии.

Увеличение солнечной радиации приводит к увеличению температуры окружающей среды и к появлению областей с высоким давлением, вследствие этого, возникает движение воздушных масс, при этом, чем больше перепад давления между низкой и высокими областями, тем интенсивнее возрастает скорость движения воздуха. Движение воздуха усиливает конвекцию, а конвекционный процесс переноса теплоты приводит к высушиванию защитной смазки, удалению из нее влаги, растрескиванию пленки покрытия. Следствием чего является снижение защитных свойств АСМ.

4.4. Установление количественной зависимости оценивающей величину атмосферной коррозии

В результате экспериментальных исследований в умеренной климатической зоне была получена количественная зависимость, оценивающая влияние различных факторов на интенсивность атмосферной коррозии по величине K :

$$K = \left[\begin{aligned} &2854,43 \cdot \exp\left(-10,744 \cdot \left[\frac{T}{T_0}\right]\right) + 0,003 \cdot \exp\left(4,587 \cdot \left[\frac{\varphi}{\varphi_0}\right]\right) + \\ &+ 0,0054 \cdot \exp\left(1,142 \cdot \left[\frac{w}{w_0}\right]\right) - 0,009 \cdot \exp\left(-0,245 \cdot \left[\frac{S}{S_0}\right]\right) - \\ &- 0,003 \cdot \exp\left(-1,412 \cdot \left[\frac{\ell}{\ell_0}\right]\right) + 0,006 \cdot \exp\left(1,212 \cdot \left[\frac{P}{P_0}\right]\right) \end{aligned} \right] - 0,08, \text{ г/м}^2, \quad (4.1)$$

где T , φ , P , w – соответственно среднемесячные значения за рассматриваемый период: температуры воздуха, K , относительной влажности, %,

атмосферного давления, кПа и скорости ветра, м/с; $T_0 = 278,34$ К, $\varphi_0 = 67,92$ %, $P_0 = 99,17$ кПа, $w_0 = 4,07$ м/с – соответственно среднегодовые значения температуры воздуха, относительной влажности, атмосферного давления, и скорости ветра, м/с (для Пензы); s и $s_0 = 1$ – соответственно безразмерные коэффициенты учитывающие химический состав контрольного и эталонного (Ст. 3) образцов стали; l и $l_0 = 0,2$ – соответственно безразмерные коэффициенты учитывающие наличие поверхностно-активных веществ в контрольном и эталонном (К-17) образце смазки.

Отрицательный знак (минус) в уравнении (4.1) перед численными значениями экспонент от симплексов различных факторов указывает на их влияние, на замедление процессов, а плюс на ускорение коррозии.

Для расчета величины показателя атмосферной коррозии стали (без защитного покрытия) получена зависимость:

$$K = 1,19 + 8694 \cdot K' / K_3, \text{ г/м}^2, \quad (4.2)$$

$$K' = \left[\begin{array}{l} 2854,43 \cdot \exp\left(-10,744 \cdot \left[\frac{T}{T_0}\right]\right) + 0,003 \cdot \exp\left(4,587 \cdot \left[\frac{\varphi}{\varphi_0}\right]\right) + \\ + 0,0054 \cdot \exp\left(1,142 \cdot \left[\frac{\omega}{\omega_0}\right]\right) - 0,009 \cdot \exp\left(-0,245 \cdot \left[\frac{S}{S_0}\right]\right) + \\ + 0,006 \cdot \exp\left(1,212 \cdot \left[\frac{P}{P_0}\right]\right) \end{array} \right], \text{ г/м}^2,$$

где K_3 – величина показателя коррозии эталонного образца стали (Ст. 3).

4.5. Определение количественных показателей, характеризующих уровень защитных свойств антикоррозионных смазочных материалов

Для предприятий, эксплуатирующих АТ и СХТ необходимо определить продолжительность периодов хранения, например для выбора:

- продолжительности гарантированного хранения;
- наиболее приемлемой марки АСМ; составления плана постановки машин на хранение;
- плана проведения технического обслуживания во время хранения;
- определения этапа проведения возобновления защитного покрытия.

Для достижения обозначенных целей можно использовать:

- результаты экспериментальных исследований,
- теоретическую модель коррозионного процесса металлов под слоем защитного покрытия и анализ убыли массы пленки защитного покрытия,

основанную на разработанной профессором В.В. Салминым «Энтропийной теории старения смазки».

Как было установлено ранее одним из основных факторов, оказывающих влияние на замедление скорости протекание атмосферной коррозии, является толщина защитного слоя покрытия и величина физико-химических свойств, которыми обладает АСМ. При этом величина толщины защитного слоя ($\delta_{\text{см}}$) зависит от массы АСМ, нанесенного на изделие ($m_{\text{см}}$), плотности АСМ ($\rho_{\text{см}}$) и площади поверхности детали, покрываемой АСМ ($S_{\text{д}}$). Эта зависимость может быть представлена выражением вида:

$$\delta_{\text{см}} = \frac{m_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}} \cdot S_{\text{д}}}, \quad (4.3)$$

В то же время известно, что величина коррозии металла оценивается показателем K (кг/м²), который определяется из выражения:

$$K = \frac{m_{\text{м}}''}{S_{\text{д}}}, \quad (4.4)$$

где $m_{\text{м}}''$ – масса металла прокорродировавшего в процессе атмосферной коррозии, кг.

Если предположить что между величиной прокорродировавшего металла и толщиной АСМ имеется математическая взаимосвязь, то, используя выражения (4.3) и (4.4), можно записать уравнение связи этих параметров, имеющее вид:

$$\delta_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{см}} = \frac{m_{\text{см}}}{S_{\text{д}}} = \beta \cdot K = \beta \cdot \frac{m_{\text{м}}''}{S_{\text{д}}}, \quad (4.5)$$

где β – коэффициент пропорциональности между убылью массы АСМ и массой прокорродировавшего металла, из которого изготовлено изделие.

Исходя из уравнения (4.5) можно сделать запись, что

$$m_{\text{см}} = \beta \cdot m_{\text{м}}''. \quad (4.6)$$

Таким образом, зная массу смазки нанесенной на поверхность детали и коэффициент пропорциональности β можно прогнозировать величину коррозии металла, используя выражение

$$m_{\text{м}}'' = \frac{m_{\text{см}}}{\beta}. \quad (4.7)$$

Исследованиями В.М. Мартынова была установлена взаимосвязь убыли массы пленки защитного покрытия и массы прокорродировавшего металла, которая зависит от коэффициентов α и k . Зная из экспериментальных исследований, что с уменьшением защитного смазочного слоя

происходит увеличение количества металла участвующего в процессе коррозии и, подставив зависимости (4.5) и (4.6) в уравнение В.М. Мартынова получим:

$$m_M'' = \frac{m_{CM}}{\beta} = \frac{m_{CM}}{\alpha \cdot k}, \quad (4.8)$$

где α и k – эмпирические коэффициенты В.М. Мартынова.

Используя экспериментальные данные о протекании коррозионного процесса под слоем консервационного масла К-17, методику обработки метрологической информации и статистические данные по погодным условиям можно провести исследование влияния убыли массы пленки защитного покрытия на массу прокорродировавшего металла. Минимально необходимое количество масла К-17 для защиты стали Ст. 3 рассчитывается из зависимостей (2.1) и (2.2) подразд. 2.2. Данные для расчета количества масла, необходимого для хранения двигателя в течение одного месяца представлены в табл. 4.3.

Т а б л и ц а 4 . 3

Данные для расчета количества масла.

Название, обозначение и размерность показателя	Численные значения показателя
1	2
Время хранения, t_{xp} , мес.	1,0
Плотность смазки, ρ_{CM} , кг/м ³	955
Площадь детали, S_d , м ²	0,00549
Свободный член, a_0	0,001
Начальная температура, T_0 , К	273,15
Универсальная газовая постоянная, R , Дж/кг*К	8,314
Молекулярная масса смазки, μ_{CM} , моль	370,2
Теплоемкость смазки, c_{CM} , кДж/кг*К	2,72
Молярный объем, V_M , м ³ /моль	22,4
Атмосферное давление, Па	
P ночь нач.	101666,7
P ночь кон.	101626,7
P день нач.	101600,0
P день кон.	101493,3
P_{cp}	101300,0
Температура, К	
T ночь нач.	280,65
T ночь кон.	273,55
T день нач.	280,45
T день кон.	283,05
Скорость ветра, $V_{возд}$, м/с	4,0
Плотность воздуха, $\rho_{возд}$, кг/м ³	1,295

$$m_{\text{см}}^{(1)} = \frac{1,0 \cdot 955 \cdot 0,00549 \cdot 0,001 \cdot \sqrt{273,15}}{24 \cdot 3600 \cdot 12 \cdot 60} \cdot \exp\left(\frac{1,0}{24 \cdot 3600 \cdot 12 \cdot 60 \cdot 8,314 \cdot 370,2}\right) \times$$

$$\times \left(8,314 \cdot 370,2 \cdot \ln \frac{101666,7}{101626,7} + 2,72 \cdot 22,4 \cdot \ln \frac{280,45}{273,55} + 8,314 \cdot 370,2 \cdot \ln \frac{101600,0}{101493,3} + 2,72 \cdot 22,4 \cdot \ln \frac{280,65}{283,05}\right) + 2 \cdot \frac{101300 \cdot 955 \cdot 0,052752^2 \cdot 1,0}{24 \cdot 3600 \cdot 1,295 \cdot 4,0 \cdot 12 \cdot 60};$$

$$m_{\text{см}} = 0,0001 \cdot \exp(5,079 \cdot 10^{-12} (1,246 + 1,518 + 3,325 - 0,519)) + 0,000 = 0,0001.$$

Результаты этого исследования приведены в табл. 4.4.

Т а б л и ц а 4 . 4

Данные по убыли массы масла К-17 и коррозии стали Ст. 3*
в зависимости от времени хранения

Время хранения, мес.	Убыль массы защитного покрытия, кг	Коррозия стали Ст. 3, г/м ²
1	2	3
1	0,087	0,135
2	0,174	0,183
3	0,261	0,194
4	0,348	0,268
5	0,435	0,476
6	0,522	0,611
7	0,609	0,811
8	0,696	1,080
9	0,783	1,253
10	0,870	1,489
11	0,957	2,191
12	1,044	2,797

Примечание. * Масса убыли защитного покрытия рассчитана по теоретической зависимости (2.56).

Полученные значения изменения массы защитной смазки, и изменения массы стали, полученное по уравнению В.М. Мартынова, показывают, что между ними существует практически линейная взаимосвязь.

На основании данных, приведенных в таблице, построим графики изменения массы убыли защитной смазки и массы стали, проржавевшей в течение 12-и месяцев хранения, в декартовых координатах (рис. 4.12).

