



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙ-
СКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИ-
ТЕТ»
(ДГТУ)**

Кафедра «Строительные материалы»

Неразрушающие методы контроля прочности бетона

Методические указания
по выполнению практической работы по дисциплине «Неразрушающий
контроль строительных материалов»

г. Ростов-на-Дону

2023 г.

УДК 691.42

Составитель Г.А. Козлов

Неразрушающие методы контроля прочности бетона. Методические указания по выполнению практической работы по дисциплине «Неразрушающий контроль строительных материалов». – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2023. – 58 с.

Представлены характеристики неразрушающих методов определения прочности, правила контроля и оценки прочности бетона.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению 08.04.01 – Строительство, профиль «Инновационные материалы в современном строительстве»

УДК 691.42

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Строительные материалы»
д-р техн. наук, проф. В.Д. Котляр

В печать _____

Формат 60x84/16. Объём _____ усл. п.л.

Тираж _____ экз. Заказ № _____

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный

технический университет, 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие сведения.....	3
2. Характеристика неразрушающих методов определения прочности.....	7
2.1 Методы пластической деформации.....	7
2.2 Метод упругого отскока.....	11
2.3 Метод ударного импульса.....	13
2.4 Метод отрыва диска.....	15
2.5 Метод скалывания ребра.....	16
2.6 Метод отрыва со скалыванием.....	18
2.7 Ультразвуковые методы.....	24
3. Правила испытаний для установления градуировочных Зависимостей.....	27
3.1 Получение косвенных показателей при определении фактической прочности по образцам	28
3.2 Получение косвенных показателей при определении фактической прочности методом отрыва со скалыванием.....	30
4. Установление градуировочных зависимостей.....	31
4.1 Общие принципы.....	31
4.2 Проверка градуировочной зависимости.....	34
4.3 Корректировка градуировочной зависимости с учетом дополнительно получаемых результатов.....	35
4.4 Уточнение градуировочной зависимости.....	36
5. Установление градуировочных зависимостей с использованием механических методов (на примере метода упругого отскока).....	37
5.1 Установление градуировочной зависимости.....	37
5.2 Проверка градуировочной зависимости.....	38
6. Установление градуировочной зависимости с определением Фактической прочности методом отрыва со скалыванием.....	39
6.1 Общие положения.....	39
6.2 Пример установления градуировочной зависимости «скорость ультразвука-прочность».....	41
7. Правила контроля и оценки прочности бетона в конструкциях.....	44
7.2 Контроль и оценка прочности бетона изделий заводского изготовления.....	46
7.3 Контроль и оценка прочности бетона монолитных конст- рукций.....	48
7.4 Приемка монолитных конструкций по прочности.....	50
Заключение.....	56
Список использованных источников.....	58

1. Общие сведения

Прочность бетона при сжатии является одно из важнейших его строительно-технических характеристик. Она выражается наименьшей величиной сжимающих напряжений, выраженной в МПа, при которой происходит его разрушение. Известно, что разрушение бетона при силовых воздействиях происходит в тот момент, когда внутренние напряжения в нем, вызванные этими воздействиями, достигают предельной растяжимости бетона, при которой происходит нарушение межмолекулярных или междолинных связей. У идеально упругих материалов это происходит в момент преодоления упругих деформаций, у идеально пластичных – пластических.

Разрушение бетона при приложении к нему нагрузки происходит тогда, когда сумма упругих и пластических деформаций достигает его предельной растяжимости, то есть

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{упр}} + \varepsilon_{\text{пл}} + \varepsilon_{\text{полз}} \quad (1),$$

где - $\varepsilon_{\text{пр}}$ – предельная деформация, при которой происходит нарушение сплошности бетона;

- $\varepsilon_{\text{упр}}$ – упругая составляющая полной деформации;
- $\varepsilon_{\text{пл}}$ – пластическая составляющие полной деформации;
- $\varepsilon_{\text{полз}}$ – пластическая деформация ползучести, проявляющаяся при длительном действии нагрузки.

При испытании бетонных образцов на прочность нарастание нагрузки происходит очень быстро (практически мгновенно); деформации ползучести не успевают проявиться, поэтому разрушение образца происходит при достижении предельной растяжимости за счет деформаций упругости и пластичности, то есть

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{упр}} + \varepsilon_{\text{пл}} \quad (2)$$

Упругие деформации обусловлены межмолекулярными (ван-дер-ваальсовыми связями), пластические – взаимными перемещениями структурных элементов – кристаллов и некристаллических компонентов. При кратковременном (условно называемом «мгновенном») нагружении предельная растяжимость достигается главным образом за счет упругой ее

компоненты. Поэтому стандартные методы испытания на прочность бетонных образцов предполагают их упругое деформирование до разрушения.

Обычно для того чтобы определить прочность бетона используют образцы, либо специально изготовленные из рабочих бетонных смесей, либо отобранные из конструкций. При этом, образцы могут иметь кубическую или цилиндрическую форму. Согласно ГОСТ 10180 контрольные образцы –кубы могут иметь один из стандартных размеров: 70;100; 150; 200; 250; 300 мм. Из этого ряда размер 15 см является базовым. Если испытывают образцы, имеющие размеры, отличные от базового, то полученные при испытании на прочность результаты приводят к образцу базового размера умножением их на масштабные коэффициенты (табл.1).

Таблица 1 – Масштабные коэффициенты при испытании образцов-кубов на сжатие

Номинальный размер ребра куба	70	100	150	200	250	300
Масштабный коэффициент	0,85	0,95	1,00	1,05	1,08	1,10

Образцы цилиндрической формы должны иметь размеры (диаметр×высота) 100×200; 150×300; 200×400; 250×500; 300×600 мм. Для приведения результатов испытания цилиндров к базовому размеру куба с ребром 150 мм применяют масштабные коэффициенты, приведенные в табл. 2.

Таблица 2 –Масштабные коэффициенты для цилиндров

Номинальный размер диаметра цилиндра	100	150	200	250	300
Масштабный коэффициент	1,16	1,20	1,24	1,26	1,28

Образцы, изготовленные из рабочих бетонных смесей на бетонных или железобетонных заводах, а также на строительных площадках из поставляемых товарных смесей, называются контрольными. Их обычно изготавливают в специальных металлических формах путем укладки в них бетонной смеси и последующего тщательного уплотнения на лабораторных виброплощадках или штыкованием (если смеси литые или самоуплотняющиеся). При изготовлении контрольных образцов на строительной площадке

способ уплотнения бетонной смеси в формах и условия твердения должны быть максимально приближены к условиям бетонирования и твердения бетона в конструкциях.

В последние годы широкое распространение получили такие способы формования в заводских условиях как статическое прессование, вибропрессование и экструзионный. Этими способами изготавливают изделия малых размеров и сложной формы (тротуарные и фасадные плиты, бортовые дорожные камни, пустотные стеновые камни и т.п.). В связи с трудностями, а чаще всего, и невозможностью добиться в лабораторных условиях такой же степени уплотнения бетонной смеси, как и при формировании изделий, изготовление контрольных образцов в лабораторных условиях представляется затруднительным или даже невозможным. Прочность бетона в этих изделиях определяют либо испытанием целых изделий (стеновые камни, цементно-минеральный кирпич), либо испытанием образцов, выпиленных или выбуренных из изделий. При этом изделие (например, бортовые дорожные камни или тротуарные плиты) становятся непригодными для применения.

В тех случаях, когда контрольные образцы отсутствуют, прочность бетона монолитных бетонных и железобетонных конструкций, уже достигших нормативного срока твердения или эксплуатируемых (например, при обследовании зданий и сооружений) проверяют на образцах, выбуренных из тела конструкции, либо выпиленных из фрагментов бетона, отобранных из конструкции. В этих случаях конструкции получают повреждения и требуют восстановления путем заполнения пустот, образованных при выбуривании из них кернов или отборе фрагментов, равнопрочным бетоном.

Контроль прочности бетона по результатам испытания отобранных (выбуренных или выпиленных) образцов в ряде случаев вообще не применим. Так, например, если необходимо оценить прочность бетона в крупногабаритных, но тонкостенных конструкциях (пустотных или ребристых плитах, железобетонных трубах и тому подобных случаях) в связи с малой толщиной бетонного сечения (к примеру, в многопустотных плитах перекрытий толщина бетонного сечения полки составляет всего 22 мм) выпиливание или выбуривание образцов стандартных размеров невозможно. Отбор образцов из монолитных конструкций бывает невозможным и тогда, когда они являются густоармированными. В этих случаях единственно возможным является применение неразрушающих методов определения прочности.

Есть еще важные обстоятельства, которые понуждают как строителей, так и надзорные органы прибегать к использованию неразрушающих методов контроля прочности бетона монолитных конструкций. Дело в том, что нормативные документы допускают контроль прочности бетона по образцам, изготовленным из бетонной смеси, поступающей на объект при условии, что бетонная смесь в этих уплотнена так же как и в конструкции, а сами образцы твердеют в тех же температурно-влажностных условиях, что и бетон забетонированной конструкции. Однако, по целому ряду причин эти условия в полном объеме не могут быть соблюдены, в результате чего прочность бетона, определенная испытанием образцов, зачастую не соответствует (особенно в жаркий и холодный периоды года) прочности бетона в конструкции. И еще одно обстоятельство. Согласно действующим правилам контролю прочности подлежат конструкции, изготовленные из одной партии бетонной смеси, поступившей на объект, объем которой может составлять десятки кубических метров или суточному объему уложенной смеси. При этом для контроля прочности бетона из партии смеси достаточно изготовить одну серию контрольных образцов, по результатам испытания которых судят о прочности бетона в конструкциях. Даже при соблюдении требования об одинаковости условий твердения бетона в образцах и в конструкциях прочность бетона в них также зачастую не соответствует прочности испытанных образцов. Причинами этого могут служить неоднородность прочности бетона по объему конструкции, обусловленная как неоднородностью состава бетонной смеси в разных поставляемых порциях (например, в разных миксерах), так и расслоением ее при выгрузке из транспортного средства, перекачивании бетононасосами, укладке в опалубку и уплотнении. Испытание прочности бетона на контрольных образцах затрудняет статистическую оценку прочности как в отдельных конструкциях, так и в партиях конструкций. Такая оценка может быть выполнена только при применении неразрушающих методов.

2 Характеристика неразрушающих методов определения прочности бетона

Под неразрушающими понимают методы контроля прочности, не требующие разрушения испытываемых образцов, изделий или конструкций. Одни из них базируются на связи прочности при сжатии с упруго-пластическими свойствами бетона, другие с прочностью его на растяжение.

По основополагающему принципу неразрушающие методы делятся на механические и ультразвуковые. К неразрушающим механическим относятся методы пластической деформации, упругого отскока, ударного импульса и отрыва диска. К методам локального разрушения относятся метод отрыва со скалыванием и метод скалывания ребра. Особое место занимают ультразвуковые методы, в основу которых положена связь между прочностью бетона и скоростью ультразвукового импульса, проходящего через него.

2.1 Методы пластической деформации

Эти методы базируются на корреляционной связи между прочностью и пластичностью бетона. Сущность их состоит в том, что при вдавливании с определенным усилием в бетон твердосплавного индентора (имеющего сферическую, конусную или пирамидальную форму) или нанесении удара по поверхности бетона индентором сферической формы на поверхности бетона образуется отпечаток, размеры которого (глубина или диаметр) зависят от прочности бетона: чем больше размеры отпечатка, тем меньше прочность бетона. Из методов этой группы наибольшую популярность в свое время получили методы И.А.Физделя и К.П.Кашкарова.

Метод И.А.Физделя базируется на корреляционной связи между прочностью и пластичностью бетона. Прибор, называемый молотком И.А.Физделя, имеет внешний вид, схожий с обычным слесарным молотком и отличается от него тем, что ударная часть представляет собой сферический индентор диаметром 17,5 мм (рис. 1). Косвенной характеристикой прочности бетона в данном случае является диаметр отпечатка, образующегося при локтевом ударе молотком по поверхности бетона. Для того, чтобы усилие, с которым наносится удар, было постоянным, оператор должен опереться локтем на твердую поверхность и в этом положении наносить удар. Для применения молотка И.А.Физделя необходимо иметь градуировочную зависимость «диаметр отпечатка-прочность». Эту зависимость получают на нескольких сериях бетонных образцов разной прочности.

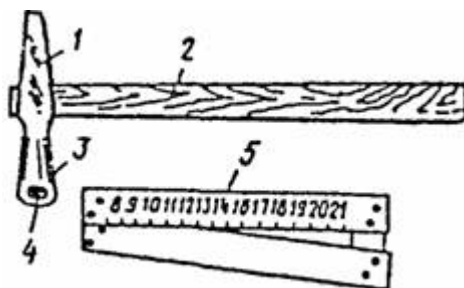


Рис. 1. Молоток И.А.Физделя: 1 – молоток; 2 – рукоятка; 3 – сферическое гнездр; 4 – шарик диаметром 17,5 мм; 5 – угловой масштаб.

