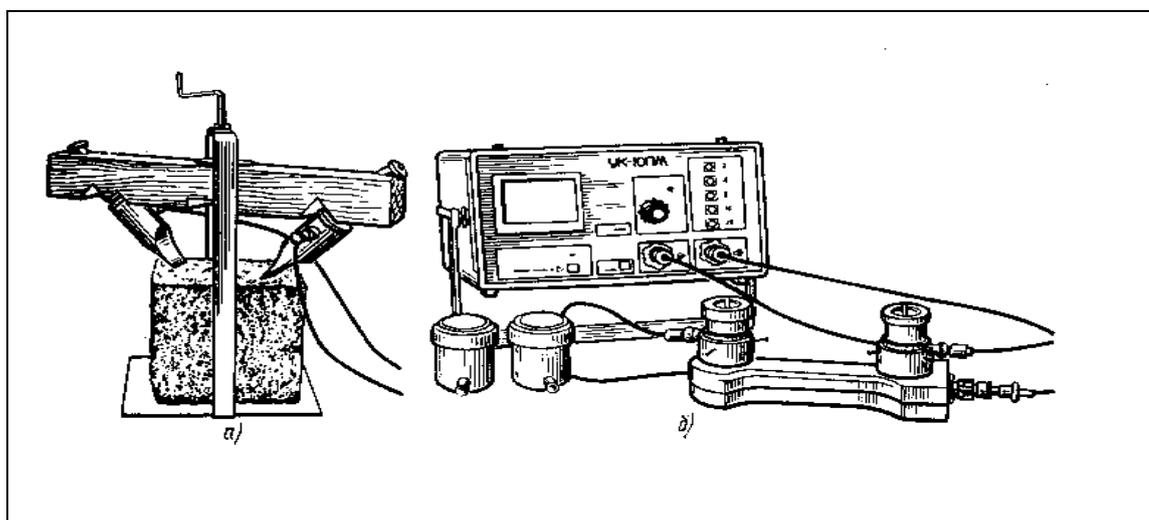


С.Г. Кудряшов

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебное пособие



Министерство сельского хозяйства РФ



**КОСТРОМСКАЯ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ**

кафедра строительных конструкций

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебное пособие для студентов направления
подготовки 08.03.01 «Строительство» по
дисциплине

**“Обследование, испытание и реконструкция
зданий и сооружений”**

Составитель :

доцент Кудряшов С.Г.

Кострома 2015 г.

Рекомендовано к изданию методической
комиссией архитектурно-строительного
факультета, протокол № от г.

Учебное пособие разработано
доцентом кафедры строительных
конструкций С.Г. Кудряшовым

Предисловие.

Непременное условие улучшения качества – совершенствование методов контроля. Особое место среди методов контроля занимают неразрушающие методы – современные физические методы контроля качества. Преимущество этих методов в том, что с их помощью можно получить данные о прочности бетона непосредственно в конструкциях. Кроме того, применение неразрушающих методов для операционного и приемочного контроля позволяет механизировать, а в некоторых случаях и автоматизировать процесс съема и обработки информации.

При обследованиях железобетонных конструкций, осуществляемых в связи с реконструкцией здания, неразрушающие методы являются единственно возможными методами контроля.

Для контроля бетонных и железобетонных конструкций неразрушающие методы начали применять еще в 30-е годы XXв. В эти и последующие годы большой вклад в разработку неразрушающих методов внесли советские ученые И.С. Вайншток, И.В. Вольф, К.П. Кашкаров, Ю.А. Нилендер, Г.Я. Почтовик, Б.Г. Скрамтаев и др. В результате исследований последних лет, проводившихся в нашей стране, была создана система государственных стандартов, разработаны приборы, методы контроля и оценки его результатов, разработаны стенды и посты контроля, осуществлено внедрение неразрушающих методов на многих предприятиях.

Глава I.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ.

§1. Классификация неразрушающих методов.

Под качеством любой продукции понимают совокупность ее свойств, обеспечивающих возможность использования этой продукции в соответствии с назначением. Для несущих железобетонных конструкций это значит, что прежде всего они должны выдерживать нагрузки, на которые они рассчитаны. Кроме того, в зависимости от назначения отдельные виды железобетонных конструкций должны обладать теми или иными свойствами. Например, стеновые панели должны обладать необходимыми теплозащитными свойствами и морозостойкостью, перегородки – звукоизолирующими свойствами и т. д.

Для того чтобы обеспечить качество продукции, ведется контроль как в процессе изготовления (входной и операционный), так и готовых изделий (приемочный). *Входным* называют контроль продукции, поступившей на предприятие и предназначенной для использования при производстве конструкций : цемент, мелкий и крупный заполнитель, арматурная сталь и закладные детали. *Операционным* называют контроль технологических процессов, осуществляемый во время выполнения отдельных операций и после их завершения. Например, контроль качества выполнения сварных соединений, силы натяжения арматуры. *Приемочный* называют контроль готовой продукции. Так, в готовых железобетонных изделиях контролируют показатели, которые обеспечивают восприятие действующих на конструкцию нагрузок : прочность, жесткость и трещиностойкость конструкций.

Прочность, жесткость и трещиностойкость железобетонных конструкций зависят от прочности бетона и арматуры в конструкции, площади сечения бетона и арматуры, положения арматуры, силы натяжения арматуры (в преднапряженных конструкциях), прочности сцепления арматуры с бетоном, прочности сварных соединений и т. д. Если обеспечиваются требуемые значения этих параметров, то гарантируются заданные проектом прочность, жесткость и трещиностойкость.

При современном уровне развития неразрушающих методов в готовой конструкции можно проконтролировать прочность бетона и положение арматуры. Остальные параметры должны контролироваться в процессе изготовления.

Таким образом, под неразрушающим контролем понимают : совокупность контрольных операций в процессе изготовления и приемочного контроля готовых железобетонных конструкций, гарантирующих заданные проектом прочность, жесткость и трещиностойкость без испытания образцов конструкций нагружением ; контроль отдельных параметров или операций с помощью неразрушающих методов.

Неразрушающие методы классифицируют

по назначению: методы контроля прочности бетона; методы контроля положения арматуры в железобетонных конструкциях; методы обнаружения плохо уплотненных участков бетона внутри конструкций, раковины и т.д. (методы дефектоскопии); методы контроля плотности бетона; методы контроля влажности бетона и заполнителя; методы контроля натяжения арматуры ;

по физическим признакам: механические, в том числе основанные на изменении свойств поверхности бетона и местном разрушении поверхности бетона и местном разрушении поверхности бетона; ультразвуковой; магнитный; основанный на использовании ионизирующих излучений; диэлькометрический.

§2. Область применения неразрушающих методов.

Неразрушающие методы применяются для контроля прочности бетона, обнаружения внутренних дефектов конструкции, положения арматуры, влажности бетона и заполнителя, качества сварных соединений, натяжения арматуры.

Контроль прочности бетона. Неразрушающие методы применяют для контроля отпускной прочности бетона, перед отпуском натяжения арматуры предварительно напряженных железобетонных конструкций (передаточной прочности), при проверке прочности и однородности бетона в конструкциях, изготавливаемых в кассетах или с использованием центрифугирования, проката, гидропресования и других способов уплотнения бетонной смеси, когда условия уплотнения и твердения бетона не могут быть воспроизведены при изготовлении образцов–кубов.

Неразрушающими методами проверяют также прочность бетона в швах замоноличивания сборных и сборно–монолитных железобетонных конструкций, в швах крупнопанельных зданий, в монолитных железобетонных конструкциях (распалубочная прочность) перед снятием несущей опалубки, кроме того, такими методами контролируют прочность бетона, уложенного в зимнее время, после набора им прочности при положительной температуре.

Неразрушающие методы контроля прочности бетона используют при проведении обследований эксплуатируемых железобетонных конструкций, в том числе при проведении работ, связанных с реконструкцией.

Контроль нарастания прочности бетона. Для регулирования режима тепловой обработки бетона применяют неразрушающие методы контроля нарастания прочности бетона. В этом случае можно обеспечить наиболее экономичные по расходу пара режимы обработки, позволяющие получить заданную прочность бетона в наиболее короткие сроки.

Контроль силы натяжения арматуры. Неразрушающие методы используют при электротермическом натяжении арматуры, а в некоторых случаях при механическом натяжении, например если натяжение арматуры не групповое, а последовательное.

Обнаружение внутренних дефектов. Неразрушающие методы применяют обычно в процессе строительства для проверки качества заполнения бетоном стыков, густоармированных узлов и т.п.

Определение положения арматуры. Неразрушающие методы применяют для определения положения арматуры в тех случаях, когда в процессе бетонирования арматурные элементы (например, плоские сетки плит перекрытий при изготовлении их в кассетах) могут сместиться. Такие методы используют также при определении положения и диаметра арматуры при проведении обследований эксплуатируемых конструкций, особенно в тех случаях, когда отсутствует проектная документация.

Контроль качества сварных соединений. Неразрушающими методами контролируют качество сварных соединений рабочей арматуры, выполняемых в процессе строительства.

Контроль плотности и влажности. Неразрушающими методами контролируют плотность и влажность в основном ограждающих конструкций (стеновые панели, блоки), для которых теплотехнические свойства существенно зависят от этих показателей.

§3. Основные сведения из математической статистики при неразрушающем методе контроля

В тех случаях, когда приходится обрабатывать результаты экспериментов и измерений, вспомогательным средством служат методы математической статистики.

В данном учебном пособии не приводится математическое обоснование статистических методов, а дано краткое описание их сущности. Все приводимые формулы даны без доказательств.

При определении какого-либо показателя качества железобетона часто приходится сталкиваться с тем, что значения, получаемые при измерении этого показателя, не одинаковы; они изменяются в различных пределах, т. е. рядом более или менее отличающихся одно от другого чисел. Например, прочность контрольных кубов одного замеса бетона почти всегда неодинакова, что обуславливается разными причинами: во-первых, неточностью измерительных инструментов (приборов) или неправильностью методики измерений, во-вторых, ошибками работника, проводящего измерение, и, в-третьих, неизбежными отклонениями ввиду изменчивости самого изучаемого свойства.

Первые две причины, так называемые *систематические ошибки*, могут быть или устранены, или учтены. Третья причина- *случайные ошибки*, которые складываются из множества неконтролируемых причин: температурных колебаний в помещении или вибрации и т. д. Полностью исключить влияние случайных ошибок невозможно. Случайные ошибки (величины) при измерении вызывают отклонение в обе стороны от истинного значения. Распределение случайной величины подчинено различным законам. В практике наиболее часто принимают, что случайная величина подчиняется нормальному закону распределения:

отклонения не могут иметь один и тот же знак, т. е. измеряемая величина будет и больше и меньше средней величины;

абсолютные величины отклонений в большинстве случаев ограничены какими-либо пределами;

чем больше абсолютная величина отклонения, тем реже она встречается;

при достаточно большом числе измерений сумма положительных отклонений приблизительно равна сумме отрицательных.

В Строительных нормах и правилах (СНиП) на проектирование железобетонных конструкций принято, что прочностные свойства бетона и арматуры подчинены нормальному закону распределения. Поэтому все приведенные ниже формулы основаны на этом законе.

Изменчивость свойства (например, прочность бетона) называется *варьированием*, отдельные числовые значения - *вариантами*, а ряд чисел (вариантов), полученных при измерении отдельных значений, - *рядом измерений* или *статистической совокупностью*.

Среднее арифметическое значение - статистическая характеристика, которая характеризует одним числом результаты некоторого ряда измерений. Среднее арифметическое значение, обозначаемое буквой \bar{X} или \bar{M} , вычисляют по формуле

$$\bar{X} = 1/n(X_1 + X_2 + \dots + X_n) = (1/n) \sum_{i=1}^n X_i, \quad (1)$$

где X_1, X_2, \dots, X_n - варианты измерений; Σ - сумма всех измерений (варианты) X_i ; n - число измерений (вариантов).

Среднее арифметическое дает представление о средней величине измеряемого свойства, но изменчивость его, т. е. пределы колебания, средняя величина не выражает.

По среднему арифметическому нельзя судить о характере отдельных отклонений от среднего значения прочности, что очень важно, так как в отдельных конструкциях или участках конструкций прочность может быть меньше, чем допускается при их проектировании. Поэтому в дополнение к среднему арифметическому значению важно знать, как колеблется прочность. Такой характеристикой изменчивости свойства служит среднее квадратическое отклонение. *Среднее квадратическое отклонение*, обозначаемое

буквой, σ (сигма) или S , выражают в единицах того же измерения, что и среднее арифметическое значение, и вычисляют по формуле

$$S = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad , \quad (2)$$

где $\sum (X_i - \bar{X})^2$ - сумма квадратов отклонений всех измерений от среднего арифметического; n - число измерений (вариантов).

Знак плюс или минус в формуле показывает, что отклонения могут быть как в одну, так и в другую сторону от среднего арифметического.

Квадрат среднего квадратического отклонения S^2 называют *дисперсией*.

На практике для характеристики меры разброса измерений используют такую меру, как размах. *Размах* R равен разности между максимальным и минимальным значениями, полученными в ряде измерений:

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad , \quad (3)$$

Размах находят главным образом при анализе небольшого числа измерений (n составляет максимум 10), чтобы облегчить вычисления среднего квадратического отклонения. Среднее квадратическое отклонение, выраженное через размах, определяют по формуле

$$S = (X_{\max} - X_{\min}) / d \quad , \quad (4)$$

где d - коэффициент, принимаемый по соответствующим таблицам из математической статистики.

Если число измерений $n > 10$, статистическую обработку опытных данных производят по формуле (2). При этом для удобства вычислений пользуются таблицей, составленной из трех граф (табл. 1). В первой графе, обозначенной буквой X_i , записывают в любом порядке 'полученные числа (варианты), во второй графе, обозначенной Δ , записывают со знаком плюс или минус отклонения отдельных чисел от их среднего арифметического значения \bar{X} , т. е. $\Delta = X_i - \bar{X}$, в третьей графе, обозначенной Δ^2 , - квадраты этих отклонений.

