

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Оренбургский государственный университет»

А.И. Кравцов

**ЖЕЛЕЗОБЕТОН И ЕГО
СОСТАВЛЯЮЩИЕ.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ
ЧАСТЬ 2**

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство и 08.04.01 Строительство.

Оренбург

2017

УДК 624.012.41

ББК 691.32

К 30

Рецензент - кандидат технических наук, доцент Л.В.Солдатенко

Кравцов, А.И.

К 30 Железобетон и его составляющие. Определение свойств: в 2 ч. Часть 2. учебное пособие / А. И. Кравцов; Оренбургский гос. ун -т. - Оренбург: ОГУ, 2017-124 с

ISBN 978-5-7410-1755-5

Во второй части пособия изложены краткие сведения об основных свойствах легких бетонов и их составляющих, требованиях предъявляемых к ним стандартами, а также методика проведения лабораторных работ по испытанию компонентов легких бетонов, порядок подбора состава и определения свойств этих бетонов. Рассмотрены вопросы неразрушающего контроля прочности бетона ультразвуковым и механическими методами. Приведены краткое описание оборудования, порядок обработки полученных результатов испытаний и примеры построения градуировочных зависимостей «косвенный показатель неразрушающего контроля – прочность бетона на сжатие».

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство и 08.04.01 Строительство. Материалы пособия могут быть полезны для инженерно-технических работников и предпринимателей, работающих в сфере строительного производства.

УДК 624.012.41

ББК 691.32

ISBN 978-5-7410-1755-5

© Кравцов А.И., 2017

© ОГУ, 2017

Содержание

Введение.....	6
1 Легкие бетоны, общие требования.....	11
1.1 Классификация.....	12
1.2 Технические требования.....	14
1.3 Требования к бетонным смесям.....	20
1.4 Материалы для легких бетонов.....	20
1.4.1 Вяжущие для легких бетонов.....	20
1.4.2 Заполнители для легких бетонов.....	21
1.4.3 Требования к добавкам и воде.....	25
2 Определение свойств пористых заполнителей.....	27
2.1 Определение средней плотности зерен мелкого пористого заполнителя в цементном тесте.....	27
2.1.1 Общие сведения.....	27
2.1.2 Аппаратура и материалы.....	27
2.1.3 Подготовка к испытанию.....	28
2.1.4 Проведение испытания.....	28
2.1.5 Обработка результатов.....	29
2.2 Определение средней плотности зерен крупного заполнителя в бетоне.....	29
2.2.1 Подготовка к испытанию.....	29
2.2.2 Проведение испытания.....	30
2.2.3 Обработка результатов.....	30
2.3 Определение плотности крупного заполнителя (способ 2).....	31
2.4 Определение водопотребности пористого песка.....	32
2.4.1 Приборы и материалы.....	32
2.4.2 Подготовка пробы.....	32
2.4.3 Проведение испытания.....	33
2.4.4 Обработка результатов.....	33
3 Расчёт состава легких бетонов.....	34

3.1	Определение состава конструктивно-теплоизоляционного “плотного” керамзитобетона	34
3.1.1	Исходные данные	35
3.1.2	Аппаратура и материалы	35
3.1.3	Методика расчета	36
3.1.4	Проведение опытных работ.....	40
3.1.5	Обработка результатов	41
3.2	Определение состава высокопрочного легкого бетона на пористых заполнителях	44
3.2.1	Исходные данные	44
3.2.2	Аппаратура и материалы	45
3.2.3	Методика расчета	45
3.3	Определение состава поризованного легкого бетона на пористых заполнителях	52
3.3.1	Исходные данные	52
3.3.2	Аппаратура и материалы	52
3.3.3	Методика расчета	53
3.4	Определение состава крупнопористого бетона на пористом заполнителе	57
3.4.1	Общие сведения.....	57
3.4.2	Исходные данные	58
3.4.3	Аппаратура и материалы	58
3.4.4	Методика расчета	58
3.4.5	Проведение опытных работ.....	60
3.4.6	Обработка результатов	61
4	Определение прочности бетона неразрушающими методами	62
4.1	Методика применения неразрушающего ультразвукового контроля прочности бетона.....	63
4.1.1	Аппаратура и материалы	64
4.1.2	Подготовка и проведение испытания.....	64
4.1.3	Способы прозвучивания бетона.....	66