Сначала по каждому образцу, зафиксированному так, чтобы он не мог сдвинуться при ударе, молотком наносят не менее 10 ударов, измеряют диаметры отпечатков, а затем эти образцы испытывают на прочность при сжатии разрушением на прессе. По средним значениям диаметров отпечатков на образцах каждой серии и средней величине прочности этих образцов строят график в осях «прочность-диаметр отпечатка» (рис. 2).

При контроле прочности бетона в конструкциях или изделиях на каждом контролируемом участке наносят не менее 10 ударов молотком и вычисляют среднеарифметическое значение полученных отпечатков, по которому на графике находят соответствующее ему значение прочности бетона (рис. 2).

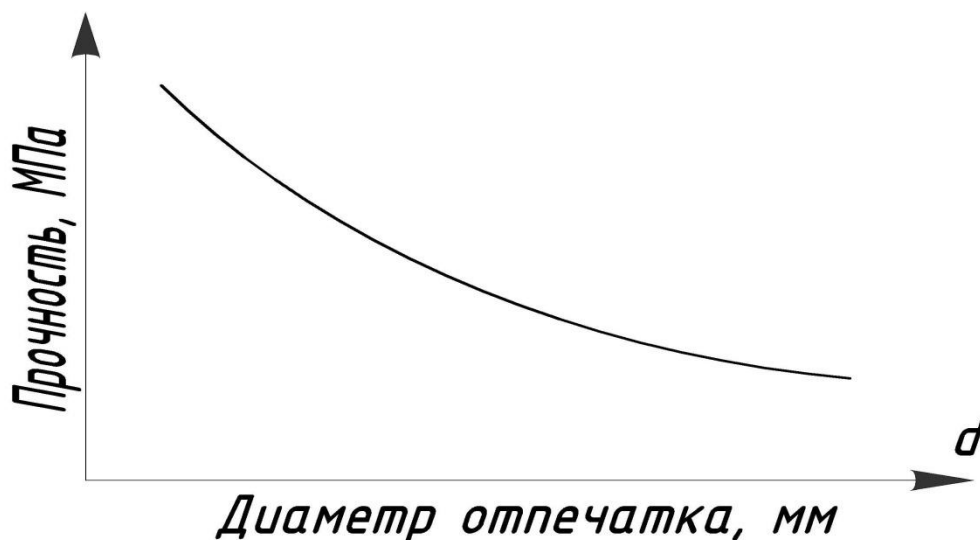


Рис. 2. Обобщенный вид градуировочной зависимости «прочность бетона - диаметр отпечатка молотка И.А.Физделя»

Основным недостатком этого метода является то, что диаметр отпечатка зависит не только от прочности бетона, но и от силы удара молотком по

бетону. Поэтому построение градуировочной зависимости и контроль прочности бетона в конструкциях должен выполнять один и тот же исполнитель. По этой же причине метод И.А.Физделя может быть применен только для ориентировочной оценки прочности бетона. При приемке конструкций и изделий по прочности бетона в них этим методом пользоваться не рекомендуется.

Более совершенным является метод, основанный на применении молотка К.П.Кашкарова.

Эталонный молоток К.П.Кашкарова (рис. 3) состоит из корпуса с металлической рукояткой, стакана с отверстием для шарика диаметром 15,7 мм и сменного эталонного стержня диаметром 10 или 12 мм и длиной 100-150 мм.

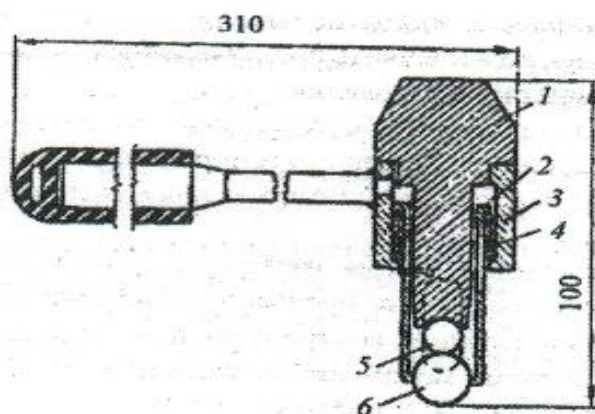


Рис. 3. Молоток К.П.Кашкарова: 1 – головка; 2 – стакан; 3 – корпус; 4 – пружина; 5 – эталонный стальной стержень; 6 – шарик (индентор)

Принцип работы молотка состоит в следующем. Эталонный стержень вставляют между шариком и головкой молотка, после чего ударяют молотком по поверхности испытуемого бетона. В момент удара шарик оставляет два отпечатка - на бетоне и на эталонном стержне. Измеряют диаметры отпечатков на бетоне и эталонном стержне и вычисляют отношение этих диаметров. Затем по предварительно установленной градуировочной зависимости «прочность - отношение диаметров отпечатков» определяют прочность бетона на измеренном участке. Преимущество этого метода перед методом И.А.Физделя состоит в том, что результаты испытаний практически не зависят от того, с какой силой наносились удары.

Для построения градуировочной зависимости необходимо изготовить не менее 15 серий или 30 образцов стандартных размеров, а затем, после достижения ими проектного возраста, выполнить их испытание. Для этого каждый образец устанавливают между плитами гидравлического пресса и обжимают усилием (30 ± 5) кН для предотвращения смещения при нанесении ударов молотком. Образцы устанавливают таким образом, чтобы была возможность нанесения ударов молотком по их боковым граням. На каждую из двух граней наносят не менее 5 ударов. После нанесения каждого удара измеряют диаметры отпечатков на эталонном стержне $d_{\text{эт}}$ и бетоне $d_{\text{б}}$ и вычисляют их отношение. Затем каждый образец испытывают на сжатие до разрушения. По полученным данным вычисляют среднеарифметические значения отношения $\frac{d_{\text{эт}}}{d_{\text{б}}}$ и прочности бетона. По этим данным строят градуировочную зависимость «прочность бетона – отношение диаметров отпечатков». Пример такой зависимости приведен на рис. 4



Рис. 4. Обобщенный вид градуировочной зависимости «прочность бетона - отношения диаметров отпечатков на эталонном стержне и бетоне»

В настоящее время оба эти метода применяются все реже в связи с недостаточной надежностью получаемых результатов испытаний.

2.2 Метод упругого отскока

Метод упругого отскока, разработанный швейцарским специалистом О.Шмидтом, основан на связи между прочностью и упругостью бетона. Этот метод при всей своей простоте позволяет получить более достоверные данные о прочности бетона и поэтому широко применяется. Сущность метода упругого отскока состоит в том, что при нанесении удара бойка с одинаковой силой величина отскока бойка от поверхности бетона будет зависеть от упругости бетона, которая имеет более тесную корреляционную связь с его прочностью, чем пластичность. На основе этого метода разработаны и выпускаются промышленностью несколько модификаций приборов. Отечественными аналогами молотка О.Шмидта являются склерометр ОМШ-1 (рис. 5) и ОМШ-1Э.

Принцип действия прибора следующий. Прибор устанавливают перпендикулярно к бетонной поверхности. Прибор прижимают к бетону до полного вдавливания стержня со сферическим индентором внутрь корпуса. В этот момент сжатая пружина освобождает боек и он, ударяясь о бетон, отскакивает на высоту, фиксируемую на шкале (ОМШ-1) или дисплее (ОМШ-1Э) прибора.



Рис. 5. Склерометр ОМШ-1

Косвенной характеристикой прочности бетона, определяемой этими приборами, является величина отскока бойка, выраженная в условных единицах. При работе с прибором ОМШ-1 величину отскока бойка считывают по шкале прибора после нанесения каждого удара.

Технические характеристики склерометра ОМШ-1 приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Технические характеристики склерометра ОМШ-1

Технические характеристики	Значения
Нижний предел температуры окружающего воздуха	10 ⁰ С
Измеряемая прочность бетона	5-40 МПа
Усилие сжатия пружины	не более 70 Н
Нормированная энергия удара	1,8 Дж
Вариация показаний при измерении высоты отскока на наковальне ОН-1	не более ± 2 усл. ед. шкалы
Радиус сферы индентора	25 мм
Масса	1,5 кг
Размеры, мм	364×68

Склерометр ОМШ-1Э снабжен электронным блоком, считывающим и отражающим на дисплее величину каждого отскока и среднеарифметическое значение из пяти последовательно выполненных ударов. Для применения метода упругого отскока необходимо предварительно построить градуировочную зависимость «величина упругого отскока бойка-прочность». Для этого так же, как и при применении метода К.П.Кашкарова, образцы-кубы обжимают на прессе усилием 30 кН и в этом положении на две боковые поверхности наносят не менее чем по 5 ударов, после чего образцы испытывают разрушением на прессе.

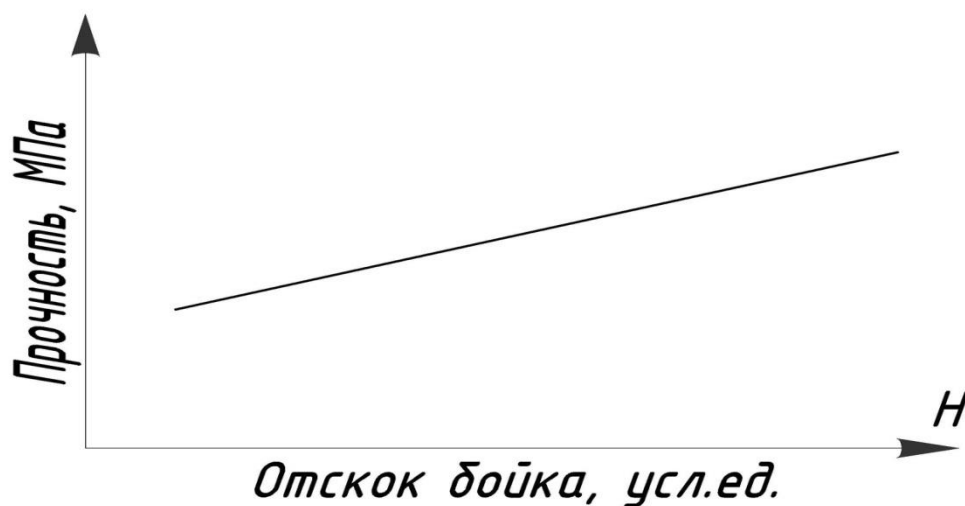


Рис. 6. Обобщенный вид градуировочной зависимости «прочность бетона - величина упругого отскока бойка склерометра Шмидта»

По средним значениям величины упругого отскока и прочности испытанных образцов строят градуировочную зависимость «прочность бетона- величина упругого отскока» (рис. 6).

2.3 Метод ударного импульса

По характеру воздействия на бетон этот метод аналогичен методу упругого отскока. Отличие состоит в том, что в этом случае измеряют не величину отскока, а импульс напряжений в силоизмерительном элементе при ударе по нему подвижного элемента прибора. При этом электрический импульс с помощью программы прибора преобразуется в показатель прочности, выраженный в МПа.

За последние годы научно-производственным предприятием «Интерприбор» (г. Челябинск) разработана серия приборов этого типа: Оникс-2.5, Оникс-2.6, ИПС-МГ4.03 и их модификации (рис. 7). Приборы оснащены электронными блоками, обеспечивающими фиксацию и накопление первичных результатов, их статистическую обработку и вычисление коэффициента вариации прочности.