Например, в результате контроля партии конструкций получено двенадцать значений прочности бетона (МПа). Заполняют первую графу таблицы результатами полученных измерений и вычисляют среднее арифметическое: $\bar{X} = (\sum X_i) / n = 265,2 : 12 = 22,1$ МПа. Затем находят отклонение каждого числа от среднего арифметического, для чего из каждого X_i вычитают среднее арифметическое со знаком плюс или минус и записывают во вторую графу таблицы. Знак плюс показывает, что данное измерение по величине больше среднего арифметического, а знак минус - что меньше. После определения отклонений Δ проверяют правильность их вычислений: сумма отклонений со знаком плюс должна быть равна сумме отклонений со знаком минус, а общая сумма их должна быть равна нулю.

Т а б л и ц а 1. Определение средней прочности бетона способом непосредственного вычисления.

X_i	Δ	Δ^2	X_i	Δ	Δ^2
21,0	-1,1	1,21	19,2	-2,9	8,41
22,4	+0,3	0,09	22,4	+0,3	0,09
21,4	-0,7	0,49	20,1	-2,0	4,00
21,6	-0,5	0,25	23,0	+0,9	0,81
25,6	+3,5	12,25	25,5	+3,4	11,56
19,2	-3,1	9,61	24,0	+1,9	3,61
			$\sum X_i = 265,2$	+10,3 -10,3	$\sum X^2 = 52,38$

После проверки все вычисленные отклонения возводят в квадрат и результаты записывают в третью графу таблицы, после чего вычисляют их сумму. Сумма квадратов отклонений $\Sigma \Delta^2$ в данном примере равна 52,38. Затем по формуле (2) вычисляют среднее квадратическое отклонение прочности бетона в данной партии конструкций:

$$S = \pm \sqrt{\frac{\Sigma \Delta^2}{(n-1)}} = \pm \sqrt{\frac{52,38}{(12-1)}} = \pm 2,18 \text{ МПа.} \quad (5)$$

Среднее квадратическое отклонение - одна из наиболее важных статистических характеристик. Однако, при сравнении изменчивости изучаемого свойства двух или нескольких групп, абсолютное значение среднего квадратического отклонения не дает возможности судить о том, какое из них более изменчиво и какое-менее. Например, в результате испытания двух партий конструкций по прочности бетона на сжатие получено $\bar{X} = 45,0 \text{ МПа}$, $S = 6 \text{ МПа}$ и $\bar{X} = 12,2 \text{ МПа}$, $S = 2,9 \text{ МПа}$. Из абсолютной величины среднего квадратического отклонения можно было бы сделать вывод, что предел прочности при сжатии первой партии более изменчив, чем второй, так как S в этом случае больше в два раза. Но если оба средние квадратические отклонения выразить в процентах от соответствующих им средних арифметических, то для первой группы прочности $(S/\bar{X}) \cdot 100\% = (6/45) \cdot 100\% = 13,3 \%$, а для второй - $(2,9/12,2) \cdot 100\% = 23,8 \%$. т. е. предел прочности при сжатии во второй группе более изменчив, чем в первой. Поэтому при определении изменчивости того или иного свойства недостаточно знать среднее квадратическое отклонение. Необходимо вычислить относительную изменчивость этого свойства, т. е. найти коэффициент вариации, или коэффициент изменчивости. Коэффициент вариации (%), обозначаемый буквой V , вычисляют по формуле

$$V = (S/\bar{X}) \cdot 100. \quad (6)$$

При обработке экспериментальных данных в некоторых случаях отдельные числа статистического ряда значительно больше или меньше по сравнению с другими числами. В подобных случаях прежде всего проверяют, не допустил ли ошибку экспериментатор или нет ли каких-либо дополнительных фактов, которые могли вызвать резкое увеличение или уменьшение данного числа. Если удастся точно установить причину значительного увеличения или уменьшения сомнительного числа, то его необходимо исключить из данного статистического ряда.

Однако бывают случаи, когда не удается установить причину значительного отклонения числа, а подозрения в грубой ошибочности остаются. В подобных случаях проверяют принадлежность подозреваемого числа к исследуемому статистическому ряду. В государственных стандартах (ГОСТах) эта операция называется проверкой аномальности.

§4. Понятия о корреляционных зависимостях.

Все неразрушающие методы контроля – косвенные, т. е. когда измеряется не само контролируемое свойство (например, прочность бетона, величина защитного слоя арматуры и т.д.), а какой-то косвенный показатель. Например, при использовании ультразвукового метода определяют скорость распространения ультразвука в бетоне. Таким образом, скорость ультразвука – косвенный показатель, по которому затем находят прочность бетона.

Контролируемое свойство по значению косвенного показателя определяют по градуировочной зависимости «косвенный показатель-контролируемое свойство». Зависимость между свойствами может быть функциональной или корреляционной.

Функциональной называется зависимость, в которой каждому значению измеряемой величины соответствует только одно значение искомой величины. Например, площадь сечения A при размерах поперечного сечения a и $b, A=a \cdot b$. При заданном размере a каждому значению b соответствует только одно значение A . Графически это выражается прямой, представленной на рис. 1. а.

Корреляционной называется зависимость, в которой каждому значению измеряемой величины может соответствовать несколько значений искомой величины, т. е. $y = ax$ (рис. 1, б).

Методы математической статистики позволяют оценить погрешность определения искомой величины по корреляционной зависимости.

Физический смысл различия между функциональной и корреляционной зависимостями заключается в следующем. Аргументы функциональной зависимости охватывают все влияющие факторы. В корреляционной зависимости помимо факторов, учитываемых входящими в зависимость аргументами, существуют и другие влияющие факторы.

Все косвенные показатели (КП) неразрушающих методов связаны с контролируруемыми свойствами корреляционной зависимостью, т.е. контролируемое свойство (у) определяется с какой-то погрешностью.

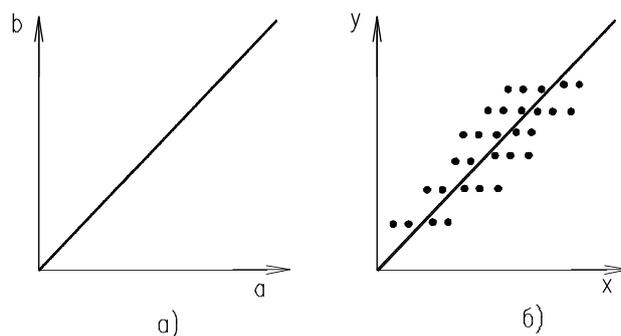


Рис.1 График корреляционной зависимости
а- функциональной б- корреляционной

Глава II.

КОНТРОЛЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ

§5. Общие сведения.

Ультразвуковой импульсный метод—один из самых распространенных неразрушающих методов, используемый для контроля прочности бетона и дефектоскопии железобетонных конструкций.

Звук—это упругие волны, распространяющиеся в виде чередующихся сжатий и разрежений частичек среды (воздуха, твердых тел, жидкости). Частоту звука измеряют количеством сжатий и разрежений: каждое сжатие и последующее разрежение образуют одно полное колебание. За единицу частоты звука герц (Гц) принято полное колебание, которое совершается в секунду.

При распространении ультразвуковых колебаний (импульсов) в твердом теле (например, в бетоне) возникают незначительные упругие деформации. В зависимости от свойств среды и условий передачи ультразвуковых импульсов различают продольные, поперечные и другие волны. При продольных ультразвуковых волнах направление

перемещения частиц тела совпадает с направлением движения волн или противоположно ему. При поперечных волнах направление движения частиц перпендикулярно (поперек) направлению движения волны.

При определении прочности бетона в основном измеряют скорость распространения продольных ультразвуковых волн.

Сущность ультразвукового метода состоит в том, что измеряют скорость распространения через бетон переднего фронта продольной ультразвуковой волны (в дальнейшем называемой скоростью ультразвука). Между скоростью ультразвука и прочностью бетона существует корреляционная зависимость, на которую влияют различные факторы: возраст бетона, его влажность, водоцементное отношение и тип заполнителя, условия уплотнения бетона и его хранения, вид применяемых добавок. Поэтому при использовании ультразвукового метода для контроля прочности бетона необходимо устанавливать градуировочную зависимость для каждого конкретного бетона.

Для измерения скорости ультразвука V (м/с) необходимо знать время t (мкс) распространения ультразвука на участке определенной длины l (мм), называемой базой прозвучивания:

$$V = (l/t) * 1000 \quad (7)$$

Скорость ультразвука в бетоне колеблется от 2500 до 4500 м/с (в зависимости от его прочности). Поэтому приходится определять очень малые интервалы времени, измеряемые в микросекундах.

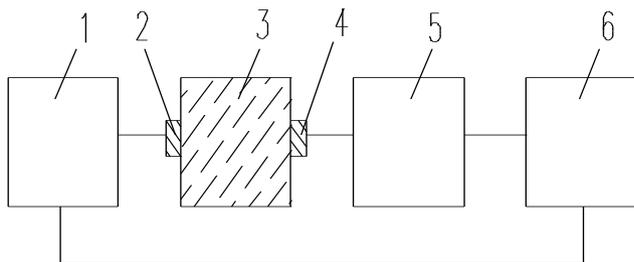


Рис.2 Схема измерения скорости ультразвука в бетоне:
1-генератор, 2 - ультразвуковой излучатель,
3 - бетон, 4 - ультразвуковой приемник,
5 - усилитель, 6 - регистратор

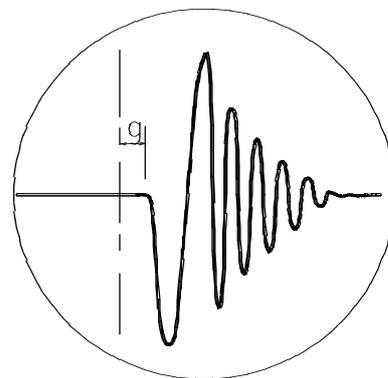


Рис.3 Схематическое изображение ультразвукового импульса на экране электронно-лучевой трубки (q-длина разрыва)

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

Электронный генератор 1 (рис.2) периодически посылает высокочастотные электрические импульсы на излучатель 2. Излучатель снабжен пьезобатареей, состоящей из кристаллов сегнетовой соли и преобразующей электрические импульсы в ультразвуковые механические волны. Ультразвуковые волны проходят через исследуемый элемент из бетона 3 и попадают в ультразвуковой приемник 4, где вновь преобразуются в электрические импульсы. Из

приемника электрические импульсы направляются в усилитель 5, откуда поступают на регистратор 6-электронно-лучевую трубку (ЭЛТ).

Изображение прошедшего через бетон ультразвукового импульса имеет вид, представленный на рис. 3. Время распространения ультразвука определяется длиной разрыва q сигнала на экране трубки и амплитудой первого вступления.

Ультразвуковые приборы, выпускаемые в настоящее время, например УК-14П, вместо ЭЛТ оснащены табло, на котором высвечиваются цифры скорости (цифровая индикация). Промышленность поставляет также приборы, которые имеют и ЭЛТ и цифровую индикацию (например, прибор УК-10ПМ). В комплекте с приборами находятся цилиндрические излучатели (преобразователи) и соединительные кабели.

Т а б л и ц а 2. Технические характеристики ультразвуковых приборов для определения прочности бетона.

Характеристика	Т и п п р и б о р а			
	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	20-999.9
Режим измерения	автоматический	автоматический	автоматический	автоматический
Индикация	цифровая	цифровая	цифровая	цифровая
Электрическое питание	автономное	универсальное	универсальное	сетевое
Наличие ЭЛТ	-	-	да	да
Число каналов измерения	1	1	1	12
Наличие микропроцессора	-	-	-	да
Конструктивное исполнение	портативный	портативный	переносной	стационарный
Масса, кг	2.6	1.5	10.0	28
Предприятие-изготовитель	опытный завод ВНИИ- железобетон, г.Москва	“Электроприбор” г.Кишинев	“Электроприбор” г.Кишинев	“Электроприбор” г.Кишинев

§6. Определение прочности бетона с помощью ультразвука

Ультразвуковой метод применяют для контроля прочности на сжатие тяжелого, легкого и силикатного бетона классов В5... В50 (ГОСТ 17624-87).

В зависимости от условий проведения испытаний и вида конструкций применяют различные способы: сквозное или поверхностное прозвучивание.

Способ сквозного прозвучивания. Для проведения испытания ультразвуковые преобразователи 1, 2 (излучатель и приемник) размещают соосно с противоположных сторон изделия (рис. 4.а). В тех случаях, когда нельзя преобразователи поместить соосно, применяют способ диагонального прозвучивания (рис. 4.б). Скорость ультразвука рассчитывают по формуле (7).

Сквозное прозвучивание позволяет получить информацию о состоянии бетона по всему сечению конструкции. Однако этот способ трудоемкий, так как требует тщательного измерения

базы прозвучивания l на каждом контролируемом участке, что не всегда возможно, например, при испытании стен или перекрытий. В этих случаях скорость ультразвука можно измерить по поверхности бетона.

Способ поверхностного прозвучивания. Для проведения испытания преобразователи 1, 2 (излучатель и приемник) устанавливают по одной плоскости конструкций на постоянной базе прозвучивания (рис.4,в), расположенной стационарно на одной рейке. Величина базы при поверхностном прозвучивании должна составлять 150...400 мм. Способ поверхностного прозвучивания применяют в тех случаях, когда к изделию можно подойти только с одной стороны, например когда надо определить передаточную прочность бетона в конструкции и она находится еще в форме или при использовании тонкостенных конструкций (например, труб, плит и т. д.), для которых труднее точно измерить базу прозвучивания, чем время прохождения импульса.

При использовании этого способа прозвучивания скорость ультразвука можно не вычислять, а лишь определить время распространения ультразвука (прохождения импульса). Соответственно этому строят градуировочную зависимость «время-прочность».

В том случае если при поверхностном прозвучивании необходимо определить скорость ультразвука, то ее вычисляют также по формуле (7), в которой l – расстояние между центрами установки преобразователей (база прозвучивания). База прозвучивания должна быть одинаковой при проведении измерений на образцах, используемых при установлении градуировочной зависимости, и на конструкциях.

