

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА МЕХАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Методические указания
к выполнению самостоятельной работы

Под общей редакцией доктора технических наук,
профессора Ю.П. Скачкова

Пенза 2014

УДК 006:691(075.8)

ББК 30.10:38.3я73

О-60

*Методические указания подготовлены в рамках проекта
«ПГУАС – региональный центр повышения качества подготовки
высококвалифицированных кадров для строительной отрасли»
(конкурс Министерства образования и науки Российской Федерации –
«Кадры для регионов»)*

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензент – кандидат технических наук, доцент С.Н. Кислицына (ПГУАС)

О-60 **Определение** прочности бетона механическими методами неразрушающего контроля: метод. указания к выполнению самостоятельной работы / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 34 с.

Приведены сведения о методике измерения прочности строительных материалов неразрушающими методами контроля.

Методические указания обеспечивают условие освоения технологических процессов строительного производства и производства строительных материалов, изделий и конструкций, научно-технической информацией, отечественным и зарубежным опытом по профилю деятельности.

Методические указания подготовлены на кафедре «Управление качеством и технология строительного производства» и базовой кафедре «Стройцентр» и предназначены для слушателей курсов повышения квалификации, обучающихся по программе «Современные композиционные строительные материалы».

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014

© Логанина В.И., Макарова Л.В., Тарасов Р.В., 2014

Самостоятельная работа ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА МЕХАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Цель работы – определить прочность бетона механическими методами неразрушающего контроля.

В соответствии с ГОСТ 22690-88 при испытании неразрушающими методами прочность бетона определяют по предварительно установленным градуировочным зависимостям между прочностью бетонных образцов и косвенным характеристикам прочности. В зависимости от применяемого метода косвенными характеристиками прочности являются:

- значение отскока бойка от поверхности бетона (или прижатого к ней ударника);
- параметр ударного импульса (энергия удара);
- размеры отпечатков на бетоне (диаметр, глубина и т.п.) или соотношение диаметров отпечатков на бетоне и на стандартном образце при ударе индентора или его вдавливании в поверхность бетона;
- значение напряжения, необходимого для местного разрушения бетона при отрыве приклеенного к нему металлического диска и равного усилию отрыва, деленному на площадь проекции поверхности отрыва бетона на плоскость диска;
- значение усилия местного разрыва, необходимого для скалывания участка бетона на ребре конструкции;
- значение усилия местного разрушения бетона при вырыве из него анкерного устройства.

Механические методы неразрушающего контроля применяют для определения прочности бетона всех видов нормируемой прочности, контролируемых по ГОСТ 18105-86, а также прочности бетона при обследовании и отбраковке конструкций.

Метод определения прочности бетона следует выбирать по табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Метод определения прочности бетона	Предельные значения прочности бетона, МПа
Упругого отскока и пластической деформации	5-50
Ударного импульса	10-70
Отрыва	5-60
Отрыва со скалыванием	5-100
Скалывания ребра	5-70

Испытания проводят при положительной температуре бетона. Допускается при обследовании конструкций определять прочность при отрицательной температуре, но не ниже минус 1°С при условии, что к моменту замораживания конструкция находилась не менее одной недели при положительной температуре и относительной влажности воздуха не более 75%.

Прочность бетона определяют с помощью приборов, указанных в прил. 1.

Для испытания прочности бетона методом отрыва со скалыванием следует применять анкерные устройства (см. прил. 1). Допускается использовать также другие анкерные устройства, глубина заделки которых должна быть не менее максимального размера крупного заполнителя бетона испытываемой конструкции.

Для испытания методом отрыва используют стальные диски диаметром не менее 40 мм, толщиной не менее 6 мм и не менее 0,1 диаметра.

Для определения прочности бетона в конструкциях предварительно устанавливают градуировочную зависимость между прочностью бетона и косвенной характеристикой прочности (в виде графика, таблицы или формулы).

При использовании методов упругого отскока, пластической деформации, ударного импульса и отрыва градуировочные зависимости устанавливают конкретно для каждого вида прочности. Для испытания методами отрыва со скалыванием и скалывания ребра допускается строить единую градуировочную зависимость независимо от вида прочности.

Градуировочную зависимость устанавливают заново при изменении вида крупного заполнителя и цемента, технологии производства бетона, введении добавок, внесении количественных изменений в номинальный состав бетона.

При построении градуировочных зависимостей используют не менее 15 серий образцов-кубов или не менее 30 образцов-кубов. При установлении градуировочной зависимости для испытания методом отрыва со скалыванием в каждую серию дополнительно включают не менее 3 образцов-кубов.

Образцы изготавливают в разные смены в течение 5 сут из бетона одного состава, по одной и той же технологии и при том же режиме тепловлажностной обработки или тех же условиях твердения, что и конструкции, подлежащие контролю.

Температура бетона отдельных образцов при определении косвенной характеристики не должна отличаться от средней температуры

образцов более чем на $\pm 10^{\circ}\text{C}$, а от температуры конструкции – более чем на $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

При построении градуировочных зависимостей, предназначенных для контроля отпускной, передаточной и распалубочной прочностей бетона, допускается устанавливать градуировочную зависимость по данным неразрушающих испытаний горячих образцов и при испытании тех же образцов на сжатие по ГОСТ 10180-90 при нормальной температуре.

Относительная влажность образцов, используемых для установления градуировочной зависимости, не должна отличаться от влажности испытываемой конструкции более чем на $\pm 2\%$.

Градуировочную зависимость для методов упругого отскока, ударного импульса, пластической деформации, отрыва и скалывания ребра устанавливают на основе результатов испытаний образцов-кубов сначала неразрушающим методом, а затем по ГОСТ 10180-90.

При установлении градуировочной зависимости для отрыва со скалыванием косвенную характеристику определяют на дополнительно изготавливаемых образцах-кубах, а по ГОСТ 10180-90 испытывают образцы основных серий.

Для методов отскока и пластической деформации при ударе число измерений на каждом образце должно быть не менее пяти, а расстояние между местами ударов – не менее 30 мм. Для метода ударного импульса число измерений – не менее десяти, а расстояние между местами ударов – не менее 15 мм. Для метода пластической деформации при ударе число испытаний на одной грани – не менее двух, а расстояние между местами испытаний – не менее двух диаметров отпечатков.

При установлении градуировочной зависимости методом скалывания проводят по одному испытанию на каждом боковом ребре, методом отрыва со скалыванием – по одному испытанию на каждой боковой грани.

При испытании методами упругого отскока, ударного импульса, пластической деформации при ударе образцы должны быть зажаты в прессе с усилием (30 ± 5) кН. За единичное значение прочности бетона принимают значение прочности бетона в серии или прочность бетона одного образца (если градуировочную зависимость устанавливают по данным испытаний отдельных образцов). Образцы, испытанные методом отрыва, устанавливают на прессе так, чтобы к опорным плитам не прилегали поверхности, на которых производили вырыв. За единичное значение косвенного показателя прочности при установлении градуировочной зависимости принимают среднее арифметическое

значение этой величины в серии образцов (или образце), используемых для определения единичного значения прочности.

Градуировочная зависимость должна иметь среднее квадратическое (остаточное) отклонение S_T (не превышающее 12% – при использовании серии образцов и 15% – отдельных образцов) от среднего значения прочности \bar{R} . Методика и пример установления градуировочных зависимостей приведены в прил. 1.

Для обследования конструкций допускается применять методы упругого отскока, ударного импульса или пластической деформации, используя градуировочную зависимость, установленную для бетона, отличающегося от испытываемого (по составу, возрасту, условиям твердения, влажности), с уточнением ее в соответствии с методикой, приведенной в прил. 1.