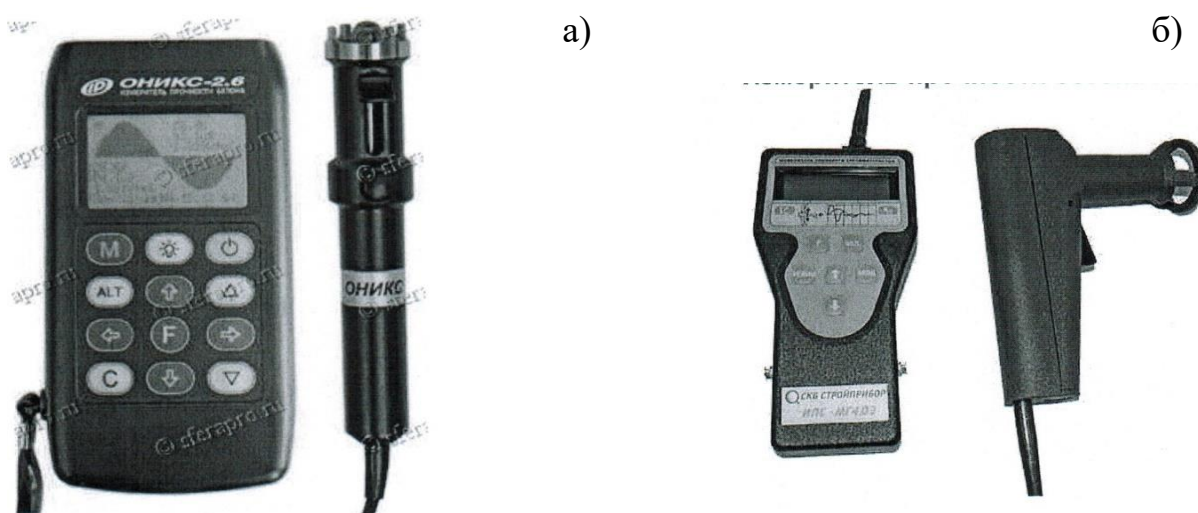


Рис.7. Измерители прочности бетона: а – ОНИКС 2.6; б - ИПС-МГ4.03

В таблице 4 приведены основные технические характеристики приборов Оникс-2.6 и ИПС-МГ4.03

Следует иметь в виду, что разработчиками приборов этого класса в программы заложены усредненные градуировочные зависимости, которые позволяют ориентировочно оценить прочность бетона в конструкциях и изделиях. Для применения этих приборов при оценке прочности бетона в

Таблица 4 – Характеристики приборов ударного импульса

Характеристики	Оникс-2.6	ИПС-МГ4.03
Диапазон измерения прочности, МПа	0,5-100	3-100
Основная относительная погрешность измерения, %	± 7	± 8
Энергия удара, Дж	0,07...0,12	-
Память, серий×результатов	2040×15	15000
Габаритные размеры, мм: электронного блока датчика	150×75×27 25×160	175×90×30 180×135×70
Масса, кг	0,3	0,85

конструкциях необходимо построение градуировочной зависимости «показание прибора ударного импульса в МПа – фактическая прочность бетона» (рис. 8). Градуировочную зависимость строят по результатам параллельных испытаний бетонных образцов прибором ударного импульса и последующим определением фактической прочности образцов разрушением на прессе.

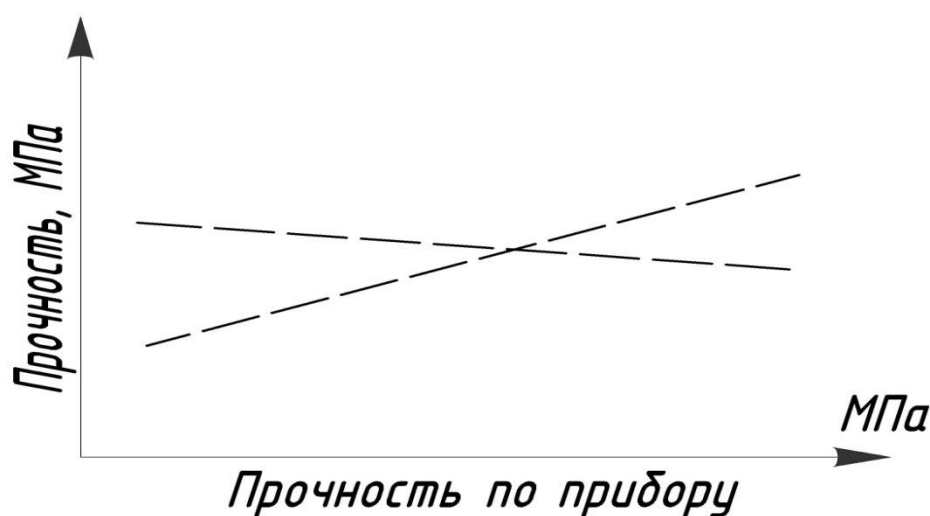


Рис 8. Обобщенный вид градуировочной зависимости «показание прибора ударного импульса-прочность бетона»: R_{ϕ} – фактическая прочность бетона, определенная испытанием образцов на прессе или прямым неразрушающим методом (фактическая прочность), МПа;

$R_{\text{усл}}$ - показания прибора ударного импульса (условная прочность), МПа

При применении этих приборов требуется подготовка поверхности бетона на участках испытания путем подшлифовки с помощью наждачного камня.

К механическим методам относятся также методы, базирующиеся на корреляционной связи прочности при сжатии с прочностью при растяжении. К ним относятся: метод отрыва диска, скалывания угла и отрыва со скалыванием.

2.4 Метод отрыва диска

Метод основан на измерении усилия, необходимого для местного разрушения бетона при отрыве от его поверхности приклеенного стального диска толщиной 8-10 мм и диаметром 6-8 см, приклеенного на боковой грани стандартного образца. Для этого сначала на двух боковых гранях стандартных бетонных кубов производят по одному отрыву диска, после чего образцы испытывают на гидравлическом прессе до разрушения. Для приклеивания диска к бетону применяют состав на основе эпоксидной смолы с добавлением портландцемента.



Рис. 9. Прибор ПОС-50МГ4 для испытания методом отрыва диска

Отрывать диск можно через сутки после приклеивания. Для отрыва диска используют прибор ПОС-50МГ4 (рис.9).

После испытания диск осматривают и определяют площадь куска бетона, оторванного вместе с диском.

Испытание проводят в следующей последовательности: тягу прибора соединяют с приклеенным к бетону диском, после чего вращением рукоятки плавно увеличивают нагрузку со скоростью $(1 \pm 0,3)$ кН/с до отрыва диска и фиксируют показание силоизмерителя прибора $P_{\text{макс}}$. Измеряют площадь поверхности отрыва бетона на плоскости диска S с погрешностью $\pm 0,5$ см² и вычисляют условное напряжение отрыва диска $R_{\text{усл}}$ по формуле (3):

$$R_{\text{усл}} = \frac{P_{\text{макс}}}{S}, \quad (3)$$

где $P_{\text{макс}}$ - максимальное усилие, при котором произошел отрыв диска, Н;

S - фактическая площадь поверхности отрыва бетона, м².

Результаты испытаний не учитывают, если при отрыве бетона была обнаружена арматура или площадь проекции поверхности отрыва составила менее 80 % площади диска. По результатам испытаний строят градуировочную зависимость, которая имеет вид, аналогичный показанному на рис. 6.

2.5 Метод скалывания ребра

Этот метод основан на определении усилия, необходимого для скалывания ребра, образованного смежными гранями конструкции. Этот метод относится к прямым неразрушающим методам и потому не требует предварительного построения градуировочной зависимости.

Для проведения испытаний применяют прибор, состоящий из устройства УРС, приведенного на рис. 10, и силовозбудителя с силоизмерителем.

Устройство УРС должно иметь следующие параметры:

- глубину скалывания a , равную (20 ± 2) мм;
- 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 силовозбудителя и силоизмерителя используют прибор ГПНС-4.

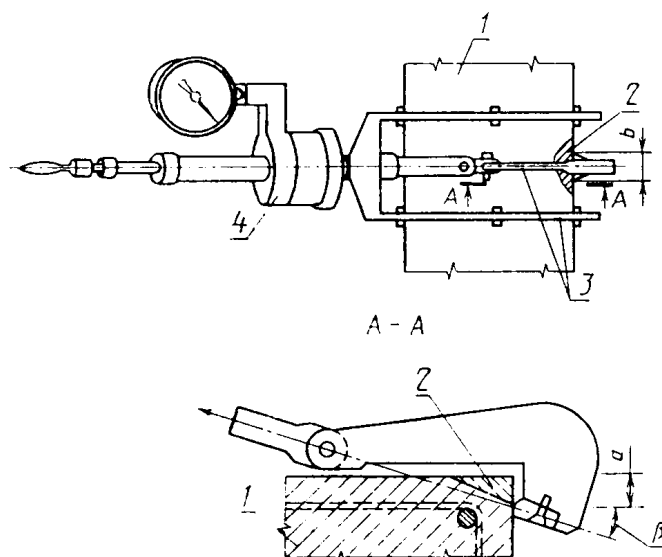


Рис.10. Схема испытания методом скалывания угла: 1 - испытуемая конструкция; 2 - скалываемый бетон; 3 - устройство УРС; 4 - прибор ГПНС-4

Современной модификацией этого устройства является прибор ПОС-50-МГ4 «Скол» (рис. 11)

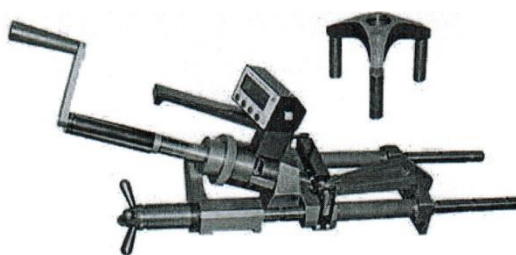


Рис. 11. Общий вид прибора ПОС-50-МГ4 «Скол»

Прочность бетона R на гранитном и известняковом щебне R , МПа, может вычисляться по градуировочной зависимости:

$$R = 0,058m (30P + P^2), \quad (4)$$

где m - коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя и принимаемый равным 1 при крупности заполнителя менее 20 мм; 1,05 крупности заполнителя от 20 до 30 мм и 1,1 при крупности заполнителя от 30 до 40 мм;

P - усилие скалывания, кН.

2.6 Метод отрыва со скалыванием

Метод отрыва со скалыванием является наиболее точным из существующих неразрушающих методов определения фактической прочности бетона. При использовании этого метода из тела бетона конструкции вырывают предварительно установленное анкерное устройство. При этом вместе с анкерным устройством вырывают небольшой фрагмент бетона (10-12 см в поперечнике). По усилию вырыва определяют прочность бетона.

Метод отрыва со скалыванием предназначен для определения прочности бетона в конструкциях при натурных обследованиях, освидетельствовании на этапах строительства, приемке и реконструкции строительных объектов. Он может применяться также и на предприятиях, производящих сборные бетонные и железобетонные изделия.

Этот метод широко применяется для построения градуировочных зависимостей и корректировки в натурных условиях градуировочных зависимостей для других (кроме метода скалывания угла) неразрушающих методов путем параллельных испытаний бетона методом отрыва со скалыванием и любым другим косвенным методом на одних и те же участках конструкций. В отличие от других механических методов неразрушающего контроля результат определения прочности бетона методом отрыва со скалыванием не зависит от состояния поверхности испытываемого бетона. В случае, если поверхность конструкции офактурена, необходимо на участках испытания снять слой штукатурки или другой облицовки на площади не менее 250×250 мм. Испытание бетона в конструкции следует производить при положительной температуре бетона на участке испытания.

Применяют три типа анкерных устройств (рис. 12)

Тип I – рабочий стержень с анкерной головкой, устанавливаемый в конструкцию до бетонирования;

тип II – самоанкеривающееся устройство с рифлеными сегментными щеками и разжимным конусом, устанавливаемое в отверстие, которое высверливают в бетоне конструкции;

тип III – самоанкеривающееся устройство с рифлеными сегментными щеками и полым разжимным конусом со стержнем для опирания прибора при

проведении испытания, устанавливаемое, как и тип II, в высверленное отверстие в готовой конструкции.

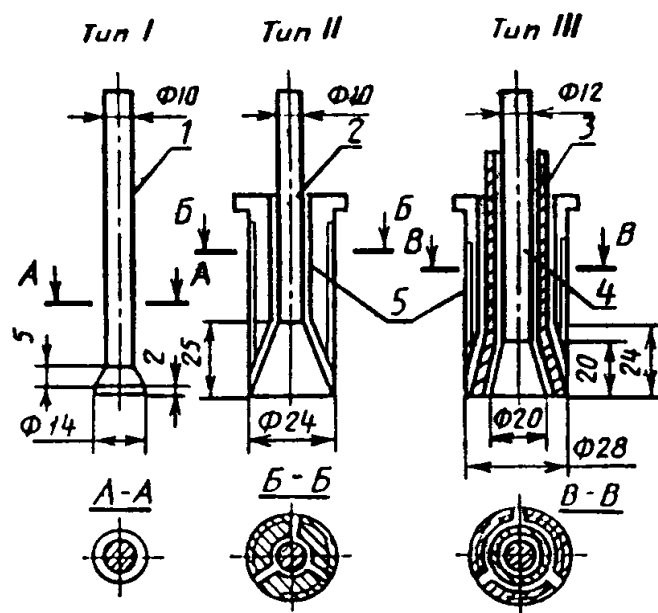


Рис. 12. Типы анкерных устройств: 1 - рабочий стержень; 2 - рабочий стержень с разжимным конусом; 3 - рабочий стержень с полым разжимным конусом; 4 - опорный стержень; 5 - сегментные рифленые щеки

Анкерные устройства типа I устанавливают в конструкциях до их бетонирования или сразу же после этого, а анкера типов II и III - в проделанные в конструкциях шпуров заданного диаметра и глубины. Если расположение арматуры неизвестно, то ее необходимо обнаружить с помощью приборов ИПА-МГ4.01, «Поиск» или др.

Заделка анкерных устройств должна обеспечивать надежное сцепление анкера с бетоном конструкции. Глубина заделки анкера h анкерных устройств различных типов должна соответствовать приведенным в табл. 5.

