

№ 2751

Е.А. Новиков
В.Л. Шкуратник

Физико-технический контроль и мониторинг при освоении подземного пространства городов

Учебное пособие

№ 2751

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра физических процессов горного производства
и геоконтроля

Е.А. Новиков
В.Л. Шкуратник

Физико-технический контроль и мониторинг при освоении подземного пространства городов

Учебное пособие

Утверждено Методическим советом НИТУ МИСиС



Москва 2016

УДК 622.1:550.8 (624.13)
Н73

Рецензенты:

д-р техн. наук, заместитель руководителя Исполнительной дирекции
Общероссийской общественной организации «Тоннельная ассоциация России»
С.В. Мазеин; канд. техн. наук, начальник отдела технической диагностики
радиационно-опасных объектов и объектов подземного хранения
ООО «Газпром геотехнологии» *Н.А. Пустовойтова*

Новиков Е.А.

Н73 Физико-технический контроль и мониторинг при освоении
подземного пространства городов : учеб. пособие / Е.А. Новиков,
В.Л. Шкуратник. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2016. – 174 с.
ISBN 978-5-906846-12-9

Учебное пособие направлено на формирование у обучающихся практических навыков обработки и интерпретации информации, получаемой при физико-техническом контроле и мониторинге объектов и процессов подземного городского строительства, реализуемых с помощью сейсмоакустического, электрометрического и ультразвукового методов.

Пособие состоит из трех разделов и трех приложений, содержащих теоретические сведения и иллюстративный материал, необходимые для проведения практических занятий, посвященных использованию вышеуказанных методов для решения задач определения прочности защитных железобетонных конструкций подземной инфраструктуры города, контроля качества ледопродных ограждений при подземном городском строительстве, комплексирования физико-технических методов контроля и мониторинга в условиях городской среды. Даны детальные указания по выполнению конкретных задач, представлены варианты заданий для самостоятельной работы.

Для студентов специальности 21.05.05 «Физические процессы горного или нефтегазового производства».

УДК 622.1:550.8 (624.13)

ISBN 978-5-906846-12-9

© Е.А. Новиков,
В.Л. Шкуратник, 2016
© НИТУ «МИСиС», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1.....	5
Контроль качества железобетонных конструкций подземных сооружений	5
1.1. Общие сведения	5
1.2. Приборная реализация метода	8
1.3. Основные методические аспекты построения градуировочной зависимости «скорость-прочность»	9
1.4. Пример построения градуировочной зависимости «скорость-прочность»	13
1.5. Указания к выполнению работы	15
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2.....	17
Контроль созданного ледопородного ограждения при подземном городском строительстве	17
2.1. Общие сведения	17
2.2. Приборная и методическая реализация	19
2.3. Указания к выполнению работы	21
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3.....	22
Комплексирование результатов электрометрии и сейсморазведочных работ.....	22
3.1. Базовые понятия электрометрии. Основные приборные и методические аспекты.....	22
3.2. Базовые понятия сейсморазведки. Основные приборные и методические аспекты.....	26
3.3. Комплексирование методов электрометрии и сейсморазведки	31
3.4. Указания к выполнению работы	32
Библиографический список	35
Приложение А. Исходные данные к практическому занятию № 1 ...	36
Приложение Б. Исходные данные к практическому занятию № 2	86
Приложение В. Исходные данные к практическому занятию № 3....	99

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие предназначено для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов. Оно состоит из трех разделов, трех приложений и призвано познакомить студентов с сущностью способов определения прочности железобетонных конструкций различного назначения, контроля качества ледопородных ограждений при подземном городском строительстве, а также подходов к комплексированию результатов физико-технических методов контроля и мониторинга при создании подземной инфраструктуры мегаполисов.

В каждом из разделов приводится детальное описание алгоритмов и дается теоретическое обоснование реализации указанных методов, что необходимо для понимания обучающимися сущности этих методов.

В составе приложений данного учебного пособия содержатся блоки численных исходных данных, позволяющие каждому из обучающихся индивидуально выработать практические навыки обработки и интерпретации измерительной информации в рамках рассмотренных методов.

Главная ценность предлагаемого учебного пособия состоит в том, что оно способствует формированию у обучающихся системного представления о границах применимости и способах реализации ультразвукового, сейсмоакустического и электрометрического методов инженерной геофизики, применительно к решению задач физико-технического контроля и мониторинга. Это безусловно будет способствовать повышению качества знаний у выпускаемых специалистов и в свою очередь облегчит их адаптацию к реальным производственным условиям.