4.1.4 Особенности построения градуировочной зависимости по результатам испытаний ультразвуковым методом бетонных образцов-кубов и механических испытаний тех же образцов-кубов.....	69
4.1.5 Особенности построения градуировочной зависимости по результатам параллельных испытаний ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием или испытаний образцов, отобранных из конструкций.....	72
4.1.6 Методика установления градуировочной зависимости	74
4.1.7 Отбраковка результатов испытаний.....	75
4.1.8 Параметры градуировочной зависимости	76
4.1.9 Корректировка градуировочной зависимости.....	76
4.1.10 Условия применения градуировочной зависимости	77
4.1.11 Пример установления и оценки параметров градуировочной зависимости.....	77
4.1.12 Порядок работы с прибором УК-14П	84
4.2 Механические методы неразрушающего контроля.....	87
4.2.1 Средства измерений, аппаратура и инструмент.....	95
4.2.2 Подготовка к испытаниям	97
4.2.3 Построение градуировочной зависимости по контрольным образцам...	100
4.2.4 Проведение испытаний.....	102
4.2.5 Установление уравнения градуировочной зависимости.....	108
4.2.6 Параметры градуировочной зависимости	109
4.2.7 Корректировка градуировочной зависимости.....	110
4.2.8 Условия применения градуировочной зависимости	111
4.2.9 Методика привязки градуировочной зависимости.....	111
4.2.10 Пример установления градуировочной зависимости.....	112
4.2.11 Назначение числа участков испытаний сборных и монолитных конструкций	114
4.2.12 Обработка и оформление результатов	115
5 Литература рекомендуемая для изучения	118
Список использованных источников	119

Введение

Вторая часть учебного пособия «Железобетон и его составляющие. Определение свойств» посвящена легким бетонам и материалам для их производства, а также некоторым методам неразрушающего контроля прочности бетонных изделий и железобетонных конструкций. Одна из важных составляющих железобетона - арматура в данном пособии не рассматривается т.к. более подробное изучение её свойств предусматривается в других курсах.

В последнее время государственные стандарты в строительной области претерпели значительное обновление [1]; введены в действие в качестве национальных стандартов Российской Федерации с 1 января 2014 г. ГОСТ 17624-2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности»; с 1 июля 2015 г. ГОСТ 25820-2014 «Бетоны легкие. Технические условия» и ГОСТ 32496-2013 «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия»; с 1 апреля 2016 г. ГОСТ 22690-2015 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля» и т.д.

15 февраля 2015 года вступил в силу Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС) 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог».

Технический регламент «Безопасность автомобильных дорог» был разработан в числе первоочередных. Данный документ устанавливает минимально необходимые требования безопасности к автомобильным дорогам общего пользования и процессам их проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта и эксплуатации, а также формы и порядок определения соответствия этим требованиям. Он не распространяется на автодороги, не относящиеся к общему пользованию (спортивные трассы, дороги промышленных, лесных предприятий и т.д.). Документ разработан для защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей, обеспечения энергетической эффективности и ресурсосбережения на стадиях проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта и эксплуатации автомобильных дорог [2].

По заданию Федерального дорожного агентства были подготовлены 132 стандарта, содержащих технические параметры, правила и методы исследований (испытаний), измерений, необходимых для применения и исполнения требований Технического регламента. Актуализированы два перечня стандартов на безопасность автомобильных дорог, а именно:

- ГОСТы на требования.
- ГОСТы на испытания.

В перечни вошли обновленные стандарты, при этом они условно разделены на две группы: ГОСТы, которые применяются до 1 сентября 2016 г. и те, которые будут в силе после этой даты. Именно с этого момента также заканчивается переходный период производства и выпуска в обращение продукции по имеющимся национальным документам об оценке соответствия. Всего первый перечень включает 214 стандартов, а второй – 159 стандартов [2].