Таблица 5 – Рабочая и полная глубина заделки анкерных устройств

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

Для вырыва анкерных устройств применяют портативные гидравлические пресс-насосы ГПНС-4, ГПНВ-5 и ОНИКС-ОС, характеристики которых приведены в табл. 6.

Таблица 6 – Характеристики гидравлических пресс-насосов

Наименование прибора	Тип анкерного устройства	Усилие вырыва, кН	Масса, кг
ГПНВ-5	I, II	50	8,0
ГПНС-4	III	40	5,0
ОНИК-ОС	I, II, III	55	3,7

Приборы для вырыва анкерных устройств должны обеспечивать:

- направление усилия вырыва по оси анкера и равномерное возрастание нагрузки до отрыва фрагмента бетона или до заданного контрольного уровня $P=P_{\text{контр}}$;
- плавное нагружение анкерного устройства со скоростью не более 3 кН/с;
- свободный вырыв бетона;
- измерение усилия вырыва с погрешностью не более $\pm 2\%$.

В настоящее время все большее применение находит прибор ОНИКС-ОС (рис.13), разработанный научно-производственным предприятием «Интерприбор». Прибор обеспечивает индикацию в цифровой и графической формах рекомендуемой и фактической скоростей нагружения на графическом дисплее, индикацию прикладываемого усилия и автоматическую фиксацию усилия вырыва, вычисление прочности бетона с учетом вида бетона, условий твердения, типа анкера, архивацию результатов (450 серий по 5 измерений) в реальном времени. Основные характеристики прибора ОНИКС-ОС приведены в таблице 7.

Перед началом проведения испытаний методом отрыва со скалыванием намечают участки, на которых будут производиться вырывы анкерных устройств.

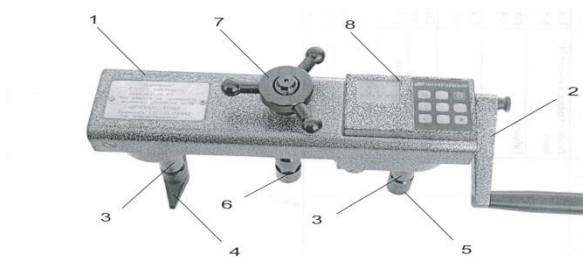


Рис. 13. Общий вид прибора «ОНИКС-ОС»: 1 – корпус; 2 – рукоятка привода; 3 – рабочие гидроцилиндры; 4,5 – совмещенные опоры; 6 – тяга; 7 – штурвал; 8 – электронный блок

Таблица 7 – Основные характеристики прибора ОНИКС-ОС

Диапазон измерения прочности, МПа	5...100
Предельное усилие вырыва анкера, кН	55
Предел относительной погрешности измерения, %	2
Габаритные размеры гидропресса, мм	300×70×85
Масса гидропресса, кг	3,7

Число и расположение контролируемых участков в конструкции назначают с учетом:

- количества и вида подлежащих обследованию конструкций;
- задач контроля (определение фактического класса бетона, распалубочной или отпускной прочности, построение градуировочных зависимостей для косвенных методов неразрушающего контроля);
- вида конструкций (колонны, балки, плиты и др.);
- размещения захваток и порядка бетонирования конструкций.

Участки для испытания бетона должны располагаться в зонах наименьших напряжений и так, чтобы в зону вырыва не попадала арматура, а бетон участка не имел видимых повреждений (отслоений, трещин, пористости и др.). Места расположения арматурных стержней, а также глубину их залегания, определяют с помощью приборов ИПА-МГ4.01, «Поиск-2.6» (рис. 14) или др.



Рис. 14. Приборы для измерения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры: а – ИПА-МГ4.01; б – «Поиск» – 2.6

Технические характеристики прибора ПОИСК-2.6:

Диапазон измерения защитного слоя, мм	2...170
Контролируемые диаметры арматурных стержней, мм	3...50
Предельная измеряемая толщина защитного слоя, мм	175
Порог чувствительности, мм	250
Предел погрешности измерения защитного слоя h , мм	$\pm(0,03h+0,5)$
Габаритные размеры, мм:	
- электронного блока	150×76×27
- датчика	150×22×50

На участке испытания толщина бетона должна превышать глубину установки анкерного устройства более чем в два раза. Расстояние от анкерного устройства до ближайшей грани конструкции должно превышать глубину заделки анкера не менее чем в три раза, а от места установки соседнего анкерного устройства не менее чем в пять раз.

На выбранных участках в бетоне с помощью ударно-вращательного инструмента высверливают шпур, диаметр и глубина которых должны соответствовать размерам выбранного анкерного устройства. Диаметр шпура в бетоне не должен превышать максимальный диаметр заглубляемой части анкерного устройства более чем на 1 мм.

При использовании анкерных устройств, приведенных на рис. IIIIII, прочность бетона R , МПа вычисляют по формуле

$$R = P \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot m_3, \quad (5)$$

где P – усилие вырыва анкерного устройства, кН;

m_1 – коэффициент, учитывающий максимальный размер зерен крупного заполнителя в зоне вырыва и принимаемый равным 1 при крупности заполнителя в зоне вырыва 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 на сжатие в МПа, принимаемый по табл. 8;

- m_3 – коэффициент, учитывающий величину фактической глубины вырыва, определяемый при отклонении фактической глубины h_{ϕ} в результате проскальзывания анкера от нормированной глубины вырыв h_n не более чем на 5%, по формуле

$$m_3 = \left(\frac{h_n}{h_{\phi}} \right)^2 \quad (6)$$

Таблица 8 – Значения коэффициента m_2

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

При испытании тяжелого бетона прочностью 10 МПа и более и легкого бетона с заполнителем из керамзита или шлаковой анмзы прочностью от 5 до 40 МПа значения коэффициента пропорциональности m_2 принимают по графам 5 и 6 табл. 8 соответственно.

2.7 Ультразвуковые методы

Сущность ультразвуковых методов определения прочности бетона состоит в том, что измеряют скорость распространения через бетон ультразвукового импульса (скорость ультразвука). Между скоростью ультразвука и прочностью бетона существует корреляционная зависимость, на которую влияют различные факторы: возраст бетона, его влажность, цементно-водное отношение, вид заполнителя, условия уплотнения и др.

Для возбуждения ультразвуковых волн и измерения скорости распространения ультразвука в бетоне применяют импульсные ультразвуковые приборы, принцип действия которых состоит в следующем.

На поверхность бетона устанавливают два датчика: излучатель и приемник. Излучатель предназначен для преобразования электрических импульсов, вырабатываемых генератором ультразвуковых колебаний, в механические, а приемник – наоборот. Электронный генератор периодически (с частотой примерно 30 Гц) посылает высокочастотные (более 20000 Гц) электрические импульсы на излучатель, в котором они преобразуются в механические импульсы. Механические импульсы, пройдя через бетон и достигнув приемника, преобразуются в нем в электрические импульсы.

Поступающие от приемника электрические импульсы после усиления поступают в микросекундомер, который измеряет время, прошедшее с момента подачи импульса на излучатель до момента поступления электрического импульса в приемник. В зависимости от типа прибора на дисплее высвечивается либо время прохождения импульса в мкс, либо скорость ультразвука в м/с. Если прибор показывает время, то для получения скорости прохождения импульса необходимо базу прозвучивания в метрах разделить на время прохождения импульса в микросекундах. Для приборов, показывающих скорость ультразвука в их память необходимо ввести базу прозвучивания.

Скорость ультразвука измеряют путем сквозного или поверхностного прозвучивания.

При определении скорости распространения ультразвука способом сквозного прозвучивания ультразвуковые преобразователи устанавливают с противоположных сторон образца или конструкции в соответствии с рис. 15а.

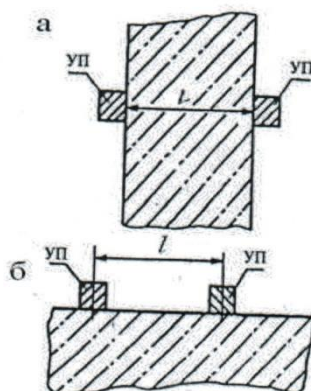


Рис. 15. Схема испытания бетона способом сквозного (а) и поверхностного (б) прозвучивания; УП - ультразвуковые преобразователи; l - база прозвучивания

При измерении скорости распространения ультразвука способом поверхностного прозвучивания ультразвуковые преобразователи устанавливают на одной стороне образца или конструкции в соответствии с рис. 15б.

При поверхностном прозвучивании размер базы должен быть не менее 120 мм и не более 200 мм. Между бетоном и рабочими поверхностями

ультразвуковых преобразователей должен быть обеспечен надежный акустический контакт, для чего контактные поверхности плоских преобразователей смазывают тонким слоем консистентной смазки (вазелин, солидол, литол и т.п.). 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 должна быть очищена от пыли. При применении конических волноводов эти требования не к поверхности бетона не предъявляются.

Последними модификациями ультразвуковых приборов являются ПУЛЬСАР-2.1 и УКС-МГ4 (рис. 16). Эти приборы предназначены для контроля прочности и однородности бетона, измерения глубины трещин в изделиях. Наряду с волноводами конической формы для поверхностного прозвучивания в комплект приборов входят плоские преобразователи, что дает возможность выполнять не только поверхностное прозвучивание на фиксированной базе 120 мм, но и сквозное при обследовании габаритных конструкций и изделий. Приборы могут комплектоваться герметично выполненными датчиками для поверхностного прозвучивания, что позволяет выполнять испытание бетона в конструкциях, находящихся под водой.

а)

б)



Рис. 16. Общий вид ультразвуковых приборов ПУЛЬСАР-2.1(а)
УКС-МГ4 (б)

В программах приборов имеются базовые и индивидуальные градуировочные зависимости, позволяющие легко их адаптировать к конкретным условиям.

Основные технические характеристики приборов ПУЛЬСАР-2.1 и УКС-МГ4 приведены в табл. 9.

Таблица 9 – Характеристики приборов ПУЛЬСАР-2.1и УКС-МГ4

Характеристики	ПУЛЬСАР-2.1	УКС-МГ4
Диапазон измерения времени, мкс	10-20000	10-2000
Диапазон измерения скорости ультразвука, м/с	1000-10000	1000-10000
Пределы погрешности измерения времени, мкс	$\pm(0,1t+0,1)$	$\pm(0,1t+0,1)$
Пределы погрешности измерения скорости, м/с	$\pm(0,01v+10)$	$\pm(0,01v+10)$
Разрешающая способность, мкс	0,05	0,1
Объем памяти Гбайт	До 2	-
Дисплей LCD разрешение	320×240	-
Габаритные размеры электронного блока, мм, не более	205×115×35	230×130×55
Масса электронного блока/датчика, кг	0,375/0,54	0,5

Число и расположение контролируемых участков в конструкциях назначают таким же образом, как и при контроле методом отрыва со скалыванием.

3. Правила испытаний для установления градуировочных зависимостей

Для всех методов неразрушающего контроля прочности (коме отрыва со скалыванием и скалывания ребра) необходимо предварительно построить градуировочные зависимости «косвенный показатель-прочность». В качестве косвенных показателей используют размеры отпечатков для методов

пластической деформации, величину упругого отскока, показание прибора ударного импульса, условное напряжение отрыва диска и скорость ультразвука.

При построении градуировочных зависимостей после определения косвенных показателей фактическую прочность бетона определяют либо испытанием бетонных образцов, изготовленных из бетонной смеси или фрагментов, отобранных из конструкций, до разрушения, либо методами отрыва со скалыванием или скалывания ребра.

3.1 Пролучение косвенных показателей при определении фактической прочности по образцам, изготовленным из бетонных смесей

Такие градуировочные зависимости устанавливают, главным образом, для оперативного контроля отпускной, передаточной и проектной прочности бетона при производстве сборных бетонных и железобетонных изделий.

Для установления градуировочной зависимости с использованием косвенных механических методов неразрушающего контроля в течение 5 суток в разные смены изготавливают не менее 15 серий образцов 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. При изготовлении образцов пять серий рекомендуется изготавливать из бетонной смеси, отличающейся по составу от номинального по цементно-водному отношению в пределах плюс 0,4 и пять серий в пределах минус 0,4.

Для установления градуировочных зависимостей с использованием ультразвукового метода изготавливают не менее 15 серий образцов-кубов. Образцы изготавливают в разные смены в течение не менее 3 суток 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. Допускается изготовление до 40% общего числа образцов из бетонной смеси, состав которой отличается от номинального по цементно-водному отношению (Ц/В) не более, чем на 0,4.

Размеры образцов для установления градуировочной зависимости следует выбирать в соответствии с наибольшей крупностью заполнителя в бетонной смеси, но не менее 100×100×100 мм. Возраст образцов, используемых при

установлении градуировочной зависимости, не должен отличаться от установленного срока испытаний конструкций:

- более чем на 40 % (в возрасте не более 40 сут.) - при контроле прочности бетона естественного твердения;
- более чем в два раза (в возрасте не более 56 сут.) - при контроле прочности бетона после тепловой обработки.