Испытания проводят на участке конструкции площадью от 100 до 600 см². Прочность бетона в контролируемом участке конструкции определяют по градуировочной зависимости при условии, что полученные значения косвенного показателя при измерении находятся в пределах между наименьшим и наибольшим значениями косвенного показателя в образцах, испытанных при построении градуировочной зависимости. Число и расположение контролируемых участков при испытании конструкций должно соответствовать требованиям ГОСТ 18105-86 или указываться в стандартах и (или) технических условиях на сборные конструкции или в рабочих чертежах на монолитные конструкции и (или) в технологических картах на контроль. Число испытаний на одном участке, расстояние между местами испытаний на участке и от края конструкции, толщина конструкции на участке испытания должны быть не меньше значений, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Метод испытания прочности бетона	Число испытаний на участке	Расстояние, мм		Толщина конструкции
		между местами испытаний	от края конструкции до места испытаний	
Упругого отскока	5	30	50	100
Пластической деформации	5	30	50	70
Ударного импульса	10	15	50	50
Отрыва	1	2 диаметра диска	50	50
Отрыва со скалыванием	1	5 глубин вырыва	150	Удвоенная глубина установки анкера
Скалывания ребра	2	200	-	170

Метод упругого отскока. При испытании методом упругого отскока расстояние от мест проведения испытания до арматуры должно быть не менее 50 мм.

Испытание проводят в следующей последовательности: прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора, при этом положение прибора при испытании конструкции относительно горизонтали рекомендуется принимать таким же, как при испытании образцов для установленной градуировочной зависимости; при другом положении необходимо вносить поправку на показания в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора; фиксируют значение косвенной характеристики в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора; вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции.

Метод пластической деформации. При испытании методом пластической деформации расстояние от мест проведения испытания до арматуры должно быть не менее 50 мм. Испытание проводят в следующей последовательности: прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора; при сферическом инденторе для облегчения измерений диаметров отпечатков испытание допускается проводить через листы копировальной и белой бумаги (в этом случае образцы для установления градуировочной зависимости испытывают с применением такой же бумаги); фиксируют значения косвенной характеристики в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора; вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции.

Метод ударного импульса. При испытании методом ударного импульса расстояние от мест проведения испытания до арматуры должно быть не менее 50 мм. Испытания проводят в следующей последовательности: прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора; при этом положение прибора при испытании конструкции относительно горизонтали рекомендуется принимать таким же, как при испытании образцов для установления градуировочной зависимости; при другом положении необходимо вносить поправку на показания в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора; фиксируют значение косвенной характеристики в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора; вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции.

Метод отрыва. При испытании методом отрыва участки располагают в зоне наименьших напряжений арматуры. Испытание проводят в следующей последовательности: в месте приклейки диска снимают

поверхностный слой бетона глубиной 0,5–1 мм и поверхность очищают от пыли; диск приклеивают к бетону так, чтобы слой клея на поверхности бетона не выходил за пределы диска; прибор соединяют с диском; нагрузку плавно увеличивают со скоростью $(1\pm 0,3)$ кН/с; фиксируют показание силоизмерителя прибора; измеряют площадь проекции поверхности отрыва на плоскости диска с погрешностью $\pm 0,5$ см²; определяют значение условного напряжения в бетоне при отрыве. Результаты испытаний не учитывают, если при отрыве бетона была обнаружена арматура или площадь проекции поверхности отрыва составила менее 80 % от площади диска.

Метод отрыва со скалыванием. При испытании методом отрыва со скалыванием участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры. Испытания проводят в следующей последовательности: в бетоне сверлят или пробивают шпур, размер которого выбирают в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора в зависимости от типа анкерного устройства, если анкерное устройство не было установлено до бетонирования; в шпуре закрепляют анкерное устройство на глубину, предусмотренную инструкцией по эксплуатации прибора, в зависимости от типа анкерного устройства; прибор соединяют с анкерным устройством; нагрузку увеличивают со скоростью 1,5-3,0 кН/с; фиксируют показание силоизмерителя прибора и глубину вырыва с точностью не менее 1 мм. Если наибольший и наименьший размеры вырванной части бетона на расстоянии от анкерного устройства до границ разрушения по поверхности конструкции отличаются от глубины заделки анкерных устройств более чем на 5%, то результаты испытаний допускается учитывать только при ориентировочной оценке прочности бетона.

Метод скалывания ребра. При испытании методом скалывания ребра на участке испытания не должно быть трещин, околлов бетона, наплывов или раковин высотой (глубиной) более 5 мм. Участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры. Испытание проводят в следующей последовательности: прибор закрепляют на конструкции, прикладывают нагрузку со скоростью не более $(1\pm 0,3)$ кН/с; фиксируют показание силоизмерителя прибора; измеряют фактическую глубину скалывания. Результаты испытания не учитываются, если при скалывании бетона была обнажена арматура и фактическая глубина скалывания отличалась от заданной (см. прил. 1) более чем на 2 мм.

Самостоятельная работа ОЦЕНКА СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

Цель работы – определить прочность бетона ультразвуковым методом.

Импульсивные методы контроля качества бетона основаны на определении скорости распространения упругих волн и характеристики их поглощения.

Принцип действия ультразвукового прибора (рис. 1) заключается в следующем. Ультразвуковые импульсы, возбуждаемые высокочастотным генератором, периодически подаются на излучатель, в котором эти импульсы преобразовываются в механические колебания. Последние, пройдя через определенную толщину бетона, попадают в приемник, в котором преобразовываются в электрические импульсы. Электрические импульсы через усилитель подаются на электронно-лучевую трубку. Моменты посылки импульса с одной стороны бетонного элемента и приема (преобразование механических колебаний в электрические) импульса с другой его стороны фиксируются на экране в виде синусоидальных сигналов.

В приборе имеется также генератор меток времени, с помощью которого через определенные отрезки времени на экране электронно-лучевой трубки наносят временную шкалу меток времени. По количеству меток времени определяют время прохождения ультразвука через бетонный элемент.

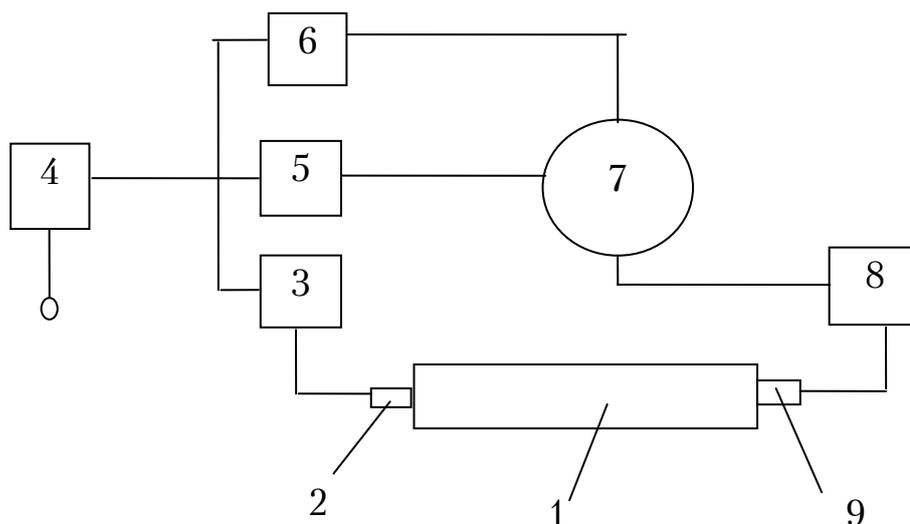


Рис. 1. Блок-схема ультразвукового импульсного прибора:
1 – бетонный элемент; 2 – излучатель; 3 – генератор импульсов;
4 – задающий генератор; 5 – ждущая развертка; 6 – генератор меток времени; 7 – электронно-лучевая трубка; 8 – усилитель; 9 – приемник

В соответствии с ГОСТ 17624-87 «Ультразвуковой метод определения прочности» ультразвуковые измерения в бетоне проводят способами сквозного или поверхностного прозвучивания. Прочность бетона в конструкциях определяют по экспериментально установленным градуировочным зависимостям «скорость распространения ультразвука – прочность бетона» или «время распространения ультразвука – прочность бетона» с учетом способа прозвучивания.