В соответствии с разработанной количественной математической моделью, рассчитаем коррозию сталей, покрытых исследуемыми АСМ. Результаты расчетов представлены в табл. 4.5 и приложении.

Для оценки погрешности и адекватности модели проведены проверочные расчеты (табл. 4.6–4.9).

Из проведенных расчетов видно, что разработанная математическая модель позволяет рассчитать:

- коррозию сталей под пленкой АСМ со средней погрешностью 8,24 %;
- время хранения стальных деталей МТ – 0,07 %.

Результаты, полученные расчетом в соответствии математической моделью, воспроизводимы и адекватны. Условия, воспроизводимости (3.4) и адекватности выполняются.

Т а б л и ц а 4 . 5

Данные по расчету коррозии стали Ст. 3, покрытой маслом К-17 и продолжительности хранения.

Экспериментальные значения		Расчетные значения		Погрешность, %	
Время хранения t , мес.	Коррозия K_3 , г/м ² .	Коррозия K_p , г/м ² .	Время хранения t_p , мес.	Δt	ΔK
1	2	3	4	5	6
1,0	0,135	0,135	1,0	0,00	0,00
2,0	0,183	0,177	2,0	0,07	3,28
3,0	0,194	0,234	3,0	0,29	20,62
4,0	0,268	0,310	4,0	0,21	15,67
5,0	0,476	0,411	5,0	0,11	13,66
6,0	0,611	0,545	6,0	0,03	10,80
7,0	0,811	0,722	7,0	0,03	10,97
8,0	1,080	0,957	8,0	0,00	11,39
9,0	1,253	1,268	9,0	0,01	1,20
10,0	1,489	1,680	10,0	0,02	12,83
11,0	2,191	2,227	11,0	0,04	1,64
12,0	2,797	2,951	12,0	0,04	5,51

Т а б л и ц а 4 . 6

Оценка погрешности и адекватности математической модели при расчете коррозии $N = 12$, $k = 2$, $B = 7$, $f_{ад} = 5$, $G_T = 0,541$, $F_T = 3,11$

№ п/п	Значение показателя коррозии, г/м ²			S^2
	K_3	K_p	$\langle K \rangle$	
1	2	3	4	5
1	0,135	0,135	0,135	0,000
2	0,183	0,177	0,180	0,000
3	0,194	0,234	0,214	0,001
4	0,268	0,310	0,289	0,001

Окончание табл. 4.6

1	2	3	4	5
5	0,476	0,411	0,444	0,002
6	0,611	0,545	0,578	0,002
7	0,811	0,722	0,767	0,004
8	1,080	0,957	1,019	0,008
9	1,253	1,268	1,261	0,000
10	1,489	1,680	1,585	0,018
11	2,191	2,227	2,209	0,001
12	2,797	2,951	2,874	0,012
	$\sum S^2$	0,048	$\sum S^2/12$	0,004
	$S_{(y)}^2$	0,0020156	S_{\max}^2	0,018
	$S_{ад}^2$	0,0008		
	G_p	0,377	F_p	2,50

4.6.1. Оценка погрешности, адекватности и ускорения коррозионного процесса в условиях лабораторных испытаний

Коэффициенты ускорения испытаний в лабораторных условиях позволяют значения коррозии образцов без проведения длительных натурных испытаний. Коэффициент ускорения определяется по зависимости:

$$k_y = \frac{K_{cp}^л}{K_{cp}^н}, \quad (4.9)$$

где $K_{cp}^н$ – средняя коррозия образцов в натуральных условиях за 12 мес. испытаний, г/м²; $K_{cp}^л$ – средняя коррозия образцов в лабораторных условиях за 12 циклов испытаний, г/м².

Так как соотношение времени натурального и лабораторного эксперимента $t_{xp}/n=12/12$ дает единицу с размерностью [мес./n], нет необходимости использовать дополнительные уточняющие коэффициенты.

Используя полученные результаты, рассчитаем коэффициент ускорения коррозии контрольных образцов стали и АСМ.

$$k_y^{Ст3+К17} = \frac{3,798}{2,797} = 1,36.$$

То есть, при испытаниях Ст. 3 + К-17 один цикл испытаний соответствует 1,36 мес. открытого хранения образцов. Коэффициенты ускорения испытаний для остальных экспозиций приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Коэффициенты ускорения

Экспозиция	Коэффициент ускорения	Экспозиция	Коэффициент ускорения
Ст 3 + К-17	1,36	08 + К-17	1,02
Ст 3 + ПВК	0,50	08 + ПВК	0,52
Ст 3 + Мовиль	0,99	08 + Мовиль	0,91
Ст 3 + Тектил МЛ	1,03	08 + Тектил МЛ	1,11

Таблица 4.8

Оценка погрешности и адекватности натуральных и лабораторных испытаний

$$N = 12, k = 2, B = 7, f_{ад} = 5, G_T = 0,541, F_T = 3,11$$

№ п/п	Значение показателя коррозии, г/м ²			S ²
	K _с	K _л	⟨K⟩	
1	2	3	4	5
Ст.3 + К-17				
1	0,326	0,257	0,291	0,002
2	0,434	0,341	0,388	0,004
3	0,524	0,412	0,468	0,006
4	0,534	0,420	0,477	0,007
5	0,735	0,578	0,657	0,012
6	0,827	0,651	0,739	0,016
7	0,858	0,675	0,767	0,017
8	1,087	0,855	0,971	0,027
9	1,502	1,182	1,342	0,051
10	1,959	1,541	1,750	0,087
11	2,274	1,789	2,032	0,118
12	2,793	2,197	2,495	0,178
	$\sum S^2$	0,525	$\sum S^2/12$	0,04373
	$S_{(y)}^2$	0,0218667	S_{max}^2	0,178
	$S_{ад}^2$	0,00875		
	G _p	0,339	F _p	2,50

Таблица 4.9

Оценка погрешности и адекватности расчетных значений и данных лабораторных испытаний $N = 12, k = 2, B = 7, f_{ад} = 5, G_T = 0,541, F_T = 3,11$

№ п/п	Значение показателя коррозии, г/м ²			S ²
	K _с	K _л	⟨K⟩	
1	2	3	4	5
Ст.3 + К-17				
1	0,135	0,257	0,196	0,007
2	0,177	0,341	0,259	0,013
3	0,234	0,412	0,323	0,016
4	0,310	0,420	0,365	0,006
5	0,411	0,578	0,495	0,014

Окончание табл. 4.9

1	2	3	4	5
6	0,545	0,651	0,598	0,006
7	0,722	0,675	0,699	0,001
8	0,957	0,855	0,906	0,005
9	1,268	1,182	1,225	0,004
10	1,680	1,541	1,611	0,010
11	2,227	1,789	2,008	0,096
12	2,951	2,197	2,574	0,284
	$\sum S^2$	0,462	$\sum S^2/12$	0,03852
	$S_{(y)}^2$	0,0192579	S_{\max}^2	0,284
	$S_{\text{ад}}^2$	0,00770		
	G_p	0,531	F_p	2,50

Выводы

1. В ходе экспериментальных исследований установлено, что изменение показателя коррозии от времени хранения имеет экспоненциальный характер. Наибольшее влияние на скорость процесса коррозии оказывает температура окружающей среды. При повышении температуры процесса на 10 °С скорость процесса атмосферной коррозии снижается в 2,2 раза. Увеличение относительной влажности воздуха на 10 % приводит к ускорению коррозии в 1,41 раза. Повышение атмосферного давления на 306 Па ускоряет коррозию в 1,66 раза, а увеличение скорости ветра на 1 м/с приводит к повышению коррозии металлов в 1,52 раза. Установлено, что предельный уровень коррозии стали в течение года не должен превышать 1 г/м².

2. Получено, что сравнительные оценки адекватности математических моделей старения АСМ и коррозии стали под пленкой покрытия с результатами натуральных и лабораторных экспериментов – имеет относительную ошибку 0,59 % и доверительную вероятность 97,45 %; коррозии стали с результатами натуральных и лабораторных экспериментов 3,66 и 99,82 % соответственно.

5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1. Практическая реализация результатов исследований

Результаты экспериментальных исследований указывают на различия эксплуатационных свойств АСМ. Вследствие чего при хранении МТ требуется провести выбор марки АСМ и определить гарантированный срок обеспечения сохраняемости. Гарантированный срок сохраняемости можно рассчитать, применив математическую модель изменения свойств АСМ, разработанную во второй главе.

5.1.1. Консервация двигателя ЯМЗ-238 зерноуборочного комбайна КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS12»

В связи с тем, что наиболее характерным примером для воздействия атмосферной коррозии является мобильная сельскохозяйственная техника, которая хранится чаще всего на открытых площадках и работает сезонно, рассмотрим процесс коррозионных разрушений стали 45Х [85], применяемой для изготовления гильз цилиндров двигателей ЯМЗ-238 зерноуборочного комбайна КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS12» и другой сельскохозяйственной техники. При расчете примем, что цилиндропоршневая группа двигателя консервируется маслом К-17.

Определение критерия оценки антикоррозионных свойств стали «S» проведем в соответствии с исходными данными для расчета, представленными в табл. 5.1.

Значение коэффициента оценки качественного состава АСМ – L , примем 0,160.

Определим показатель коррозии стали 45Х покрытой маслом К-17 (данные расчетов представлены в табл. 5.2).

Т а б л и ц а 5 . 1

Качественный состав сталей Ст. 3 и 45Х

Марка	Химический состав сталей, %										
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Всего
Ст. 3	0,220	0,300	0,650	0,300	0,050	0,040	0,300	0,008	0,300	0,080	2,248
Сталь 45Х	0,450	0,270	0,650	0,300	0,035	0,035	1,000	0,000	0,300	0,000	3,040

По зависимостям (2.28) и (2.36) подразд. 2.2 рассчитаем минимально необходимое количество масла К-17 для консервации двигателя. Данные для расчета количества масла, необходимого для хранения двигателя в течение одного месяца представлены в табл. 5.3.

$$K = \left[\begin{array}{l} 2854,43 \cdot \exp\left(-10,744 \cdot \left[\frac{278,15}{278,34_0}\right]\right) + 0,003 \cdot \exp\left(4,587 \cdot \left[\frac{55}{67,92}\right]\right) + \\ + 0,0054 \cdot \exp\left(1,142 \cdot \left[\frac{4}{4,07}\right]\right) - 0,009 \cdot \exp\left(-0,245 \cdot \left[\frac{3,04}{2,248}\right]\right) - \\ - 0,003 \cdot \exp\left(-1,412 \cdot \left[\frac{0,16}{0,16}\right]\right) + 0,006 \cdot \exp\left(1,212 \cdot \left[\frac{101,3}{99,17}\right]\right) \end{array} \right] - 0,08 = 0,135.$$

Т а б л и ц а 5.2

Показатель коррозии гильзы цилиндра, покрытого маслом К-17

Время хранения, мес.	Коррозия, г/м ²	Время хранения, мес.	Коррозия, г/м ²
1	0,135	7	0,290
2	0,135	8	0,788
3	0,170	9	0,819
4	0,191	10	0,754
5	0,302	11	0,609
6	0,247	12	0,666

Т а б л и ц а 5.3

Данные для расчета количества масла

Название, обозначение и размерность показателя	Численные значения
1	2
Время хранения $t_{\text{хр}}$, мес.	1,0
Плотность смазки $\rho_{\text{см}}$, кг/м ³	955
Площадь детали $S_{\text{д}}$, м ²	0,052752
Свободный член a_0	0,001
Начальная температура T_0 , К	273,15
Атмосферное давление $P_{\text{ср}}$, Па	101300,0
Скорость ветра $V_{\text{возд}}$, м/с	4,0
Плотность воздуха $\rho_{\text{возд}}$, кг/м ³	1,295

$$m_{\text{см}}^{(1)} = \frac{1,0 \cdot 955}{24 \cdot 3600 \cdot 12 \cdot 60} \cdot (0,05752 \cdot 0,001 \cdot \sqrt{273,15} + 2 \cdot \frac{101300 \cdot 0,052752^2}{24 \cdot 3600 \cdot 1,295 \cdot 4,0}) = 0,032.$$

Приняв исходные данные описывающие изменения погодных условий в течение других месяцев хранения, рассчитаем массы АСМ, необходимые для более продолжительного хранения (табл. 5.4).