В сентябре 2016 года закончился переходный период, после которого все дорожно-строительные материалы и изделия, реализуемые на территории Евразийского экономического союза, попадающие в сферу действия ТР ТС 014/2011, обязаны проходить процедуру обязательного подтверждения соответствия, и производителям необходимо предпринимать все необходимые действия для получения документов (сертификаты, декларации), разрешающих выпуск дорожно-строительных материалов и изделий в обращение на рынке Евразийского экономического союза [2].

В развитие Технического регламента впервые на межгосударственном уровне разработаны стандарты, устанавливающие требования к изысканиям, проектированию; эксплуатации и к изделиям и дорожно-строительным материалам. Например, такие стандарты как:

- ГОСТ 33174-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Цемент. Технические требования;

- ГОСТ 33148-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Плиты дорожные железобетонные. Технические требования;

- ГОСТ 33133-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования;

- ГОСТ 32824-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный. Технические требования;

- ГОСТ 32703-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования и др.

При введении подобных стандартов можно отметить ряд положительных моментов:

- более полный учет современных требований и условий эксплуатации дорог;

- координация нормативных требований в Евразийском экономическом союзе с Европейским союзом.

Наряду с этим вопросы нормативного регулирования дорожной отрасли вызывают некоторые нарекания со стороны российских производителей.

В частности изменились требования к вяжущим и заполнителям для дорожных работ, в тоже время методики подбора составов с учетом новых требований не создано. Для сертификации и декларации качества материалов лабораториям требуется приобретение нового оборудования, например, претерпели изменение размеры ячеек сит для ситового анализа песка и щебня и, следовательно, требования к гранулометрическому составу материалов.

Т.о. для полномасштабного функционирования ТР ТС 014/2011 необходимо максимально ускорить разработку и утверждение недостающих нормативных документов, необходимых для проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог, в частности на:

– асфальтобетоны дорожные и щебеночно-мастичные, разработанные с учетом требований новых межгосударственных стандартов на каменные материалы и битум;

– цементобетоны для дорожных одежд;

– щебеночно-песчаные смеси;

– грунты и смеси щебеночно-песчаные, укрепленные органическими и неорганическими вяжущими;

– проектирование дорожных одежд;

– требования к приемке дорожно-строительных работ.

Необходима гармонизация нормативных требований на строительные материалы не только с европейскими стандартами, но и со всей внутриотраслевой нормативной базой[2].

В настоящий момент межгосударственную проверку и согласование проходит проект единого технического регламента, касающегося безопасности зданий, сооружений, строительных материалов и изделий для стран – участниц Евразийского экономического союза, Планируется, что регламент вступит в силу с 1 января 2018 г. В связи с этим не исключено очередное обновление нормативной базы строительных материалов.

Изложенные в пособии методики определения свойств материалов для легких бетонов и неразрушающего контроля прочности максимально приближены к содержанию и стилю, принятому в соответствующих нормативных документах. Это обусловлено следующими причинами:

- масштабными изменениями в государственных стандартах для строительной индустрии;

- при использовании вольных трактовок вопросов связанных с нормативными требованиями к материалам и определением их свойств в методической литературе, переход к непосредственному применению положений нормативных документов становится затруднительным т.к. студенты с трудом ориентируются в тексте стандартов и соответственно не могут применить их на практике.

В пособии представлена методика определения основных свойств заполнителей для лёгких бетонов и краткий порядок подбора составов лёгких теплоизоляционных, конструкционных, поризованных и крупнопористых бетонов.

Приведены примеры установления градуировочных зависимостей для неразрушающих методов определения прочности бетона и методика их применения при контроле прочности.

Учебное пособие предназначено для студентов (бакалавров и магистрантов), обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство и 08.04.01 Строительство. Материалы пособия могут быть полезны для инженерно-технических работников и предпринимателей, работающих в сфере строительного производства.

1 Легкие бетоны, общие требования

Установление закономерной связи между свойствами бетона и его составом с учетом технологии изготовления является важнейшей проблемой науки о бетоне. В отношении легких бетонов сложность задачи усугубляется тем, что отсос воды пористым заполнителем существенно влияет как на свойства бетонной смеси, так и на процесс твердения бетона.