Прочность бетона определяют на участках конструкций, не имеющих видимых повреждений (отслоения защитного слоя, трещины, каверны и др.).

Ультразвуковые измерения проводят приборами, предназначенными для измерения времени распространения ультразвука в бетоне. Типы ультразвуковых приборов и их технические характеристики приведены в прил. 2.

Между бетоном и рабочими поверхностями ультразвуковых преобразователей должен быть обеспечен надежный акустический контакт, для чего применяют вязкие контактные материалы (солидол, технический вазелин и др.).

Подготовка испытания включает проверку используемых приборов в соответствии с инструкциями по эксплуатации и установку градуировочных зависимостей в соответствии с выбранным способом прозвучивания.

При установлении градуировочной зависимости для определения прочности бетона в процессе естественного твердения сроки испытаний образцов необходимо выбирать из следующего параметрического ряда: 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180, 365 сут. Образцы испытывают не менее чем в трех возрастах, один из которых является проектным. В каждом возрасте испытывают не менее 4 серий образцов.

Время распространения ультразвука в образцах при установлении градуировочной зависимости "скорость – прочность" измеряют способом сквозного прозвучивания в соответствии с рис. 2, 3, при этом база прозвучивания должна быть не менее 100 мм.

Время распространения ультразвука в образцах при установлении градуировочной зависимости "время – прочность" измеряют способом поверхностного прозвучивания в соответствии с рис. 2, 3, при этом минимальная база прозвучивания должна быть не менее 120 мм.

В зоне контакта ультразвуковых преобразователей с поверхностью бетона не должно быть раковин и воздушных пор глубиной более 3 мм и диаметром более 6 мм, а также выступов более 0,5 мм. Поверхность бетона необходимо очистить от пыли.

Число измерений времени распространения ультразвука в каждом образце должно быть при сквозном прозвучивании – 3, при поверхностном – 4.

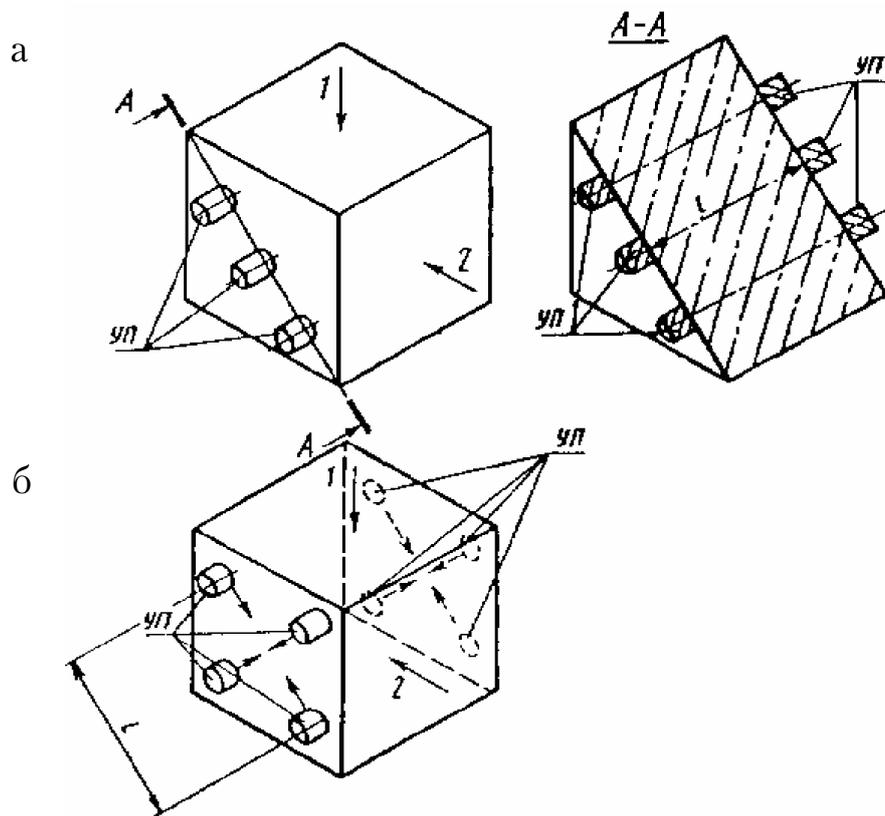


Рис. 2. Схемы испытаний кубов:
 а — способом сквозного прозвучивания;
 б — способом поверхностного прозвучивания;
 УП — ультразвуковые преобразователи; 1 — направление формования;
 2 — направление испытания при сжатии; l — база прозвучивания

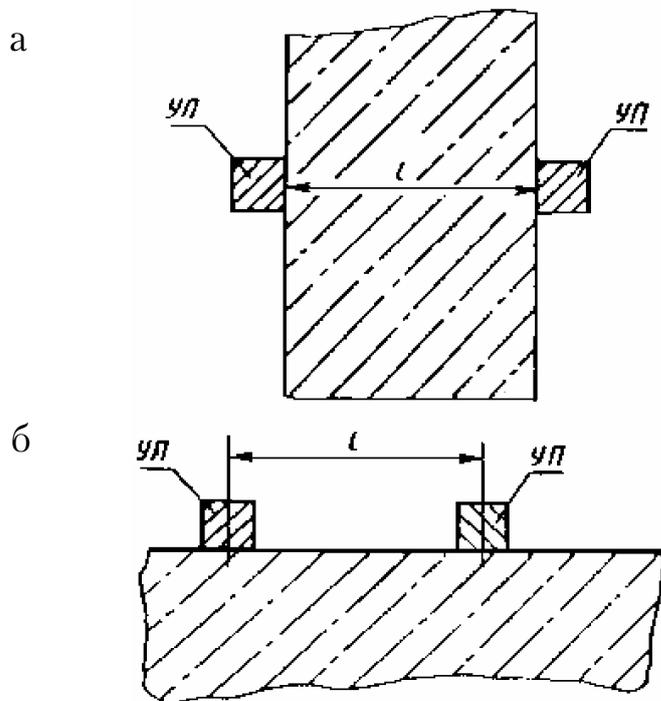


Рис. 3. Схемы испытания бетона способами прозвучивания:
 а — сквозного; б — поверхностного;
 УП — ультразвуковые преобразователи; l — база прозвучивания

Градуировочную зависимость устанавливают по единичным значениям скорости (времени) ультразвука и прочности бетона.

За единичное значение скорости (времени) ультразвука принимают среднее арифметическое значение этих величин в серии образцов, используемых для определения единичного значения прочности.

При измерении времени распространения ультразвука способом сквозного прозвучивания ультразвуковые преобразователи устанавливают с противоположных сторон образца или конструкции в соответствии с рис. 3, а.

Скорость ультразвука v , м/с, вычисляют по формуле

$$v = \frac{l}{t} \cdot 10^3, \quad (1)$$

где t – время распространения ультразвука, мкс;

l – расстояние между центрами установки преобразователей (база прозвучивания), мм.

При измерении времени распространения ультразвука способом поверхностного прозвучивания ультразвуковые преобразователи устанавливают на одной стороне образца или конструкции в соответствии с рис. 3, б.