Проведенный расчет указывает на то, что для консервации одного цилиндра двигателя необходимо 40 г масла.

Определим коррозию гильзы цилиндра без применения защитного покрытия. Данные расчетов представлены в табл. 5.5.

Определим срок возобновления покрытия (переконсервации) цилиндра.

Т а б л и ц а 5 . 4

Масса масла для хранения двигателя СМД-17 (из расчета на единицу)

Время хранения, мес.	Масса АСМ, кг	Время хранения, мес.	Масса АСМ, кг
1	0,003	7	0,023
2	0,006	8	0,026
3	0,010	9	0,029
4	0,013	10	0,032
5	0,016	11	0,035
6	0,019	12	0,039

$$K' = 1,19 + 8694 \cdot 0,216' / 0,135 = 11,1,$$

$$K' = \left[\begin{aligned} &2854,43 \cdot \exp\left(-10,744 \cdot \left[\frac{278,15}{278,34}\right]\right) + 0,003 \cdot \exp\left(4,587 \cdot \left[\frac{55}{67,92}\right]\right) + \\ &+ 0,0054 \cdot \exp\left(1,142 \cdot \left[\frac{4}{4,07}\right]\right) - 0,009 \cdot \exp\left(-0,245 \cdot \left[\frac{3,04}{2,248}\right]\right) + \\ &+ 0,006 \cdot \exp\left(1,212 \cdot \left[\frac{101,3}{99,17}\right]\right) \end{aligned} \right] = 0,216.$$

Т а б л и ц а 5 . 5

Показатель коррозии гильзы цилиндра без консервации

Время хранения, мес.	Коррозия, г/м ²	Время хранения, мес.	Коррозия, г/м ²
1	11,1	7	28,3
2	11,3	8	76,2
3	11,9	9	92,6
4	12,7	10	123,5
5	15,0	11	118,4
6	16,5	12	143,6



Рис. 5.1. График определения срока переконсервации цилиндров:
 _____ – убыль массы защитного покрытия; - - - - - – увеличение коррозии гильз цилиндра

Как видно из графика (рис. 5.1), при обеспечении гарантированной сохраняемости МТ при хранении в течение требуемого времени, переконсервация двигателя не потребуется.

5.1.2. Консервация рабочих орудий снегоуборочных машин КО-713 и НО 79-1 и дисков дискатора БДМ 3x4 ПШК марок Bellota БДМ 560-6 (Испания) и БДМ Р33.1905-22 (Рубцовск)

5.1.2.1. Теоретические положения проведения технико-экономической оценки консервации

Согласно РД 37.009.015-98 (с изм. №№ 1, 2, 3, 4, 5, 6) износ техники за определенный отчетный период рассчитывается следующим образом.

$$I_0 = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \cdot 100\%, \quad (5.1)$$

где I_0 – величина износа оцениваемого АМТС, %; C_0 – стоимость новой СХТ на момент оценки, руб.; C_t – стоимость оцениваемого объекта на момент оценки, руб.

Для расчета экономической эффективности использования АСМ необходимо применить следующие допуски РД, а именно:

- при расчете величины износа применяются эмпирические зависимости, позволяющие рассчитать износ объекта с учетом его возраста, срока службы, пробега и других временных факторов;
- в случае если не определен конкретный вид износа, то «по умолчанию» подразумевается естественный физический износ, определяется следующим образом:

$$I = I_{\text{физ.рец.}} = I_{2A} \times D_{\text{ф}} + I_{1A} \times P_{\text{ф}}, \quad (5.2)$$

где I_{2A} – годовая норма амортизационных отчислений, %; $D_{\text{ф}}$ – фактический срок службы, лет; I_{1A} – покилометровая норма амортизационных отчислений; $P_{\text{ф}}$ – пробег фактический, км.

И приравняв уравнения (5.1) и (5.2), получим потерю стоимости (убыток) АМТС после эксплуатации в течение какого-либо определенного периода:

$$\begin{aligned} C_{n(y)} = C_0 - C_t = C_0 - C_0 + \frac{C_0 \cdot (I_{2A} \cdot D_{\text{ф}} + I_{1A} \cdot P_{\text{ф}})}{100} = \\ = \frac{C_0 \cdot (I_{2A} \cdot D_{\text{ф}} + I_{1A} \cdot P_{\text{ф}})}{100}, \end{aligned} \quad (5.3)$$

где $I_{2И}$ – износ вследствие коррозии поверхности металлоизделия и потери механических свойств, $I_{2A} = P_{\text{к}} + P_{\text{мс}}$;

$$\Pi_k = \frac{A_n \cdot K \cdot 100}{M \cdot 100}; \quad (5.4)$$

здесь A_n – площадь покрываемой поверхности, m^2 ; K – значение коррозии (износа) – определено экспериментально, $г/м^2$ ($кг/м^2$); M – масса узла, агрегата, $кг$;

$$\Pi_{mc} = C_0 \cdot \Delta Ц \cdot \Delta M_c; \quad (5.5)$$

здесь $\Delta Ц$ – доля механических свойств в стоимости материала узла, агрегата, % ($\Delta Ц = 6,8\%$ – для сталей обычного качества); ΔM_c – изменение механических свойств материала узла, агрегата, % (определяется по исследованиям А.Э. Северного).

5.2. Экономическая эффективность реализации результатов исследования

Для производственных предприятий крайне важно оценить экономическую целесообразность применения того или иного защитного состава. Для этого необходимо сопоставить величину ущерба от коррозии и суммарные затраты на проведение консервации техники.

Ущерб от коррозии выражается в денежных средствах, затраченных на ремонт или замену деталей, узлов и агрегатов МТ, вышедших из строя в результате воздействия атмосферной коррозии. Сезонность эксплуатации наиболее ярко выражена у уборочной техники (комбайнов). Как правило, комбайны эксплуатируются достаточно короткое время – около 60 дней, а остальное время хранятся на стоянках и машинных дворах предприятий АПК. На примере двигателя ЯМЗ-238, рассчитаем коррозионное разрушение гильз цилиндров (сталь 45Х), которое произойдет при хранении техники без проведения мероприятий временной противокоррозионной защиты. Для расчета используем полученные экспериментальные данные по коррозии сталей Ст. 3 и 08 без покрытия защитными материалами (табл. 5.6).

Для расчета коррозионного разрушения гильзы цилиндра двигателя необходимо использовать показатель проницаемости (питтинга). Пересчет от рассчитанного показателя коррозии к проницаемости проводится по формуле (2.2). Учитывая, что геометрические размеры цилиндропоршневой группы задаются в миллиметрах, расчет удобней производить также в миллиметрах.

Рассчитаем проницаемость коррозии (мм) в течение первого месяца хранения:

$$\Pi_1 = \frac{0,0000111}{0,00786} = 0,00141.$$

Аналогично рассчитываются проникаемость за следующие месяца хранения.

Питтинг увеличивает диаметр гильзы цилиндра. Показатель K непосредственно указывает количество металла, разрушенного коррозией, при этом его числовое значение является интегральным, то есть указывающим количество металла разрушенного коррозией по всей поверхности детали. Следовательно, полученное значение – $\Pi_1 = 0,0005$ мм, указывает среднее проникновение коррозии (увеличение диаметра гильзы) по всей рабочей поверхности.

Увеличение диаметра гильзы рассчитаем по зависимости:

$$D_{ki} = D_p + 2 \cdot \Pi_i, \quad (5.7)$$

где D_{ki} – диаметр цилиндра, увеличенного в результате питтинга, мм;
 D_p – диаметр гильзы на данный момент эксплуатации, мм.

Таким образом, в течение первого месяца хранения диаметр гильзы увеличится, и будет составлять:

$$D_{k1} = 130,0000 + 2 \cdot 0,00141 = 130,002 \text{ мм.}$$

Данные по расчету проникаемости коррозии в течение 1 года хранения представлены в табл. 5.6.

Т а б л и ц а 5 . 6

Коррозионные разрушения гильзы цилиндра

Время хранения, мес.	Показатели		
	Коррозия, г/мм ²	Проницаемость, мм	Диаметр, мм
1	2	3	4
1	0,0000111	0,00282	130,00282
2	0,0000113	0,00287	130,00287
3	0,0000119	0,00302	130,00302
4	0,0000127	0,00324	130,00324
5	0,0000150	0,00381	130,00381
6	0,0000165	0,00420	130,00420
7	0,0000283	0,00719	130,00719
8	0,0000762	0,01940	130,01940
9	0,0000926	0,02357	130,02357
10	0,0001235	0,03143	130,03143
11	0,0001184	0,03013	130,03013
12	0,0001436	0,03653	130,03653

Размерные группы гильз цилиндров [83–85] представлены к табл. 5.7.

Данные табл. 5.4 и 5.5 указывают на то, что качественное изменение поверхности гильзы в результате коррозии приводит к увеличению внутреннего диаметра. Увеличение диаметра гильзы при хранении в течение 10 мес. достигает значения, при котором она перестает соответствовать своей

размерной группе. В этом случае требуется замена цилиндропоршневой группы.

Т а б л и ц а 5 . 7

Размерные группы гильз цилиндров

Обозначение размерной группы	Внутренний диаметр, мм
AAAA (D)	$130_{+0,030}^{+0,040}$
AAA (C)	$130_{+0,020}^{+0,030}$
AA (B)	$130_{+0,010}^{+0,020}$
A (A)	$130^{+0,010}$

Ущерб, вызванный коррозионными разрушениями, это затраты на ремонт двигателя – приобретение и замену деталей ЦПГ. Отметим, что при хранении законсервированного дизеля значение коррозии составляет $K = 0,666 \text{ г/м}^2$. В соответствии с проведенным расчетом (см. табл. 5.4), можно сделать вывод об отсутствии коррозионных поражений, вызывающих необходимость проведения ремонта.