Как при сквозном, так и при поверхностном прозвучивании погрешность измерения базы прозвучивания не должна превышать $\pm 0,5\%$.

Для хорошей передачи ультразвукового сигнала с преобразователя на бетон и на приемник должен быть надежный акустический контакт между ними. Поэтому поверхность бетона, на которой устанавливают ультразвуковые преобразователи, не должна иметь наплывов и трещин, а также раковин и воздушных пор глубиной более 3 мм, диаметром более 6 мм. В том случае, если контроль осуществляют на той части конструкции, где шероховатость превышает указанные требования, проводят предварительную подготовку поверхности с помощью шлифовального круга.

Для того чтобы обеспечить акустический контакт, при проведении испытания между преобразователем и бетонной поверхностью наносят солидол, технический вазелин или устанавливают специальные эластичные прокладки. Использование вязких сред загрязняет поверхность бетона, повышает трудоемкость испытаний и усложняет механизацию ультразвукового контроля.

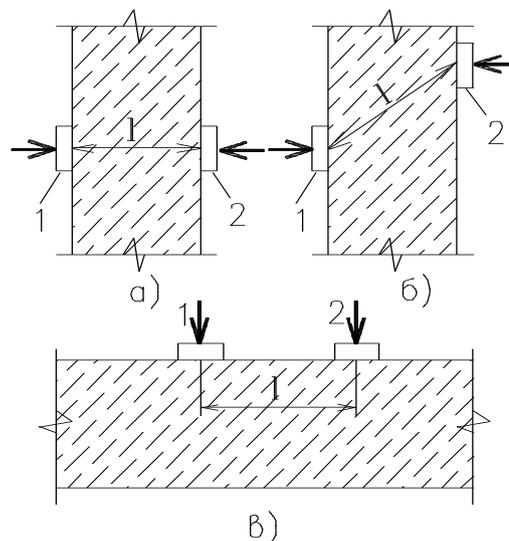


Рис.4 Схемы прозвучивания бетона:
а - сквозное, б - диагональное,
в - поверхностное; 1,2 - точки установки преобразователей; l - база прозвучивания

Применение преобразователей ножевого или игольчатого типа (рис. 5), так называемых концентраторов, позволяет проводить испытания без использования контактных сред и подготовки поверхности бетона для испытания. Участки для контроля прочности бетона выбирают так, чтобы прозвучивание проводилось в направлении, перпендикулярном направлению уплотнения бетона. При этом расстояние от места установки преобразователей до края элемента конструкции должно быть не менее 50 мм. Выбранные участки конструкции должны быть негустоармированные. Направление прозвучивания должно быть перпендикулярным направлению арматуры. Можно проводить прозвучивание параллельно арматуре, если ее диаметр не превышает 18 мм, а расположена она от линии прозвучивания не более 50 мм.

В том случае, если конструкция густоармирована и участок прозвучивания выбран неправильно, т. е. ультразвук распространяется вдоль арматуры, это обнаружится по существенному увеличению скорости ультразвука. Скорость ультразвука в арматурных сталях обычно более 5000 м/с.

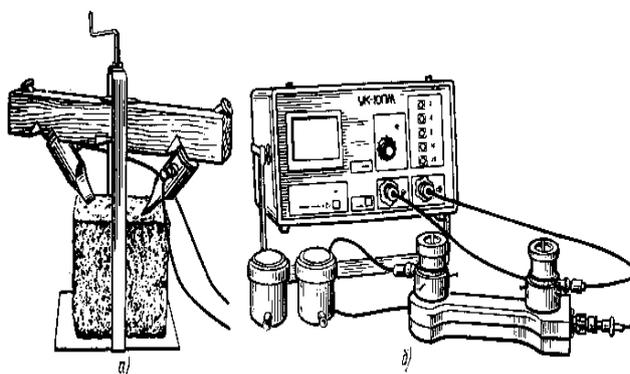


Рис. 5 Преобразователи ультразвука
а - ножевой, б - игольчатый

§7. Контроль нарастания прочности бетона.

Ультразвуковой метод используют также для контроля нарастания прочности бетона в процессе его твердения.

В основе ультразвукового метода контроля нарастания прочности бетона (ГОСТ 24467–80) лежит следующая закономерность: скорость ультразвука меняется по мере твердения бетона (рис.6). В течении 1...2 ч после укладки скорость ультразвука увеличивается медленно, затем она резко возрастает. При этом нарастание скорости звука происходит интенсивнее, чем увеличение прочности бетона. Резкое возрастание скорости ультразвука соответствует периоду формирования в бетонной смеси твердой структуры. В дальнейшем скорости ультразвука увеличивается менее интенсивно. Этот участок соответствует периоду нарастания прочности бетона после того, как формирование его структуры в основном закончено.

Ультразвуковой метод контроля нарастания прочности бетона используют при изготовлении монолитных конструкций, чтобы определить распалубочную прочность бетона, т.е. прочность, при которой можно снимать или переставлять опалубку. При изготовлении сборных конструкций ультразвуковой метод применяют для отработки и контроля тепловлажностной обработки. При этом добиваются, чтобы требуемая прочность бетона достигалась при оптимальных затратах времени и теплоты. Для этого ультразвуковым методом определяют момент прекращения тепловлажностной обработки по стабилизации времени распределения ультразвука.

Для определения момента стабилизации времени распространения скорости ультразвука строят градуировочную зависимость <<скорость ультразвука V –время пропарки T >>. Для этого скорость ультразвука в бетоне измеряют не менее чем в пяти изделиях в процессе их твердения. Прозвучивание проводят обычно на базе от 100 до 300 мм. Скорость ультразвука определяют в процессе пропарки каждые полчаса. По результатам измерений на пяти изделиях вычисляют среднюю скорость ультразвука для каждого момента времени и строят зависимость << V – T >> .

За момент стабилизации принимают время, при котором за полчаса изотермического прогрева время измерения ультразвука достигает определенной величины. Эта величина соответствует : 0.2...0.4 мкс–при базе прозвучивания 150...200 мм : 0.6...1.0 мкс–при базе прозвучивания 200...300 мм.

При контроле нарастания прочности можно не только регулировать режим тепловлажностной обработки по стабилизации времени, но и определять прочность бетона. Для этого следует построить градуировочные зависимости <<скорость – прочность>> по методике, описанной в §8. Однако все измерения должны проводить на горячих образцах. Для контроля нарастания прочности бетона используют ту же аппаратуру, что и для определения прочности бетона ультразвуковым методом. Дополнительно используют преобразователи, скомплектованные в акустические зонды, которые погружают в свежесформованную бетонную смесь. Преобразователи и кабели, применяемые для контроля нарастания прочности пропариваемого бетона, должны быть термостойкие.

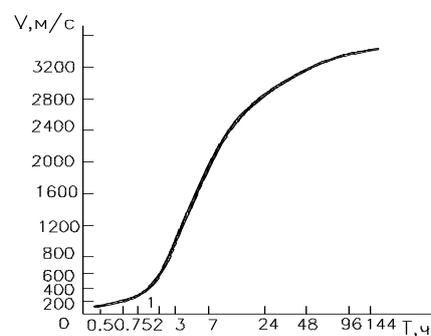


Рис. 6 Зависимость скорости ультразвука V от возраста бетона T

Глава III.

ПОСТРОЕНИЕ И ОЦЕНКА ГРАДУИРОВОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА.

§8. Проведение испытаний при построении градуировочных зависимостей.

При неразрушающем контроле прочности бетона (R) может быть получен косвенный показатель (КП) - скорость распространения ультразвука в бетоне (или время распространения ультразвука) .

Градуировочную зависимость <<КП– R >>, строят для определенных составов и возрастов бетона.

Градуировочную зависимость строят путем параллельных испытаний образцов бетона вначале неразрушающим методом, а затем на прессе до разрушения (ГОСТ10180–78).

Образцы–кубы изготавливают в соответствии с ГОСТ 10180–78 в разные смены в течении не менее пяти дней из бетона, приготовленного по той же технологии, при том же режиме тепловлажностной обработки или тех же условиях твердения, что и конструкция, подлежащая контролю неразрушающими методами. Для получения градуировочной зависимости до 40% от общего количества образцов изготавливают из бетонной смеси, отличающейся от проектной по цементно–водному отношению до $\pm 0,4$.

Условие идентичности изготовления образцов и конструкции удовлетворяется для наиболее распространенных технологий уплотнения бетонной смеси (например, на виброплощадках или с помощью глубинных вибраторов). Однако при производстве сборных железобетонных или монолитных конструкций могут быть использованы такие способы и режимы уплотнения бетонной смеси, которые изменяют ее состав за счет расслоения или отжатия воды затворения (например, центрифугование). В этих случаях в стандартах или технических условиях, а также пособиях и рекомендациях оговаривают условия изготовления образцов для построения градуировочных зависимостей.

Часто сборные железобетонные конструкции отправляют на склад готовой продукции до полного остывания изделий. Отпуск напряжения арматуры предварительно напряженных конструкций производится до остывания бетона и соответственно передаточную прочность контролируют неразрушающими методами в горячем бетоне. Поэтому градуировочные зависимости, предназначенные для контроля отпускной и передаточной прочности горячего бетона, строят по данным неразрушающих испытаний горячих образцов. Испытание тех же образцов на прессе производится при нормальной температуре. При этом температура бетона отдельных образцов, испытанных при построении градуировочной зависимости, не должна отличаться от средней температуры образцов более чем на $\pm 10^\circ\text{C}$.

При установлении градуировочной зависимости для контроля прочности бетона изделий в 28-дневном возрасте изготовленные контрольные образцы после термовлажностной обработки хранят при температуре воздуха $15\dots 20^\circ\text{C}$ и относительной влажности не менее 90%.

При определении прочности бетона ультразвуковым импульсным методом градуировочные зависимости устанавливают по результатам испытаний не менее 15 серий образцов-кубов, каждая из которых состоит из трех образцов-близнецов или не менее 30 отдельных образцов-кубов $100\times 100\times 100\text{ мм}$. При поверхностном прозвучивании могут быть использованы призмы размером $100\times 100\times 300\text{ мм}$, а также кубы размером $100\times 100\times 100\text{ мм}$.

Возраст образцов, используемых для установления градуировочной зависимости, не должен отличаться от возраста испытываемых конструкций более чем на 50%. Время распространения ультразвука в каждом образце измеряют на их боковых гранях при сквозном прозвучивании по схеме, приведенной на рис.7,а, а при поверхностном прозвучивании – по схемам на рис.7,б,в. Время распространения ультразвука в образцах способом поверхностного прозвучивания измеряют на поверхности, занимающей при изготовлении то же положение относительно формы и направления формования, что и контролируемая поверхность изделий.

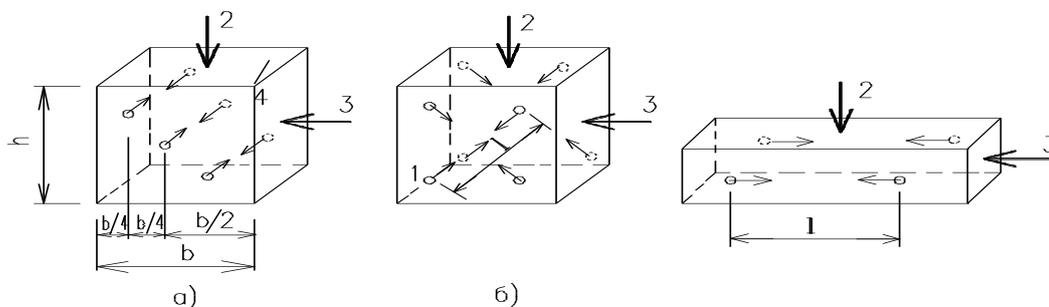


Рис. 7 Схема прозвучивания образцов:

а - сквозного, б - поверхностного; 1 - точка установки преобразователей,

2 - направление уплотнения, 3 - направление испытания при сжатии.

При испытании образцов акустический контакт между образцом и преобразователем должен быть такой же, как и при испытании конструкции. Количество измерений для

ультразвукового метода в каждом образце должно быть: при сквозном прозвучивании –3; при поверхностном прозвучивании кубов – 4, призм – 2.

Отклонение отдельного измерения времени распространения ультразвука в каждом образце от среднего арифметического значения результатов измерений для данного образца не должно превышать $\pm 5\%$. Результаты измерений времени распространения ультразвука в образцах, не удовлетворяющие этому условию, не учитываются при расчете среднего арифметического значения скорости распространения ультразвука в данной серии образцов. При наличии в серии двух образцов, не удовлетворяющих этому условию, результаты испытаний всей серии бракуют.

При построении градуировочной зависимости для ультразвукового метода способом поверхностного прозвучивания призм прочность бетона на сжатие можно определить испытанием половинок тех же призм. Половинки получают раскалыванием призм.

За единичное значение прочности бетона на сжатие принимают среднее арифметическое значение в серии или прочность бетона одного образца (если градуировочная зависимость устанавливается по данным испытаний отдельных образцов).

§9. Обработка результатов испытаний.

По полученным значениям прочности бетона образцов и значениям косвенных показателей устанавливают градуировочные зависимости. При этом во всех случаях в качестве единичного значения прочности бетона используют среднее значение прочности в серии, полученное в результате испытания под прессом.

Среднее арифметическое значение прочности бетона, полученное в результате механического испытания образцов бетона определяется :

$$\bar{R}_\phi = \left(\sum_{i=1}^n R_i \phi \right) / n \quad (\text{кГс/см}^2) \quad (8)$$

Среднее арифметическое значение скорости (времени) ультразвука при сквозном (поверхностном) прозвучивании :

$$\bar{X} = \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) / n \quad (\text{м/с}), (\text{мкс}) \quad (9)$$

Градуировочная зависимость устанавливается в виде графика или таблицы, построенной по уравнению, которое принимают в зависимости от выполнения неравенства :

1. если $R_{\max} - R_{\min} \leq 2 \bar{R}_\phi (60 - \bar{R}_\phi) / 100$, то исходное уравнение имеет вид :

$$R_n = a_0 + a_1 * X \quad (10)$$

Коэффициенты a_0 и a_1 определяют по формулам :

$$a_0 = \bar{R}_\phi - a_1 * \bar{X} \quad (11)$$

$$a_1 = \left[\sum_{i=1}^N (\bar{R}_\phi - R_{i\phi})(\bar{X} - X_i) \right] / \sum_{i=1}^N (\bar{X} - X_i)^2 \quad (12)$$

Расчет коэффициентов a_0 и a_1 сведен в таблицу 3.