Для определения косвенных характеристик испытания проводят на боковых поверхностях образцов (по направлению бетонирования).

Число измерений на каждом образце для методов упругого отскока и пластической деформации при ударе должно быть не менее пяти, а расстояние между местами ударов - не менее 30 мм. Для метода пластической деформации при вдавливании количество испытаний на одной грани - не менее двух, а расстояние между местами испытаний - не менее двух диаметров отпечатков. При применении метода отрыва диска на каждом образце выполняют по два испытания. Для метода ударного импульса - не менее десяти, а расстояние между местами ударов - не менее 15 мм.

При установлении градуировочной зависимости для ультразвукового метода число измерений на каждом образце должно быть не менее четырех при поверхностном прозвучивании и не менее трех – при сквозном.

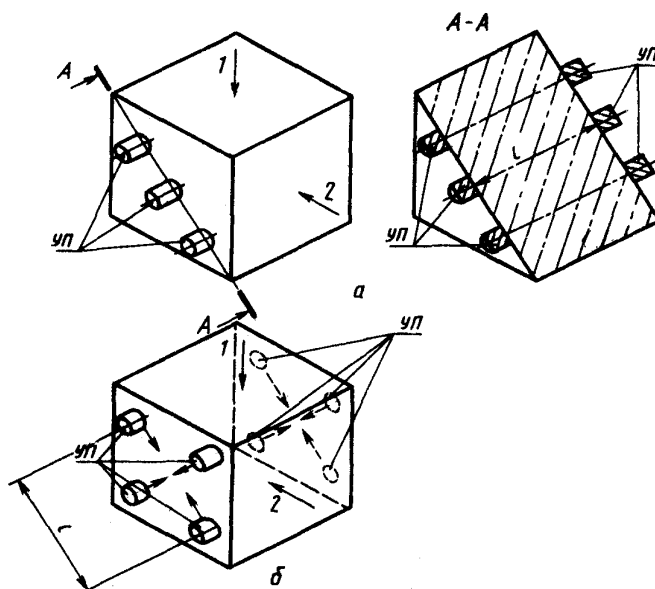


Рис. 17. Места расположения преобразователей: а – при сквозном прозвучивании; б – при поверхностном прозвучивании.

Расположение преобразователей при поверхностном и сквозном прозвучивании показано на рис. 17.

После определения значений косвенных показателей образцы испытывают на прессе для определения фактической прочности бетона. В качестве единичных показателей используют среднеарифметические значения фактической прочности и скорости ультразвука. При этом отклонение отдельных значений скорости ультразвука не должны отличаться от среднего значения более чем на 2%.

3.2 Получение косвенных показателей при определении фактической прочности методом отрыва со скалыванием

Установление градуировочной зависимости в данном случае выполняют перед началом испытаний бетона монолитных конструкций. Для этого предварительно с помощью ультразвукового прибора определяют участки бетона с минимальной и максимальной скоростью ультразвука. Затем выбирают не менее 12 участков, включая участки с минимальной, максимальной и промежуточной скоростью ультразвука.

Перед началом испытаний на каждом выбранном участке магнитным прибором (ИПА-МГ4.01, «Поиск» и др.) определяют положение арматуры, а затем при поверхностном прозвучивании ультразвуковым прибором проводят не менее двух измерений скорости прохождения ультразвукового импульса.

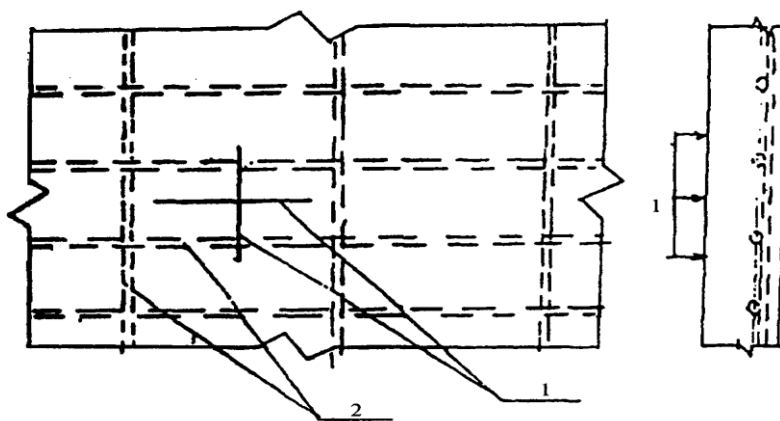


Рис. 18 Расположение линий прозвучивания: 1 – положение прибора при испытании; 2- расположение арматурных стержней

Измерения проводят в двух взаимно перпендикулярных направлениях под углом примерно 45° к направлению арматуры, параллельно или перпендикулярно ей.. При прозвучивании в направлении, параллельном

арматуре, линию прозвучивания располагают между арматурными стержнями (рис. 18).

Отклонение отдельных результатов измерения скорости распространения ультразвука на каждом участке от среднего арифметического значения результатов измерений для данного участка не должно превышать 2%. После выполнения ультразвуковых испытаний на каждом участке определяют прочность бетона методом отрыва со скалыванием.

4. Установление градуировочных зависимостей

4.1 Общие принципы

Уравнение градуировочной зависимости имеет общий вид:

$$R_n = a_0 + a_1 x, \quad (7)$$

где R_n – прочность бетона, определенная по градуировочной зависимости, МПа;

x – косвенный показатель прочности (диаметры отпечатков, величина упругого отскока, условное напряжение отрыва диска, показание прибора ударного импульса, скорость ультразвука). Коэффициенты a_1 и a_0 вычисляют по формулам (8) и (11).

$$a_1 = \frac{\sum (\bar{R}_\Phi - R_{i\Phi})^2 (\bar{x} - x_i)^2}{\sum (x - x_i)^2} \quad (8)$$

$$\bar{R}_\Phi = \frac{\sum R_{i\Phi}}{n} \quad (9)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x}_i}{n} \quad (10)$$

$$a_0 = \bar{R}_\Phi - a_1 \bar{x}; \quad (11)$$

\bar{R}_Φ - средняя прочность бетонов, испытанных при установлении градуировочной зависимости, МПа;

n - число серий образцов или участков конструкций, использованных для установлении градуировочной зависимости;

$R_{i\Phi}, x_i$ - единичные значения прочности и косвенного показателя для i -й серии образцов или i -ого участка конструкции.

Подставив в формулу (7) численные значения коэффициентов a_0 и a_1 , получают градуировочную зависимость прочности бетона от косвенного показателя, по которой, подставляя значения косвенных показателей, вычисляют прочность бетона в серии образцов или на каждом участке, использованных для построения этой градуировочной зависимости.

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

$$\frac{|S_{iH} - S_{i\Phi}|}{S_T} \leq 2 \quad (12)$$

где S_T - остаточное среднеквадратическое отклонение, определяемое по формуле

$$S_T = \sqrt{\frac{\sum (R_{i\Phi} - R_{iH})^2}{n-2}}, \quad (13)$$

где R_{iH} - прочность бетона в i -той серии образцов или на i -том участке конструкции, определенная по градуировочной зависимости;

$R_{i\Phi}$ - фактическая прочность бетона в i -той серии образцов или на i -том участке конструкции.

После отбраковки градуировочную зависимость устанавливают заново по оставшимся результатам испытаний.

Корректировку градуировочной зависимости проводят до тех пор, пока все единичные результаты испытаний будут удовлетворять условию (13). После этого вычисляют относительную погрешность установленной градуировочной зависимости по формуле:

$$v = \frac{S_T}{\bar{R}_\Phi}, \quad (14)$$

где S_T - остаточное среднеквадратическое отклонение, МПа;

\bar{R}_Φ - среднеарифметическое значение фактической прочности серий образцов или участков, использованные для построения градуировочной зависимости после ее корректировки, МПа.

По значениям фактической прочности и прочности, рассчитанной по установленной градуировочной зависимости, вычисляют коэффициент корреляции для установленной градуировочной зависимости:

$$(15)$$

где R_{in} - единичное значение прочности бетона серии образцов или участков конструкции, определенное по установленной градуировочной зависимости;

\bar{R}_n - среднеарифметическое значение прочности серий образцов или участков конструкции, рассчитанное по установленной градуировочной зависимости и использованное при установлении градуировочной зависимости;

R_{if} - фактическая прочность бетона серии образцов или участков;

\bar{R}_f - среднеарифметическое значение фактической прочности бетона серий образцов или участков конструкции, использованное при установлении градуировочной зависимости.

Установленная градуировочная зависимость пригодна для использования, относительная погрешность градуировочной зависимости не превышает 15%, а коэффициент корреляции $r \geq 0,7$.

4.2 Проверка градуировочной зависимости

Проверку градуировочной зависимости проводят не реже одного раза в 2 месяца.

Для этого изготавливают не менее 6 серий образцов-кубов с номинальным размером ребра не менее 100 мм или выбирают не менее 6 участков монолитной конструкции.

Для каждой серии образцов или участка определяют средние значения косвенной характеристики и фактической прочности бетона (по данным испытания на прессе R_{if} или методом отрыва со скалыванием).

Затем вычисляют среднее арифметическое значение косвенной характеристики для всех шести серий (участков) по формуле

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (16)$$

где n - число серий (участков), испытанных для проверки градуировочной зависимости.

После этого испытанные серии (участки) образцов разделяют на две группы.

В первую группу включают серии (участки), средние значения косвенной характеристики которых не превышают их среднее значение для всех серий (участков):

$$X_i < \bar{X}$$

Ко второй группе относятся все остальные серии (участки), то есть те, у которых

$$X_i \geq \bar{X}$$

По результатам неразрушающего контроля определяют прочность бетона в каждой серии R_{iH} по установленной градуировочной зависимости.

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

1) Разность $R_{i\phi} - R_{iH}$ не имеет одинакового знака в пяти из шести испытанных серий образцов (участков).

2) Среднее квадратическое отклонение S_n прочности бетона в испытанных сериях (участках), определенное по формуле

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (R_{i\phi} - R_{iH})^2}{n-1}} \quad (17)$$

не должно превышать более чем в полтора раза среднеквадратическое отклонение используемой градуировочной зависимости

$$S_n \leq 1,5 S_T \quad (18)$$

3) Значение разности ($R_{i\phi} - R_{iH}$) не должно иметь одинакового знака для серий образцов (участков) первой и второй групп (то есть в каждой группе эта разность должна быть с положительным и отрицательным знаками).

Градуировочную зависимость устанавливают заново, если не выполняется хотя бы одно условие проверки, а также при изменении вида крупного заполнителя, технологии производства бетона, при введении добавок, а также при изменении вида цемента, внесении количественных изменений в номинальный состав бетона, превышающих по расходу цемента $\pm 20\%$, крупного заполнителя ± 10 .

Таким же образом выполняют проверку градуировочной зависимости при изменении типа прибора.

4.3 Корректировка градуировочной зависимости с учетом дополнительно получаемых результатов испытаний

Корректировка установленной градуировочной зависимости с учетом дополнительно получаемых результатов испытаний должна проводиться не реже одного раза в месяц. Для этого к существующим результатам испытаний добавляют не менее трех новых результатов. По мере накопления данных результаты предыдущих испытаний, начиная с самых первых, отбраковывают так, чтобы общее число результатов не превышало 20. После добавления новых результатов и отбраковки единичных результатов, не удовлетворяющих условию $\frac{|S_{iH} - S_{i\Phi}|}{S_T} \leq 2$ минимальное и максимальное значения косвенного показателя, градуировочную зависимость и ее параметры (относительная погрешность, коэффициент корреляции) устанавливают вновь.

4.4 Уточнение градуировочной зависимости

Применение установленной градуировочной зависимости для контроля прочности бетона, отличающегося по составу от бетона, для которого построена эта градуировочная зависимость, допускается, если известен коэффициент совпадения K_c . Для этого не менее чем на трех участках контролируемой конструкции определяют косвенный показатель и фактическую прочность бетона (методом отрыва со скалыванием или по отобранным образцам). Коэффициента совпадения вычисляют по формуле

$$K_c = \frac{\sum R_{i\Phi}}{n R_{iH}}, \quad (19)$$

где $R_{i\Phi}$ – фактическая прочность бетона в участке, определенная методом отрыва со скалыванием или испытанием отобранных образцов, МПа;

R_{iH} - прочность бетона в участке, определенная по используемой градуировочной зависимости, МПа;

n – число участков.

Коэффициент совпадения пригоден для использования, если отношение $\frac{R_{i\phi}}{R_{iH}}$ для каждого участка не менее 0,7 и не более 1,3 и отличается от среднего значения не более чем на 15%.

Для определения прочности бетона испытываемой конструкции значения, полученные по используемой градуировочной зависимости, умножают на коэффициент совпадения.