Затраты на ремонт двигателя:

$$\sum C_p = C_d + C_p + C_{\text{п}}, \quad (5.8)$$

где C_d – стоимость деталей двигателя, подлежащих замене, руб.; C_p – стоимость работ по ремонту двигателя, руб.; $C_{\text{п}}$ – прочие расходы, руб.

Стоимость работ по ремонту двигателя и прочие затраты определяются по среднестатистическим соотношениям:

$$C_p = 0,5 \cdot C_d, \quad (5.9)$$

$$C_{\text{п}} = 0,3 \cdot C_d. \quad (5.10)$$

Затраты на проведение консервации агрегатов, узлов и деталей определяются следующим образом.

$$\sum C_k = C_m + C_p + C_{\text{п}}, \quad (5.11)$$

где C_m – стоимость АСМ, руб.; C_p – стоимость работ по проведению консервации, руб.; $C_{\text{п}}$ – прочие расходы, руб.

$$C_m = P \cdot A_{\text{п}} \cdot C_{m1}, \quad (5.12)$$

где P – расход АСМ на консервацию узла, агрегата или детали, кг/м^2 ;
 C_{m1} – стоимость 1 кг АСМ, руб./кг.

При выборе марки АСМ, оптимальной будет та марка, которая обеспечит экономическую целесообразность – минимальные затраты при обеспечении максимально возможной защиты и сохранности машин. То есть:

$$\Theta_{\text{ц}} = \frac{\sum C_{\text{п}(y)}}{\sum C_k}_{\Theta \rightarrow \max} \geq 1. \quad (5.13)$$

Используя зависимости (5.3)–(5.8), рассчитаем экономические показатели проведения консервации.

Затраты на ремонт двигателя.

При стоимости цилиндропоршневой группы $C_d = 24096$ руб.

$$\sum C_p = 24096,00 + 0,5 \cdot 24096,00 + 0,3 \cdot 24096,00 = 43372,80.$$

Хранение двигателя ЯМЗ-238 в течение 10 мес. без применения мер временной противокоррозионной защиты, повлечет убыток в размере 43372,80 руб.

Затраты на проведение консервации.

При стоимости 1 кг консервационного масла К-17 $C_{м1} = 61,40$ руб./кг и расходе масла согласно [83] $P = 0,35$ кг.

$$\sum C_k = 0,35 \cdot 61,4 + 0,5 \cdot 0,35 \cdot 61,4 + 0,3 \cdot 0,35 \cdot 61,4 = 38,68.$$

Экономическая целесообразность.

$$\mathcal{E}_c = \frac{43372,80}{38,68} = 1121,32.$$

Расчет экономической эффективности от использования предложенных разработок выполняется в соответствии с Методическими рекомендациями [86–88].

Величина экономического эффекта оценивается по зависимости:

$$\mathcal{E}_r = P_r - Z_r, \quad (5.14)$$

где P_r – стоимостная оценка результатов осуществления мероприятий НТП за отчетный период, руб.; Z_r – стоимостная оценка затрат на осуществление мероприятий НТП, руб.

В нашем случае, P_r – это затраты на ремонт двигателя, которых удалось избежать, благодаря обоснованию по разработанной методике использования мер временной противокоррозионной защиты, $P_r = \sum C_p = 43372,80$ руб.; Z_r – затраты на осуществление мероприятий НТП, $Z_r = \sum C_k = 38,68$ руб.

$$\mathcal{E}_r = 43372,80 - 38,68 = 43334,12.$$

Таким образом, из проведенного технико-экономического расчета можно сделать вывод о том, что при хранении двигателя ЯМЗ-238 в течение 10 мес. применение в качестве защитного материала консервационного масла К-17 ГОСТ 10877-76 является экономически целесообразным, поскольку консервационное масло обеспечивает необходимый уровень защитных свойств. Кроме того, К-17 имеет оптимальную экономическую эффективность, его использование влечет минимальные фактические затраты на межсезонное хранение комбайнов «Полесье GS 12». Годовой эконо-

мический эффект составляет 43334,12 руб. на 1 комбайн «Полесье GS 12» (экономический расчет в ценах на 20.05.2010 г.).

Расчет экономической целесообразности и экономической эффективности хранения отвалов КО-713 (Зил-130-ПМ-130) и НО 79-1 (МТЗ-82.1-МК-1) и дисков дискатора БДМ 3×4 ПШК марок Bellota БДМ 560-6 (Испания) и БДМ РЗЗ.1905-22 (Рубцовск) в течение 6-ти месяцев без обработки защитными материалами и с применением указанных наиболее характерных материалов ассортимента АСМ.

При расчетах сделаны допущения:

– для отвалов.

	<u>КО-713</u>	<u>НО 79-1</u>
Площадь покрываемой поверхности, м ²	4,373	3,564
Масса, кг	168,911	137,55

1. материал отвала – сталь Ст. 3;

2. стоимость отвала – 35 000 руб.;

3. $D_{\phi} = 6$ мес., $I_{1A} = P_{\phi} = 0$;

4. доля механических свойств в стоимости материала диска – $\Delta C = 6,8$ %.

Т а б л и ц а 5 . 8

Технические характеристики дисков

Наименование рабочего органа	Диаметр, мм.	Толщина, мм.	Масса, кг.	Стоимость одного рабочего органа, руб.	Кол-во рабочих органов	Площадь покрываемой поверхности, м ²
Диск (Bellota) БДМ 560-6 (Испания)	560	6	11,5	1160	32	16,1
Диск БДМ РЗЗ.1905-22 (Рубцовск)	570	6	10,97	1265	32	16,7

– материал диска – сталь 65Г (сталь-аналог Ст. 3);

– $D_{\phi} = 6$ мес., $I_{1A} = P_{\phi} = 0$;

– доля механических свойств в стоимости материала диска – $\Delta C = 0,159$ %.

Расчет технико-экономической эффективности АСМ при хранении отвалов.

Потеря стоимости (убыток):

$$P_k = C_0 \cdot A_{\pi} \cdot K \cdot 100 / M \cdot 100 = 35000 \cdot 4,373 \cdot 0,019 \cdot 100 / 168,911 \cdot 100 = 17,22 \text{ руб.}$$

$$P_{mc} = C_0 \cdot \Delta C \cdot \Delta M_c = 35000 \cdot 0,068 \cdot 0,3235 = 769,93 \text{ руб.}$$

$$\sum C_{\pi(y)} = P_k + P_{mc} = 17,22 + 769,93 = 787,15 \text{ руб.}$$

Таким образом, при хранении отвала КО-713 в течение 6 мес., без применения мер временной противокоррозионной защиты, повлечет убыток в размере 787,15 руб.

Применение АСМ связано с затратами на проведение комплекса мер по подготовке поверхностей узлов и агрегатов и нанесением на них защитного покрытия. Кроме того, вследствие протекания коррозионного разрушения под слоем АСМ, защищаемые изделия также подвергаются коррозии (износу). Потеря стоимости (убыток) при применении консервационного масла К-17:

$$П_k = 35000 \cdot 4,373 \cdot 0,000611 \cdot 100 / 168,911 \cdot 100 = 0,55 \sim 0,00 \text{ руб.}$$

$П_{mc} = 0$ руб., вследствие незначительного коррозионного разрушения.

Затраты на проведение консервации:

$$\sum C_k = P \cdot A_{п} \cdot C_{м1} + C_p + C_{п} = 0,80 \cdot 4,373 \cdot 61,4 + 0,5 \cdot 0,80 \cdot 4,373 \cdot 61,4 + 0,3 \cdot 4,373 \cdot 61,4 = 386,68 \text{ руб.}$$

Экономическая целесообразность:

$$\mathcal{E}_ц = \sum C_{п(y)} / \sum C_k = 787,15 / 386,68 = 2,04.$$

Экономическая эффективность:

$$\mathcal{E}_{эф} = \sum C_k \cdot 100 / C_0 = 386,68 \cdot 100 / 35000 = 1,1.$$

Аналогично рассчитывается технико-экономические показатели использования К-17, ПВК, Мовиля и Тектила МЛ для консервации отвалов КО-713 и НО 79-1.

Из проведенного технико-экономического расчета можно сделать вывод о том, что при хранении машин в течение 6 мес. применение в качестве защитного материала консервационного масла К-17 ГОСТ 10877-76 является наиболее экономически целесообразным, поскольку консервационное масло обеспечивает необходимый уровень защитных свойств. Кроме того, К-17 имеет оптимальную экономическую эффективность, его использование влечет минимальные фактические затраты на межсезонное хранение обоих отвалов.

Расчет технико-экономической эффективности АСМ при консервации дисков Bellota БДМ 560-6 консервационным маслом К-17.

Потеря стоимости (убыток):

$$П_k = C_0 \cdot A_{п} \cdot K \cdot 100 / M \cdot 100 = 37120 \cdot 16,1 \cdot 0,019 \cdot 100 / 368 \cdot 100 = 30,86 \text{ руб.},$$

$$П_{mc} = C_0 \cdot \Delta Ц \cdot \Delta M_c = 37120 \cdot 0,159 \cdot 0,3235 = 1909,32 \text{ руб.},$$

$$\sum C_{п(y)} = П_k + П_{mc} = 30,86 + 1909,32 = 1940,18 \text{ руб.}$$

Таким образом, хранение 32-х дисков Bellota в течение 6 мес., без применения мер временной противокоррозионной защиты, повлечет убыток в размере 1940,18 руб.

Потеря стоимости (убыток) при применении консервационного масла К-17:

$$П_k = 37120 \cdot 16,1 \cdot 0,000611 \cdot 100 / 368 \cdot 100 \sim 0,00 \text{ руб.}$$

$П_{mc} = 0$ руб., вследствие незначительного коррозионного разрушения.

Затраты на проведение консервации:

$$\sum C_k = P \cdot A_{п} \cdot C_{м1} + C_p + C_{п} = 0,80 \cdot 16,1 \cdot 61,4 + 0,5 \cdot 0,80 \cdot 16,1 \cdot 61,4 + 0,3 \cdot 16,1 \cdot 61,4 = 1422,87 \text{ руб.}$$

Экономическая целесообразность:

$$\mathcal{E}_{ц} = \sum C_{п(y)} / \sum C_k = 1940,18 / 1422,87 = 1,36.$$

Экономическая эффективность:

$$\mathcal{E}_{эф} = \sum C_k \cdot 100 / C_0 = 1422,87 \cdot 100 / 37120 = 3,1.$$

Аналогично рассчитываются технико-экономические показатели использования К-17, ПВК, Мовиля и Тектила МЛ для консервации дисков.