Примеры установления градуировочной зависимости и оценки погрешности определения прочности бетона приведены в прил. 3.

При проведении испытаний и определении прочности бетона в конструкциях число и расположение контролируемых участков на конструкции должны указываться в технологических картах на контроль или в нормативно-технической и проектной документации на конструкции или устанавливаться программой обследования, согласованной с проектной организацией. На каждом контролируемом участке проводят одно измерение времени распространения ультразвука при сквозном и не менее двух при поверхностном прозвучивании.

Сборные линейные конструкции (балки, ригели, колонны и др.) испытывают, как правило, способом сквозного прозвучивания в поперечном направлении.

Изделия, конструктивные особенности которых затрудняют осуществление сквозного прозвучивания, а также плоские конструкции (плоские, ребристые и многопустотные панели перекрытия, стеновые панели и т.д.) испытывают способом поверхностного прозвучивания. При этом база прозвучивания при измерениях на конструкциях должна быть такой же, как на образцах при установлении градуировочной зависимости.

Возраст бетона контролируемых конструкций не должен отличаться от возраста бетона образцов, испытанных для установления

градуировочной зависимости, более чем на 50% – при контроле нормируемой прочности бетона и 25% – при определении прочности бетона в процессе твердения.

Измерение времени распространения ультразвука в бетоне конструкций проводят в направлении, перпендикулярном уплотнению бетона, а также в направлении, перпендикулярном направлению рабочей арматуры; при этом концентрация арматуры вдоль выбранной линии прозвучивания не должна превышать 5%. Расстояние от края конструкции до места установки ультразвуковых преобразователей должно быть не менее 30 мм.

Допускается прозвучивание вдоль линии, расположенной параллельно рабочей арматуре, если расстояние от этой линии до арматуры составляет не менее 0,6 длины базы.

Прочность бетона контролируемого участка конструкции определяют по градуировочной зависимости при условии, что измеренное значение скорости (времени) ультразвука находится в пределах между наименьшим и наибольшим значениями скорости (времени) ультразвука в образцах, испытанных при построении градуировочной зависимости.

При контроле прочности бетона в конструкциях по ГОСТ 18105-86 полученное значение прочности принимают за среднюю прочность контролируемого участка конструкции.

Порядок выполнения работы:

1. Построить градуировочную зависимость «прочность бетона – скорость ультразвука».
2. Оценить погрешность определения прочности

Методика выполнения работы

Градуировочные зависимости устанавливают в виде графика (или таблицы), построенного по уравнению, которое принимают:

- 1) линейного вида

$$R_n = a_0 + a_1 v \quad (2)$$

при $R_{\max} - R_{\min} \leq 2\bar{R}_\phi (60 - \bar{R}_\phi) / 100;$

- 2) экспоненциального вида

$$R_n = b_0 e^{b_1 v}, \quad (3)$$

где v – скорость (время) распространения ультразвука;

R_n – прочность бетона;

$$a_0 = \bar{R}_\phi - a_1 \bar{v}; \quad (4)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{j=1}^N (\bar{R}_\phi - R_{j\phi})(\bar{v} - v_j)}{\sum_{j=1}^N (\bar{v} - v_j)^2}; \quad (5)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{j=1}^N (\bar{v} - v_j)(\overline{\ln R_\phi} - \ln R_{j\phi})}{\sum_{j=1}^N (\bar{v} - v_j)^2}; \quad (6)$$

$$b_0 = e^{\overline{\ln R_\phi} - b_1 \bar{v}}; \quad (7)$$

$$\bar{R}_\phi = \frac{\sum_{j=1}^N R_{j\phi}}{N}; \quad (8)$$

$$\bar{v} = \frac{\sum_{j=1}^N v_j}{N}; \quad (9)$$

$$\overline{\ln R_\phi} = \frac{\sum_{j=1}^N \ln R_{j\phi}}{N}; \quad (10)$$

где \bar{R}_ϕ – средняя прочность бетонов, испытанных при установлении градуировочной зависимости, МПа;

N – число серий образцов, испытанных при установлении градуировочной зависимости;

$R_{j\phi}, v_j$ – единичные значения соответственно прочности и скорости (времени) распространения ультразвука для j -й серии образцов;

R_{\max}, R_{\min} – максимальное и минимальное значения прочности по испытанным сериям образцов, МПа.

Корректировку установленной градуировочной зависимости проводят путем отбраковки единичных результатов испытаний, не удовлетворяющих условию

$$\frac{|R_{jn} - R_{j\phi}|}{S} \leq 2, \quad (11)$$

где S – остаточное среднее квадратическое отклонение,

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (R_{j\phi} - R_{jn})^2}{N - 2}}, \quad (12)$$

R_{jn} – прочность бетона в j -й серии образцов, определенная по градуировочной зависимости

$$R_{jn} = \begin{cases} a_0 + a_1 v_j & \text{для зависимости (2);} \\ b_0 e^{b_1 v_j} & \text{для зависимости (3).} \end{cases} \quad (13)$$

После отбраковки градуировочную зависимость устанавливают заново по оставшимся результатам испытаний.

Погрешность определения прочности бетона по установленным градуировочным зависимостям вычисляют по формуле

$$S_T = \sqrt{S^2 + q^2 S_K^2}, \quad (14)$$

где S_K^2 – среднеквадратическое отклонение коэффициента перехода K , определенного в соответствии с прил. 2. Если коэффициент перехода не используют, то $S_K = 0$.

$$q = \begin{cases} \bar{R}_\phi - a_0 & \text{для зависимости (2);} \\ \bar{R}_\phi \ln \frac{\bar{R}_\phi}{b_0} & \text{для зависимости (3).} \end{cases} \quad (15)$$

Если $\frac{S_T}{R_\phi} \cdot 100\% > 12\%$, то определение прочности бетона не допускается.

Проверка градуировочной зависимости заключается в следующем. Изготавливают не менее 6 серий образцов. Определяют в каждой серии образцов единичные значения скорости ультразвука v_j и прочности $R_{j\phi}$. В соответствии с единичным значением скорости ультразвука v_j по градуировочной зависимости определяют прочность R_{jn} . Вычисляют среднее значение скорости ультразвука \bar{v} всех образцов, испытанных для проверки градуировочной зависимости.

Разделяют серии образцов на две группы. К первой группе относят серии образцов, единичные значения скорости ультразвука которых не превышают \bar{v} . Все остальные серии относят ко второй группе.

Градуировочная зависимость допускается к дальнейшему применению при одновременном выполнении следующих условий:

1) разность $R_{j\phi} - R_{jn}$ не имеет одинакового знака в пяти из шести последовательных серий образцов:

Приложение 1

Типы приборов для определения прочности бетона механическими методами неразрушающего контроля

Таблица 1 П 1

Техническая характеристика прибора для испытания методом отскока

Тип прибора	Энергия удара, Дж	Размеры, мм		Масса, кг	Особенности использования
		диаметр	длина		
КМ	2,2	54	390 455 (с ручкой)	1,75	Имеется сменный индентор для испытания методом пластической деформации

Таблица 2 П 1

Техническая характеристика прибора для испытания методами ударного импульса и пластической деформации

Тип прибора	Энергия удара	Размеры, мм		Масса, кг
		диаметр	длина	
ВСМ	0,1	25	200	0,5
ПМ-2	–	40	100	1,0
Ц-22 Киевгорстроя	0,8-8,0	54	320	1,0
А-1	2,0-4,0	33	270	0,9
Молоток Кашкарова	Произвольная	–	300	0,9

Таблица 3 П 1

Техническая характеристика прибора для испытания методом пластической деформации при вдавливании