Назначение ориентировочного исходного состава для последующего изготовления пробных замесов производится различными способами с использованием расчетных формул, таблиц, графиков. Окончательный состав бетона определяется на основе опытной проверки. При этом бетон должен удовлетворять заданным требованиям по плотности и прочности при принятом методе укладки и уплотнения.

Многие ученые за рубежом: Дж. А. Хансен, Д.К. Тейчине, З.Шорт, Ж.Леви, и в России: И.Н. Ахвердов, Г.А. Бужевич, А.И. Ваганов, Н.А. Попов, Б.Г. Скрамтаев внесли свой вклад в развитие теории и технологии легкого бетона.

Область применения того или иного вида легкого бетона обусловлена комплексом технологических и экономических факторов, причем одним из важнейших преимуществ легких бетонов перед тяжелыми является значительное 25-30% облегчение конструкции при сохранении эксплуатационных свойств.[3]

Легкие бетоны – это бетоны на цементном вяжущем, пористом крупном неорганическом заполнителе, пористом (природном и/или искусственном) или плотном мелком неорганическом заполнителе и добавках, регулирующих свойства бетонной смеси и бетона.

В соответствии с ГОСТ 25820 [4] различают:

- бетон теплоизоляционный: Бетон, предназначенный для изготовления теплоизоляционных изделий, устройства теплоизоляции чердаков, кровель, полов, теплоизоляции стен в колодцевой кладке, для теплоизоляции строительных конструкций, оборудования и трубопроводов;

- бетон конструкционно-теплоизоляционный: Бетон, к которому предъявляются требования по механическим свойствам, долговечности и теплотехническим показателям;

- бетон конструкционный: Бетон, к которому предъявляются требования по механическим свойствам и долговечности;

- бетон плотной структуры (плотный): Бетон с мелким заполнителем, у которого все пространство между зернами крупного пористого заполнителя заполнено затвердевшим раствором и порами вовлеченного воздуха, образованными за счет применения добавок, регулирующих пористость бетонной смеси и бетона;

- бетон поризованной структуры (поризованный): Бетон без мелкого заполнителя с расходом крупного пористого заполнителя не менее $0,85 \text{ м}^3/\text{м}^3$ бетона, у которого все пространство между зернами крупного пористого заполнителя заполнено затвердевшим поризованным цементным камнем, образованным за счет применения добавок, регулирующих пористость бетонной смеси и бетона;

- бетон крупнопористой структуры (крупнопористый): Беспесчаный бетон, в котором крупный пористый заполнитель скреплен небольшим количеством цементного камня, который, обволакивая тонким слоем зерна крупного заполнителя, не заполняет межзерновую пустотность заполнителя. Структура крупнопористого бетона характеризуется зернистым строением и открытой непрерывной (сквозной) пористостью[4].

1.1 Классификация

Легкие бетоны в соответствии с требованиями ГОСТ 25820 [4] классифицируют по следующим признакам:

- основное назначение;
- вид крупных пористых заполнителей;
- структура;
- способ поризации;

- прочность;
- средняя плотность;
- теплопроводность.

По основному назначению бетоны подразделяют:

- на теплоизоляционные;
- конструкционно-теплоизоляционные;
- конструкционные.

По виду крупного пористого заполнителя бетоны подразделяют:

- на керамзитобетон (бетон на керамзитовом щебне или гравии);
- шунгизитобетон (бетон на шунгизитовом щебне или гравии);
- аглопоритобетон (бетон на аглопоритовом щебне или гравии);
- шлакопемзобетон (бетон на шлакопемзовом щебне или гравии);
- бетон на стекловидных пористых заполнителях (на остеклованном шлаковом гравии, щебне или гранулированном пеностекле, грануляте пеностекла и т. д.);
- перлитобетон (бетон на вспученном перлитовом песке и щебне);
- бетон на щебне из пористых горных пород (бетон на туфе, пемзе, вулканическом шлаке);
- термолитобетон (бетон на термолитовом щебне или гравии);
- вермикулитобетон (бетон на вспученном вермикулите);
- керамзитоперлитобетон (бетон на керамзитовом гравии и перлитовом вспученном песке);
- шлакобетон (бетон на золошлаковых смесях тепловых электростанций (ТЭС) или на топливном шлаке, гранулированном доменном или электротермофосфорном шлаке).