2. если $R_{\max} - R_{\min} > 2 \bar{R}_\phi (60 - \bar{R}_\phi) / 100$, то исходное уравнение имеет вид :

$$R_H = b_0 * e^{b_1 x} \quad (13)$$

Коэффициенты b_0 и b_1 определяются по формулам :

$$b_0 = e^{\ln \bar{R}_\phi - b_1 \bar{x}} \quad (14)$$

$$b_1 = \left[\sum_{i=1}^N (\ln \bar{R}_\phi - \ln R_{i\phi}) (\bar{X} - X_i) \right] / \sum_{i=1}^N (\bar{X} - X_i)^2 \quad (15)$$

Расчет коэффициентов b_0 и b_1 сведен в таблицу 3.

Буквенные обозначения :

X - скорость или время ультразвука ;

\bar{R}_ϕ - средняя прочность бетонных кубов, испытанных при установлении градуировочной зависимости, МПа ;

N - число серий образцов , испытанных при установлении градуировочной зависимости:

$R_{i\phi}$, X_i - единичные значения прочности и скорости (времени) распространения ультразвука для i -й серии образцов;

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

Т а б л и ц а 3. Расчет градуировочной зависимости для сквозного или поверхностного прозвучивания по уравнению $R_H = a_0 + a_1 * X$

N серии	X_i	$R_{i\phi}$	$\bar{X} - X_i$	$\bar{R}_\phi - R_{i\phi}$	$(\bar{X} - X_i)^2$	$(\bar{R}_\phi - R_{i\phi}) * (\bar{X} - X_i)$	$R_{ин} = a_0 + a_1 X$	$(R_{ин} - R_{i\phi})$	$(R_{ин} - R_{i\phi})^2$

Т а б л и ц а 4. Расчет градуировочной зависимости для сквозного или поверхностного прозвучивания по уравнению $R_H = b_0 * e^{b_1 x}$

N серии	X_i	$R_{i\phi}$	$\bar{X} - X_i$	$\ln \bar{R}_\phi - \ln R_{i\phi}$	$(\bar{X} - X_i)^2$	$(\ln \bar{R}_\phi - \ln R_{i\phi}) * (\bar{X} - X_i)$	$R_{ин} = b_0 * e^{b_1 X}$	$(R_{ин} - R_{i\phi})$	$(R_{ин} - R_{i\phi})^2$

После определения уравнения зависимости "СКОРОСТЬ-ПРОЧНОСТЬ" для сквозного прозвучивания или "ВРЕМЯ-ПРОЧНОСТЬ" для поверхностного прозвучивания необходимо произвести корректировку.

Корректировку установленной зависимости проводим путем отбраковки единичных результатов испытаний ,не удовлетворяющих условию :

$$(R_{ин} - R_{i\phi}) / S \leq 2 \quad , \quad \text{где} \quad (16)$$

S - остаточное среднее квадратическое отклонение .

$$S = \sqrt{\frac{\sum (R_{i\phi} - R_{iH})^2}{(N - 2)}} , \quad \text{МПа} \quad (17)$$

Корректировку градуировочной зависимости проводим до тех пор , пока все единичные результаты испытаний не будут удовлетворять условию:

$$(R_{iH} - R_{i\phi}) / S \leq 2$$

Результаты расчета сводим в таблицу 5.

Т а б л и ц а 5. **Корректировка градуировочной зависимости.**

N се- рии	скорость (время) ультразвука X_i м/с, (мкс)	прочность ,МПа			$(R_{iH} - R_{i\phi}) / S \leq 2$		приме- чание.
		по результатам испытания на сжатие $R_{i\phi}$	по градуировочной. зависимости		до отбраковки	после отбраковки	
			до отбраковки	после отбраковки			
1							
2							
...							
N							

Если согласно расчету по всем сериям образцов условие выполнилось , корректировка зависимости не требуется, в противном случае после отбраковки градуировочную зависимость устанавливают заново по оставшимся результатам испытаний. Корректировку зависимости проводят до тех пор , пока все единичные результаты испытаний будут удовлетворять условию

$$(R_{iH} - R_{i\phi}) / S \leq 2$$

Погрешность полученной зависимости вычисляют по формуле :

$$(S / \bar{R}_{\phi}) * 100 \leq 12 \% \quad (18)$$

Если условие не выполняется, то определение прочности бетона по вычисленной градуировочной зависимости не допускается.

После корректировки зависимости составляется градуировочная таблица для определения прочности бетона ультразвуковым методом при сквозном или поверхностном прозвучивании .

Формы градуировочных таблиц и журнала испытаний контрольных образцов бетона приведены в таблицах 6,7,8.

Т а б л и ц а 6. Градуировочная таблица для определения прочности бетона ультразвуковым методом при сквозном прозвучивании.

Проектная марка бетона :

Состав бетона :

скорость прохождения ультразвука V , м/с	прочность бетона, МПа	скорость прохождения ультразвука V , м/с	прочность бетона, МПа

Т а б л и ц а 7. Градуировочная таблица для определения прочности бетона ультразвуковым методом при поверхностном прозвучивании.

Проектная марка бетона :

Состав бетона :

База прозвучивания :

время прохождения ультразвука t , мкс	прочность бетона, МПа	время прохождения ультразвука t , мкс	прочность бетона, МПа

Т а б л и ц а 8. Журнал испытания контрольных образцов бетона.

Дата испытания :

Состав бетона :

Класс (марка) по прочности :

Дата изготовления (объект)	N образца	Размеры образца, мм	Площадь рабочая, см ²	Результаты ультразвуковых испытаний					Результаты механических испытаний	
				N точки прозвучивания	база прозвучивания мм	время распространения ультразвука, мкс	среднее время ультразвука, мкс	средняя скорость ультразвука в образце, м/с	разрушающая нагрузка, кГс	прочность образца, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

§10. Экспериментальное определение коэффициентов перехода от скорости ультразвука при поверхностном прозвучивании к скорости при сквозном прозвучивании.

Коэффициенты перехода (К) от скорости ультразвука при поверхностном прозвучивании к скорости при сквозном прозвучивании устанавливаются в период подготовки к проведению испытаний конструкций и не реже одного раза в год.

Изготавливают не менее 6 призм размером не менее 100×100×200 мм из разных замесов бетона номинального состава, по той же технологии и при том же режиме твердения, что конструкции, подлежащие контролю способом поверхностного прозвучивания.

Измеряют время распространения ультразвука в каждой призме методом сквозного и поверхностного прозвучивания при постоянной базе рис. 7.

Способом поверхностного прозвучивания проводят не менее трех измерений времени распространения ультразвука на каждом участке измерения.

Коэффициенты перехода (K) вычисляют по формуле:

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i, \quad (19)$$

где K_i - значение коэффициента перехода, определенное по результатам ультразвуковых испытаний i - го образца по формуле:

$$K_i = V_i / V_{i \text{ пов}}, \quad (20)$$

$V_i, V_{i \text{ пов}}$ - среднее значение скоростей ультразвука в i -ом образце, измеренные при сквозном и поверхностном способах прозвучивания;

n - общее число призм, испытанных для определения коэффициента перехода K .

Среднеквадратическое отклонение (S_k) коэффициента перехода вычисляют по формуле:

$$S_k = W d_n, \quad (21)$$

где $W = K_{\max} - K_{\min}$;

K_{\max}, K_{\min} - максимальное и минимальное из значений коэффициентов K_i

при ($1 \leq i \leq n$);

d_n - коэффициент, значение которого в зависимости от числа призм (n) приведено в таблице 9:

Т а б л и ц а 9.

n	6	7	8	9	10
dn	2.51	3.0	3.47	3.92	4.35

Среднеквадратическое отклонение (S_k) коэффициента перехода следует учитывать при расчете погрешности градуировочной зависимости.

Допускается ультразвуковые измерения проводить на участке контролируемых конструкций, допускающих техническую возможность как сквозного, так и поверхностного способов прозвучивания.

Количество участков измерений должно быть не менее 6.

Прочность бетона в контролируемых участках конструкций при поверхностном прозвучивании с учетом коэффициента K определяют по градуировочной зависимости "СКОРОСТЬ-ПРОЧНОСТЬ" в соответствии со скоростью ультразвука (V) в метрах в секунду, вычисляемой по формуле:

$$V = K * (1 / t_{\text{пов}}) * 10^3, \quad (22)$$

где $t_{\text{пов}}$ - время прозвучивания ультразвука при поверхностном прозвучивании контролируемого участка конструкции, мкс;

l - база прозвучивания, мм.

База прозвучивания должна быть одинаковой при определении коэффициента перехода и проведении контроля прочности бетона в конструкциях и не должна превышать 400 мм.

§11. Универсальные градуировочные зависимости.

Если объем обследуемых конструкций большой, а работу проводят квалифицированные эксперты, значение прочности бетона может быть определено ультразвуковым методом, используя для их применения градуировочные зависимости, установленные для бетонов, отличающихся от испытываемого (по составу, возрасту, условиям твердения, влажности). Однако в этом случае используемая градуировочная зависимость должна быть уточнена следующим образом.

Значение прочности бетона, определенное с использованием градуировочной зависимости, установленной для бетона, отличающегося от испытываемого, умножают на коэффициент совпадения K_c , определяемый по формуле:

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{\sum_{j=1}^n R_j} , \quad (23)$$

где R_i – прочность бетона на участке, определенная методом отрыва со скалыванием;

R_j – тоже, ультразвуковым методом;

n – количество участков, которое принимается не менее трех.

При этом значение прочности бетона не должно отличаться от среднего значения на градуировочной зависимости более чем $\pm 30\%$.

Значение прочности бетона, определенное с учетом коэффициента K_c , может быть использовано только в том случае, если прочность бетона не выходит за пределы значений, которые могут быть определены по используемой градуировочной зависимости.

Глава IV

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ ИСПЫТАНИИ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

§12. Определение объема контроля и средней прочности бетона.

С помощью неразрушающих методов при изготовлении сборных конструкций контролируют отпускную прочность бетона (прочность бетона при отгрузке конструкций на стройку) - для конструкций без предварительного напряжения или передаточную прочность (прочность бетона при отпуске натяжения арматуры) - для предварительно напряженных конструкций.

Прочность бетона в проектном возрасте определяют испытанием контрольных кубов нагружением.

В монолитных конструкциях прочность бетона контролируют в заданные сроки - к моменту снятия несущей опалубки или другие сроки, предусмотренные проектом производства работ.

В настоящее время при оценке прочности бетона принят статистический контроль, т. е. контроль и приемку бетона по прочности производят с учетом его изменчивости (однородности). Правила контроля и оценки прочности бетона с учетом его однородности регламентируются ГОСТ 18105-86, который распространяется как на испытания образцов нагружением, так и на неразрушающие испытания прочности бетона. Контроль и оценку прочности бетона выполняют для партии конструкций или отдельных конструкций.

Партией конструкций считается совокупность однотипных изделий, изготовленных из бетона одного состава по одной и той же технологии за определенный промежуток времени. При этом продолжительность изготовления партии может быть различной (от одной смены до недели), что зависит от количества изготавливаемых изделий. Важно, чтобы промежуток времени был в течение всего контролируемого периода постоянным. При контроле большой партии конструкций применяют, как правило, выборочный контроль. При малом объеме партии (три конструкции и менее) контроль должен быть сплошным. При выборочном контроле от партии изделий последовательно отбирают изделия, которые составляют так называемую контрольную выборку. При этом изделия, образующие выборку, отбирают так, чтобы контролю периодически подвергались изделия, изготавливаемые в различных формах или в различных отсеках пропарочных камер. Это делают для того, чтобы контроль учитывал большее количество технологических факторов, влияющих на прочность бетона.

При выборочном контроле количество контролируемых конструкций должно быть не менее 10% от общего числа контролируемых конструкций в партии и не менее трех штук.

При определении прочности бетона в монолитных конструкциях контролируется не менее одной конструкции из объема бетона, уложенного в течение каждых суток. Если объем монолитной конструкции большой и ее бетонируют за время более 1 сут, то контролируют объем бетона части монолитной конструкции.

Число контролируемых участков назначают из условия, чтобы как минимум один участок располагался на 4 м - для линейных конструкций (балок, колонн, свай и т. д.), или 4 м² - для плоских конструкций (плит, панелей, фундаментов). Исключение составляют монолитные конструкции сплошных стен, для которых принимают не менее одного участка на каждые 8 м² площади. При этом для сборных конструкций число контролируемых участков должно быть не менее двух, а для монолитных - не менее четырех.

Расположение участков контроля назначают с учетом конструктивных, технологических особенностей и особенностей работы конструкций. Расположение и количество контролируемых участков указывают в рабочих чертежах конструкции. Например, для контроля передаточной прочности бетона в многопустотных панелях (рис. 8, а) участки располагают в середине пролета панелей и в зоне анкеровки арматуры по середине высоты ее боковых граней. На рис. 8, б, в приведены участки определения отпускной прочности бетона для конструкций, изготавливаемых в кассетах (вертикального формования). В панелях перекрытия участки контроля располагают в средней зоне конструкции, во внутренних несущих стенах - в верхней зоне, зоне наименьшей прочности бетона.

Количество измерений на контрольных участках назначают в зависимости от применяемого метода неразрушающего контроля. Например, при испытании на каждом участке должно производиться одно измерение при сквозном прозвучивании и не менее двух при поверхностном.

Прочность бетона в партии R_m определяют по формуле

$$R_m = \sum_{i=1}^n R_i / n, \quad (24)$$

где R_i - единичное значение прочности бетона, МПа; n - число единичных значений прочности бетона в партии.

За единичное значение прочности бетона принимают среднюю прочность бетона конструкции или среднюю прочность бетона контролируемого участка.