Тип прибора	Вид индентора	Усилие вдавливания, кН	Масса прибора, кг	Диаметр индентора, мм
ПБ	Шариковый	1-5	5,0	10

Таблица 4 П 1

Техническая характеристика прибора для испытания методом отрыва, скалывания ребра, отрыва со скалыванием

Тип прибора	Тип анкерного устройства	Усилие вырыва, кН	Масса прибора, кг
ГПНВ-5	I, II	50	8,0
ГПНС-4	III	40	5,0
ГПНС-5	I, II	50	5,0
ПИБ	I, II	45	4,0
УРС-2	–	–	6,3

Типы анкерных устройств

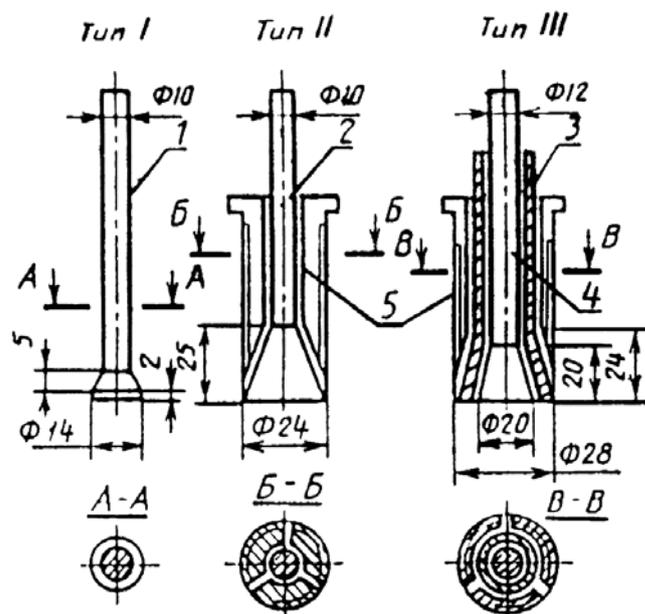


Рис. 1П1. Анкерные устройства типов I, II, III:
 1 – рабочий стержень; 2 – рабочий стержень с разжимным конусом; 3 – рабочий стержень с полным разжимным конусом;
 4 – опорный стержень; 5 – сегментные рифленые щеки

Анкерное устройство типа I устанавливают на конструкции при бетонировании; анкерные устройства типов II и III – в предварительно подготовленные шпуры на конструкции на глубину заделки, приведенную в табл. 5П1.

Таблица 5 П 1

Тип анкерного устройства	Глубина заделки, мм	
	рабочая h	полная h_1
I	35; 48	37; 50
II	30; 48	37; 55
III	35	42

Прибор для испытания методом скалывания ребра

Для проведения испытаний применяют прибор, состоящий из устройства УРС, приведенного на рис. 2П1, и силовозбудителя с силоизмерителем.

Устройство УРС должно иметь следующие параметры:

- глубину скалывания a , равную (20 ± 2) мм;

Продолжение прил. 1.

- ширину скалывания b , равную $(30 \pm 0,5)$ мм;
- угол между направлением действия нагрузки и нормалью к нагружаемой поверхности конструкции β , равный $(18 \pm 1)^\circ$.

В качестве силового возбудителя и силоизмерителя рекомендуется использовать прибор ГПС-4.

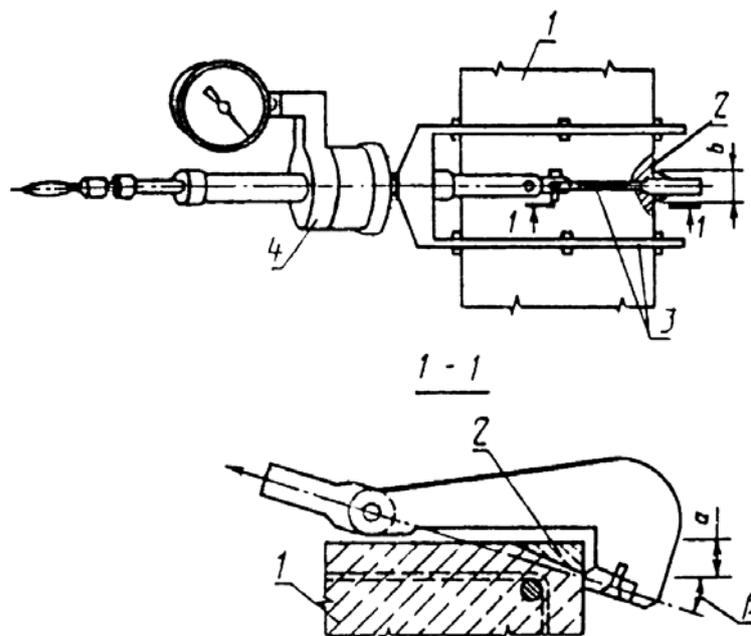


Рис. 2П1. Прибор для испытания методом скалывания ребра:
1 – испытываемая конструкция; 2 – скалываемый бетон;
3 – устройство УРС; 4 – прибор ГПС-4

Градуировочная зависимость для метода отрыва со скалыванием

При использовании анкерных устройств, приведенных на рис. 1П1, прочность бетона R , МПа, можно вычислять по градуировочной зависимости по формуле

$$R = m_1 \cdot m_2 \cdot P,$$

- где m_1 – коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя в зоне вырыва и принимаемый равным 1 при крупности менее 50 мм и 1,1 – при крупности 50 мм и более;
- m_2 – коэффициент пропорциональности для перехода от усилия вырыва, кН, к прочности бетона, МПа;
- P – усилие вырыва анкерного устройства, кН.

Продолжение прил. 1.

При испытании тяжелого бетона прочностью 10 МПа и более и керамзитобетона прочностью от 5 до 40 МПа значения коэффициента пропорциональности m_2 принимают по табл. 6П1.

Таблица 6 П 1

Условие твердения бетона	Тип анкерного устройства	Предполагаемая прочность бетона, МПа	Глубина заделки анкерного устройства, мм	Значение коэффициента m_2 для бетонов	
				тяжелого	легкого
Естественное	I	≤ 50	48	1,1	1,2
		> 50	35	2,4	–
	II	≤ 50	48	0,9	1,0
		> 50	30	2,5	–
	III	≤ 50	35	1,5	–
Тепловая обработка	I	≤ 50	48	1,3	1,2
		> 50	35	2,6	–
	II	≤ 50	48	1,1	1,0
		> 50	35	2,7	–
	III	≤ 50	35	1,8	–

Градуировочная зависимость для метода скалывания ребра

При параметрах устройства, приведенного на рис. 2П1, прочность бетона на гранитном и известковом щебне R , МПа можно вычислять по градуировочной зависимости по формуле

$$R = 0,058 \cdot m \cdot (30P + P^2),$$

где m – коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя, $m=1$ – при крупности заполнителя менее 20 мм; $m=1,05$ – при крупности заполнителя от 20 до 30 мм и $m=1,1$ – при крупности от 30 до 40 мм;

P – усилие скалывания, кН.

Методика и пример установления градуировочных зависимостей и оценка их погрешности

Уравнение зависимости «косвенная характеристика - прочность» принимают линейным по формуле

$$R_n = a_0 + a_1 \cdot H, \quad (1П)$$

где R_n – прочность бетона, МПа;

H – косвенная характеристика.

Продолжение прил. 2.