Практическое занятие № 1

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Теория без практики –
мертва, а практика без
теории – слепа.

Александр Суворов

Цель работы. Ознакомление с процедурой определения прочностных характеристик бетона методом ультразвуковой дефектоскопии. Выработка практических навыков построения и использования тарировочной кривой «скорость ультразвуковой (УЗ) волны – прочность бетона».

1.1. Общие сведения

Бетон – искусственный материал, полученный в результате твердения смеси из песка, щебня, цемента и воды, составленной в определенной пропорции. В некоторых случаях в состав бетона вводят дополнительные материалы, называемые добавками.

Одной из основных характеристик бетона, позволяющей ему быть основным строительным материалом, является высокий предел прочности на сжатие. Прочность – свойство материала воспринимать, не разрушаясь, внешние механические нагрузки и воздействия (сжатие, растяжение, сдвиг и др.). Предел прочности – максимальное значение механической нагрузки, приведенной к единице площади рабочего сечения, при достижении которой материал разрушается. Предельное значение прочности обозначается R и имеет размерность МПа или кгс/см². Легкие бетоны (керамзитобетон, пенобетон) обладают прочностью на сжатие в диапазоне 5...20 МПа, тяжелые бетоны, в которых в качестве крупного заполнителя используется известняк, имеют прочность порядка 7...40 МПа, а на гранитном заполнителе – 10...60 МПа. У специальных бетонов предел прочности на сжатие может достигать 120 МПа.

Кроме прочности, необходимо рассмотреть и такое понятие, как класс бетона. Класс бетона по прочности – показатель, характеризующий прочность бетона, устанавливаемый техническими нормами в зависимости от основных эксплуатационных характеристик или

свойств материалов. Очень важно, чтобы в натуре прочность бетона соответствовала заложенному в проекте классу.

К настоящему времени разработано большое число методов, позволяющих реализовать контроль этого соответствия. Все они имеют свои преимущества и недостатки, определяющие область их применения. В самом общем виде эти методы можно подразделить на разрушающие (в том числе с местным разрушением) и неразрушающие. Метод испытаний, после которого объект контроля разрушен и непригоден для дальнейшего использования по своему назначению, относят к разрушающим. Если конструкция остается пригодной к эксплуатации, но после испытания требуется ее ремонт, то такой метод следует условно отнести к методам с местным (локальным) разрушением. Неразрушающие методы предусматривают воздействие на конструкцию, которое не отражается на ее эксплуатационной способности, но при этом дает только косвенную измерительную информацию.

В случае контроля бетонных сооружений натурные разрушающие испытания по вполне понятным причинам стараются использовать весьма ограниченно или не прибегать к ним вообще. Известно, что прочность бетона можно оценить по методикам, изложенным в ГОСТ 28570–90 и ГОСТ 10180–90, заключающимся в разрушении контрольных образцов, изготовленных из того же бетона и по той же технологии, что и строительная конструкция. Эти методики достаточно универсальны и информативны, но надо четко понимать, что прочность бетона в строительной конструкции и в образце может существенно различаться хотя бы потому, что образец не отражает масштабные дефекты, имеющиеся в конструкции, в том числе из-за нарушений технологии её строительства. Кроме того, очевидно, что эффекты старения, имеющие место в материале строительной конструкции, при длительной её эксплуатации, не могут быть полноценно представлены в материале образца.

Существует ряд неразрушающих методов, использующих косвенные характеристики, получаемые без разрушения бетона, для оценки его прочности непосредственно в натуральных условиях. Такому контролю может быть подвергнуто все сооружение целиком без риска снижения его эксплуатационных характеристик или необходимости дополнительных ремонтных работ нарушенных в ходе контроля участков сооружения. Однако следует понимать, что эти измерения являются косвенными и, как следствие, менее надежными.

В настоящее время наибольшее распространение среди неразрушающих методов получил метод ультразвуковой дефектоскопии,

основанный на связи между скоростью распространения ультразвуковых (частотой от 20 кГц до 10^8 Гц) колебаний в бетоне и его плотностью, динамическим модулем упругости и соответственно прочностью. Подразумевается, что чем выше нарушенность структуры объекта контроля, тем ниже его прочность, соответственно, пропорционально выше затухание ультразвуковой волны и ниже скорость её распространения. Исходя из этого в соответствии с ГОСТ 17624–87, по результатам УЗ измерений¹ в соответствующих бетонных образцах-кубах и последующих механических испытаний тех же образцов, устанавливают зависимость (тарировочную кривую) скорости УЗ волны от предела прочности испытываемого бетона. По этой зависимости, измеряя скорость прохождения УЗ волны через различные участки исследуемой строительной конструкции, выполненной из того же бетона, составляют распределение её прочностных свойств в функции от координаты.