5. Установление градуировочных зависимостей с использованием косвенных механических методов (на примере метода упругого отскока)

5.1 Установление градуировочной зависимости

Градуировочная зависимость установлена для контроля проектной прочности бетона вибропрессованных тротуарных плит естественного твердения. Для этого из партии плит типа брусчатки номинальными размерами 100×100×200 мм , в течение рабочей недели методом случайной выборки были отобраны 15 серий по 6 изделий. Перед испытанием из каждой тротуарной плиты были выпилены по одному образцу-кубу с размером ребра 100 мм. При определении величины упругого отскока каждый образец обжимался усилием 30 кН на прессе ИП-100, после чего на две его боковые грани наносились по 5 ударов склерометра ОМШ-1Э. Затем все образцы были испытаны на прессе до разрушения. Средние значения величин упругого отскока и фактической прочности бетона в каждой испытанной серии приведены в табл. 10.

Таблица 10 – Результаты испытания серий образцов

№ серии	H_i	$R_{i\phi}$	$\bar{R}_\phi - R_{i\phi}$	$\bar{H} - H_i$	$(\bar{R}_\phi - R_{i\phi}) \times (\bar{H} - H_i)$	$(\bar{H} - H_i)^2$	R_{iH}	$R_{iH} - R_{i\phi}$	$(R_{iH} - R_{i\phi})^2$	$\frac{ R_{iH} - R_{i\phi} }{S_T}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	39,9	30,3	0	-0,8	0	0,64	29,2	-1,1	1,21	< 2
2	40,8	32,7	-2,4	-1,7	4,08	2,89	29,8	-2,9	8,41	< 2
3	36,0	28,7	1,6	3,1	4,96	9,61	26,9	-1,8	3,24	< 2
4	34,4	26,8	3,5	5,2	18,2	27,04	26,0	-0,8	0,64	< 2
5	35,2	28,2	2,1	3,9	8,19	15,21	27,9	-0,3	0,09	< 2
6	39,7	32,2	-1,9	-0,6	1,14	0,36	30,7	-0,4	0,16	< 2
7	42,2	30,2	-0,1	-3,1	0,31	9,61	32,3	2,1	4,41	< 2
8	41,1	30,2	-0,1	-2,0	0,2	4,0	31,6	1,4	1,96	< 2

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	40,6	30,4	-0,1	-1,5	0,15	2,25	31,3	0,9	0,81	< 2
10	38,5	29,7	0,6	0,6	0,36	0,36	30,9	1,2	1,44	< 2
11	36,6	28,7	1,6	2,5	5,32	6,25	28,8	0,1	0,01	< 2
12	38,6	29,1	1,2	0,5	0,6	0,25	30,0	0,9	0,81	< 2
13	40,6	32,6	-2,3	-1,5	4,14	2,25	32,1	0,5	0,25	< 2
14	41,9	33,1	-2,8	-2,5	7,0	6,25	32,1	1,0	1,0	< 2
15	39,8	31,1	-0,9	-0,7	0,63	0,49	30,8	-0,3	0,09	< 2
	\bar{H} = 39,1	\bar{R}_ϕ = 30,3			$\sum = 55,28$	$\sum = 87,4$			$\sum = 24,5$	

$$a_1 = \frac{55,28}{87,4} = 0,63; \quad a_0 = 30,3 - 0,63 \times 39,1 = 7,2$$

Таким образом, исходное уравнение принимает вид

$$R_H = 0,63H + 7,2 \text{ МПа} \quad (19)$$

Остаточное среднее квадратическое отклонение этой зависимости, МПа:

$$S_T = \sqrt{\frac{24,53}{15-2}} = 1,37$$

Так как единичные значения прочности для каждой серии удовлетворяют условию $\frac{|R_{i\phi} - R_{iH}|}{S_m} \leq 2$, корректировка градуировочной зависимости не требуется.

Относительная погрешность установленной градуировочной зависимости

$$v = \frac{S_T}{|\bar{R}|} \times 100 = \frac{1,37}{30,3} \times 100 = 4,5\% < 12\%.$$

Коэффициент корреляции градуировочной зависимости

$$r = \frac{\sum(R_{iH} - \bar{R}_H) \times (R_{i\phi} - \bar{R}_\phi)}{\sqrt{\sum(R_{iH} - \bar{R}_H)^2} \times \sqrt{\sum(R_{i\phi} - \bar{R}_\phi)^2}} = 0,76 > 0,7$$

Таким образом, установленная градуировочная зависимость может быть использована для контроля проектной прочности бетона тротуарных плит.

5.2 Проверка градуировочной зависимости

Для проверки градуировочной зависимости из 36 тротуарных плит толщиной 10 см, отобранных случайным образом из одной партии, были

выпилены по одному образцу-кубу. Все образцы произвольным образом были сгруппированы в 6 серий по 6 штук. После этого по методике, изложенной в п.3.3, были определены значения отскока бойка склерометра ОМШ-1Э и фактическая прочность бетона по ГОСТ 10180. За единичные значения приняты средние арифметические значения отскока H_i для всех образцов каждой серии и среднее арифметическое значение фактической прочности бетона $R_{i\phi}$ в образцах каждой серии.

Подставив единичные значения упругого отскока H_i в уравнение градуировочной зависимости $R_n = 0,63H + 7,2$, получим расчетные значения прочности бетона в каждой серии R_{in} (табл. 11).

Таблица 11 – Проверка градуировочной зависимости

№ серии	Единичные значения отскока, H_i , в серии	Фактическая прочность бетона, $R_{i\phi}$, МПа, в серии	Прочность бетона по градуировочной зависимости, R_{in} , МПа, в серии	$R_{i\phi} - R_{in}$	$(R_{i\phi} - R_{in})^2$
1	34,6	28,0	29,0	- 1,0	1,0
2	38,1	32,7	31,2	+ 1,5	2,25
3	44,7	34,7	35,4	-0,7	0,49
4	43,1	38,5	36,4	+2,1	4,41
5	46,0	37,7	36,2	+ 1,5	2,25
6	42,8	39,2	37,2	+2,0	4,0
	$\bar{H} = 41,6$				$\Sigma = 14,4$

В первую группу относим серии №1 и №2; во вторую – все остальные. Первое и третье условия проверки выполняются для обеих групп серий.

Среднее квадратическое отклонение

$$S_m = \sqrt{\frac{14,4}{6-1}} = 1,7 < 1,5 \times 1,37 = 2,06 \text{ МПа (выполнение второго условия)}$$

Таким образом, градуировочная зависимость

$$R_n = 0,63H + 7,2 \text{ МПа}$$

отвечает всем трем условиям проверки и пригодна для дальнейшего применения.

6. Установление градуировочных зависимостей с определением фактической прочности методом отрыва со скалыванием

6.1 Общие положения

Градуировочные зависимости, установленные с использованием метода отрыва со скалыванием для определения фактической прочности бетона, используют, главным образом, при контроле прочности бетона монолитных конструкций. При этом чаще всего в качестве косвенной характеристики прочности используют скорость ультразвука.

Градуировочные зависимости для бетона монолитных конструкций устанавливают с учетом вида и расположения конструкций: отдельно для вертикальных конструкций (колонны, пилоны, стены, диафрагмы жесткости и т.п), плоских горизонтальных конструкций (плиты перекрытий и покрытий, фундаментные плиты) и горизонтальных линейных конструкций (балки, ригели, ленточные фундаменты и др.).

При установлении градуировочной зависимости по данным параллельных испытаний ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием на подлежащих испытанию конструкциях предварительно проводят ультразвуковые измерения и определяют участки с минимальным V_{min} и максимальным V_{max} значениями скорости ультразвука. Затем выбирают не менее 12 участков, включая участки, в которых величина скорости ультразвука максимальна, минимальна и имеет промежуточные значения.

После испытания ультразвуковым методом все участки испытывают методом отрыва со скалыванием. По результатам параллельных испытаний устанавливают градуировочную зависимость по методике, изложенной в п. 3.1.

Применение установленной градуировочной зависимости допускается только для значений скорости звука, попадающих в диапазон от V_{min} до V_{max} . При этом коэффициент корреляции зависимости r должен быть не менее 0,7, а среднеквадратическая погрешность ν не более 0,15.

Относительную погрешность градуировочной зависимости вычисляют по формуле

$$V = \frac{S_{\text{т.н.м.}}}{\bar{R}_{i\phi}}, \quad (20)$$

где $\bar{R}_{i\phi}$ - средняя фактическая прочность бетона участков, использованных при построении градуировочной зависимости;

$S_{\text{т.н.м.}}$ - среднеквадратическая ошибка установленной градуировочной зависимости вычисляется по формуле

$$S_{\text{т.н.м.}} = \sqrt{\frac{\sum (R_{i\phi} - R_{i\text{н}})^2}{n-2}}, \quad (21)$$

где n – число участков, использованных для построения градуировочной зависимости;

$R_{i\phi}$ - фактическая прочность бетона на i -том участке, определенная отрывом со скалыванием, МПа;

$R_{i\text{н}}$ - прочность бетона на i -том участке, вычисленная по установленной градуировочной зависимости, МПа.

При контроле прочности бетона в монолитных конструкциях среднеквадратическая ошибка градуировочной зависимости $S_{\text{т}}$ определяется по формуле

$$S_{\text{т}} = \sqrt{S_{\text{т.н.м.}}^2 + S_{\text{т.м.о.с.}}^2} \quad (22)$$

где $S_{\text{т.м.о.с.}}$ - средняя квадратическая ошибка градуировочной зависимости метода отрыва со скалыванием, принимаемая равной 0,04 от средней прочности бетона участков, использованных для построения градуировочной зависимости анкерным устройством с глубиной 48 мм; 0,05 от средней прочности при анкере глубиной 35 мм; 0,06 от средней прочности при анкере глубиной 30 мм и 0,07 от средней прочности при анкере глубиной 20 мм; для разрушающих методов – 0,02 средней прочности испытанных образцов.

6.2 Пример установления градуировочной зависимости «скорость ультразвука-прочность»

Ниже приведен пример установления градуировочной зависимости по результатам параллельных измерений скорости ультразвука и прочности, определенной методом отрыва со скалыванием. Результаты получены при испытании 9 колонн строящегося 19-этажного административного здания в г. Ростове-на-Дону (табл. 12). Для построения градуировочной зависимости

выбраны 18 участков на колоннах, расположенных по одной на каждом этаже и забетонированных из бетона одного и того же состава.

Таблица 12 – Результаты параллельных определений скорости ультразвука и прочности бетона методом отрыва со скалыванием

Этаж	№ участка	Скорость УЗ, м/с V_i	Пр-ть бетона, МПа, $R_{i\phi}$	$\bar{R}_\phi - R_{i\phi}$	$\bar{V} - V_i$	$(\bar{R}_\phi - R_{i\phi}) \times (\bar{V} - V_i)$	$(\bar{V} - V_i)^2$	R_{iH}	$R_{iH} - R_{i\phi}$	$(R_{iH} - R_{i\phi})^2$	$\frac{ R_{iH} - R_{i\phi} }{S_T}$
11	1	3630	32,4	4,2	462	1940,4	213444	31,1	-1,3	1,69	0,7
	2	4199	35,6	1,0	-187	-187	34969	37,8	2,2	4,84	1,2
12	3	4103	39,6	-3,0	-11	33	121	36,7	-2,9	8,41	1,6
	4	4023	33,7	2,9	69	200,1	476,1	35,8	2,1	4,41	1,2
13	5	4363	38,4	-1,8	-271	487,8	73441	39,7	1,3	1,69	0,7
	6	4162	40,2	-3,8	-78	296,4	608,4	37,4	-2,8	7,84	1,5
14	7	4350	39,2	-3,8	-258	980,4	66564	39,5	0,3	0,09	0,2
	8	4470	42,3	-3,9	-378	1474,2	142884	40,9	-1,4	1,96	0,8
15	9	3808	32,6	4,0	284	1136	80656	33,4	0,8	0,64	0,4
	10	4211	40,4	-1,8	-119	214,2	14161	38,0	-2,4	5,76	1,3
16	11	3990	37,8	3,8	188	714,4	35344	35,5	-2,3	5,29	1,3
	12	3897	32,8	4,9	195	955,5	38025	34,4	1,6	2,56	0,9
17	13	3689	32,3	4,3	483	2076,9	233289	32,1	-0,2	0,04	0,1
	14	4303	37,3	-0,7	-211	147,7	44521	39,0	1,7	2,89	0,9
18	15	4351	38,8	-2,2	-259	569,8	67081	39,5	0,7	0,49	0,4
	16	4389	39,3	-2,7	-294	793,8	86436	40,0	0,7	0,49	0,4
19	17	3770	30,8	5,8	322	1867,6	103684	33,0	2,2	4,84	1,2
	18	3970	35,5	1,1	128	140,8	16384	35,2	-0,1	0,01	0,1

$\Sigma = 13851$ $\Sigma = 1220288$

$\Sigma = 53,94$

Средняя прочность бетона $\bar{R}_\phi = 36,6$ МПа,

Средняя скорость ультразвука $\bar{V} = 4091,7$ м/с

Уравнение искомой зависимости принимаем линейного вида:

$$R_H = a_0 + a_1 V$$

$$\text{Коэффициенты: } a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})(V_i - \bar{V})}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} = \frac{13851}{1220288} = 0,0113$$

$$a_0 = \bar{R} - a_1 \cdot \bar{V} = 0,0113 \times 4091,7 - 36,6 = -9,64$$

Градуировочная зависимость описывается уравнением:

$$R_n = 0,0113 \times V - 9,64 \text{ МПа}$$

Средняя квадратическая ошибка установленной градуировочной зависимости составляет:

$$S_{\text{Т.н.м.}} = \sqrt{\frac{\sum (R_{i\phi} - R_{in})^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{53,94}{18-2}} = 1,84 \text{ МПа}$$

Поскольку условие $\frac{|R_{in} - R_{i\phi}|}{S_T}$ по всем участкам выполняется, корректировка градуировочной зависимости не требуется.