Проведенный расчет эффективности АСМ указывает на то, что при хранении дисков в течение 6 мес. применение в качестве защитного материала консервационного масла К-17 ГОСТ 10877-76 является наиболее экономически целесообразным. Консервационное масло К-17 обеспечивает необходимый уровень защитных свойств, имеет оптимальную экономическую эффективность – его использование влечет минимальные фактические затраты на хранение дисков обеих марок.

Периодическая и постоянная эксплуатация АТТ подразумевает наличие периодов не использования машин для проведения работ. Например, коммунальные машины ЗиЛ-130-ПМ-130 МТЗ-82.1-МК-1 со снегоуборочным оборудованием эксплуатируются, как правило, с октября по апрель. СХТ может использоваться всего 1 или 2 мес. в году. Следовательно, возникает вопрос о технико-экономических показателях применения АСМ, характерных для других периодов хранения, отличных от показателей, приведенных в иллюстративных расчетах. Техничко-экономические показатели применения АСМ для хранения дисков Bellota БДМ 560-6 в течение 1, 2, 4, 6, 8, 10, 11 и 12 мес., имеют следующие значения (табл. 5.6). При проведении расчетов по другим агрегатам, установлено, что изменения показателей хранения, характерных для дисков БДМ РЗЗ.1905-22, отвалов КО-713 и НО 79-1 – аналогичны. Для рассматриваемых агрегатов и машин характерно возрастание экономической целесообразности применения АСМ при увеличении времени (длительности) их хранения, в тоже время,

фактические затраты на хранение (экономическая эффективность) – остаются постоянными в течение всех рассмотренных периодов времени.

При использовании комплекса мер временной противокоррозионной защиты узлов и агрегатов АТТ необходимо определить: допустимую длительность хранения СХТ без консервации; момент хранения СХТ, в течение которого проведение консервационных мероприятий обязательно; период хранения СХТ с обязательным использованием защитных покрытий. То есть оценить экономическую целесообразность проведения консервации.

Оценить продолжительность периодов хранения можно сопоставив потери (убыток) от коррозионного разрушения и затраты на проведение консервации по следующей зависимости:

$$K_{эц} = 1 - \frac{1}{Э_{ц}} \rightarrow 1, \quad (5.15)$$

где $Э_{ц}$ – экономическая целесообразность.

Технико-экономические показатели применения АСМ в данном случае определяются графическими зависимостями (рис. 5.2). Графики, иллюстрирующие оценки экономической эффективности применения АСМ с осями времени (продолжительности хранения) – указывают на искомые периоды хранения МТ и определяют момент проведения консервации СХТ.



Рис. 5.2. Коэффициент экономической целесообразности АСМ: _____ - K-17; _____ - ПВК; .-.-. - Мовиль; -.-.- - Тектил МЛ

* Значения показателя «Коэффициент экономической эффективности» для марок дисков различаются незначительно.

Как видно из графика, при использовании консервационного масла К-17 допустимая длительность хранения СХТ без консервации составляет ~ 3,5 мес. При использовании пушечной смазки ПВК ГОСТ 19537-83 допустимая длительность хранения СХТ без консервации составляет ~ 5,5 мес.

Принимая во внимание сделанные ранее выводы об обеспечении К-17 необходимого уровня защитных свойств и оптимальной экономической эффективности – его использование для консервации СХТ при хранении, в данном случае, наиболее эффективно.

Выводы

1. Практической реализацией результатов исследований является разработанная методика проведения ускоренных лабораторных испытаний ЭС АСМ, включающая в себя режимы, моделирующие воздействие отрицательных, средних и положительных температур. Лабораторная установка, имеющая коэффициент ускорения 0,5...1,4 при доверительной вероятности 0,95 и относительной ошибке 0,05.

2. Применены разработанные математическая и теоретическая модели изменения защитных свойств покрытий, позволяющие прогнозировать и обеспечивать необходимую сохраняемость техники при эксплуатации.

3. Предложен критерий эффективности, позволяющий делать выбор АСМ для Умеренного макроклиматического района.

4. Оценка экономической эффективности результатов исследования (в ценах 2010 года), позволила установить, что экономический эффект от их внедрения составляет:

– при эксплуатации зерноуборочных комбайнов КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS12» (хранение в течение 10 мес.) – 43334,12 руб. на 1 ед.;

– при эксплуатации дискатора БДМ 3×4 ПШК (хранение в течение 6 мес.) – 51731,0 руб. на 50 ед.;

– при эксплуатации снегоуборочных машин КО-713 и НО 79-1 (хранение рабочих орудий (отвалов) в течение 6 мес.) – 383,25 и 454,82 руб. на 1 ед. соответственно.

5. Результаты исследований реализованы в качестве рекомендаций и внедрены в производственный процесс ООО «Пензаагропромснаб». Результаты научно-исследовательской работы по разработке технологии оценки качества антикоррозионных смазочных материалов, а также Рекомендации по использованию антикоррозионных смазочных материалов для временной противокоррозионной защиты узлов и агрегатов машин коммунального хозяйства, приняты к внедрению МУ «Департаментом ЖКХ г. Пензы», рекомендованы для инженерно-технических работников коммунального хозяйства в качестве нормативной документации и внедрены в МУП «Пензадормост».

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании анализа литературы и в результате ранжирования факторов, оказывающих влияние на процесс атмосферной коррозии, установлено, что доля влияния каждого фактора имеет следующие величины: температура T – 42,61...53,15 %; относительная влажность φ – 16,92...26,27 %; атмосферное давление P – 14,34...16,67 %; скорость ветра w – 4,33...16,67, химический состав стали s – 5,19 %, содержание активного вещества АСМ l – 1,94 %.

2. На основании энтропийной теории старения смазки, разработана физическая модель, позволяющая: оценить величину защитных свойств АСМ по величине накопленной энтропии, при этом $\Delta S_{\text{см}} \leq 2485,8$ Дж/(кг·К); графически в T, S координатах представить процесс атмосферной коррозии в течение суток; прогнозировать продолжительность хранения СХТ в условиях атмосферной коррозии; определять скорость процесса коррозии и требуемую толщину и массу АСМ, необходимую для защиты деталей СХТ от атмосферной коррозии в течение заданного срока хранения; выполнить имитационное моделирование процессов, происходящих в слое смазки и определить показатель коррозии « K » с точностью 1,5...2,5 %.

3. На основании натурального и теоретического экспериментов был разработан метод ускоренных лабораторных испытаний АСМ, позволяющий провести физическое моделирование процессов атмосферной коррозии и оценить их кинетику. Лабораторные испытания проводились на режимах, моделирующих воздействие отрицательных, средних и положительных температур. Лабораторная установка имеет коэффициент ускорения 0,5...1,4 и позволяет с доверительной вероятностью 0,95 и относительной ошибкой 0,05 проводить оценку ЭС АСМ в течение 12-ти циклов продолжительностью 24 ч.

4. В ходе лабораторного эксперимента различных сталей и АСМ – К-17, ПВК, Мовиль, Тектил, МЛ, выбрана эталонная система Ст. 3 +К-17, которая использовалась для сравнительной оценки защитных свойств различных АСМ. Отработаны режимы проведения испытаний, получены количественные зависимости, позволяющие оценить влияние на процесс коррозии различных ВВФ и прогнозировать с достаточно высокой достоверностью изменение показателя коррозии « K ».

5. В ходе экспериментальных исследований установлено, что изменение показателя коррозии от времени хранения имеет экспоненциальный характер. Наибольшее влияние на скорость процесса коррозии оказывает температура окружающей среды. При повышении температуры процесса на 10 °С скорость процесса атмосферной коррозии снижается в 2,2 раза. Увеличение относительной влажности воздуха на 10 % приводит к ускорению коррозии в 1,41 раза. Повышение атмосферного давления на 306 Па

ускоряет коррозию в 1,66 раза, а увеличение скорости ветра на 1 м/с приводит к повышению коррозии металлов в 1,52 раза. Установлено, что предельный уровень коррозии стали в течение года не должен превышать 1 г/м².

6. Получено, что сравнительные оценки адекватности математических моделей старения АСМ и коррозии стали под пленкой покрытия с результатами натуральных и лабораторных экспериментов – имеет относительную ошибку 0,59 % и доверительную вероятность 97,45 %; коррозии стали с результатами натуральных и лабораторных экспериментов 3,66 и 99,82 % соответственно.

7. С целью оценки технико-экономической эффективности применения различных марок АСМ, предложены критерии эффективности и целесообразности, позволяющие обоснованно выбирать АСМ для различных климатических районов и периодов хранения техники. По результатам исследований разработаны рекомендации, которые внедрены в производство. Оценка экономической эффективности результатов исследования (в ценах 2010 года), позволила установить, что экономический эффект от их внедрения составляет:

- при эксплуатации зерноуборочных комбайнов КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS12» (хранение в течение 10 мес.) – 43334,12 руб. на 1 ед.;

- при эксплуатации дискатора БДМ 3x4 ПШК (хранение в течение 6 мес.) – 51731,0 руб. на 50 ед.;

- при эксплуатации снегоуборочных машин КО-713 и НО 79-1 (хранение рабочих орудий (отвалов) в течение 6 мес.) – 383,25 и 454,82 руб. на 1 ед. соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Металлический фонд народного хозяйства СССР [Текст] // Зусман Л.Л. – М.: Металлургия, 1975. – 408 с.
2. Хасанов, Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей [Текст]: учеб. пособие // Р.Х. Хасанов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 193 с.
3. Дац, Ф.А. Анализ надежности зарубежной лесозаготовительной техники [Текст] / Ф.А. Дац, А.С. Сухарев, П.А. Михалин // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. Научный журнал. – 2007. – № 2 (7). – С. 37-40.
4. Лафта, В.М. Остаточный ресурс эксплуатации путевой техники в условиях неопределенности [Текст] / В.М. Лафта // Труды молодых ученых. – 2010. – Вып. №1.
5. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] // Н.И. Кленин, В.А. Сакун. – М.: Колос, 1994. – 751 с.
6. Масино, М.А. Автомобильные материалы: Справочник инженера-механика [Текст] // М.А. Масино, В.Н. Алексеев, Г.В. Мотовилин. – М.: Транспорт, 1979. – 288 с.
7. Зуев, А.А. Технология машиностроения [Текст] // А.А. Зуев. – М.: Высш. школа, 2003. – 496 с.: ил.
8. Кац, А.М. Автомобильные кузова [Текст] // А.М. Кац. – М.: Транспорт, 1972. – 296 с.: ил.
9. Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов [Текст] // В.Г. Сорокин [и др.]; под общ. ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
10. Моршин, А.В. Хранение сельскохозяйственной техники [Текст] // А.В. Моршин, А.Э. Северный. – М.: Колос, 1976. – 360 с.
11. Школьников, В.М. Масла и составы против износа автомобилей [Текст] // В.М. Школьников [и др.]. – М.: Химия, 1988. – 93 с.
12. Северный, А.Э. Справочник по хранению сельскохозяйственной техники [Текст] // А.Э. Северный, А.Ф. Пацкалев, А.Л. Новиков. – М.: Колос, 1984. – 223 с.
13. Венцель, С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / С.В. Венцель. – М.: Химия, 1979. 240 с.
14. Рабоче-консервационные смазочные материалы [Текст]. – М.: Химия, 1979. – 256 с.
15. Томашов, Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов [Текст] / Н.Д. Томашов. – М.: Изд-во АН СССР. 1960. – 591 с.: ил.
16. Розенфельд, И.Л. Коррозия и защита металлов [Текст] / И.Л. Розенфельд. – М.: Металлургия, 1970. – 448 с.: ил.
17. Рейхельт, В. Антикоррозионная защита автомобилей [Текст]: пер. с нем. / В. Рейхельт; под ред. А.Г. Никитина. – М.: Транспорт, 1977. – 104 с.