Другими общепринятыми методами неразрушающего контроля прочности бетонных конструкций являются:

Склерометрический метод, или метод пластических деформаций. Основан на использовании зависимости диаметра отпечатка, полученного вследствие пластических деформаций бетона от удара о его поверхность сферическим упругим телом, например шариком, от прочности бетона. В этом случае учитываются только пластические свойства бетона.

Метод упругого отскока. Основан на использовании зависимости величины отскока упругого тела при соударении его о поверхность бетона от прочности этого бетона.

Метод ударного импульса. В основу метода положено преобразование энергии удара бойка в электрический импульс, а прочность бетона определяется по форме электрического сигнала, которая зависит от упругих и пластических свойств материала.

По сравнению с вышеперечисленными неразрушающими методами, основанными на ударном воздействии в точке объекта контроля, главным *достоинством УЗ метода* является то, что информативное воздействие (УЗ волна) проходит через всю толщину конструкции и

¹ Градуировочную зависимость «скорость-прочность» устанавливают при испытании конструкций способом сквозного прозвучивания. Градуировочную зависимость «время-прочность» устанавливают при испытании конструкций способом поверхностного прозвучивания. Допускается при испытании конструкций способом поверхностного прозвучивания использовать градуировочную зависимость «скорость-прочность» с учетом коэффициента перехода.

собирает более полную информацию о бетоне. Это позволяет судить об объемных свойствах объекта контроля, а не только характеристиках совокупности точек его поверхности.

Главным ограничением УЗ метода является то, что зависимость скорости УЗ от прочностных параметров, по факту уникальна для каждого конкретного состава бетона. Несмотря на то что вид указанной зависимости у разных бетонов схож, построить универсальную численную зависимость или зависимость, справедливую для бетонов хотя бы близкого состава, на практике не представляется возможным. Это следует из большого числа переменных, различно влияющих на затухание УЗ волны и прочность бетона, а именно:

- прочностные и геометрические характеристики зернового состава заполнителя, его доля в объеме материала;
- изменение расхода цемента более чем на 30 %;
- способ приготовления бетонной смеси (в том числе нарушения технологии);
- степень уплотнения бетона;
- срок эксплуатации, испытанные техногенные и природные воздействия.

Подчеркнем, что каждый из вышеперечисленных факторов оказывает существенное влияние на рассматриваемую зависимость, а соотношение и взаимовлияние этих параметров для каждого объекта контроля уникально. Поэтому указанную зависимость строят для каждого конкретного состава бетона в отдельности. В то же время, получив однажды эту зависимость, можно реализовать многократные (неразрушающие) массовые испытания изделий из этого бетона любой формы, вести непрерывный контроль нарастания или снижения прочности и т.п., без прямого вмешательства и нарушения исходных потребительских качеств объекта контроля. В случае соблюдения нормативно установленных требований ошибка измерения УЗ метода не превышает 10–15 %.

1.2. Приборная реализация метода

При контроле строительных материалов, для получения ультразвука, обычно применяют преобразователи, использующие эффект магнитострикции или пьезоэффект.

Магнитострикция – явление деформации упругого материала при изменении его магнитного состояния. Она свойственна ферромагнитным металлам и сплавам, а также ферритам. К таким материа-

лам относятся: никель НП2Т, пермендюр 49КФ, ферриты 21СПА и др. материалы, характеризующиеся наличием доменов с однородной намагниченностью, т.е. микроскопических областей с линейными размерами порядка 10^{-6} мм. В магнитострикционных преобразователях внешнее магнитное поле, как правило, создается постоянными магнитами, а изменение магнитного состояния производится путем воздействия переменного электромагнитного поля. При изменении последнего с определенной частотой, с такой же частотой будет деформироваться (сжиматься и растягиваться) магнитопровод преобразователя, т.е. будут возбуждаться механические колебания, форма которых соответствует форме электрического сигнала.