Коэффициенты a_0 и a_1 рассчитывают по формулам

$$a_0 = \bar{R}_\phi - a_1 \cdot \bar{H}; \quad (2\Pi)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H}) \cdot (R_{i\phi} - \bar{R}_\phi)}{\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2}. \quad (3\Pi)$$

Средние значения прочности \bar{R}_ϕ , найденные при испытании образцов по ГОСТ 10180-90, и косвенных характеристик \bar{H} , необходимых для определения коэффициентов a_0 , a_1 , рассчитывают по формулам

$$\bar{R}_\phi = \frac{\sum_{i=1}^N R_{i\phi}}{N}; \quad (4\Pi)$$

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i}{N}, \quad (5\Pi)$$

где $R_{i\phi}$ и H_i – соответственно значения прочности и косвенной характеристики для отдельных серий по ГОСТ 10180-90;

N – число серий (или отдельных образцов), использованных для построения градуировочной зависимости.

После построения градуировочной зависимости по формуле (1\Pi) производят ее корректировку отбраковкой единичных результатов испытаний, не удовлетворяющих условию

$$\frac{|R_{iH} - R_{i\phi}|}{S_T} \leq 2, \quad (6\Pi)$$

где S_T – остаточное среднее квадратическое отклонение,

$$S_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{i\phi} - R_{iH})^2}{N - 2}}, \quad (7\Pi)$$

где R_{iH} – прочность бетона в i -й серии образцов, определенная по градуировочной зависимости по формуле

$$R_{iH} = a_0 - a_1 \cdot H_i. \quad (8\Pi)$$

Продолжение прил. 1.

После отбраковки градуировочную зависимость устанавливают заново по формулам (1П)-(3П) по оставшимся результатам испытания.

Погрешность определения прочности бетона по установленной зависимости оценивают по формуле (7П).

$$\text{Если } \frac{S_T}{\bar{R}_\Phi} \cdot 100\% \geq 12\% - 15\%, \quad (8П)$$

то проведение контроля и оценка прочности по полученной зависимости не допускаются.

Проверку градуировочной зависимости проводят не реже одного раза в 2 месяца. Для этого изготавливают не менее 6 серий образцов. Для каждой серии образцов определяют единичные значения косвенной характеристики H_i и прочности бетона по данным испытания на прессе $R_{i\Phi}$ (по ГОСТ 10180-90). В соответствии с установленной градуировочной зависимостью по полученным косвенным характеристикам определяют прочность бетона. Вычисляют среднее значение косвенных характеристик по формуле

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}, \quad (9П)$$

где n – число серий образцов, испытанных для проверки градуировочной зависимости.

Затем разделяют испытанные серии образцов на две группы. В первую группу входят образцы, единичные значения косвенной характеристики которых не превышают среднего значения \bar{H} :

$$H_i < \bar{H}.$$

Ко второй группе относятся все остальные серии, т.е. те, у которых $H_i \geq \bar{H}$.

Градуировочная зависимость допускается к дальнейшему применению при одновременном выполнении следующих условий:

- Разность $(R_{i\Phi} - R_{ин})$ не имеет одинакового знака в пяти из шести испытанных серий образцов.
- Среднее квадратическое отклонение S_{Π} прочности бетона в испытанных сериях, определенное по формуле

$$S_{\Pi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{i\Phi} - R_{ин})^2}{n-1}},$$

Продолжение прил. 1.
не должно превышать более чем в полтора раза среднее квадратическое отклонение используемой градуировочной зависимости

$$S_{\Pi} > 1,5S_T.$$

- Значение разности ($R_{i\phi} - R_{in}$) не должно иметь одинакового знака для серий образцов первой и второй групп.

При невыполнении хотя бы одного из условий градуировочную зависимость устанавливают заново.

Пример. Прочность бетона проектного класса по прочности В20 контролируют методом отскока с помощью прибора КМ. Для установления зависимости между значениями отскока и прочности бетона было испытано в течение 5 сут 20 серий образцов-кубов размером 100×100×100 мм ($N=20$). Средние результаты по каждой серии приведены в табл. 7П1.

Таблица 7 П 1

Номер серии	Значение косвенной характеристики H	Прочность бетона, МПа		$\frac{R_{iH} - R_{i\phi}}{S_T}$		Примечание	
		по результатам испытаний на сжатие $R_{i\phi}$	по градуировочной зависимости R_{in}		до отбраковки		после отбраковки
			до отбраковки	после отбраковки			
1	17,7	18,7	22,75	22,72	1,72	1,91	
2	18,6	26,7	25,90	25,96	0,34	0,35	
3	17,8	24,0	23,10	23,08	0,38	0,44	
4	18,1	23,6	24,15	24,16	0,23	0,27	
5	16,0	16,0	16,80	16,60	0,34	0,29	
6	19,2	27,6	28,00	28,12	0,17	0,25	
7	17,8	25,3	23,10	23,08	0,93	1,06	
8	19,6	32,2	29,40	29,56	1,19	1,26	
9	18,8	26,5	26,60	26,68	0,04	0,09	
10	17,8	22,2	23,10	23,08	0,38	0,42	
11	16,4	18,4	18,20	18,04	0,08	0,17	
12	19,2	31,8	28,00	28,12	1,61	1,75	
13	18,5	23,5	25,55	25,60	0,87	1,00	
14	19,1	24,4	27,65	27,76	1,38	1,60	
15	17,6	20,4	22,40	22,36	0,85	0,93	
16	19,2	31,3	28,00	28,12	1,40	1,51	
17	18,4	24,9	25,20	25,24	0,13	0,17	
18	18,8	26,2	26,60	26,68	0,17	0,23	
19	17,2	25,8	21,00	-	2,03	-	
20	17,3	21,0	21,35	21,28	0,15	0,13	

Продолжение прил. 1.

Среднее значение прочности \bar{R}_ϕ и значение отскока \bar{H} определяют по формулам (4П) и (5П):

$$\bar{R}_\phi = \frac{189,7 + 26,7 + \dots + 21}{20} = 24,5 \text{ МПа};$$

$$\bar{H} = \frac{17,7 + 18, + \dots + 17,320}{20} = 1,2.$$

Вычисляют по формулам (3П) и (2П) значения коэффициентов a_1 и a_0 :

$$a_1 = \frac{(17,7 - 18,2) \cdot (18,7 - 24,5) + (18 - 18,2) \cdot (26,7 - 24,5)}{(17,7 - 18,2)^2 + (18,6 - 18,2)^2 + \dots + (17,3 - 18,2)^2} + \dots +$$

$$+ \frac{(17,3 - 18,2) \cdot (21 - 24,5)}{(17,7 - 18,2)^2 + (18,6 - 18,2)^2 + \dots + (17,3 - 18,2)^2} = 3,5;$$

$$a_0 = 24,5 - 35 \cdot 18,2 = 39,2.$$

Таким образом, градуировочную зависимость можно представить в виде уравнения

$$R_n = 3,5H - 39,2.$$

Значения прочностей $R_{ин}$, рассчитанные по градуировочной зависимости, приведены в табл. 7П1. Остаточное среднее квадратическое отклонение, определенное по формуле (7П), составит

$$S_T = \sqrt{\frac{(18,7 - 22,75)^2 + (26,7 - 25,)^2 + \dots + (21 - 2,35)^2}{20 - 2}} = 2,36 \text{ МПа}$$

Сравнивая значение фактической прочности $R_{i\phi}$ в сериях образцов с прочностью $R_{ин}$, определенной по градуировочной зависимости (см. табл. 7П2), устанавливают, что условие формулы (6П) не выполняется для серии 19, которая подлежит отбраковке. По оставшимся 19 сериям образцов рассчитывают новые значения \bar{R}_ϕ , \bar{H} и коэффициентов a_0 и a_1 : $\bar{R}_\phi = 24,5 \text{ МПа}$; $\bar{H} = 18,2$; $a_1 = 3,6$; $a_0 = -41$.