При контроле конструкций плоских и многпустотных плит перекрытий и покрытий, дорожных плит и панелей внутренних несущих стен, стеновых блоков, а также напорных и безнапорных труб за единичное значение прочности бетона при определении прочности бетона в партии принимают среднее арифметическое значение прочности бетона контролируемых участков конструкции:

$$R_i = \sum_{j=1}^P R_{ij} / P, \quad (25)$$

где R_{ij} - прочность бетона контролируемого участка, МПа; P - количество участков измерений на конструкции.

Во всех остальных случаях для сборных конструкций за единичное значение прочности бетона при определении прочности бетона в партии принимают значение прочности бетона на контролируемом участке конструкции.

Для монолитных конструкций в качестве единичного значения прочности, как правило, принимают прочность бетона участка. Однако для некоторых видов конструкций в качестве единичного значения прочности бетона может быть принята некоторая зона, в которой размещено несколько участков.

§13. Определение вариации прочности бетона.

Партия конструкций или конструкция по прочности бетона подлежит приемке, если фактическая средняя прочность бетона R_m , не ниже требуемой прочности R_T , т. е.

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

Требуемой называют минимально допустимую прочность, которая устанавливается с учетом *коэффициента вариации* (однородности бетона по прочности) и объема контроля.

Если средняя прочность бетона не ниже требуемой при полученном коэффициенте вариации, то фактическая прочность бетона при этом не ниже значения прочности принятого при проектировании конструкции.

Однородность прочности бетона определяют по результатам анализа данных, полученных за период, который предшествовал периоду контроля. Этот период времени называется анализируемым. Период времени, когда производят контроль, называется *контролируемым*.

Продолжительность анализируемого периода может быть различной: от одной недели до двух месяцев. В течение этого периода должно быть получено не менее 30 единичных значений

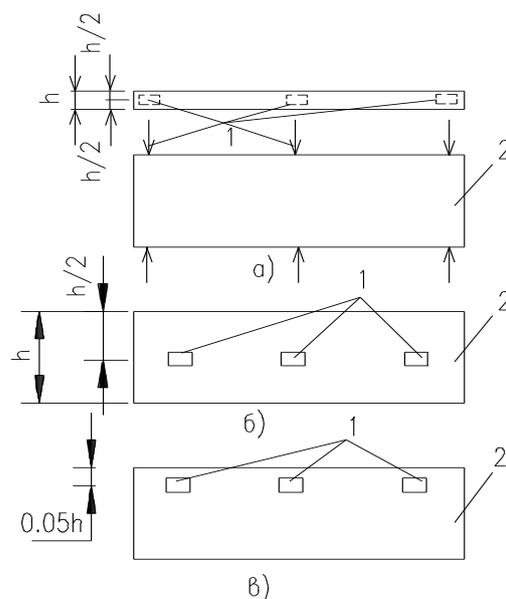


Рис. 8 Схема расположения участков для контроля прочности бетона: а-в многпустотных панелях, б-в панелях перекрытия, в-в стеновых панелях 1-участки контроля, 2- конструкция

прочности бетона. Количество партий при этом может быть различным. В течение анализируемого периода для каждой проконтролированной партии вычисляют среднее квадратическое отклонение S_m и коэффициент вариации прочности бетона V_m . В том случае, когда за единичное значение принята средняя прочность бетона конструкции (или зона при контроле монолитных конструкций), значение S_m вычисляют с учетом среднего квадратического отклонения используемой градуировочной зависимости S_t по формуле;

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n-1} + \frac{S_t^2}{p}}, \quad (27)$$

где n - число единичных значений (проконтролированных конструкций) в партии;

p - число контролируемых участков в конструкции (или в зоне).

Если за единичное значение принимается прочность бетона контролируемого участка, значение S_m , вычисляют по формуле

$$S_m = K_n \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2 / n - 1}, \quad (28)$$

где n - число контролируемых участков в партии;

K_n - поправочный коэффициент, учитывающий ошибку при определении коэффициента вариации при испытании неразрушающими методами.

Поправочный коэффициент определяют перед началом неразрушающего контроля при каждом установлении градуировочной зависимости (но не реже одного раза в год) по формуле

$$K_n = V_o / V_{н.м}, \quad (29)$$

где V_o - коэффициент вариации прочности бетона всех серий образцов, испытанных нагружением;

$V_{н.м}$ - коэффициент вариации тех же образцов, испытанных неразрушающим методом.

При этом для определения коэффициента K_n могут быть использованы те же образцы, по результатам испытаний которых строилась градуировочная зависимость.

Коэффициенты вариации V_o и $V_{н.м}$ (%) вычисляют аналогично тому, как вычисляется коэффициент вариации для партии бетона V_m по формуле

$$V_m = (S_m / R_m) * 100. \quad (30)$$

После контроля всех партий за анализируемый период вычисляют среднее значение партионного коэффициента вариации прочности бетона по формуле

$$V_n = \frac{\sum_{i=1}^N V_{m,i} * n_i}{\sum_{i=1}^N n_i}, \quad (31)$$

где $V_{m,i}$ - коэффициенты вариации прочности бетона в каждой i -й из N проконтролированных в течение анализируемого периода партий бетона, вычисляемые по формуле (30);

n_i - число единичных значений прочности бетона в каждой i -й из N партий бетона, проконтролированных в течение анализируемого периода;

$\sum_{i=1}^N n_i$ - общее число единичных значений прочности бетона за анализируемый период (не менее 30).

Требуемую прочность бетона R_T (МПа) при нормировании прочности по классам находят по формуле

$$R_T = K_T V_{\text{норм}}, \quad (32)$$

где $V_{\text{норм}}$ - нормируемое значение прочности бетона (отпускной, передаточной, в промежуточном или проектном возрасте) для бетона данного класса, МПа;

K_T - коэффициент требуемой прочности для всех видов бетонов, принимаемый по табл. 10 в зависимости от среднего коэффициента вариации прочности бетона V_n по всем партиям за анализируемый период.

В тех случаях, когда за единичное значение принимают прочность бетона контролируемого участка конструкции, правую часть формулы (32) умножают на коэффициент 0,95.

При нормировании прочности бетона по маркам требуемую прочность определяют по формуле

$$R_T = R_{\text{норм}} K'_T / 100, \quad (33)$$

где $R_{\text{норм}}$ - нормируемое значение прочности бетона (отпускной, передаточной, в промежуточном или проектном возрасте) для бетона данной марки, МПа;

K'_T - коэффициент требуемой прочности в процентах для всех видов бетонов, принимаемый по табл. 11 в зависимости от среднего по партиям коэффициента вариации прочности бетона V_n за анализируемый период, вычисленного по формуле (31).

Т а б л и ц а 10. Коэффициент требуемой прочности для всех видов бетона K_T

V п, %	Все виды бетонов(кроме ячеистых) и конструкций, кроме массивных, гидротехнических	Плотный силикатный бетон.	Автоклавный ячеистый бетон.	Массивные гидротехнические конструкции.
6 и ниже	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	---	1,46	1,43	1,28
18	--	--	1,50	1,32
19	--	--	1,57	1,36
20	--	--	--	1,39
21 и более				

Примечание : (-- – недопустимые значения)

В тех случаях, когда за единичное значение принимают прочность бетона контролируемого участка конструкции, правую часть формулы (33) умножают на коэффициент 0,95.

В табл.10,11 для определения K_T имеется область недопустимых значений. Если окажется, что значение коэффициента вариации прочности бетона лежит в области недопустимых значений, то это свидетельствует о чрезвычайно низком уровне технологии изготовления конструкций. В этом случае необходимо выявить те технологические пределы, которые приводят к столь нестабильным значениям прочности бетона, и внести изменения в технологию приготовления бетонной смеси, ее укладки и уплотнения либо тепловлажностной обработки.

После того как требуемая прочность R_T установлена, в течение всего контролируемого периода ее принимают постоянной. Продолжительность контролируемого периода принимают от одной недели до одного месяца. Удобно принимать продолжительность контролируемого и анализируемого периодов равными. После завершения времени контролируемого периода все данные, полученные за этот период, анализируют в сумме, как это делалось при разборе анализируемого периода. Полученные данные анализа становятся данными для установления требуемой прочности на следующий контролируемый период.

В начальный период до накопления необходимого для ведения статистического контроля числа результатов испытаний требуемую прочность бетона R_T определяют по формуле

$$R_T = 1,1 B_{\text{норм}} / K_6, \quad (34)$$

где K_6 - коэффициент, принимаемый в зависимости от вида бетона:

Вид бетона	K_6
Для всех бетонов (кроме ячеистого и плотного силикатного)	0.78
Ячеистый	0.70
Плотный силикатный	0.75

Т а б л и ц а 11. Коэффициенты требуемой прочности для всех видов бетона K_t %

V_n	Все виды бетонов (кроме ячеистых) и конструкций, кроме массивных гидротехнических.	Плотный силикатный бетон.	Автоклавный ячеистый бетон.	Массивные гидротехнические конструкции.
6 и менее	83	82	75	85
7	84	83	76	86
8	85	84	77	87
9	87	85	78	88
10	89	87	79	89
11	92	89	80	91
12	96	92	82	92
13	100	96	85	94
14	104	100	88	95
15	108	105	92	96
16	112	110	96	98
17	-----	115	100	100
18	-----	-----	105	103
19	-----	-----	110	106
20	-----	-----	-----	109
21	-----	-----	-----	-----

Примечание : (----- – недопустимые значения)

При этом продолжительность контролируемого периода, в течение которого можно использовать значение требуемой прочности R_T , установленное по формуле (34), должна составлять не менее одной недели и не более одного месяца.

При определении требуемой прочности в начальный период, когда ее нормируют по маркам, пользуются формулой

$$R_T = 1,1 * R_{\text{норм}} , \quad (35)$$

В тех случаях, когда следует проконтролировать прочность бетона отдельных партий, не анализируя прошлые партии и не используя данные контроля для последующих партий, коэффициент требуемой прочности можно принимать по табл. 10 или 11 в зависимости от коэффициента вариации прочности бетона в данной партии, вычисленного по формуле (30). При этом число единичных значений прочности бетона в этой партии должно быть не менее 30.

Возможность использования партий конструкций, прочность бетона которых не отвечает требованиям [условие формулы (26)] или коэффициент вариации прочности которых попадает в область недопустимых значений (см. табл. 10 или 11), должна быть согласована с проектной организацией.

Глава V.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ И ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И ОДНОРОДНОСТИ БЕТОНА В ПАРТИИ КОНСТРУКЦИЙ .

§14.Определение градуировочной зависимости .

Результаты испытания ультразвуковым методом и механические испытания образцов бетона приведены в таблице 14.

Среднее арифметическое значение прочности бетона, полученное в результате механического испытания составило:

$$\bar{R}_{\phi} = \left(\sum_{i=1}^n R_{i\phi} \right) / n = 303.8 \text{ (кГс/см}^2\text{)} = 30.4 \text{ МПа}$$

$$R_{\min} = 239 \text{ кГс/см}^2 = 23.9 \text{ МПа}$$

$$R_{\max} = 377 \text{ кГс/см}^2 = 37.7 \text{ МПа}$$

Среднее арифметическое значение скорости ультразвука при сквозном прозвучивании :

$$V = \left(\sum_{i=1}^n V_i \right) / n = 3761 \text{ (м / с)}$$

Определение исходного уравнения :

$$\begin{aligned} R_{\max} - R_{\min} &\leq 2 \bar{R}_{\phi} (60 - \bar{R}_{\phi}) / 100 \\ 37.7 - 23.9 &\leq 2 * 30.4 (60 - 30.4) / 100 \\ &13.8 \leq 18 , \end{aligned}$$

следовательно исходное уравнение имеет вид :

$$R_H = a_0 - a_1 * V$$

Коэффициенты a_0 и a_1 определяются по формулам 11,12 .

Расчет коэффициентов a_0 и a_1 сведен в таблицу 12.

По результатам расчета градуировочная зависимость "СКОРОСТЬ - ПРОЧНОСТЬ" для сквозного прозвучивания составила :

$$R_H = 8.343 + 0.00586 V_i$$

Корректировку установленной зависимости проводим путем отбраковки единичных результатов испытаний ,не удовлетворяющих условию по формуле 16.

Остаточное среднее квадратическое отклонение составило

$$S = \sqrt{\frac{\sum (R_{i\phi} - R_{iH})^2}{(N - 2)}} = 0.84 \text{ , МПа}$$

Т а б л и ц а 12. Расчет градуировочной зависимости для сквозного прозвучивания

N серии	V _i	R _{iφ}	$\bar{V}-V_i$	R _φ - -R _{iφ}	($\bar{V}-V_i$) ²	$\bar{R}_\phi - R_{i\phi}$)* *($\bar{V}-V_i$)	(R _{ин} -R _{iφ})	(R _{ин} -R _{iφ}) ²	R _{ин} =a ₀ + +a ₁ V _i
1	3695	28.9	66	1.5	4356	99	1.1	1.21	30.0
2	2540	23.9	1221	6.5	149084	7936.5	-0.7	0.49	23.2
3	2605	24.2	1156	6.2	1336336	7167.2	-0.6	0.36	23.6
4	3779	29.4	-18	1	324	-18	1.1	1.21	30.5
5	4404	34.0	-643	-3.6	413449	2314.8	0.2	0.04	34.2
6	4464	34.3	-703	-3.9	494209	2741.7	0.2	0.04	34.5
7	2958	25.4	803	5	644809	4015	0.3	0.09	25.7
8	4811	37.7	-1050	-7.3	1102500	7665	-1.2	1.44	36.5
9	4595	35.6	-834	-5.2	695556	4336.8	-0.3	0.09	35.3
	Σ33849	Σ273.4			Σ6182380	Σ36258		Σ4.97	Σ273.5

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{R}_\phi - R_{i\phi}) * (\bar{V} - V_i)}{\sum_{i=1}^N (\bar{V} - V_i)^2} = 0.00586, \quad a_0 = \bar{R}_\phi - a_1 \bar{V} = 8.343$$

Корректировку градуировочной зависимости проводим до тех пор, пока все единичные результаты испытаний не будут удовлетворять условию по формуле 16:

Результаты расчета сводим в таблицу 13.