Пьезоэлектрический эффект – основан на образовании электрического потенциала при механической деформации некоторых материалов (сегнетоэлектриков – кварц, титанат кальция, титанат бария и т.д.). Пьезоэффект обратим, т.е. при приложении к поверхности материала разности потенциалов возникает деформация, возбуждающая УЗ волну в объекте контроля.

Каждый из вышеописанных типов преобразователей может быть использован в любом ультразвуковом приборе, аттестованном в установленном порядке по ГОСТ 8.383–86 и обеспечивающем абсолютную погрешность измерения времени t распространения ультразвука не более $\Delta = \pm(0,01t + 0,1)$.

1.3. Основные методические аспекты построения градуировочной зависимости «скорость-прочность»

На практике используются две методики построения указанной зависимости. В случае значительного разброса прочности бетона от R_{\min} до R_{\max} , зависимость имеет криволинейную форму и её строят путем дробления всей матрицы значений на условные области, в каждой из которых расчет ведется отдельно. Во втором случае, когда разброс незначителен, для построения зависимости используют формулу линейного уравнения. В обоих случаях зависимости строят по результатам испытаний контрольных образцов в виде кубов $150 \times 150 \times 150$ мм (не менее 15 шт.) с помощью комбинации неразрушающего УЗ метода, а также разрушающего метода, предполагающего раздавливание этих образцов и измерение предельной выдерживаемой ими нагрузки.

Кубы для испытаний изготавливают из того же состава бетона, что и испытываемая конструкция. Необходимо следить, чтобы влаж-

ность и температура бетона в кубах были такими же, как и в бетоне исследуемых конструкций. Между бетоном и рабочими поверхностями ультразвуковых преобразователей должен быть обеспечен надежный акустический контакт, для чего применяют вязкие контактные материалы (солидол по ГОСТ 4366–76, технический вазелин по ГОСТ 5774–76 и др.). Способ контакта должен быть одинаковым при контроле бетона в конструкции и установлении градуировочной зависимости.

Время распространения УЗ волны определяют в пяти точках каждого куба при сквозном прозвучивании в направлении, перпендикулярном укладке бетона в формы (рис. 1.1). Из полученных по всем пяти точкам значений находят среднее значение скорости УЗ волны каждого куба.

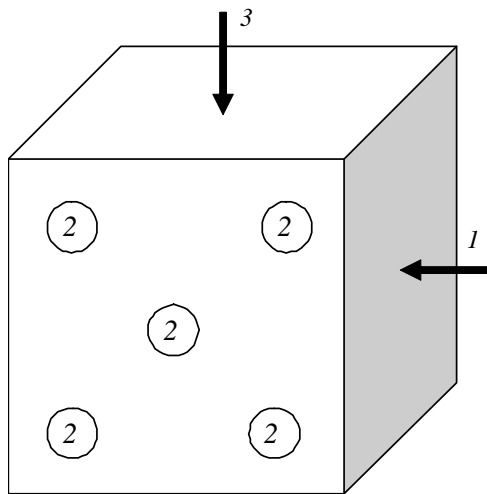


Рис. 1.1. Схема испытания кубов:
1 – направление бетонирования; 2 – места испытания неразрушающими методами (прозвучивание); 3 – направление приложения усилия при испытании на прессе

Разброс по величине времени распространения УЗ волны для одного куба не должен превышать 5 % среднего значения времени, кубы (или точки) не удовлетворяющие этому требованию, отбраковываются. Скорость ультразвука вычисляют для каждой точки по формуле:

$$V = \frac{L}{t}, \quad (1.1)$$

где L – путь, пройденный ультразвуком, м (база); t – время, затраченное на прохождение пути, мкс.

Прочность кубов на сжатие определяют механическими испытаниями на прессе. При этом усилие прикладывают перпендикулярно направлению прозвучивания и перпендикулярно направлению укладки бетона (рис. 1.1). Необходимо следить, чтобы поверхность образцов, укладываемых на плиты прессы, не была загрязнена смазкой, используемой при УЗ прозвучивании для создания должных контактных условий между поверхностями преобразователей и объекта контроля.