Коэффициент корреляции градуировочной зависимости составляет:

$$r = \frac{\sum (R_{in} - \bar{R}_{in}) \times (R_{i\phi} - \bar{R}_{i\phi})}{\sqrt{\sum (R_{in} - \bar{R}_{in})^2} \times \sqrt{\sum (R_{i\phi} - \bar{R}_{i\phi})^2}} = 0,86 > 0,7$$

Так как $\frac{S_T}{\bar{R}} \times 100 = \frac{1,84}{36,6} \times 100 = 5,03\% < 15\%$, а $r > 0,7$, полученная градуировочная зависимость может быть использована для определения прочности бетона ультразвуковым методом.

Среднеквадратическая ошибка градуировочной зависимости S_T с учетом ошибки метода отрыва со скалыванием определяется по формуле:

$$S_T = \sqrt{S_{T_{\text{HM}}}^2 + S_{T_{\text{МОС}}}^2} = \sqrt{1,84^2 + 1,46^2} = 2,35 \text{ МПа}$$

где: $S_{T_{\text{HM}}}$ - средняя квадратическая ошибка построенной градуировочной зависимости; $S_{T_{\text{HM}}} = 1,84 \text{ МПа}$;

$S_{T_{\text{МОС}}}$ — среднеквадратическая ошибка градуировочной зависимости метода отрыва со скалыванием, принимаемая в данном случае при анкерном устройстве с глубиной заделки 48 мм равной 0,04 от средней прочности

бетона участков, использованных при построении градуировочной зависимости; $S_{T_{\text{МOC}}} = 36,6 \times 0,04 = 1,46$ МПа.

Проверку, корректировку и уточнение градуировочной зависимости выполняют по правилам, изложенным в разделе 4.2.

7. Правила контроля и оценки прочности бетона в конструкциях

7.1 Термины и определения

- *нормируемая прочность бетона*: Прочность бетона в проектном возрасте (класс бетона) или ее доля в промежуточном возрасте, установленная в нормативном или техническом документе, по которому изготавливают готовую конструкцию;

- *требуемая прочность бетона*: Минимально допустимое среднее значение прочности бетона в контролируемых партиях конструкций, соответствующее нормируемой прочности бетона при ее фактической однородности;

- *фактический класс бетона по прочности*: Значение класса бетона по прочности, рассчитанное по результатам определения фактической прочности бетона и ее однородности в контролируемой партии;

- *фактическая прочность бетона*: Среднее значение прочности бетона в партиях конструкций, рассчитанное по результатам ее определения в контролируемой партии испытанием контрольных образцов или методом отрыва со скалыванием;

- *серия контрольных образцов*: Несколько образцов, изготовленных из одной пробы готовой бетонной смеси, твердеющих в одинаковых условиях и испытанных в одном возрасте для определения фактической прочности бетона;

- *партия монолитных конструкций*: Часть монолитных конструкций, одна или несколько конструкций, изготовленных за определенное время;

- *партия сборных конструкций*: Конструкции одного типа, последовательно изготовленные по одной технологии в течение не менее одной смены и не более одной недели из материалов одного вида;

- *контролируемый участок конструкции*: Часть конструкции, на которой проводят определение единичного значения прочности бетона неразрушающими методами;

- *анализируемый период*: Период времени, за который вычисляют среднее значение коэффициента вариации прочности бетона конструкций, изготовленных за этот период;

- *контролируемый период*: Период времени, в течение которого требуемая прочность бетона принимается постоянной в соответствии с коэффициентом вариации за предыдущий анализируемый период;

- *текущий коэффициент вариации прочности бетона*: Коэффициент вариации прочности бетона в контролируемой партии конструкций;

- *текущий контроль*: Контроль прочности бетона конструкций, при котором значение фактической прочности и однородности по прочности (текущего коэффициента вариации) рассчитывают по результатам контроля этой партии;

- *единичное значение прочности*: Значение фактической прочности нормируемого вида, учитываемое при расчете характеристик однородности бетона:

- для БСГ (готовых бетонных смесей) – среднее значение прочности бетона пробы бетонной смеси;

- для сборных конструкций – среднее значение прочности бетона пробы бетонной смеси или среднее значение прочности бетона участка конструкции или среднее значение прочности бетона одной конструкции;

- для монолитных конструкций – среднее значение прочности бетона участка конструкции или одной конструкции.

Контроль прочности бетона проводят по одной из следующих схем:

- **схема А** - определение характеристик однородности бетона по прочности, полученных при контроле прочности бетона предыдущих партий БСГ или сборных конструкций в анализируемом периоде;

- **схема Б** – определение характеристик однородности бетона по прочности, когда используют не менее 15 результатов определения прочности бетона в контролируемой партии БСГ или сборных конструкций и предыдущих проконтролированных партиях в анализируемом периоде;

- **схема В** – определение характеристик однородности бетона по прочности, когда используют результаты неразрушающего контроля прочности одной текущей контролируемой партии конструкций, при этом число контролируемых участков при контроле монолитных конструкций должно быть не менее:

- трех на каждую захватку – для плоских конструкций (стен, перекрытий, фундаментных плит);

- одного на 4 м длины (или трех на захватку) - для каждой линейной горизонтальной конструкции (балка, ригель);

- шести на каждую линейную вертикальную конструкцию (колонна, пилон).

Общее число участков измерений для расчета характеристик однородности прочности бетона каждой партии конструкций должно быть не менее 20.

- **схема Г** – без определения характеристик однородности бетона по прочности, когда при изготовлении отдельных конструкций или в начальный период производства невозможно получить число результатов определения прочности бетона, предусмотренное схемами А, Б и В, а также при проведении неразрушающего контроля без построения градуировочных зависимостей, но с использованием универсальных зависимостей путем из привязки к прочности бетона контролируемой партии конструкций.

7.2 Контроль и оценка прочности бетона изделий заводского изготовления

Контроль прочности бетона в изделиях заводского изготовления должен проводиться для каждой партии. При этом в состав партии сборных конструкций включают конструкции, изготовленные из бетонной смеси одного номинального состава, отформованные по одной технологии в течение не менее одной смены и не более одной недели. При контроле отпускной и передаточной прочности бетона сборных конструкций число контролируемых конструкций каждого вида принимают не менее 10% или не менее 12 конструкций из партии. Если партия состоит из 12 конструкций и менее, проводят сплошной контроль. При этом число контролируемых участков должно быть не менее одного на 4 м длины линейных конструкций (колонны, ригели, сваи и т.п.) и не менее одного на 4 м² площади плоских конструкций (плиты перекрытий, стеновые панели и т.п.). На каждом участке контролируемых изделий неразрушающим методом определяют косвенный показатель и по установленной для данного метода градуировочной зависимости рассчитывают прочность R_{iH} . Затем вычисляют среднее значение прочности бетона в партии R_m по формуле:

$$R_m = \frac{\sum R_{iH}}{n}, \quad (23)$$

где R_{iH} - единичное значение прочности бетона, определенное по установленной градуировочной зависимости, МПа;

n – общее число единичных значений прочности бетона в партии.

Среднеквадратическое отклонение прочности бетона в партии изделий, S_m , МПа, вычисляют по формуле:

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum (R_{in} - R_m)^2}{n-1}} \quad (24)$$

Коэффициент вариации прочности вычисляют по формуле:

$$v = \frac{S_m}{R_m} \times 100 \% \quad (25)$$

Значение коэффициента вариации прочности бетона контролируемой партии принимают равным коэффициенту вариации, полученному в анализируемом (предыдущем) периоде.

По значениям коэффициента вариации, полученным в контролируемом периоде, вычисляют среднее арифметическое значение этого коэффициента, которое используют для определения класса бетона в следующем контролируемом периоде.

При осуществлении контроля сборных бетонных и железобетонных изделий должно соблюдаться следующее соотношение фактической и требуемой прочности бетона в конструкции:

$$R_m \geq R_T, \quad (26)$$

где R_m – фактическая средняя прочность бетона в партии конструкций, МПа;

R_T – требуемое значение прочности бетона в партии конструкций, соответствующее ее однородности, МПа,

$$R_T = B_{\text{норм.}} K_T \quad (27)$$

где $B_{\text{норм}}$ – нормируемое значение класса бетона по прочности;

K_T – коэффициент требуемой прочности бетона, принимаемый по табл. 13 в зависимости от среднеарифметического коэффициента вариации V_m , определенного в предыдущем анализируемом периоде.

Партия сборных изделий подлежит премке по прочности, если фактическая прочность бетона в партии R_m не ниже требуемой прочности R_T , а минимальное единичное значение прочности R_i^{min} – не менее величины ($R_T - 4$) и не менее нормируемого класса бетона по прочности $B_{\text{норм}}$.

Таблица 13 - Коэффициент требуемой прочности K_T при контроле по схемам А и В

Коэффициент вариации прочности $V, V_m, \%$	Коэффициент требуемой прочности K_T для			
	всех видов бетонов (кроме плотных силикатных и ячеистых) и конструкций (кроме массивных гидротехнических конструкций)	плотного силикатного бетона	ячеистого бетона	бетона массивных гидротехнических конструкций
6 и менее	1,07	1,06	1,08	1,09
7	1,08	1,07	1,09	1,10
8	1,09	1,08	1,10	1,11
9	1,11	1,09	1,12	1,13
10	1,14	1,12	1,13	1,14
11	1,18	1,14	1,14	1,16
12	1,23	1,18	1,17	1,18
13	1,28	1,22	1,22	1,20
14	1,33	1,27	1,26	1,22
15	1,38	1,33	1,32	1,23
16	1,43	1,39	1,37	1,25
17	Область недопустимых значений	1,46	1,43	1,28
18			1,50	1,32
19			1,57	1,36
20				1,39
Более 20				

7.3 Контроль и оценка прочности бетона монолитных конструкций

Контроль прочности бетона в монолитных конструкциях должен производиться для каждой партии конструкций. Он может быть выборочным или сплошным. Выборочный контроль проводится, если это предусмотрено проектом производства работ (например, для оценки промежуточной прочности с целью определения возможности снятия опалубки, либо нагружения конструкции до достижения проектной прочности бетона).

При проведении выборочного контроля проверяется не менее одной конструкции из числа однородных конструкций (колонн, диафрагм жесткости, плит перекрытий и т.п.). Если конструкция бетонировалась в течение более одних суток (например, фундаментная плита), то прочность бетона контролируют на каждом участке, забетонированном в течение суток.

При определении класса бетона партий монолитных конструкций с использованием косвенных неразрушающих методов общее число контролируемых участков должно быть не менее:

- 15 – при средней прочности бетона до 20МПа;
- 20 – при средней прочности бетона до 30 МПа;
- 25 – при средней прочности бетона выше 30 МПа.

Однородность прочности бетона в конструкциях характеризуется партионным коэффициентом вариации V_m . Статистическую оценку прочности бетона с учетом его однородности производят по результатам определения прочности неразрушающими методами с использованием предварительно экспериментально установленных градуировочных зависимостей косвенных характеристик прочности бетона от его фактической прочности на сжатие (определенной на образцах, отобранных из конструкций, или прямыми неразрушающими методами – отрывом со скалыванием или скалыванием ребра).

При контроле прочности только *прямыми неразрушающими методами* (отрывом со скалыванием или скалыванием угла), когда за единичное значение прочности принимается прочность бетона на контролируемом участке, среднеквадратическое отклонение S_m прочности бетона в партии вычисляют по формуле

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum(R_i - R_m)^2}{n-1}}, \quad (28)$$

где R_i - прочность бетона отдельного участка конструкции;

R_m - средняя прочность бетона в партии конструкций;

n – число контролируемых участков.