Согласно расчету по всем сериям образцов условие выполнилось, корректировка зависимости не требуется.

Погрешность полученной зависимости по формуле 18 :

$$(0.84 / 30.4) * 100 = 2.76 \% < 12 \%$$

Значит данная зависимость пригодна для дальнейшего использования.

Т а б л и ц а 13. Корректировка градуировочной зависимости

N серии	Скорость ультразвука м/с	прочность, мПа			(R _{ин} -R _{iφ})/S ≤ 2		примечание
		по результатам испытания на сжатие R _{iφ}	по градуировочной зависимости		до отбра- ковки	после отбра- ковки	
			до отбра- ковки	после от- браковки			
1	3695	28.9	30.0	---	1.3	---	
2	2540	23.9	23.2	---	-0.85	---	
3	2605	24.2	23.6	---	-0.71	---	
4	3779	29.4	30.5	---	1.3	---	
5	4404	34.0	34.2	---	0.24	---	
6	4464	34.3	34.5	---	0.24	---	
7	2958	25.4	25.7	---	0.36	---	
8	4811	37.7	36.5	---	-1.43	---	
9	4595	35.6	35.3	---	-0.36	---	

Т а б л и ц а 14. Журнал испытания контрольных образцов бетона

Дата испытания : 31.08.94 г.

Дата изготовления : 11.93 г. - 04.94 г.

Класс (марка) по проч- ности	№ образ- ца	Размеры образца мм	Площадь рабочая см ²	Результаты ультразвуковых испытаний					Результаты механических испытаний	
				№ точки позвучи- вания	база прозвучи- вания мм	время распростра- нения ультразвука мкс	среднее время ультразвука в образце мкс	средняя скорость ультразвука в образце м/с	разрушающая нагрузка кГс	прочность образца МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. При поверхностном прозвучивании										
В25 (М300)	1	150*150	226.5	1;2 3	150	45.4;44.9 45.6	45.3	3311	65500	28.9
	2	150*152	228	1;2 3	150	66.2;66.7 64.5	65.8	2280	54500	23.9
	3	151*150	226.5	1;2 3	150	59.3;66.5 66.8	64.2	2336	54750	24.2
	4	150*151	226.5	1;2 3	150	42.9;44.9 44.5	44.1	3401	66500	29.4
	5	150*151	226.5	1;2 3	150	37.9;40.1 35.4	37.8	3968	77000	34.0
	6	150*152	228	1;2 3	150	37.8;38.3 36.4	37.5	4000	78250	34.3
	7	151*152	229.5	1;2 3	150	55.;9;56.9 56.7	56.5	2655	58250	25.4
	8	150*153	229.5	1;2 3	150	34.3;35.6 34.2	34.7	4323	86500	37.7
	9	150*154	231	1;2 3	150	36.1;34.6 38.2	36.3	4132	82250	35.6

2. При сквозном прозвучивании.										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
B25 (M300)	1	151*150	226.5	1;2 3	149	39.2;40.6 41.1	40.3	3695	65500	28.9
	2	150*152	228	1;2 3	150	58.2;59.0 60.1	59.1	25.40	54500	23.9
	3	151*150	226.5	1;2 3	150	57.4;57.5 57.9	57.6	26.05	54750	24.2
	4	150*151	226.5	1;2 3	150	38.9;40.4 39.8	39.7	3779	66500	29.4
	5	150*151	226.5	1;2 3	150	34.2;33.9 34.2	34.1	4404	77000	34.0
	6	150*152	228	1;2 3	150	33.5;34.1 33.2	33.6	4464	78250	34.3
	7	151*152	229.5	1;2 3	151	51.2;50.8 51.0	51.0	2958	58250	25.4
	8	150*153	229.5	1;2 3	150	31.1;31.8 30.7	31.2	4811	86500	37.7
	9	150*154	231	1;2 3	150	32.4;31.9 33.5	32.6	4595	82250	35.6

Примечание: Измерения производились прибором УК-14П, заводской N 1863, с рабочей частотой преобразователя 87 KHz

Коэффициент перехода от скорости ультразвука при поверхностном прозвучивании к скорости при сквозном прозвучивании определяется по формуле 19.

Результаты расчета сведены в таблицу 15.

По результатам расчета коэффициент перехода составил :

$$K = 1.113$$

Среднее квадратичное отклонение (S) коэффициента перехода определялось по формуле 21.

При числе испытанных образцов 9 (табл. 9)

$$S_k = 0.024$$

Прочность бетона в контролируемых участках конструкций при поверхностном прозвучивании с учетом коэффициента (K) определяется по градуировочной зависимости " СКОРОСТЬ - ПРОЧНОСТЬ " в соответствии со скоростью ультразвука (V) по формуле 22.

Т а б л и ц а 15. **Определение коэффициента перехода.**

№ образца	Средняя скорость при сквозном прозвучивании. $V_{i,}$ м/с	Средняя скорость при поверхностном прозвучивании $V_{i\text{пов.}}$ м/с	Коэффициент перехода $K_i = \frac{V_i}{V_{i\text{ПОВ}}}$	Примечание
1	3695	3311	1.116	K_{\max} K_{\min}
2	2540	2280	1.114	
3	2605	2336	1.115	
4	3779	3401	1.111	
5	4404	3968	1.110	
6	4464	4000	1.116	
7	2958	2655	1.114	
8	4811	4323	1.113	
9	4595	4132	1.112	

Погрешность определения прочности бетона по установленной градуировочной зависимости с учетом коэффициента перехода определялась :

$$S_T = \sqrt{S^2 + q^2 * S_k^2}, \text{ где} \quad (36)$$

$$q = \bar{R}_f - a_0 = 22.1$$

$$S_T = 0.99 \text{ МПа}$$

Погрешность зависимости с учетом коэффициента перехода по формуле 18 составила :

$$(0.99 / 30.4) * 100 = 3.30 \% < 12 \%$$

Значит данная зависимость пригодна для дальнейшего использования .

Окончательно зависимость " ВРЕМЯ - ПРОЧНОСТЬ " с учетом коэффициента перехода от скорости при сквозном прозвучивании к скорости при поверхностном прозвучивании при постоянной базе ($l = 150 \text{ мм}$) составила :

$$V = 1.113 * \frac{150}{t} * 10^3 = 167 * 10^3 / t, \text{ м/с}$$

$$R_H = 8.343 + 0.00586 V = 8.343 + 0.00586 * 167 * 10^3 / t, \text{ МПа}$$

$$R_H = 8.343 + 978.3 / t, \text{ МПа}$$

По данной зависимости составлена градуировочная таблица для определения прочности бетона ультразвуковым методом при поверхностном прозвучивании.

Т а б л и ц а 16. Градуировочная таблица для определения прочности бетона ультразвуковым методом при поверхностном прозвучивании

Проектная марка бетона: М300

База прозвучивания : 150 мм

время прохождения ультразвука t , мкс	прочность бетона МПа	время прохождения ультразвука t , мкс	прочность бетона МПа
35.0	36.3	41.0	32.2
36.0	35.5	41.25	32.1
36.25	35.3	41.50	31.9
36.50	35.1	41.75	31.8
36.75	35.0	42.0	31.6
37.0	34.8	42.25	31.5
37.25	34.6	42.50	31.4
37.50	34.4	42.75	31.2
37.75	34.3	43.0	31.1
38.0	34.1	43.25	31.0
38.25	33.9	43.50	30.8
38.50	33.8	43.75	30.7
38.75	33.6	44.0	30.6
39.0	33.4	44.25	30.5
39.25	33.3	44.50	30.3
39.50	33.1	44.75	30.2
39.75	33.0	45.0	30.1
40.0	32.8	45.25	30.0
40.25	32.6	45.50	29.8
40.50	32.5	45.75	29.7
40.75	32.4	46.0	29.6

Т а б л и ц а 17. Журнал определения прочности бетона в конструкции.

Дата изготовления : 11.93 - 04.94г.

Дата испытания : 10.09.94г.

Проектная марка бетона : М300

База прозвучивания : 150мм

№ шва	№ пролета	№ участка	№ точки	время распространения ультразвука мкс	среднее время распространения ультразвука мкс	прочность бетона в участке конструкции МПа	примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	39.2	40.9	32.3	
			2	41.3			
			3	42.2			
		2	1	44.4	43.4	30.9	
			2	43.3			
			3	42.6			
		3	1	37.6	37.8	34.2	
			2	37.8			
			3	38.0			
		4	1	36.8	37.7	34.3	
			2	38.2			
			3	38.0			
	2	5	1	37.8	38.2	34.0	
			2	38.6			
			3	39.4			
		6	1	38.2	38.6	31.7	
			2	38.5			
			3	39.1			
		7	1	39.8	39.5	33.1	
			2	40.3			
			3	38.4			
		71	1	40.8	41.2	32.1	
			2	41.1			
			3	41.7			
	3	8	1	42.4	42.4	31.4	
			2	42.5			
			3	42.4			
		9	1	42.3	42.4	31.4	
			2	42.2			
			3	42.6			
		10	1	42.1	42.6	31.3	
			2	41.9			
			3	43.8			
		11	1	41.8	42.1	31.6	
			2	42.6			
			3	41.9			

2	1	12	1	44.9	44.6	30.3		
			2	44.4				
			3	44.6				
			13	1	42.3	42.3	31.5	
				2	42.2			
				3	42.5			
			14	1	40.0	40.2	32.7	
				2	39.8			
				3	40.8			
		15	1	40.2	40.4	32.6		
			2	41.1				
			3	39.9				
	2	16	1	40.7	41.4	32.0		
			2	41.4				
			3	42.1				
		17	1	41.5				
			2	40.9				
			3	40.9				
	18	1	42.5	41.1	32.1			
		2	42.9					
		3	40.9					
	19	1	40.8	42.1	31.6			
		2	42.1					
		3	42.8					
	3	20	1	42.3	42.3	31.5		
			2	41.9				
			3	42.7				
		21	1	42.7				
			2	42.3				
			3	42.8				
		22	1	41.9			42.6	31.3
			2	42.6				
			3	43.9				
23	1	42.3	42.8	31.2				
	2	41.5						
	3	43.4						
3	1	24	1	42.0	42.1	31.6		
			2	42.3				
			3	41.9				
		25	1	43.4				
			2	41.9				
			3	42.9				
		26	1	41.2			42.7	31.3
			2	41.4				
			3	39.9				
		27	1	40.9			40.8	32.3
			2	41.7				
			3	40.7				

1	2	3	4	5	6	7	8
	2	28	1 2 3	41.8 40.7 41.4	41.3	32.0	
		29	1 2 3	40.8 42.5 42.4	41.9	31.7	
		30	1 2 3	41.2 42.1 42.1	41.8	31.7	
		31	1 2 3	41.5 40.6 43.0	41.7	31.8	
	3	32	1 2 3	42.9 41.7 41.9	42.2	31.5	
		33	1 2 3	42.4 42.2 43.5	42.7	31.3	
		34	1 2 3	41.9 42.8 42.8	42.5	31.4	
		35	1 2 3	41.5 43.1 42.3	42.3	31.5	
4	1	36	1 2 3	43.3 43.4 43.3	43.3	30.9	
		37	1 2 3	43.5 43.0 43.4	43.3	30.9	
		38	1 2 3	41.2 41.4 41.6	41.4	32.0	
		39	1 2 3	40.8 41.6 42.1	41.5	31.9	
	2	40	1 2 3	41.5 41.2 40.6	41.1	32.1	
		41	1 2 3	41.5 40.2 40.7	40.8	32.3	
		42	1 2 3	41.8 40.5 41.3	41.2	32.1	
		43	1 2 3	42.1 41.4 41.0	41.5	31.9	

1	2	3	4	5	6	7	8
	3	44	1 2 3	41.9 41.7 41.5	41.7	31.8	
		45	1 2 3	41.2 40.6 40.8	40.9	32.3	
		46	1 2 3	40.4 39.9 42.1	40.8	32.3	
		47	1 2 3	40.5 42.2 40.3	41.0	32.2	
5	1	48	1 2 3	44.2 45.1 43.7	44.3	30.4	
		49	1 2 3	43.6 43.6 42.8	43.3	30.9	
		50	1 2 3	42.0 42.5 43.2	42.6	31.3	
		51	1 2 3	42.5 41.9 44.0	42.8	31.2	
	2	52	1 2 3	41.8 42.1 41.8	41.9	31.7	
		53	1 2 3	42.1 42.1 40.9	41.7	31.8	
		54	1 2 3	42.1 41.7 42.5	42.1	31.6	
		55	1 2 3	42.9 43.1 41.5	42.5	31.4	
	3	56	1 2 3	42.8 42.6 42.5	42.6	31.3	
		57	1 2 3	42.6 42.2 42.5	42.4	31.4	
		58	1 2 3	40.6 43.3 41.8	41.9	31.7	
		59	1 2 3	42.4 42.4 41.5	42.1	31.6	

1	2	3	4	5	6	7	8										
6	1	60	1	44.5	44.0	30.6											
			2	43.9													
			3	43.6													
		61	1	42.9													
			2	45.4													
			3	44.6													
		62	1	44.2				44.3	30.4								
			2	44.4													
			3	44.6													
		63	1	44.2						44.4	30.4						
			2	45.1													
			3	42.3													
	2	64	1	44.9	45.0	30.1											
			2	44.3													
			3	45.8													
		65	1	45.7								45.1	30.0				
			2	44.8													
			3	44.8													
		66	1	44.6				44.9	30.1								
			2	44.8													
			3	45.3													
		67	1	45.8						45.2	29.9						
			2	44.7													
			3	45.1													
7	3	68	1	43.7	43.3	30.9											
			2	42.7													
			3	43.5													
		69	1	44.2													
			2	44.9													
			3	43.4													
		70	1	45.1				44.2	30.5								
			2	44.5													
			3	43.9													
	71	1	44.9	44.5						30.3							
		2	43.9														
		3	44.1														
	72	1	43.8								44.3	30.4					
		2	43.5														
		3	43.9														
	73	1	44.5										43.7	30.7			
		2	44.9														
		3	44.1														
74	1	44.6	44.5		30.3												
	2	45.1															
	3	44.6															
75	1	44.9				44.8	30.2										
	2	45.1															
	3	44.7															
	1	72						1	43.8						43.7	30.7	
								2	43.5								
								3	43.9								
		73		1				44.5	44.5	30.3							
				2				44.9									
				3				44.1									
		74		1				44.6			44.8	30.2					
				2				45.1									
				3				44.6									
		75		1				44.9					44.9	30.1			
				2				45.1									
				3				44.7									

1	2	3	4	5	6	7	8
	2	76	1	45.3			
			2	45.2			
			3	44.8	45.1	30.0	
		77	1	44.5			
			2	44.7			
			3	45.2	44.8	30.1	
		78	1	44.6			
			2	45.1			
			3	45.0	44.9	30.1	
		79	1	43.8			
			2	44.4			
			3	44.7	44.3	30.4	
	3	80	1	43.7			
			2	43.5			
			3	43.9	43.7	30.7	
		81	1	43.5			
			2	43.5			
			3	43.8	43.6	30.8	
		82	1	43.5			
			2	44.1			
			3	44.1	43.9	30.6	
		83	1	44.8			
			2	43.5			
			3	44.0	44.1	30.5	

§15. Расчет и оценка прочности и однородности бетона в монолитных швах автомаста.