Допускается применять другие виды пористых заполнителей, на которые имеются стандарты или технические условия, например бетон на обжиговом или безобжиговом зольном гравии и т. д.

По структуре бетоны подразделяют:

- на плотные;

- поризованные;
- крупнопористые.

По способу порообразования легкие бетоны подразделяют на бетоны, поризуемые:

- пеной;
- газом;
- воздухововлекающими добавками [4].

1.2 Технические требования

Теплоизоляционные бетоны должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- теплопроводность бетона в сухом состоянии не более $0,14 \text{ Вт/(м } ^\circ\text{C)}$;
- марка по средней плотности не выше D500;
- прочность на сжатие не менее $0,3 \text{ МПа}$.

Конструкционно-теплоизоляционные бетоны должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- теплопроводность бетона в сухом состоянии — по проекту;
- марка по средней плотности не ниже D500;
- прочность на сжатие не менее $1,0 \text{ МПа}$;
- марка по морозостойкости не ниже F25.

Конструкционные бетоны должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- марка по средней плотности не выше D2000;
- прочность на сжатие не менее $12,5 \text{ МПа}$;
- марка по морозостойкости. Марку бетона по морозостойкости следует назначать в зависимости от требований, предъявляемых к конструкциям, режима их эксплуатации и условий окружающей среды в соответствии с ГОСТ 31384[5] и [6].

Для бетона надземных конструкций, подвергаемых атмосферным воздействиям окружающей среды при расчетной отрицательной температуре наружного воздуха в холодный период от минус 5 °С до минус 40 °С, марку бетона по морозостойкости принимают не ниже F50, при расчетной температуре наружного воздуха выше минус 5 °С — не ниже F25.

- марка по водонепроницаемости. Марку бетона по водонепроницаемости следует назначать в зависимости от требований, предъявляемых к конструкциям, режима их эксплуатации и условий окружающей среды в соответствии с [6].

Для бетона надземных конструкций, подвергаемых атмосферным воздействиям при расчетной отрицательной температуре наружного воздуха выше минус 40 °С, а также для бетона наружных стен отапливаемых зданий марку бетона по водонепроницаемости не нормируют.

Характеристики.

Основными нормируемыми и контролируемыми показателями качества бетона являются:

- класс по прочности на сжатие В;
- класс по прочности на осевое растяжение B_t ;
- класс по прочности на растяжение при изгибе B_{tb} ;
- марка по средней плотности D;
- марка по морозостойкости F;
- марка по водонепроницаемости W;
- теплопроводность (коэффициент теплопроводности) в сухом состоянии λ_0 .

Для бетона, предназначенного для бетонных и железобетонных изделий и конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, дополнительно нормируют и контролируют показатели качества бетона по ГОСТ 31384[3].

Бетоны должны иметь следующие классы по прочности в проектном возрасте:

- на сжатие: B0.75; B1; B1,5; B2; B2,5; B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B22,5; B25; B30; B35; B40;

- на осевое растяжение: $B_t0,8$; $B_t1,2$; $B_t1,6$; B_t2 ; $B_t2,4$; $B_t2,8$; $B_t3,2$;

-на растяжение при изгибе: $B_{tb}0,4$; $B_{tb}0,8$; $B_{tb}1,2$; $B_{tb}1,6$; $B_{tb}2,0$; $B_{tb}2,4$; $B_{tb}2,8$; $B_{tb}3,2$; $B_{tb}3,6$; $B_{tb}4,0$.

Для изделий (камни, блоки, теплоизоляционные плиты) и монолитной теплоизоляции чердаков, кровель, полов, трехслойных панелей и т. д., запроектированных без учета требований обеспеченности, прочность бетона характеризуют в соответствии с ГОСТ 6133[5] марками по прочности на сжатие: М3, М5, М10, М15, М25, М35, М50, М75, М100.