При числе контролируемых значений прочности бетона в партии от двух до шести среднеквадратическое отклонение S_m допускается рассчитывать по формуле

$$S_m = \frac{W_m}{\alpha}, \quad (29)$$

где W_m - размах значений прочности в конструкциях контролируемой партии: $W_m = W_{\max} - W_{\min}$;

α – коэффициент, принимаемый по табл.14.

Таблица 14 - Значения коэффициента α

Число единичных значений	2	3	4	5	6
Коэффициент α	1,13	1,69	2,06	2,33	2,5

При контроле прочности бетона *косвенными неразрушающими методами* среднее квадратическое отклонение определяется следующим образом.

В случае, когда за единичное значение прочности принимается прочность бетона на контролируемом участке или отдельной конструкции, среднеквадратическое отклонение прочности бетона партии конструкций S_m определяется по формуле

$$S_m = (S_{н.м} + \frac{S_T}{\sqrt{n-1}}) \times \frac{1}{0,7r+0,3}, \quad (30)$$

где $S_{н.м}$ - среднее квадратическое отклонение прочности бетона, полученное по данным испытаний неразрушающим методом;

n – количество участков испытаний в конструкции;

r – коэффициент корреляции установленной градуировочной зависимости.

$$S_T = \sqrt{S_{Т.н.м}^2 + S_{Т.м.о.с.}^2} \quad (31)$$

Коэффициент вариации прочности бетона вычисляют по формуле:

$$V_m = \frac{S_T}{R_m} \times 100\% \quad (32)$$

7.4 Приемка монолитных конструкций по прочности бетона

При контроле монолитных бетонных и железобетонных конструкций по схеме В фактический класс бетона по прочности B_ϕ рассчитывают по формуле

$$B_\phi = \frac{R_m}{K_T} \quad (33)$$

Значение коэффициента K_T принимают по табл. 13 в зависимости от коэффициента вариации прочности бетона в контролируемой партии.

Фактический класс бетона по прочности *отдельных* вертикальных монолитных конструкций B_ϕ при контроле по схеме В рассчитывают по формуле

$$B_\phi = R_m - t_\beta \frac{S_T}{\sqrt{n}}, \quad (34)$$

где $S_T = \sqrt{S_{Т.н.м}^2 + S_{Т.м.о.с.}^2}$

n – число единичных значений;

t_β - коэффициент, принимаемый по табл.15 в зависимости от числа единичных значений n .

Таблица 15 – Коэффициент t_β

n	4	5	6	7	8	9	10
t_β	3,18	2,78	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26

Фактический класс бетона по прочности монолитных конструкций B_ϕ при контроле по схеме Г принимают равным 80% средней прочности бетона конструкций, но не более минимального частного значения прочности бетона отдельной конструкции или участков конструкций, входящих в контролируемую партию:

$$B_\phi = 0,8R_m \quad (35)$$

Партия монолитных конструкций подлежит приемке по прочности бетона, если фактический класс бетона по прочности B_ϕ в каждой отдельной конструкции этой партии не ниже проектного класса по прочности $B_{\text{норм}}$:

$$B_\phi \geq B_{\text{норм}} \quad (36)$$

7.5 Пример оценки прочности бетона и приемки монолитных конструкций

Ниже приводится (табл. 16) пример оценки прочности и однородности бетона 24 монолитных колонн 11 этажа с использованием градуировочной зависимости «прочность-скорость ультразвука», установленной для колонн 11-19 этажей административного 19-этажного здания в г. Ростове-на-Дону. Прочность бетона колонн вычислена с использованием ранее установленной градуировочной зависимости (см. п. 6.2). Проектный класс бетона по прочности В30.

Таблица 16 – Результаты определения прочности бетона

№ № колонн	№ контролируемог	Средняя скорость ультразвука в участке V , м/с	Прочность бетона в участке, R_i , МПа	Средняя прочность бетона в колонне, R_{im} , МПа	Среднеквадратическое отклонение, S_i , МПа	Коэффициент вариации, V_i , %, (K_T)
1	2	3	4	5	6	7
1	1	3808	33,4	32,7	2,14	6,5 (1,076)
	2	3680	31,9			
	3	3689	32			
	4	3703	32,2			
	5	3750	32,7			
	6	3874	34,1			
2	1	3682	31,9	32,5	2,02	6,2 (1,073)
	2	3675	31,8			
	3	3819	33,5			
	4	3711	32,3			
	5	3813	33,4			
	6	3688	32			
3	1	3655	31,6	33,6	3,1	9,2 (1,116)
	2	3798	33,2			
	3	3870	34,1			
	4	3669	31,8			
	5	3996	35,5			
	6	4003	35,6			
4	1	3803	33,3	33	2,65	8 (1,09)
	2	3915	34,6			
	3	3658	31,7			
	4	3779	33			
	5	3613	31,1			
	6	3864	34			
5	1	3647	31,5	32,2	1,88	5,8 (1,07)
	2	3706	32,2			
	3	3687	32			
	4	3810	33,4			

1	2	3	4	5	6	7	8
	5	3682	31,9				

	6	3703	32,2				
6	1	3944	34,9	34,2	2,45	7,2 (1,082)	31,6
	2	3803	33,3				
	3	3892	34,3				
	4	3741	32,6				
	5	4037	35,9				
	6	3880	34,2				
7	1	4054	36,1	34,9	2,72	7,8 (1,088)	32,1
	2	4085	36,5				
	3	3738	32,6				
	4	3953	35				
	5	3880	34,2				
	6	3924	34,7				
8	1	3953	35	34,7	2,57	7,4 (1,084)	32
	2	3802	33,3				
	3	4095	36,6				
	4	3809	33,4				
	5	3993	35,4				
	6	3892	34,3				
9	1	3664	31,7	33,1	2,89	8,7 (1,097)	30,2
	2	3944	34,9				
	3	3830	33,6				
	4	3582	30,8				
	5	3886	34,2				
	6	3809	33,4				
10	1	3758	32,8	34	2,06	6,1 (1,071)	31,7
	2	3957	35				
	3	3833	33,6				
	4	3915	34,6				
	5	3833	33,6				
	6	3902	34,4				
11	1	3846	33,8	34	2,06	6,1 (1,071)	31,7
	2	3908	34,5				
	3	3812	33,4				
	4	3902	34,4				
	5	3611	31,1				

1	2	3	4	5	6	7	8
	6	3809	33,4				

12	1	3779	33	34,3	2,17	6,3 (1,073)	32
	2	3921	34,6				
	3	3915	34,6				
	4	3877	34,1				
	5	3852	33,8				
	6	4020	35,7				
13	1	3877	34,1	34,1	2,19	6,4 (1,074)	31,8
	2	3815	33,4				
	3	3758	32,8				
	4	3824	33,5				
	5	3770	32,9				
	6	3915	34,6				
14	1	3830	33,6	33,4	2,76	8,3 (1,093)	30,5
	2	3887	34,3				
	3	3669	31,8				
	4	3643	31,5				
	5	3870	34,1				
	6	3966	35,1				
15	1	3836	33,7	33,7	2,95	8,8 (1,098)	30,4
	2	3966	35,1				
	3	3858	33,9				
	4	3836	33,7				
	5	3576	30,7				
	6	3960	35,1				
16	1	3721	32,4	32,3	2,12	6,6 (1,076)	30,3
	2	3655	31,6				
	3	3785	33,1				
	4	3676	31,9				
	5	3614	31,2				
	6	3808	33,4				
17	1	3611	31,1	32,4	2,24	6,9 (1,079)	30
	2	3706	32,2				
	3	3803	33,3				
	4	3773	33				
	5	3628	31,3				
	6	3794	33,2				

1	2	3	4	5	6	7	8
	1	4074	36,4	35	2,59	7,4	32,3

18	2	3908	34,5			(1,084)	
	3	3812	33,4				
	4	4071	36,3				
	5	3846	33,8				
	6	4003	35,6				
19	1	3800	33,3	33,3	2,96	8,9 (1,099)	30,3
	2	4026	35,7				
	3	3606	31,1				
	4	3892	34,3				
	5	3700	32,1				
	6	3779	33				
20	1	3908	34,5	33,7	2,25	6,7 (1,067)	31,6
	2	3889	34,3				
	3	3803	33,3				
	4	3924	34,7				
	5	3785	33,1				
	6	3709	32,2				
21	1	4026	35,8	34,6	2,78	8 (1,09)	31,7
	2	4102	36,7				
	3	3761	32,8				
	4	3877	34,1				
	5	3924	34,7				
	6	3824	33,5				
22	1	3963	35,1	34,8	2,59	7,5 (1,085)	32,1
	2	3785	33,1				
	3	4037	35,9				
	4	3833	33,6				
	5	3908	34,5				
	6	4078	36,4				
23	1	3709	32,1	33,6	3,04	9,1 (1,111)	30,2
	2	3776	33				
	3	3827	33,6				
	4	3963	35,1				
	5	3675	31,8				
	6	4050	36,1				

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

24	1	3905	34,4	33,7	2,85	8,5 (1,1)	30,6
	2	3927	34,7				
	3	4006	35,6				
	4	3843	33,7				
	5	3633	31,4				
	6	3744	32,6				

Средняя прочность бетона в партии колонн по результатам испытаний R_m , МПа:

$$R_m = \frac{\sum R_{iH}}{n} = 33,6$$

Среднее квадратическое отклонение прочности в партии, полученное по данным испытаний неразрушающим (ультразвуковым) методом $S_{H.M.}$, МПа:

$$S_{H.M.} = \sqrt{\frac{\sum (R_i - R_m)^2}{n-1}} = 1,42$$

Среднеквадратическое отклонение прочности бетона в каждой колонне определено по формуле

$$S_m = \frac{W_m}{\alpha} \quad (37)$$

Средняя квадратическая ошибка градуировочной зависимости S_T , с учетом погрешности метода отрыва со скалыванием, МПа:

$$S_T = \sqrt{S_{T.H.M}^2 + S_{T.MOC}^2} = \sqrt{1,84^2 + 1,46^2} = 2,35$$

где: $S_{T.H.M}$ - средняя квадратическая ошибка построенной градуировочной зависимости; $S_{T.H.M} = 1,84$ МПа;

$S_{T.MOC}$ - средняя квадратическая ошибка градуировочной зависимости метода отрыва со скалыванием; $S_{T.MOC} = 1,46$ МПа;

Среднее квадратическое отклонение прочности бетона, S_m , МПа:

$$S_m = \left(S_{H.M.} + \frac{S_T}{\sqrt{n-1}} \right) \frac{1}{0,7r+0,3} = 1,79$$

где: r – коэффициент корреляции градуировочной зависимости; $r = 0,86$;

n – число участков испытаний прочности в конструкциях; n
= 144.

Коэффициент вариации прочности:

$$V_m = \frac{S_m}{R_m} \times 100 = \frac{1,79}{33,6} \times 100 = 5,3 \%$$

Этому значению коэффициента вариации соответствует коэффициент требуемой прочности $K_T = 1,07$ (см. табл.13)

Фактический класс бетона по прочности в партии колонн:

$$R_{\phi} = \frac{R_m}{K_T} = \frac{33,6}{1,07} = 31,4$$

Так как фактический класс бетона в каждой колонне и среднее значение фактического класса бетона всех колонн не ниже проектного класса В30, все 24 колонны подлежат приемке по прочности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы рассмотрели способы определения прочности бетона сборных и монолитных железобетонных конструкций с использованием современных методов неразрушающего контроля. Применение этих методов дает возможность не только иметь представление о фактической прочности бетона в конструкциях, но и, что не менее важно, получить сведения об однородности прочности (вариации и среднеквадратического отклонения прочности), что имеет особенно важное значение для крупногабаритных конструкций, в которых неоднородность прочности наиболее вероятна. Статистическая обработка результатов определения прочности бетона существенно повышает их достоверность, что в конечном итоге придает уверенность в более надежной и безопасной работе конструкций в период эксплуатации.

Методы неразрушающего контроля прочности бетона за относительно короткий промежуток времени стали существенно более совершенными. Этому способствовало желание строителей и технологов получать более достоверные сведения о таком важнейшем свойстве бетона как прочность и тем самым повысить надежность и безопасность железобетонных конструкций.

Список использованных источников

1. ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.

2. ГОСТ 22690-88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля
3. ГОСТ 17624-2012. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности
4. ГОСТ 10180 – 2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
5. ГОСТ 28570-90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций
6. ГОСТ 22904-93. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры
7. ГОСТ 26633-2012 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
8. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения.
9. МДС 62-2.01. Методические рекомендации по контролю прочности бетона монолитных конструкций ультразвуковым методом способом поверхностного прозвучивания
10. СТО 02495307-006-2009. Стандарт организации. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности бетона монолитных бетонных и железобетонных конструкций неразрушающими методами с учетом однородности
11. СТО 02495307-005-2008. Бетоны. Определение прочности методом отрыва со скалыванием