Далее на основе полученной в результате испытаний кубов таблицы значений *устанавливают градуировочную зависимость*. Это может быть произведено с помощью следующих уравнений:

$$1) \text{ линейного вида: } R_n = a_0 + a_1 x,$$

где R_n – определенная по уравнению прочность бетона,

$$a_0 = \bar{R}_\Phi - a_1 \bar{x}; \quad (1.2)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{j=1}^N (\bar{R}_\Phi - R_{j\Phi})(\bar{x} - x_j)}{\sum_{j=1}^N (\bar{x} - x_j)^2}; \quad (1.3)$$

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

$$2) \text{ экспоненциального вида: } R_n = b_0 e^{b_1 x},$$

где

$$b_0 = e^{\ln \bar{R}_\Phi - b_1 \bar{x}}; \quad (1.4)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{j=1}^N (\bar{x} - x_j)(\ln \bar{R}_\Phi - \ln R_{j\Phi})}{\sum_{j=1}^N (\bar{x} - x_j)^2}; \quad (1.5)$$

$$\bar{R}_\Phi = \frac{\sum_{j=1}^N R_{j\Phi}}{N}; \quad (1.6)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^N x_j}{N}; \quad (1.7)$$

$$\overline{\ln R_\phi} = \frac{\sum_{j=1}^N \ln R_{j\phi}}{N}, \quad (1.8)$$

где N – число образцов единой выборки (серии), испытанных при установлении градуировочной зависимости.

Выбор типа уравнения основан на выполнении условия:

$$R_{\max} - R_{\min} \leq 2 \cdot \bar{R}_\phi (60 - \bar{R}_\phi) / 100, \quad (1.9)$$

где \bar{R}_ϕ – средняя прочность бетонов, испытанных при установлении градуировочной зависимости, МПа; R_{\max} , R_{\min} – максимальное и минимальное значения прочности по испытанным сериям образцов, МПа. Если условие (1.9) выполняется, то используют уравнение линейного вида, в противном случае – экспоненциального. **Корректировку установленной градуировочной зависимости** проводят путем отбраковки единичных результатов испытаний, не удовлетворяющих условию:

$$\frac{|R_{jн} - R_{j\phi}|}{S} \leq 2, \quad (1.10)$$

где S – остаточное среднее квадратическое отклонение, определенное как

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (R_{j\phi} - R_{jн})^2}{N - 2}}, \quad (1.11)$$

где $R_{jн}$ – прочность бетона в j -й серии образцов, определенная по выбранной градуировочной зависимости (линейной или экспоненциальной).

После отбраковки градуировочную зависимость устанавливают заново по оставшимся результатам испытаний. Корректировку градуировочной зависимости проводят до тех пор, пока все единичные результаты испытаний будут удовлетворять условию (1.10).

Затем проверяют допустимость использования полученной градуировочной зависимости. Если $S \cdot 100 \% / R_{\text{тм}} > 12 \%$, то определение прочности бетона методом УЗ дефектоскопии по имеющейся

зависимости не допускается. В ином случае следует признать полученную тарировочную зависимость как допустимую для пересчета значений скорости УЗ волны, полученных на различных участках бетонной конструкции, в единицы прочности этих участков.

1.4. Пример построения градуировочной зависимости «скорость-прочность»

Для установления градуировочной зависимости между скоростью ультразвука и прочностью бетона предположительно класса В35 было испытано в течение 5 суток 20 образцов-кубов размером 100×100×100 мм в возрасте от 4 до 8 ч. Результаты испытаний приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты испытаний кубов бетона

№ куба	Скорость УЗ волны v_j , м/с	Прочность	
		по результатам испытаний на сжатие R_p , МПа	по градуировочной зависимости R_{jn}
1	4389	48,4	48,1
2	4197	45,7	46,1
3	4341	48,7	47,6
4	4337	47,7	47,6
5	3960	43,4	43,7
6	4347	47,9	47,7
7	4280	47,9	47,0
8	4569	48,9	49,9
9	4153	46,3	45,7
10	3996	43,3	44,1
11	4196	46,0	46,1
12	4413	48,6	48,3
13	4013	44,8	44,3
14	3976	44,9	43,9
15	4330	47,0	47,5
16	4276	46,4	46,9
17	4118	44,9	45,3
18	4361	48,4	47,8
19	3969	43,6	43,8
20	3967	44,3	43,8
21	4574	49,1	50,0
22	4526	49,4	49,5
23	4008	43,8	44,2
24	4101	44,5	45,2
25	4246	45,5	46,6
26	4279	47,2	47,0

27	4527	50,25	49,5
28	4376	48,7	48,0
29	4174	46,3	45,9
30	4165	45,2	45,8

Цель дальнейших вычислений – определить координаты ломаной кривой, так называемой линии регрессии, через середины отрезков которой будет проведена градуировочная кривая.