18. Коррозия автомобилей и ее предотвращение [Текст]: пер. с польск. / под ред. А.В. Синельникова. – М.: Транспорт, 1985. – 37 с.
19. АвтоРевю. – 2000. – № 19. – С. 25-28.
20. Звягин, А.А. Автомобили ВАЗ – надежность и обслуживание [Текст] // Звягин А.А., Кислюк Р.Д., Егоров А.Б. – Л., Машиностроение, 1981. – 238 с.
21. Видгорович, В.И. Антикоррозионные консервационные материалы [Текст] / В.И. Видгорович, И.Г. Насыпайко, В.Д. Прохоренков. – М.: Агропромиздат, 1987. – 128 с.
22. Щеглов, Е.В. Совершенствование технологии обслуживания втулочно-роликовых цепей зерноуборочных комбайнов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве / Е.В. Щеглов. – М., 2008 – 16 с.
23. Богданова, Т.И. Ингибированные нефтяные составы для защиты от коррозии [Текст] // Т.И. Богданова, Ю.Н. Шехтер. – М.: Химия, 1984. – 248 с.
24. Романовская, А.А. Исследование защитной эффективности рабоче-консервационных масел и прогнозирование сохранности агрегатов автотракторной техники в процессе длительного хранения [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А.А. Романовская. – М.: МАДИ, 1986. – 157 с.
25. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник [Текст] / под ред. В.М. Школьников. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: «Техинформ», 1999. – 596 с.
26. Защитные свойства смазочных материалов с наполнителями [Текст] / Ю.Н. Шехтер, И.Г. Фукс, И.Е. Зелькинд, В.Л. Иванковский, – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1971. – 103 с.
27. Консервационные и рабоче-консервационные смазочные материалы и методы их испытания [Текст] / под ред. В.М. Школьников. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1979. – 96 с.
28. Уварова, И.М. Отечественные и зарубежные материалы для защиты от коррозии сельскохозяйственной техники [Текст] / И.М. Уварова, Н.А. Бестрахова // Сб. науч. трудов ВНИИ по переработке нефти. – 1990. №58. – С. 95-97.
29. Севернев, М.М. Хранение сельскохозяйственной техники [Текст] / М.М. Севернев. – Минск: Урожай, 1980. – 245 с.
30. Северный, А.Э. Сельскохозяйственной технике надежную защиту. [Текст] / А.Э. Северный // Техника в сельском хозяйстве. – 1972. – №10 – С. 12-17.
31. Игнатъев, Р.А. Защита от коррозии, старения и биоповреждений [Текст]: справочник // Р.А. Игнатъев, А.А. Михайлова. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 460 с.

32. Севернев, М.М. Износ деталей сельскохозяйственных машин [Текст] / М.М. Севернев. – Л.: Колос, 1972. – 368 с.
33. Мартынов, В.М. Исследование скорости процессов, определяющих старение смазочных материалов при хранении и эксплуатации [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / В.М. Мартынов. – М.: МИНХ и ГП, 1965. – 456 с.
34. Нефтепродукты. Масла. Смазки. Нефтепродукты промышленного и бытового потребления. Методы испытаний [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 558 с.
35. Лившиц, М.Л. Технический анализ и контроль производства лаков и красок [Текст] // М.Л. Лившиц. – М.: Высшая школа, 1980. – 216 с.
36. Розенфельд, И.Л. Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов [Текст] / И.Л. Розенфельд, К.А. Жигалова. – М.: Metallurgia, 1966. – 192 с.
37. Беруштитс, Г.К. Коррозионная стойкость металлов и металлических покрытий в атмосферных условиях [Текст] // Г.К. Беруштитс, Г.Б. Кларк. – М.: Наука, 1971. – 159 с.
38. Чеботаревский, В.В. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении [Текст] // В.В. Чеботаревский, Э.К. Кондрашов. – М.: Машиностроение, 1978. – 295 с.
39. Лисицын, Н.В. Методика экспрессной оценки качественных показателей нефти поступающей на первичную переработку [Текст] / Н.В. Лисицын, А.Н. Кривоспицкий, Н.В. Кузичкин // Химическая промышленность. – 2003. – Т. 80, № 5. – С. 50-54.
40. Ascott Corrosion Test Chambers. Salt Spray and Cyclic Corrosion Test Standards [сайт]. – URL: <http://www.ascott-analytical.com/standards.htm> (дата обращения: 29.03.2010).
41. Simpson C.H., Pav C.J., Skerry B.S., Accelerated corrossions testing of indystrial mainthenac paints using a cyclic corrossion weathering method / J. Prot and Linigs. – 1991. 8, №5. –28.36 P.
42. Corrosion Tests and Standards: Application and Interpretation (2nd Edition): (MNL 20): Edited by: Baboian. Publisher: ASTM International Copyright / Pub. Date: © 2005, Pages: 882.
43. Novel applications of coordination complexes: rust converter actives: Pap. №561 Corrosion 91, Cincinnati, Ohco, March 11.15, 1991 / Balmforth B. – [Houston]: N ACE, 1991. – 15 P.
44. Акимов, Г.В. Теория и методы исследования коррозии металлов [Текст] / Г.В. Акимов. – М.: АН СССР, 1945. – 238 с.: ил.
45. Акимов, Г.В. Основы учения о коррозии и защите металлов [Текст] / Г.В. Акимов. – М.: Metallurgizdat, 1946. – 463 с.
46. Томашов, Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов [Текст] / Н.Д. Томашов. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 592 с.

47. Томашов Н.Д. Атмосферная коррозия металлов [Текст] // Исследования по коррозии металлов: тр. ИФХ АН СССР, вып. VIII. – М.: Изд-во АН СССР, 1960, т.6. – С.12-40.
48. Томашов Н. Д. Коррозия и коррозионностойкие сплавы [Текст] // Н.Д. Томашов, Г.П. Чернова. – М.: Металлургия, 1973. – 223 с.: ил.
49. ГОСТ 11.006-74. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим.
50. ГОСТ 11.004-74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения.
51. Халафян, А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных [Текст]: учебник. – 3-е изд. / А.А. Халафян. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2008. – 512 с.
52. Вуколов, Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL [Текст]: учеб. пособие / Э.А. Вуколов. – М.: Форум: Инфра-М, 2010. – 464 с.
53. Боровиков, В.П. Statistica – Статистический анализ и обработка данных в среде Windows [Текст] / В.П. Боровиков, И.П. Боровиков. – М.: Информационно-издательский дом «Филин», 1997. – 608 с.
54. Гарькина, И.А. Математические методы в строительном материаловедении [Текст] / И.А. Гарькина [и др.] – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2001. – 188 с.: ил.
55. Гарькина, И.А. Планирование эксперимента. Обработка опытных данных [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, А.П. Прошин, Ю.А. Соколова; под ред. Д-ра техн. наук, проф. А.М. Данилова. – М.: Изд-во «Палеотип», 2005. – 272 с.
56. Михайловский, Ю.Н. Защита металлов от коррозии [Текст] / Ю.Н. Михайловский, А.В. Скурихин // Защита металлов. – 1980. – Т. 16, № 5. – С. 550–556.
57. Архив фактической погоды в Пензе [сайт]. – URL: <http://www.meteorprog.ua/ru/fwarchive/Penza/> (дата обращения: 30.10.2010).
58. Техническая термодинамика [Текст]: учебник для вузов / под ред. В.И. Крутова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1981. – 439 с.
59. Григорьев, Г.В. Исследование защитных свойств микровосковых составов при хранении сельскохозяйственной техники [Текст] / Г.В. Григорьев // Труды Горьк. СХИ. – 1981. – Т. 156. – С. 39-42.
60. Григорьев, Г.В. Исследование влияния атмосферных факторов на защитные и физико-химические свойства покрытий и микровосковых составов [Текст] / Г.В. Григорьев, В.Е. Рязанов, В.И. Иванов // Труды Горьк. СХИ. – 1981. – Т. 155. – С. 79-83.
61. Пашков, В.В. Исследование влияния различных факторов на старение консервационных материалов на нефтяной основе [Текст] /

В.В. Пашков, Л.В. Суворова // Методы исследований нефтепродуктов, присадок и катализаторов: [Сб. ст. / Отв. Ред. В.М. Школьников]. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1988. – 125 с. – (Сборник науч. тр. / ВНИИ по перераб. нефти. ВНИИНП, Вып. 54).

62. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] // Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1965. – 135 с.

63. Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления [Текст] // Г.М. Фихтенгольц – М.: Наука, 1970. Т. II. – 800 с.

64. Каханер, Д. Численные методы и программное обеспечение [Текст]: пер. с англ. / Д. Каханер, К. Моулер, С. Нэш. – М.: Мир, 2001. – 575 с.

65. Самарский, А.А. Численные методы [Текст]: учеб. пособие для вузов [Текст] / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит, 1989. – 432 с.

66. Пискунов, Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов. [Текст] / Н.С. Пискунов. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1985. – 432 с.

67. Салмин, В.В. Энтропийная теория старения моторных масел [Текст]: моногр. / В.В. Салмин. – М.: ВИНТИ, рег. № 1722-В2002, 2002. – 87 с.

68. Мухамедзянов, А.Х. Экспресс методы и средства испытаний состава и свойств нефти и нефтепродуктов [Текст] / А.Х. Мухамедзянов. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1988 – 72 с.

69. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений [Текст]: справочник в 2 т. Т. 2. / под ред. А.А. Герасименко. – М.: Машиностроение. 1987. – 784 с.: ил.

70. Физическая и коллоидная химия [Текст]: учеб. пособие / П.М. Кругляков, Т.Н. Хаскова. – М.: Высш. шк., 2004. – 319 с.