Прочность бетона в монолитных швах определялась ультразвуковым методом способом поверхностного прозвучивания .

Нормируемое значение прочности бетона ,согласно проектной документации , определено в $R_{норм} = 30$ МПа.

В качестве партии принята монолитная конструкция одного шва (всего 7 швов), за единичное значение принята прочность бетона контролируемого участка длиной 3 м в крайних пролетах и 4.5 м в среднем пролете автомаста . Общее количество участков в монолитном шве 12.

Журнал определения прочности бетона в монолитных швах приведен в таблице 17 , а схема автомаста с нумерацией швов и участков на рис.9.

Среднее квадратическое отклонение прочности бетона определяем по формуле 28, а поправочный коэффициент ,учитывающий ошибку при определении коэффициента вариации при испытании неразрушающими методами по формуле 29.

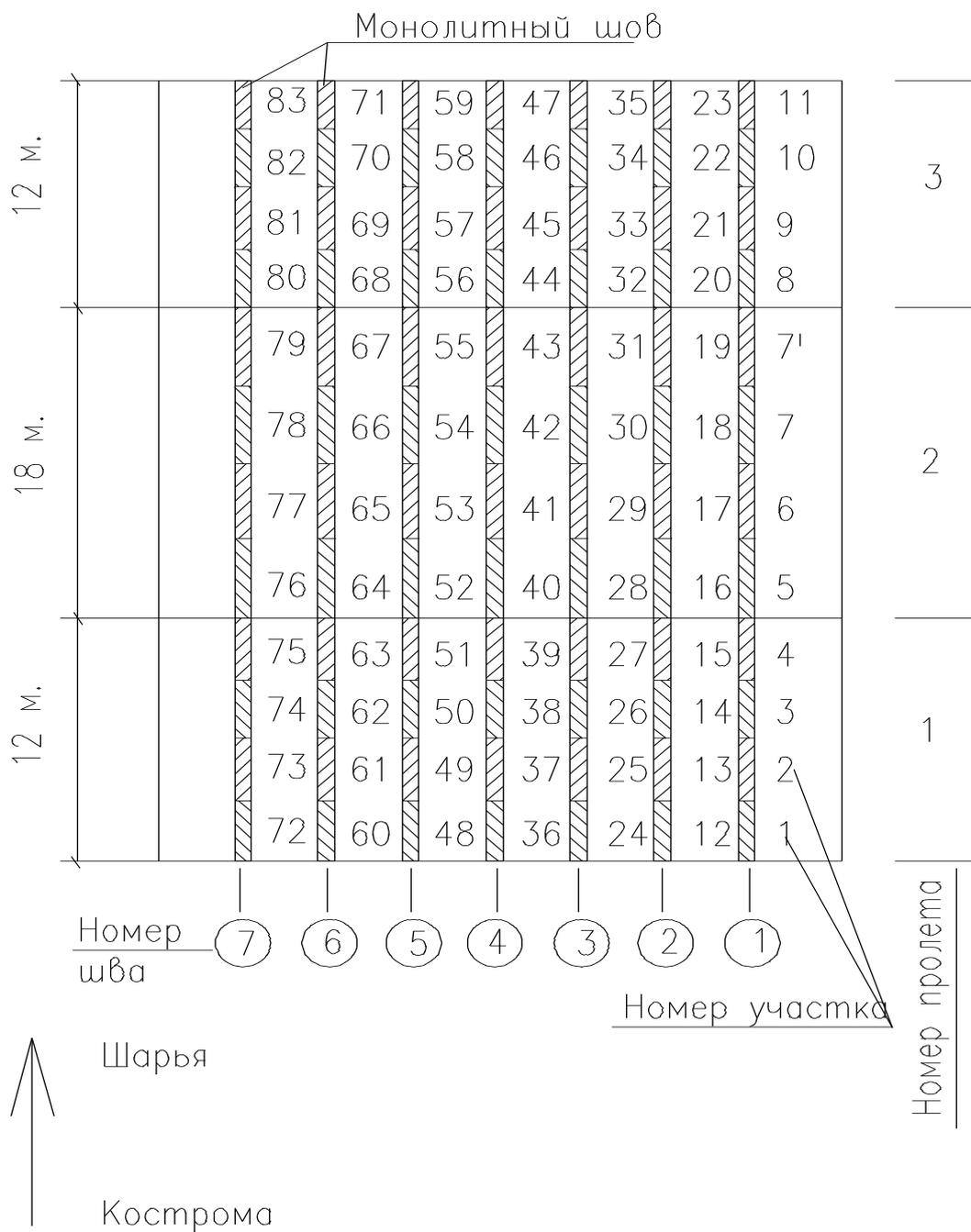


Рис. 9 Схема автомоста через реку Корба.

Коэффициент вариации прочности бетона для каждого шва определяем по формуле 30.
 Средний коэффициент вариации прочности бетона всех монолитных швов определяем по формуле 31.
 Расчет приведен в табличной форме . (см. таблицу 18 ,19).

Т а б л и ц а 18. Расчет поправочного коэффициента K_n

№ серии	$R_{i\phi}$	$\bar{R}_\phi - R_{i\phi}$	$(\bar{R}_\phi - R_{i\phi})^2$	R_{iH}	$R_{iH} - \bar{R}_H$	$(R_{iH} - \bar{R}_H)^2$
1	28.9	1.5	2.25	30.0	-0.5	0.25
2	23.9	6.5	42.3	23.2	-7.3	53.3
3	24.2	6.2	38.4	23.6	-6.9	47.6
4	29.4	1	1	30.5	0	0
5	34.0	-3.6	13.0	34.2	3.7	13.7
6	34.3	-3.9	15.2	34.5	4.0	16.0
7	25.4	5.0	25.0	25.7	-4.8	23.0
8	37.7	-7.3	53.3	36.5	6.0	36.0
9	35.6	-5.2	27.0	35.3	4.8	23.0
	$\Sigma 273.4$		$\Sigma 217.4$	$\Sigma 274.5$		$\Sigma 212.8$

Коэффициент вариации прочности бетона контрольных кубов, испытанных нагружением :

$$R_\phi = \Sigma R_{i\phi} / n = 30.4 \text{ мПа}$$

$$S_\phi = \sqrt{\frac{\Sigma (\bar{R}_\phi - R_{i\phi})^2}{(N - 1)}} = 5.21 \text{ мПа}$$

$$V_o = (S_\phi / R_\phi) * 100 = 17.1 \%$$

Коэффициент вариации прочности бетона контрольных кубов по данным неразрушающего метода :

$$R_H = \Sigma R_{iH} / n = 30.5 \text{ мПа}$$

$$S_H = \sqrt{\frac{\Sigma (\bar{R}_H - R_{iH})^2}{(N - 1)}} = 5.16 \text{ , мПа}$$

$$V_{H.M.} = (S_H / R_H) * 100 = 16.9 \%$$

Поправочный коэффициент составил :

$$K_n = V_o / V_{H.M.} = 1.01$$

Т а б л и ц а 19. Расчет и оценка прочности и однородности бетона в монолитных швах автомаста.

н о м е р ш в а																											
1				2				3				4				5				6				7			
N	R _i	R _i -R _m	(R _i -R _m) ²	N	R _i	R _i -R _m	(R _i -R _m) ²	N	R _i	R _i -R _m	(R _i -R _m) ²	N	R _i	R _i -R _m	(R _i -R _m) ²	N	R _i	R _i -R _m	(R _i -R _m) ²	N	R _i	R _i -R _m	(R _i -R _m) ²	N	R _i	R _i -R _m	(R _i -R _m) ²
уч				уч				уч				уч				уч				уч				уч			
1	32.3	-0.2	0.04	12	30.3	-1.4	1.96	24	31.6	-0.1	0.01	36	30.9	-1	1	48	30.4	-1	1	60	30.6	0.3	0.09	72	30.7	0.3	0.09
2	30.9	-1.6	2.56	13	31.5	-0.2	0.04	25	31.3	-0.4	0.16	37	30.9	-1	1	49	30.9	-0.5	0.25	61	30.4	0.1	0.01	73	30.3	-0.1	0.01
3	34.2	1.7	2.89	14	32.7	1	1	26	32.3	0.6	0.36	38	32.0	0.1	0.01	50	31.3	-0.1	0.01	62	30.4	0.1	0.01	74	30.2	-0.2	0.04
4	34.3	1.8	3.24	15	32.6	0.9	0.81	27	32.1	0.4	0.16	39	31.9	0	0	51	31.2	-0.2	0.04	63	30.1	-0.2	0.04	75	30.1	-0.3	0.09
5	34.0	1.5	2.25	16	32.0	0.3	0.09	28	32.0	0.3	0.09	40	32.1	0.2	0.04	52	31.7	0.3	0.09	64	30.1	-0.2	0.04	76	30.0	-0.4	0.16
6	33.7	1.2	1.44	17	32.1	0.4	0.16	29	31.7	0	0	41	32.3	0.4	0.16	53	31.8	0.4	0.16	65	30.0	-0.3	0.09	77	30.1	-0.3	0.09
7	33.1	0.6	0.36	18	31.6	-0.1	0.01	30	31.7	0	0	42	32.1	0.2	0.04	54	31.6	0.2	0.04	66	30.1	-0.2	0.04	78	30.1	-0.3	0.09
71	32.1	-0.4	0.16	19	31.7	0	0	31	31.8	0.1	0.01	43	31.9	0	0	55	31.4	0	0	67	29.9	-0.4	0.16	79	30.4	0	0
8	31.4	-1.1	1.21	20	31.5	-0.2	0.04	32	31.5	-0.2	0.04	44	31.8	-0.1	0.01	56	31.3	-0.1	0.01	68	30.9	0.6	0.36	80	30.7	0.3	0.09
9	31.4	-1.1	1.21	21	31.3	-0.4	0.16	33	31.3	-0.4	0.16	45	32.3	0.4	0.16	57	31.4	0	0	69	30.5	0.2	0.04	81	30.8	0.4	0.16
10	31.3	-1.2	1.44	22	31.2	-0.5	0.25	34	31.4	-0.3	0.09	46	32.3	0.4	0.16	58	31.7	0.3	0.09	70	30.3	0	0	82	30.6	0.2	0.04
11	31.6	-0.9	0.81	23	31.4	-0.3	0.09	35	31.5	-0.2	0.04	47	32.2	0.3	0.09	59	31.6	0.2	0.04	71	30.4	0.1	0.01	83	30.5	0.1	0.01
Σ	390.3		17.6	Σ	379.9		4.61	Σ	380.2		1.12	Σ	382.7		2.67	Σ	376.3		1.73	Σ	363.7		0.89	Σ	364.5		0.87
	R _m = 32.5				R _m = 31.7				R _m = 31.7				R _m = 31.9				R _m = 31.4				R _m = 30.3				R _m = 30.4		
	R _m > RT				R _m > RT				R _m > RT				R _m > RT				R _m > RT				R _m > RT				R _m > RT		
	S _m = 1.27				S _m = 0.65				S _m = 0.32				S _m = 0.50				S _m = 0.40				S _m = 0.30				S _m = 0.30		
	V _m = 3.9 %				V _m = 2.1%				V _m = 1.0%				V _m = 1.6%				V _m = 1.3%				V _m = 1.0%				V _m = 1.0%		

Средний коэффициент вариации прочности бетона:
$$V_n = \frac{\sum_{i=1}^N V_{n,i} * n_i}{\sum_{i=1}^N n_i} = 1.7\%$$
 ;

Требуемая прочность бетона : $R_T = R_{норм.} * K_{T1} / 100$, МПа ;
 $K_{T1} = 83\%$ при $V_n = 1.7 < 6\%$;
 $R_T = 24.9$ МПа .

Согласно ГОСТ 18105 - 86 " Бетоны. Правила контроля прочности "конструкция по прочности бетона подлежит приемке , если фактическая средняя прочность бетона (R_m) не ниже требуемой прочности (R_T).

$$R_m \geq R_T$$

Согласно расчетов (табл.19) во всех швах средняя прочность бетона (R_m) выше требуемой прочности (R_T) ,а следовательно все монолитные швы по прочности бетона подлежат приемке .

Глава VI

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И ОБСЛЕДОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

§16. Задачи неразрушающего контроля, вопросы оценки прочности, жесткости и трещиностойкости

При производстве сборного и монолитного железобетона осуществляется входной контроль исходных материалов, операционный контроль качества выполнения технологических операций и приемочный контроль готовых железобетонных конструкций. Неразрушающие методы применяют при операционном и приемочном контроле как для контроля отдельных параметров, так и комплексно, в сочетании с другими методами контроля для оценки прочности, жесткости и трещиностойкости сборных железобетонных конструкций. Например, ультразвуковой метод контроля прочности можно использовать вместо контроля прочности бетона по результатам испытаний контрольных кубов.