1. Средние значения прочности бетона, и скорости ультразвука составляют

$$\bar{R}_\Phi = \frac{48,4 + 45,7 + \dots + 45,2}{30} = 46,4 \text{ МПа};$$

$$v = \frac{4389 + 4197 + \dots + 4165}{30} = 4209,4 \text{ м/с}.$$

2. Минимальное и максимальное значения прочности бетона составляют: $R_{\min} = 43,3$ МПа и $R_{\max} = 48,9$ МПа. Поскольку $R_{\max} - R_{\min} = 48,9 - 43,3 = 5,6$ МПа, т.е. менее чем $2 \cdot 46,4 \cdot \frac{60 - 46,4}{100} \approx 12,7$ МПа,

то уравнение искомой зависимости имеет линейный вид: $R = a_0 + a_1 v$.

3. Коэффициенты a_0 и a_1 определяют по формулам (1.2) и (1.3):

$$a_0 = 46,4 - 0,0102 \cdot 4209,4 = 3,42;$$

$$a_1 = \frac{(46,4 - 48,4) \cdot (4209,4 - 4206) + (46,4 - 45,7) \cdot (4209,4 - 4125) + \dots +}{(4209,4 - 4389)^2 + (4209,4 - 4197)^2 + \dots + (4209,4 - 4165)^2} = 0,0102.$$

Таким образом, искомая градуировочная зависимость, вид которой показан на рис. 1.2, может быть записана как $R_n = 0,0102v + 3,42$.

Значения прочностей R_{jn} , рассчитанные по градуировочной зависимости, приведены в табл. 1.1.

4. Остаточное среднее квадратическое отклонение, определенное по формуле (1.11), составляет

$$S = \sqrt{\frac{(48,4 - 48,1)^2 + (45,7 - 46,1)^2 + \dots + (45,2 - 45,8)^2}{28}} = 0,64 \text{ МПа}.$$

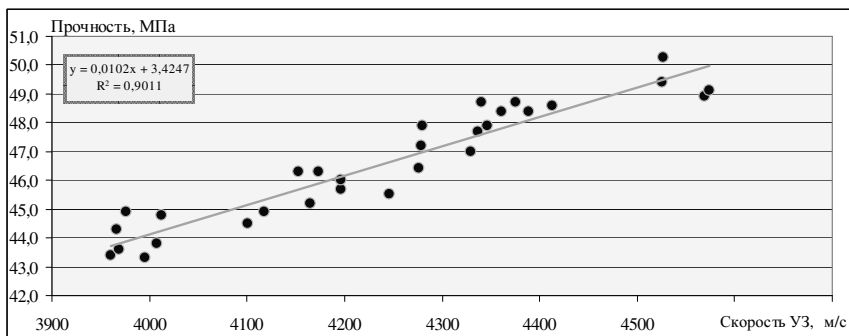


Рис. 1.2. Градуировочная зависимость прочности бетона от скорости УЗ волны в нем

5. Следующим шагом проверяют выполнение соотношения (1.10). В рассматриваемом случае оно выполняется для всех результатов измерений, соответственно полученную градуировочную зависимость можно признать достоверной. Если же соотношение (1.10) не выполняется для некоторых результатов, то эти результаты должны быть отбракованы, а процедура построения градуировочной зависимости повторена сначала.

6. Последней операцией является проверка допустимости применения полученной градуировочной зависимости для дефектоскопии бетонных сооружений. С этой целью рассчитывают соотношение

$$\frac{S}{R_{\phi}} \cdot 100 \% = \frac{0,64}{46,4} \cdot 100 \% = 1,38 \% < 12 \%$$

Если величина указанного соотношения меньше 12 % (как в данном случае), то градуировочную зависимость признают надежной и пускают в работу.

1.5. Указания к выполнению работы

1. В соответствии с вышеизложенным материалом и требованиями ГОСТ 17624–87 произвести испытания серии образцов бетона, полученные данные занести в таблицу, аналогичную табл. 1.1. По согласованию с преподавателем экспериментальные работы по испытанию серии образцов могут быть заменены сдачей соответствующего теоретического минимума. В этом случае исходные данные могут быть взяты из табл. А.1 Приложения А.

2. На основе полученных в п. 1 данных построить градуировочную зависимость и провести сопутствующие расчеты, как это описано в разд. 1.3 и 1.4 настоящей работы.

3. Используя полученную согласно п. 2 задания градуировочную зависимость, определить значения прочности участков бетонного сооружения. Соответствующие значения скоростей даны в табл. А.2 Приложения А.