Определяют значение $R_{ин}$ (см. табл. 7П1) и рассчитывают среднее квадратическое отклонение $S_T = 2,1 \text{ МПа}$. Для скорректированной градуировочной зависимости по всем сериям образцов условие формулы (6П) теперь удовлетворяется (см. табл. 6П2). Таким образом, дальнейшую корректировку проводить не требуется. Искомую градуировочную зависимость можно представить в виде уравнения

$$R_n = 3,6H - 41.$$

По формуле (8П) определяют погрешность полученной зависимости.

Методика уточнения градуировочной зависимости

Значение прочности бетона, определенное с использованием градуировочной зависимости, установленной для бетона, отличающегося от испытываемого, умножают на коэффициент K_c , значение которого вычисляют по формуле

$$K_c = \frac{\sum_1^n R_i}{\sum_1^n R_y},$$

где R_i – прочность бетона в участке, определяемая методами отрыва со скалыванием, скалывания ребра или испытанием кернов по ГОСТ 10180-90;

R_y – то же методами упругого отскока, ударного импульса или пластической деформации;

n – число образцов, принимаемое не менее трех.

Значение прочности бетона не должно отличаться от среднего значения по градуировочной зависимости более чем на $\pm 30\%$. Значение прочности бетона, определенное с использованием коэффициента K_c , может быть применено только в том случае, если полученное значение прочности бетона не выходит за пределы значений, которые могут быть определены по градуировочной зависимости.

Методика испытания бетона в пробах, отобранных из конструкций

Испытание бетона в пробах рекомендуется проводить для определения его прочности в труднодоступных зонах конструкций и в конструкциях, находящихся при отрицательной температуре.

При статическом вдавливании конуса методика может быть применена для оценки прочности бетона не только на поверхности конструкции, но и на внутренней поверхности скола. Для определения прочности бетона от контролируемого участка конструкции откалывают пробы. Минимальный объем пробы, см³:

1000 – для испытания методом упругого отскока;

500 – для испытания методом ударного импульса и пластической деформации под воздействием динамической нагрузки;

Окончание прил. 1

50 – для испытания методом пластической деформации под воздействием статической нагрузки.

Пробу вмоноличивают в раствор, прочность которого на день испытания должна составлять не менее половины прочности бетона пробы (для предотвращения разрушения пробы при испытании). Вмоноличивание проб в раствор удобно производить с использованием стандартных форм для изготовления бетонных контрольных образцов по ГОСТ 10180-90. Расположение проб после распалубки представлено на рис. 3П1.

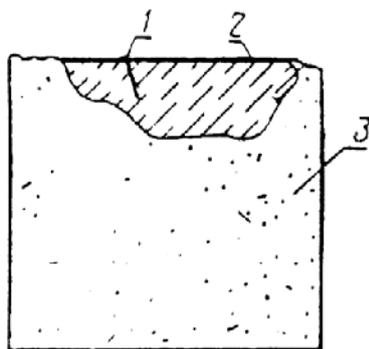


Рис. 3П1. Расположение пробы после распалубки:
1 – проба бетона; 2 – наиболее удобная для испытания сторона пробы;
3 – раствор, в котором закреплена проба

Для испытания методом упругого отскока или пластической деформации при ударе индентора необходимо, чтобы растворная обойма с пробой была в вертикальном положении.

Для испытаний методом пластической деформации при вдавливании конуса на поверхностях скола часть образцов следует расколоть и произвести испытания вдавливанием конуса, а другую часть образцов-близнецов испытать на сжатие.

Приложение 2

Технические характеристики ультразвуковых приборов для определения прочности бетона

Таблица 1 П 2

Характеристика	Тип прибора			
	Бетон-12	УК-14П	УК-10ПМ	УФ-10П
Диапазон измерения времени распространения ультразвуковых колебаний, мкс	20–999,9	20–9000	8–8500 – в ручном режиме, до 9999 – в автоматическом режиме	20–999,9
Режим измерения	Автоматический		Автоматический, ручной	Автоматический
Индикация	Цифровая		Цифровая	
Электрическое питание	Автономное	Универсальное		Сетевое
Наличие ЭЛТ	–	–	Да	Да
Число каналов измерения	1	1	1	12
Наличие микропроцессора	–	–	–	Да
Конструктивное исполнение	Портативный		Переносной	Стационарный
Масса, кг	2,6	1,5	10,0	28,0
Предприятие-изготовитель	Опытный завод ВНИИжелезобетон, г. Москва	"Электроточприбор", г. Кишинев		

Примеры установления градуировочной зависимости

Прочность бетона класса В25 контролируют в конструкции способом сквозного прозвучивания. Для установления градуировочной зависимости между скоростью ультразвука и прочностью бетона было испытано в течение 5 сут 20 серий образцов-кубов размером 100×100×100 мм в возрасте от 4 до 8 ч после тепловой обработки.

Результаты испытаний приведены в табл. 2П2.

Таблица 2 П 2

Номер серии	Скорость ультразвука v , м/с	Прочность, МПа			$\frac{R_{jн} - R_{jф}}{S}$		Примечание
		по результатам испытаний на сжатие $R_{jф}$	по градуировочной зависимости $R_{jн}$		до отбраковки	после отбраковки	
			до отбраковки	после отбраковки			
1	4029	20,6	21,35	21,26	0,27	0,27	Серия отбракована
2	4371	26,0	31,65	–	2,02	–	
3	4080	22,0	22,89	22,92	0,32	0,37	
4	4097	26,3	23,40	23,47	-1,04	-1,14	
5	4116	21,1	23,97	23,09	1,03	1,21	
6	4137	23,4	24,60	24,77	0,43	0,55	
7	4136	26,0	24,57	24,74	-0,51	-0,51	
8	4187	26,4	26,11	26,40	-0,10	0	
9	4195	29,2	26,35	26,66	-1,02	-1,03	
10	4248	25,5	27,94	28,38	0,87	1,16	
11	4232	28,5	27,46	27,86	-0,37	-0,26	
12	4285	25,0	29,06	29,58	1,45	1,85	
13	4267	31,6	28,52	29,00	-1,10	-1,05	
14	4037	21,7	21,59	21,52	-0,04	-0,07	
15	4316	34,3	30,00	30,59	-1,54	-1,50	
16	4352	30,5	31,08	31,76	0,21	0,51	
17	4398	36,9	32,46	33,26	-1,59	-1,47	
18	4393	34,5	32,31	33,09	-0,78	-0,57	
19	4475	33,0	34,78	35,76	0,64	1,11	
20	4436	33,3	33,60	34,49	0,11	0,48	

Средние значения прочности \bar{R}_ϕ , МПа, и скорости ультразвука \bar{v} , м/с, составляют

$$\bar{R}_\phi = \frac{20,6 + 26,0 + \dots + 33,3}{20} = 27,79;$$

$$\bar{v} = \frac{4029 + 4371 + \dots + 4436}{20} = 4239,4.$$

Минимальное и максимальное значения прочности составляют: $R_{\min} = 20,6$ МПа и $R_{\max} = 36,9$ МПа (1-я и 17-я серии образцов).

Поскольку $R_{\max} - R_{\min} = 36,9 - 20,6 = 16,3$ МПа, что составляет менее чем $2 \cdot 27,79 \frac{60 - 27,79}{100} = 17,9$ МПа, уравнение искомой зависимости принимают линейным:

$$R_n = a_0 + a_1 v.$$

Коэффициенты a_0 и a_1 определяют по формулам

$$a_1 = \frac{(27,79 - 20,6)(4239,4 - 4029) + (27,79 - 26,0)(4239,4 - 4371) + \dots +}{(4239,4 - 4029)^2 + (4239,4 - 4371)^2 + \dots + (4239,4 - 4436)^2} = 0,0301;$$

$$a_0 = 27,79 - 0,0301 \cdot 4239,4 = -99,92.$$

Таким образом, градуировочная зависимость имеет вид $R_n = 0,0301v - 99,92$. Значения прочностей R_{jn} , рассчитанные по градуировочной зависимости, приведены в табл. 2П2.