Ультразвуковой метод при контроле нарастания прочности служит для регулирования режима тепловлажностной обработки, а при контроле качества сварных соединений – для отладки технологии сварочных работ и осуществления приемочного контроля сварных соединений арматурных изделий и закладных деталей.

Особенно ответственная область применения неразрушающих методов – их комплексное использование для контроля прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных конструкций.

Традиционным является контроль прочности, жесткости и трещиностойкости испытанием железобетонных конструкций нагружением. Эти испытания регламентируются ГОСТ 8829–85.

В настоящее время распространена методика оценки прочности, жесткости и трещиностойкости по результатам неразрушающего контроля. Эта методика исходит из того, что прочность, жесткость и трещиностойкость конструкции соответствуют заданным в проекте требованиям, если все параметры конструкции будут отличаться от проектных не больше, чем на установленные допускаемые отклонения. Если какой-либо из параметров будет значительно отличаться от требований проекта, произойдет преждевременное обрушение конструкции. Если все параметры не будут отличаться от требований проекта больше чем на размер допускаемых отклонений, то прочность, жесткость и трещиностойкость будут обеспечены. Таким образом, при надежном контроле всех перечисленных параметров прочность, жесткость и трещиностойкость конструкций будут обеспечены.

Неразрушающий контроль прочности, жесткости и трещиностойкости – косвенный контроль. Он не позволяет сказать, например, при какой нагрузке конструкция разрушится. Но

он позволяет сказать, что при удовлетворительных результатах контроля конструкции будут обладать требуемой прочностью, жесткостью и трещиностойкостью.

Неразрушающий контроль прочности, жесткости и трещиностойкости следует применять для массивных железобетонных конструкций: многопустотных панелей, плоских и ребристых плит перекрытий, плит покрытий пролетом до 12 м, внутренних несущих стен крупнопанельных зданий, безнапорных труб и т.п.

Прочность, жесткость и трещиностойкость большепролетных конструкций предварительно напряженных ферм, балок и т.п. должны контролироваться испытанием при нагружении.

§17. Неразрушающий контроль при обследовании эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Эксплуатируемые железобетонные конструкции обычно обследуют в случае, если в ней появились трещины и требуется оценить фактическую несущую способность конструкции или если при реконструкции здания увеличатся нагрузки на конструкцию.

Неразрушающие методы при обследовании используют для контроля прочности бетона, определения наличия или положения арматуры и для определения внутренних дефектов. При проведении обследований применяют те же приборы и методы неразрушающего контроля, что и при изготовлении сборных и монолитных конструкций.

При проведении обследований обычно определяют прочность бетона конструкций, из которого нельзя изготовить контрольные кубы, а следовательно, нельзя построить градуировочные зависимости. В таких случаях при обследовании обычно применяют унифицированные зависимости. (см.рис.10.)

В том случае, если известен состав бетона испытываемой конструкции, вид заполнителя и цемента, можно изготовить бетонную смесь такого же состава с изменением цементно-водного отношения в пределах, указанных в §8. Затем из этой смеси приготовить кубы, выдержать их не менее месяца и построить градуировочную зависимость для проведения обследования (см. §9), после чего привязать ее в соответствии с методикой, изложенной в §11.

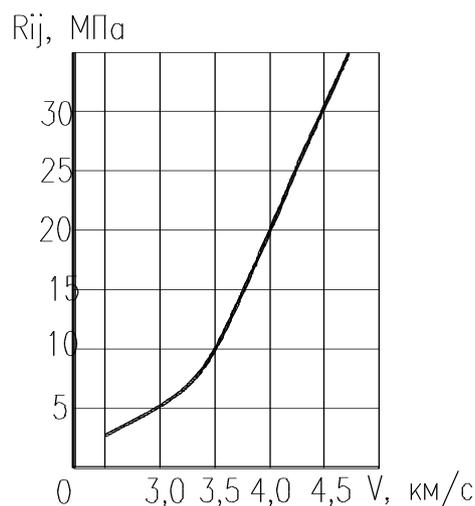
Определение прочности бетона при экспертизе конструкций и сооружений проводят в зонах конструкций, изготовленных из бетона на одном виде крупного заполнителя.

Измеряют время распространения ультразвука не менее чем в 10 участках контролируемой зоны конструкции.

Рис 10. Унифицированная зависимость

Вычисляют среднюю скорость ультразвука (\bar{V}) в контролируемой зоне.

В контролируемой зоне намечают участки, в которых измеренная скорость ультразвука имеет максимальное (V_{max}) и минимальное (V_{min}) значения, а также участок, где скорость ультразвука имеет величину (V_n), наиболее близкую к средней скорости ультразвука (\bar{V}).



“V - R”

Из каждого намеченного участка выбуривают и испытывают не менее двух кернов. По данным испытаний кернов определяют значение прочностей $R_{\phi.\max}$, $R_{\phi.\min}$, $R_{\phi.n}$ в участках, имеющих скорости ультразвука V_{\max} , V_{\min} , V_n .

Прочность бетона в любом участке контролируемой зоны конструкции определяют по уравнению .

Коэффициенты a_0 и a_1 вычисляют по формулам:

$$a_1 = \frac{R_{\phi.\max} - R_{\phi.\min}}{V_{\max} - V_{\min}}, \quad (37)$$

$$a_0 = \frac{1}{2} \left[(R_{\phi.\max} + R_{\phi.n}) - a_1 (V_{\min} + V_n) \right] \quad (38)$$

При выполнении условия $\frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_n} \times 100\% \leq 10\%$ допускается ориентировочно определить прочность;

для бетонов классов прочности до В25 по формуле

$$R = Av^4, \quad \text{где} \quad (39)$$

$$A = \bar{R}\phi / \bar{V}^4 \quad (40)$$

для бетонов классов прочности выше В25 по формуле

$$R = R_{\phi.\max} * \left[V / (8,87V_{\max} - 7,87V) \right] \quad (41)$$

Количество и места расположения участков для определения прочности принимают в зависимости от вида конструкции и задач испытаний (рис. 11). При этом часть участков обязательно размещают в наиболее нагруженных элементах и сечениях конструкций.

При использовании неразрушающих методов при обследовании выявляют участок конструкции, в котором прочность бетона наименьшая, а также участки, бетон в которых поврежден при эксплуатации (вследствие протечек, морозного воздействия и других причин).

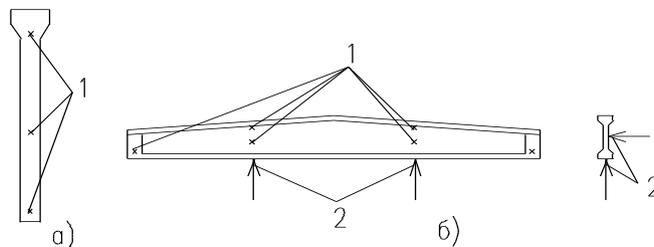


Рис.11 Примеры расположения участков испытания для определений прочности бетона и армирования в колоннах (а) и строительных балках (б): 1 - прочности бетона, 2 - армирования

Положение и диаметр арматуры определяют обычно при отсутствии рабочих чертежей. В этом случае сначала делают попытку обнаружить положение арматуры ультразвуковым методом.

Если это не удастся сделать, то вскрывают конструкцию, выявляя диаметр и профиль арматуры.

Если существует двусторонний доступ к конструкции, толщину защитного слоя можно определить и без построения градуировочных зависимостей на одной и на другой гранях конструкции (рис.12). Определить армирование ультразвуковым методом удастся обычно в таких конструкциях, как колонны, балки небольшого сечения, пояса и элементы решетки ферм и т. п.

Внутренние дефекты в виде плохо уплотненных участков бетона (особенно в зонах густого армирования или под закладными деталями), незаинъецированных участков каналов при натяжении арматуры на бетон и т.п. так же определяют ультразвуковым методом. Для определения дефектов бетона в конструкциях используют те же ультразвуковые приборы, что и для определения прочности бетона.

При расположении на пути распространения ультразвукового импульса дефекта уменьшается скорость распространения ультразвука, а также изменяется характер сигнала на экране. Для дефектоскопии ультразвуковым методом применяют приборы с электронно-лучевой трубкой.

При определении наличия внутренних пустот в бетоне конструкции сквозным прозвучиванием (рис. 13, а) сопоставляют время распространения ультразвука на разных участках, устанавливают зону резкого снижения скорости ультразвука. Эта зона соответствует месту расположения дефекта. При этом следует иметь в виду, что дефект может быть выявлен только в том случае, если его размеры не меньше диаметра преобразователя.

Подобным же образом можно оценить качество замоноличивания швов (рис. 13, б), используя диагональное прозвучивание.

Ультразвуковой метод широко применяют для контроля качества сварных соединений. Этим методом выявляют дефекты сварных швов в виде трещин, непроваров, пор и шлаковых включений. О наличии дефекта судят по величине амплитуды прошедшего через сварной шов или отраженного ультразвукового импульса.

В зависимости от вида сварного соединения используют различные методы:

теневого - для стыковых соединений, выполненных в инвентарных формах или без формирующих вспомогательных элементов;

зеркально-теневого - для стыковых соединений, выполненных на стальных скобах-накладках или подкладках;

эхо-импульсный - для тавровых соединений стержней с пластинами, выполненных под флюсом.

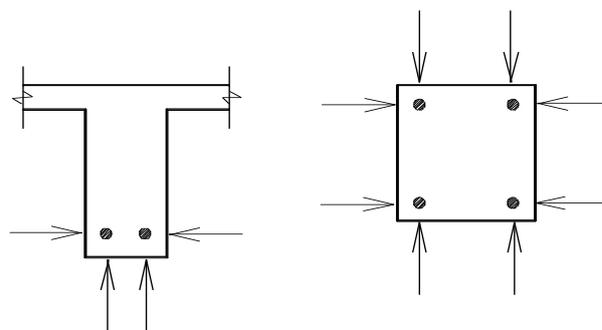


Рис. 12 Схема определения толщины защитного слоя бетона без градуировочной зависимости.

При определении дефектов стыков сварных соединений арматурных стержней диаметром 20...40 мм применяют дефектоскопы УЗД.-МВТУ, ДУК - 66П и прибор УДС «Арматура». В отличие от первых двух приборов, выполненных в напольном исполнении, УДС «Арматура» портативен, что позволяет широко применять его в условиях строительной площадки.

Перед проведением контроля сварные соединения очищают от брызг металла, остатков шлака, заусенец, окалины, ржавчины, бетона и других загрязнений. Чтобы обеспечить контакт между искателем и стержнями стыкового соединения или пластиной, наносят густой смазочный материал (солидол).

После настройки дефектоскопа, меняя положение искателей, измеряют максимальную амплитуду сигнала. По величине амплитуды судят о наличии в сварном шве дефекта.

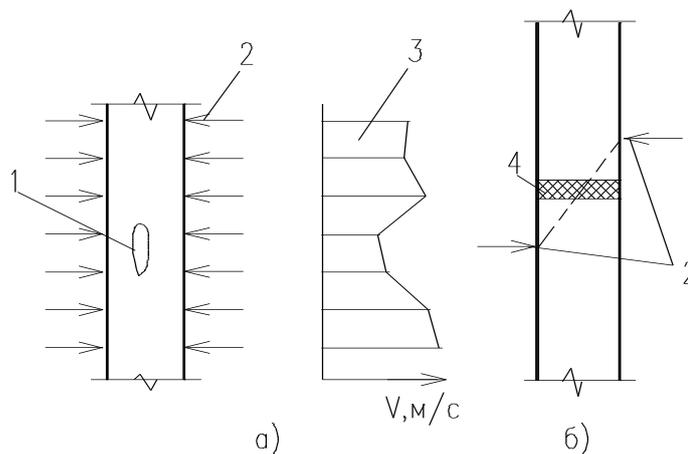


Рис.13 Определение дефекта в бетоне конструкции:

а - при сквозном прозвучивании,

б - при прозвучивании шва ;

1 - дефект, 2 - направление прозвучивания,

3 - график скорости, 4 - шов

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. ГОСТ 17624-87 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
2. Лещинский М.Ю., Скрамтаев Б.Г. - Испытание прочности бетона. М.,1973.
3. Клевцов В.А. - Обследование железобетонных конструкций с применением неразрушающих методов контроля.М.,1981.
4. Коревицкая М.Г. - Неразрушающие методы контроля качества железобетонных конструкций. М., 1989.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.	1
Глава I. Общие сведения о неразрушающем контроле.	
§.1. Классификация неразрушающих методов	2
§.2. Область применения неразрушающих методов	3
§.3. Основные сведения из математических статистик при неразрушающем методе контроля	3
§.4. Понятие о корреляционных зависимостях	6
Глава II. Контроль прочности бетона ультразвуковым методом.	
§.5. Общие сведения	7
§.6. Определение прочности бетона с помощью ультразвука	9
§.7. Контроль нарастания прочности бетона	11
Глава III. Построение и оценка градуировочных зависимостей при контроле прочности бетона.	
§.8. Проведение испытаний при построении градуировочных зависимостей	12
§.9. Обработка результатов испытаний	14
§.10. Экспериментальное определение коэффициентов перехода от скорости ультразвука при поверхностном прозвучивании к скорости при сквозном прозвучивании	18
§.11. Универсальные градуировочные зависимости	19
Глава IV. Особенности оценки прочности бетона при испытании неразрушающими методами.	
§.12. Определение объема контроля и средней прочности бетона	19
§.13. Определение вариации прочности бетона	21
Глава V. Определение градуировочной зависимости и оценка прочности и однородности бетона в партии конструкций.	
§.14. Определение градуировочной зависимости	26
§.15. Расчет и оценка прочности и однородности бетона в монолитных швах автомаста.....	35
Глава VI. Неразрушающий контроль при производстве и обследовании железобетонных конструкций.	
§.16. Задачи неразрушающего контроля, вопросы оценки прочности, жесткости и трещиностойкости	40
§.17. Неразрушающий контроль при обследовании эксплуатируемых железобетонных конструкций	42
Список рекомендуемой литературы	46
Содержание.	47