71. Фролов, Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы [Текст] // Ю.Г. Фролов. – М.: Химия, 1989. – 462 с.

72. Шехтер, Ю.Н. Маслорастворимые поверхностно-активные вещества [Текст] / Ю.Н. Шехтер, С.Э. Крейн, Л.Н. Тетерина. – М.: Химия, 1978. – 304 с.

73. Шехтер, Ю.Н. Поверхностно-активные вещества из нефтяного сырья [Текст] / Ю.Н. Шехтер, С.Э. Крейн. – М.: Химия, 1971. – 487 с.

74. Еремин, В.В. Задачи по физической химии. Часть 1. Химическая термодинамика [Текст] // В.В. Еремин, С.И. Каргов, Н.Е. Кузьменко. – М.: Высш. шк., 2000. – 578 с.

75. Сивухин, Д.В. Общий курс физики [Текст] / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1990. – Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. – 592 с.

76. Сивухин, Д.В. Общий курс физики [Текст] / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1975. – Т.1. Термодинамика и молекулярная физика. – 519 с.
77. Гуфан, Ю.М. Термодинамическая теория фазовых переходов [Текст] / Ю.М. Гуфан. – Ростов н/Д: Изд-во Ростовского ун-та, 1982. – 172 с.
78. Поляков, В.И. Пневмоколесные и гусеничные краны [Текст]: учеб. пособие для ПТУ / В.И. Поляков, С.П. Епифанов. – М.: Высш. шк., 1990. – 319 с.
79. ЦРБ-278. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (машин) [Текст] / утвержден: МПС России, 04.05.1994. – 230 с.
80. Крамаренко, Г.В. Техническое обслуживание автомобилей. [Текст] / Г.В. Крамаренко. – Изд-во «Транспорт», 1968. – 400 с.
81. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] / Е.С. Кузнецов. – М.: Наука, 2001. – 534 с.
82. Саутин, С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии [Текст] / С.Н. Саутин. – Л., «Химия», 1975. – 48 с.
83. Особенности климата на территории Российской Федерации в 2005 году [Электронный ресурс] / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) Доклад по особенностям климата на территории Российской Федерации за 2005 год. Москва, 2006 г. – URL: <http://www.meteoinfo.ru/> (дата обращения: 22.07.2010).
84. Основные погодно-климатические особенности 2006 года на территории России [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.meteoinfo.ru/> (дата обращения: 22.07.2010).
85. Испытание аппаратуры и средств измерений на воздействие внешних факторов [Текст]: справочник // под ред. В.Д. Малинского. – М.: Машиностроение, 1993. – 324 с.
86. Дизель СМД-14 и его модификации. Инструкция по эксплуатации [Текст] / под ред. И.А. Колавля. – Харьков: Харьковское книжное изд-во, 1962. – 231 с.
87. Дизель СМД-14 и его модификации. Технические требования на капитальный ремонт. ТК 70.0001-77 [Текст]. – М.: ГОСНИТИ, 1978. Ч. 2. – 97 с.
88. Вайншток, Е.Г. Дизели [Текст]: справочник / Е.Г. Вайншток. – Л.: Изд. «Машиностроение», 1964. – 416 с.
89. Высоцкий, М.С. Автомобиль МАЗ-500 и его модификации [Текст] / М.С. Высоцкий [и др.]. – М.: Машиностроение, 1968. – 340 с.
90. Методические рекомендациями по комплексной оценке эффективности мероприятий, направленных на ускорение НТП [Текст] // утверждены постановлением ГКНТ СССР и Президиума АН СССР от 3 марта 1988г., № 60/52.

91. Теория и практика научно-технической экспертизы изобретений [Текст] // сборник статей под ред. Е.В. Кошкина. – М.: ЦНИИПИ, 1979. – 126 с.
92. Инструкция по государственной научно-технической экспертизе изобретений (ЭЗ-2-74) [Текст] / введена в действие с 1.01.1974 г. – М.: ВНИИПИ, 1982. – 74 с.
93. Методические рекомендации по комплексной оценке эффективности мероприятий, направленных на ускорение научно-технического прогресса [Текст]. – М., 1988. – 19 с.
94. Позухин, Г.Е. Оценка качества хранения сельскохозяйственной техники [Текст] / Г.Е. Позухин // Техника в сельском хозяйстве. – 1983. – №1. – С. 21 – 25.
95. Петухов, Р.М. Методика экономической оценки износа и сроков службы машин [Текст] // Р.М. Петухов. – М.: Экономика, 1965. – 231 с.
96. Методика оценки сохраняемости тракторов и сельхозмашин [Текст]. – М.: ГОСНИТИ, 1974. – 22 с.
97. Макаркин, Н.П. Оценка экономической эффективности и оптимизация надежности техники [Текст] / Н.П. Макаркин. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1981. – 325 с.
98. Куликов, В.Н. Оценка качества хранения сельскохозяйственной техники [Текст] / В.Н. Куликов // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1983, №7. – С. 12 – 18.
99. РД 37.009.015-98 Методическое руководство по определению стоимости автотранспортных средств с учетом износа и технического состояния на момент предъявления.
100. Косачев, Г.Г. Экономическая оценка сельскохозяйственной техники [Текст] / Г.Г. Косачев. – М.: Колос, 1978. – 402 с.
101. Конкин, Ю.А. Экономика ремонта сельскохозяйственной техники [Текст] / Ю.А. Конкин. – М.: Колос, 1972. – 238 с.
102. Комаров, Б.А. Оценка качества хранения сельскохозяйственной техники [Текст] / Б.А. Комаров // Техника в сельском хозяйстве. – 1981. – №2. – С. 29-32.
103. Рабинович, А.Ш. Методические указания по оценке, прогнозированию и нормированию ресурса и безотказности сельхозтехники [Текст] // А.Ш. Рабинович. – М.: ГОСНИТИ, 1975. – 36 с.
104. Власов, Н.С. Методика экономической оценки сельскохозяйственной техники [Текст] // Н.С. Власов [и др.]. – М.: Колос, 1979. – 54 с.
105. Нормативно-справочный материал для экономической оценки сельскохозяйственной техники [Текст]. – М.: ЦНИИТЭИ, 1984. – 327 с.
106. ГОСТ 26883-86. Внешние воздействующие факторы. Термины и определения [Текст].

107. ГОСТ 28198-89 Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство [Текст].
108. ГОСТ 9.906-83 ЕСЗКС Станции климатические испытательные [Текст].
109. ГОСТ 28-237-89 Камеры неинжекционного типа для получения постоянной влажности [Текст].
110. ГОСТ 7751-85 Техника, используемая в сельском хозяйстве. Правила хранения [Текст].
111. ГОСТ 9.054-75. ЕСЗКС. Консервационные масла, смазки и нефтяные тонкопленочные покрытия. Метод ускоренных испытаний защитной способности [Текст].
112. ГОСТ 9.905-82. ЕСЗКС. Методы коррозионных испытаний. Общие требования [Текст].
113. ГОСТ 28-232-89. Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Руководство по применению испытаний стандартов 68 МЭК (ГОСТ 28199-89 – ГОСТ 28236-89) для имитации воздействий хранения [Текст].
114. ГОСТ 28219-89. Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Руководство по испытаниям на смену температуры [Текст].
115. ГОСТ 28209-89. Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание N: смена температуры [Текст].
116. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей [Текст].
117. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды [Текст].
118. СНиП 23-01-99. Система нормативных документов в строительстве. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Строительная климатология [Текст].
119. СНиП 2.03.11-85. Строительные нормы и правила. Защита строительных конструкций от коррозии [Текст].
120. ГОСТ 9.505-86. ЕСЗКС. Ингибиторы кислотной коррозии. Методы испытаний защитной способности при кислотном травлении металлов [Текст].
121. ГОСТ 9.908-85. ЕСЗКС. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости [Текст].
122. ГОСТ 5272-68. Коррозия металлов. Термины [Текст].
123. ГОСТ 10877-76. Масло консервационное К-17 [Текст].
124. ГОСТ 19537-83. Смазка пушечная ПВК [Текст].
125. ТУ 2332-044-05788576-2003 Автоконсервант «Мовиль – НН» [Текст].

ПРИЛОЖЕНИЕ

Т а б л и ц а П 1
Технико-экономические показатели консервации отвалов КО-713 (Зил-130-ПМ-130) и НО 79-1 (МТЗ-82.1-МК-1)

Марка агрегата	КО-713	НО 79-1	КО-713	НО 79-1	КО-713	НО 79-1	КО-713	НО 79-1	КО-713	НО 79-1
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Показатели	Без покрытия		К-17		ПВК		Мовиль			
Масса коррозии, кг	0,083	0,068	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002
% износа (коррозии)	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Потеря стоимости, руб.	17,22	17,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Стоимость 1 кг АСМ, руб./кг			61,40	61,40	110,00	110,00	192,00	192,00	675,00	675,00
Расход АСМ на защиту, 1 кг/м ²			0,80	0,80	0,60	0,60	0,80	0,80	0,80	0,80
Стоимость материала, затраченного на защиту, руб.			214,82	175,06	288,64	235,22	671,75	547,43	2361,64	1924,56
Стоимость работ по защите, руб.			107,41	87,53	144,32	117,61	355,88	273,72	1180,82	962,28
Прочие расходы, руб.			64,45	52,52	86,59	70,57	201,53	164,23	708,49	577,37
Общая стоимость защиты, руб.			386,68	315,11	519,56		1209,16	985,37	4250,94	3464,21
% мех свойств в стоимости детали (6,8 %), руб.	2380,0	2380,0	2380,0	2380,0	2380,0	2380,0	2380,0	2380,0	2380,0	2380,0
Потеря мех свойств, %	32,35	32,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Потеря мех свойств, руб.	769,93	769,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Экономическая целесообразность			2,04	2,50	1,52	1,86	0,65	0,80	0,19	0,23
Фактические затраты на хранение, %			1,1	0,9	1,5	1,2	3,5	2,8	12,1	9,9

Таблица П 2

Технико-экономические показатели консервации дисков дискатора БДМ 3х4 ПШК

Марка агрегата	Bellota		P33		Bellota		P33		Bellota		P33		Bellota		P33	
	Показатели		К-17		ПВК		Мовиль		Тектил МЛ							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11						
Масса коррозии, кг	0,306	0,328	0,010		0,009		0,010		0,010							
% износа (коррозии)	0,08	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Потеря стоимости, руб.	30,84	37,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Стоимость 1 кг АСМ, руб./кг			61,40	61,40	110,00	110,00	192,00	192,00	675,00	675,00						
Расход АСМ на защиту, 1 кг/м ²			0,80	0,80	0,60	0,60	0,80	0,80	0,80	0,80						
Стоимость материала, затраченного на защиту, руб.			790,48	818,66	1062,13	1100,00	2471,87	2559,99	8690,15	8999,97						
Стоимость работ по защите, руб.			395,24	409,33	531,06	550,00	1235,93	1280,00	4345,08	4499,99						
Прочие расходы, руб.			237,14	245,60	318,64	330,00	741,56	768,00	2607,05	2699,99						
Общая стоимость защиты, руб.			1422,87	1473,60	1911,83	1979,99	4449,36	4607,99	15642,28	16199,95						
% мех свойств в стоимости детали (0,159 %), руб.	5902,08	6436,32														
Потеря мех свойств, %	32,35	32,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Потеря мех свойств, руб.	1909,32	2082,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Экономическая целесообразность	1,36	1,44	1,01	1,07	1,01	1,07	0,44	0,46	0,12	0,13						
Фактические затраты на хранение, %	3,1	3,2	4,1	4,3	4,1	4,3	9,6	9,9	33,6	34,8						