По средней плотности в сухом состоянии бетоны подразделяют на марки: D200, D250, D300, D350, D400, D450, D500, D550, D600, D700, D800, D900, D1000, D1100, D1200, D1300, D1400, D1500, D1600, D1700, D1800, D1900, D2000.

По морозостойкости бетоны подразделяют на марки: F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500.

По водонепроницаемости бетоны подразделяют на марки: W2, W4, W6, W8, W10, W12.

Отпускная влажность бетона в изделиях заводского изготовления должна соответствовать требованиям ГОСТ 13015[8].

Бетон относится к негорючим материалам (НГ).

Основные показатели качества бетона в конструкциях и изделиях конкретных видов устанавливают в соответствии с нормами проектирования и указывают в стандартах, технических условиях, проектной и технологической документации на изделия и монолитные конструкции.

Требования к бетонам должны быть обеспечены изготовителем изделий и конструкций в проектном возрасте, который указывают в проектной документации и назначают в соответствии с нормами проектирования в зависимости от условий твердения бетона, способов возведения и сроков фактического нагружения монолитных конструкций и изделий. Если проектный возраст не указан, технические требования к бетону должны быть обеспечены в возрасте 28 сут.

Нормируемые значения отпускной и передаточной (для предварительно напряженных изделий) прочностей бетона устанавливаются в проекте и указываются в стандарте или технических условиях на изделие.

Нормируемые значения прочности и средней плотности монолитных конструкций в промежуточном возрасте (после снятия несущей опалубки и др.) устанавливаются в технологической документации (проекте производства работ или технологическом регламенте).

В зависимости от условий работы бетона в различных средах эксплуатации в стандартах и технических условиях на изделия и рабочих чертежах бетонных и железобетонных конструкций следует устанавливать дополнительные требования к качеству бетонов по нормируемым показателям, предусмотренным ГОСТ 31384 [5].

Основные параметры бетонов в зависимости от назначения приведены в таблице 1.1.

Теплопроводность (коэффициент теплопроводности) λ_0 бетонов в сухом состоянии, к которым предъявляются требования по теплопроводности, должна соответствовать требованиям стандартов, технических условий и проектной документации на изделия и монолитные конструкции конкретных видов [4].

Таблица 1.1-Основные характеристики легких бетонов в зависимости от назначения

Назначение бетона	Марка бетона		Класс (марка) бетона по прочности на сжатие для различных видов бетона							
	По средней плотности	по морозостойкости (не ниже)	Керамзитобетон, шунгзитобетон, бетон на зольном гравии и пористом песке	Керамзитобетон, шунгзитобетон, бетон на зольном гравии без песка	Бетон на щебне из пористых горных пород	Бетон нашлакопемзовом щебне	Бетон на стекловидном пористом заполнителе	Бетон на золашлаковых смесях ТЭС, Пористом топливном шлаке, аглопоритовом щебне	Перлитобетон	Вермикулитобетон
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Теплоизоляционный	D200	Не нормируется	-	M3-M5	-	-	M3-M5	-	-	M3-M5
	D300		-	-	-	-	-	-	-	-
	D400		M3-M5	M3-M5	-	-	M5-M10	-	M5-M10; B0,75-B1	M5-M10; B0,75-B1
	D500		M5-M15; B0,75-B1,5	M5-M15; B0,75-B1	-	-	M5-M15; B0,75-B1	-	M 10-M 15; B0,75-B1,5	M10-M15; B0,75-B1
			M10-M25; B1-B2	M10-M15; B1-B2	-	-	M 10-M 15; B0,75-B1,5	-	B1-B2	B1-B2
					-	-		-		