Остаточное среднее квадратическое отклонение составляет

$$S = \sqrt{\frac{(20,6 - 21,35)^2 + (26,0 - 31,65)^2 + \dots + (33,3 - 33,6)^2}{18}} = 2,8 \text{ МПа.}$$

Сравнивая значения фактической прочности $R_{jф}$ в сериях образцов с прочностью R_{jn} , определенной по градуировочной зависимости (см. табл. 2П2), устанавливают, что серия 2 подлежит отбраковке.

По оставшимся 19 сериям образцов рассчитывают новые значения $\bar{R}_ф$, \bar{v} и коэффициентов скорректированной зависимости a_0 и a_1 :

$$\bar{R}_ф = \frac{20,6 + 22,0 + \dots + 33,3}{19} = 27,88 \text{ МПа;}$$

$$\bar{v} = \frac{4029 + 4080 + \dots + 4436}{19} = 4232,4 \text{ м/с;}$$

$$a_1 = \frac{(27,88 - 20,6)(4232 - 4029)}{(4232,4 - 4029)^2 + (4232,4 - 4080)^2 + \dots + (4232,4 - 4436)^2} + \frac{(27,88 - 22,0)(4232,4 - 4080) + \dots}{(4232,4 - 4029)^2 + (4232,4 - 4080)^2 + \dots + (4232,4 - 4436)^2} = 0,0325;$$

$$a_0 = 27,88 - 0,0325 \cdot 4232,4 = -109,68.$$

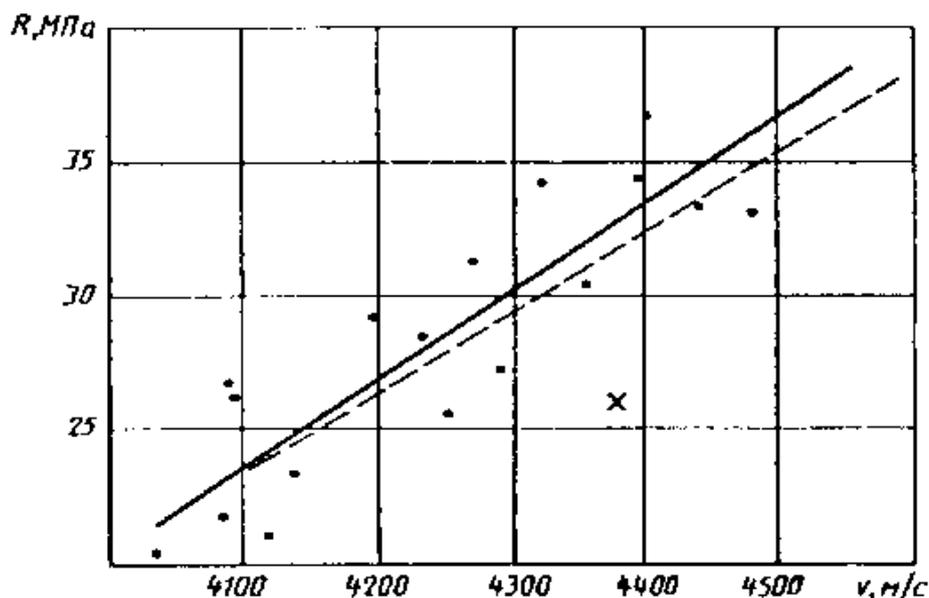
Определив значения $R_{jн}$, рассчитывают среднее квадратическое отклонение

$$S = \sqrt{\frac{(20,6 - 21,26)^2 + (22,0 - 22,92)^2 + \dots + (33,3 - 34,49)^2}{17}} = 2,48 \text{ МПа.}$$

Для скорректированной градуировочной зависимости $\frac{|R_{jн} - R_{jф}|}{S} < 2\%$ по всем сериям образцов. Таким образом, дальнейшую корректировку проводить не требуется, и искомая градуировочная зависимость имеет вид

$$R_{н} = 0,0325v - 109,68.$$

Графики градуировочных зависимостей до и после корректировки приведены на рисунке.



- — — градуировочная зависимость до отбраковки;
- — — градуировочная зависимость скорректированная;
- x — отбракованные результаты испытаний

Оценка погрешности определения прочности бетона по результатам ультразвуковых измерений

Прочность бетона в конструкциях контролируют по установленной градуировочной зависимости.

1) Контроль осуществляют способом сквозного прозвучивания без использования переходных коэффициентов. В этом случае погрешность определения прочности составит

$$S_T = \sqrt{S^2 + q \cdot 0} = S = 2,48 \text{ МПа.}$$

Поскольку $\frac{S_T}{R_\phi} \cdot 100\% = \frac{2,48}{27,88} \cdot 100\% = 8,90\% < 12\%$, полученная гра-

дуировочная зависимость может быть использована для определения прочности бетона.

2) Контроль осуществляют способом поверхностного прозвучивания с использованием переходного коэффициента. При этом среднее квадратическое отклонение установленного коэффициента $S_k = 0,01$.

Погрешность определения прочности

$$\begin{aligned} S_T &= \sqrt{S^2 + (\bar{R}_\phi - a_0)^2 S_k^2} = \\ &= \sqrt{2,48^2 + (27,88 + 109,68)^2 \cdot 0,01^2} = 2,84 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Поскольку $\frac{2,84}{27,88} \cdot 100\% = 10,19\% < 12\%$, определение прочности

бетона по установленной градуировочной зависимости может производиться с использованием данного переходного коэффициента.

Вопросы для самоконтроля

1. Опишите схему испытания бетона способом поверхностного прозвучивания.
2. Укажите число испытаний при применении метода упругого отскока.
3. На чем основаны импульсивные методы контроля качества бетона?
4. Как строят градуировочную зависимость при применении ультразвукового метода оценки прочности?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст] / И.А. Рыбьев.– М.: Высшая школа, 2007. – 572 с.
2. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебно-методическое пособие / Е.В. Королев [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2009.
3. Королев, Е.В. Сборник задач по строительному материаловедению [Текст]: учебное пособие / Е.В. Королев. – Пенза: ПГУАС, 2010.
4. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов н/Д: Феникс, 2007.
5. Худяков, В.А. Современные композиционные строительные материалы [Текст] / В.А. Худяков.– Ростов н/Д: Феникс, 2007.
6. Меркин, А.П. Влияние микроструктуры ячеистых бетонов на их технические свойства [Текст] / А.П. Меркин, А.П. Филин //Вибро-вспученный газобетон: сб. – М.: МИСИ, 1962.
7. Меркин, А.П. Некоторые вопросы теории и практики формирования микроструктуры ячеистых бетонов [Текст] / А.П. Меркин, А.П. Филин, Д.Г. Земцов //Строительные материалы. – 1963. – №12.
8. Иванов, Ф.М. Метод измерения сквозной пористости капиллярно-пористых тел [Текст] / Ф.М. Иванов, К.М. Акимов //Заводская лаборатория. – 1965. –№11.

Учебное издание

Логанина Валентина Ивановна
Макарова Людмила Викторовна
Тарасов Роман Викторович

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА
МЕХАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Методические указания
к выполнению самостоятельной работы

Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова

Редактор М.А. Сухова
Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 6.05.2014. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 1,976. Уч.-изд.л. 2,125. Тираж 80 экз.
Заказ №131.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28