Т а б л и ц а П 3

Технико-экономические показатели применения АСМ
при хранении агрегатов СХТ в течение 1 года

Марка АСМ	Время хранения, мес.	Bellota		P33	
		Э _п	Э _{эф}	Э _п	Э _{эф}
К-17	1	0,38	3,1	0,40	3,2
	2	0,56	3,1	0,59	3,2
	3	0,87	3,1	0,91	3,2
	4	1,11	3,1	1,17	3,2
	5	1,24	3,1	1,30	3,2
	6	1,36	3,1	1,44	3,2
	7	1,43	3,1	1,51	3,2
	8	1,49	3,1	1,57	3,2
	9	1,61	3,1	1,70	3,2
	10	1,62	3,1	1,71	3,2
	11	1,68	3,1	1,78	3,2
	12	1,75	3,1	1,85	3,2
ПВК	1	0,28	4,1	0,30	4,3
	2	0,42	4,1	0,44	4,3
	3	0,64	4,1	0,68	4,3
	4	0,83	4,1	0,87	4,3
	5	0,92	4,1	0,97	4,3
	6	1,02	4,1	1,07	4,3
	7	1,06	4,1	1,12	4,3
	8	1,11	4,1	1,17	4,3
	9	1,20	4,1	1,27	4,3
	10	1,21	4,1	1,27	4,3
	11	1,25	4,1	1,32	4,3
	12	1,31	4,1	1,38	4,3
Мовиль	1	0,12	9,6	0,13	9,9
	2	0,18	9,6	0,19	9,9
	3	0,28	9,6	0,29	9,9
	4	0,36	9,6	0,37	9,9
	5	0,40	9,6	0,42	9,9
	6	0,44	9,6	0,46	9,9
	7	0,46	9,6	0,48	9,9
	8	0,48	9,6	0,50	9,9
	9	0,52	9,6	0,54	9,9
	10	0,52	9,6	0,55	9,9
	11	0,54	9,6	0,57	9,9
	12	0,56	9,6	0,59	9,9
Тектил МЛ	1	0,03	33,6	0,04	34,8
	2	0,05	33,6	0,05	34,8
	3	0,08	33,6	0,08	34,8
	4	0,10	33,6	0,11	34,8
	5	0,11	33,6	0,12	34,8
	6	0,12	33,6	0,13	34,8
	7	0,13	33,6	0,14	34,8
	8	0,14	33,6	0,14	34,8
	9	0,15	33,6	0,15	34,8
	10	0,15	33,6	0,16	34,8
	11	0,15	33,6	0,16	34,8
	12	0,16	33,6	0,17	34,8

Т а б л и ц а П 4

Технико-экономические показатели применения АСМ при хранении агрегатов коммунальных машин в течение 1 года

Марка АСМ	Время хранения, мес.	КО-713		НО 79-1	
		Э _ц	Э _{эф}	Э _ц	Э _{эф}
1	2	3	4	5	6
К-17	1	1,99	1,1	2,44	0,9
	6	2,04	1,1	2,50	0,9
	12	2,09	1,1	2,56	0,9
ПВК	1	1,48	1,5	1,82	1,2
	6	1,52	1,5	1,86	1,2
	12	1,55	1,5	1,90	1,2
Мовиль	1	0,64	3,5	0,78	2,8
	6	0,65	3,5	0,80	2,8
	12	0,67	3,5	0,82	2,8
Тектил МЛ	1	0,18	12,1	0,22	9,9
	6	0,19	12,1	0,23	9,9
	12	0,19	12,1	0,23	9,9

Т а б л и ц а П 5

Технико-экономические показатели применения АСМ при хранении агрегатов коммунальных машин в течение 1 года

Месяц	Показатель Марка АСМ	К-17	ПВК	Мовиль	Тектил МЛ
1	2	3	4	5	6
1.	Экономическая целесообразность	0,38	0,28	0,12	0,03
	Фактические затраты, %	3,1	4,1	9,6	33,6
	Коэффициент экономической целесообразности	-1,66	-2,57	-7,32	-28,24
2.	Экономическая целесообразность	0,56	0,42	0,18	0,05
	Фактические затраты, %	3,1	4,1	9,6	33,6
	Коэффициент экономической целесообразности	-0,79	-1,40	-4,58	-18,63
3.	Экономическая целесообразность	0,87	0,64	0,28	0,08
	Фактические затраты, %	3,1	4,1	9,6	33,6
	Коэффициент экономической целесообразности	-0,16	-0,55	-2,61	-11,70
4.	Экономическая целесообразность	1,11	0,83	0,36	0,10
	Фактические затраты, %	3,1	4,1	9,6	33,6
	Коэффициент экономической целесообразности	0,10	-0,21	-1,81	-8,89

Окончание табл. П5

1	2	3	4	5	6
5.	Экономическая целесообразность	1,24	0,92	0,40	0,11
	Фактические затраты, %	3,1	4,1	9,6	33,6
	Коэффициент экономической целесообразности	0,19	-0,09	-1,53	-7,90
6.	Экономическая целесообразность	1,36	1,02	0,44	0,12
	Фактические затраты, %	3,1	4,1	9,6	33,6
	Коэффициент экономической целесообразности	0,27	0,02	-1,29	-7,06
7.	Экономическая целесообразность	1,43	1,06	0,46	0,13
	Фактические затраты, %	3,1	4,1	9,6	33,6
	Коэффициент экономической целесообразности	0,30	0,06	-1,19	-6,70
8.	Экономическая целесообразность	1,49	1,11	0,48	0,14
	Фактические затраты, %	3,1	4,1	9,6	33,6
	Коэффициент экономической целесообразности	0,33	0,10	-1,10	-6,37
9.	Экономическая целесообразность	1,61	1,20	0,52	0,15
	Фактические затраты, %	3,1	4,1	9,6	33,6
	Коэффициент экономической целесообразности	0,38	0,17	-0,94	-5,81
10.	Экономическая целесообразность	1,62	1,21	0,52	0,15
	Фактические затраты, %	3,1	4,1	9,6	33,6
	Коэффициент экономической целесообразности	0,38	0,17	-0,93	-5,79
11.	Экономическая целесообразность	1,68	1,25	0,54	0,15
	Фактические затраты, %	3,1	4,1	9,6	33,6
	Коэффициент экономической целесообразности	0,41	0,20	-0,86	-5,52
12.	Экономическая целесообразность	1,75	1,31	0,56	0,16
	Фактические затраты, %	3,1	4,1	9,6	33,6
	Коэффициент экономической целесообразности	0,43	0,23	-0,78	-5,27

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	4
1.1. Общая характеристика условия работы мобильной техники и антикоррозионных смазочных материалов.....	4
1.1.2. Требования к особенностям конструкции и материалам деталей, узлов и агрегатов. Стали для машиностроения.....	5
1.1.3. Изменение состояния техники при эксплуатации.....	8
1.1.4. Защита СХТ от коррозии.....	13
1.2. Анализ физико-химических параметров, влияющих на процессы старения антикоррозионных смазочных материалов при эксплуатации мобильной техники.....	22
1.3. Анализ факторов, методов и технических устройств, обеспечивающих контроль над процессами изменения эксплуатационных свойств антикоррозионных смазочных материалов.....	28
1.3.1. Методики моделирования и прогнозирования изменений ЭС АСМ.....	28
1.3.2. Ускоренные коррозионные испытания ЭС АСМ.....	31
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АНТИКОРРОЗИОННЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.....	38
2.1. Выбор и теоретическое обоснование критерия (параметра) комплексно оценивающего процессы изменения физико-химических показателей антикоррозионных смазочных материалов.....	38
2.2. Ранжирование и анализ факторов. Разработка математической модели работы антикоррозионных смазочных материалов.....	39
2.2.1. Факторный анализ параметров окружающей среды.....	39
2.2.2. Анализ внутренних (качественных) факторов системы «металл-пленка АСМ».....	41
2.3. Расчетно-теоретический анализ и прогнозирование работы АСМ при эксплуатации мобильной техники.....	44
3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	60
3.1. Общие положения экспериментальных исследований.....	60
3.1.1. Ранжирование и выбор сталей для исследований.....	61
3.1.2. Ранжирование и выбор АСМ для исследований.....	62
3.2. Методика натурного (полевого) эксперимента.....	64
3.3. Методика лабораторного многофакторного эксперимента.....	68
3.3.1. Параметры макроклимата и условий эксплуатации СХТ.....	69
3.3.2. Разработка методики лабораторных испытаний.....	79
3.4. Обработка результатов исследований и оценка погрешности математического моделирования.....	86
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	89
4.1. Результаты полевого (сравнительного пассивного) эксперимента.....	89
4.2. Результаты лабораторного эксперимента.....	90
4.3. Результаты исследование влияния климатических факторов на эксплуатационные свойства антикоррозионных смазочных материалов.....	94
4.4. Установление количественной зависимости оценивающей величину атмосферной коррозии.....	97

4.5. Определение количественных показателей, характеризующих уровень защитных свойств антикоррозионных смазочных материалов	98
4.6. Результаты исследований и оценка погрешности математического моделирования.....	102
4.6.1. Оценка погрешности, адекватности и ускорения коррозионного процесса в условиях лабораторных испытаний.....	104
5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	107
5.1. Практическая реализация результатов исследований	107
5.1.1. Консервация двигателя ЯМЗ-238 зерноуборочного комбайна КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS12».....	107
5.1.2. Консервация рабочих орудий снегоуборочных машин КО-713 и НО 79-1 и дисков дискатора БДМ 3х4 ПШК марок Bellota БДМ 560-6 (Испания) и БДМ Р33.1905-22 (Рубцовск)	110
5.2. Экономическая эффективность реализации результатов исследования	111
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	120
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	130

Научное издание

Салмин Владимир Васильевич
Вавилкин Дмитрий Юрьевич

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАНЯЕМОСТИ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПУТЕМ
ПОДБОРА АНТИКОРРОЗИОННЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Монография

В авторской редакции
Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 13.11.13. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ.л. 7,9. Уч.-изд.л. 8,5. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.
Заказ № 229.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.