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Конструкционно-теплоизоляционный	D500	Назначают по [6]	B0,75-B1,5	B0,75-B1,5	-	-	B1-B2,5	-	-	-
	D600		B1-B2,5	B1-B1,5	-	-	B0,75-B3,5	--	B2,0; B2,5	-
	D700		B1,5-B3,5	B1,5-B5	-	-	B1-B5	-	B2,5; B3,5	-
	D800		B2-B5	B2,5-B7,5	B2,5	-	B1,5-B7,5	-	B2,5-B5	-
	D900		B2,5-B7,5	B3,5-B10	B2,5;B3,5	-	-	-	B2,5-B7,5	-
	D1000		B3,5-B10	B3,5-B10	B2,5-B5	B2,5	-	B2,5	B5-B10	-
	D1100		B3,5-B10	B3,5-B10	B2,5-B7,5	B2,5; B3,5	-	B2,5; B3,5	B5-B10	-
	D1200		B5-B10	B3,5-B10	B2,5-B10	B2,5-B5	-	B2,5-B5	B7,5; B10	-
	D1300		B5-B10	B3,5-B10	B3,5-B10	B2,5-B7,5	-	B3,5-B7,5	B10	-
	D1400		B5-B10	B3,5-B10	B5-B10	B3,5-B10	-	B5-B10	-	-
	D1500		-	-	B7,5; B10	B5-B10	-	B7,5;B10	-	-
	D1600		-	-	B10	B7,5; B10	-	B10	-	-
Конструкционный	D1100	Назначают по [6]	B12,5	-	-	-	-	-	B12,5	-
	D1200		B12,5-B20	-	B12,5	B12,5	-	-	B12,5	-
	D1300		B12,5-B20	-	B12,5	-	-	-	B12,5;B15	-
	D1400		B12,5-B30	-	-	-	-	-	B12,5;B15	-
	D1500		B12,5-B30	-	B12,5;B15	B12,5; B15	-	B12,5	B15	-
	D1600		B15-B40	-	B12,5-B20	B12,5-B20	-	B12,5-B20	B15	-
	D1700		B15-B40	-	B15-B22,5	B12,5-B25	-	B12,5-B22,5	-	-
	D1800		B20-B40	-	B15-B25	B20-B30	-	B15-B25	-	-
	D1900		B25-B40	-	B20-B30	B22,5-B40	-	B20-B30	-	-
	D2000		B25-B40	-	B25-B30	B40	-	B25; B30	-	-

1.3 Требования к бетонным смесям

Бетонные смеси должны соответствовать требованиям ГОСТ 7473 [9].

Объем межзерновых пустот в уплотненной бетонной смеси для бетона плотной и поризованной структур не должен превышать 3 %.

Допускается в обоснованных случаях, предусмотренных нормативными и проектными документами на изделие и конструкцию конкретного вида, применять бетонную смесь с объемом межзерновых пустот не более 6 %.

Для теплоизоляционного бетона крупнопористой структуры объем межзерновых пустот в бетонной смеси не нормируется.

Объем вовлеченного в бетонную смесь воздуха, образующегося при использовании добавок, изменяющих поровую структуру бетона, не должен превышать:

12 %— для бетона на мелком заполнителе;

25 %— для бетона без мелкого заполнителя [4].

1.4 Материалы для легких бетонов

1.4.1 Вяжущие для легких бетонов

В качестве вяжущих следует применять цементы по ГОСТ 10178 [10], ГОСТ 22266 [11], ГОСТ 31108 [12].

Вид, класс (марку) цемента следует выбирать в соответствии с назначением изделий и конструкций, условиями их эксплуатации по ГОСТ 31384 [5] и ГОСТ 25820 [4], требуемых классов бетона по прочности, марок по морозостойкости и водонепроницаемости с учетом требований стандартов, технических условий и проектной документации на эти изделия и конструкции

1.4.2 Заполнители для легких бетонов

Крупные и мелкие пористые заполнители должны соответствовать требованиям: ГОСТ 32496-2013 «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия»; ГОСТ 10832-2009 «Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия»; ГОСТ 12865-67 «Вермикулит вспученный»; ГОСТ 22263-76 «Щебень и песок из пористых горных пород. Технические условия»; ГОСТ 25592-91 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия»; ГОСТ 26644-85 «Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона. Технические условия».

К заполнителям применяемым при приготовлении легких бетонов предъявляются следующие требования

Крупный пористый заполнитель следует применять в виде отдельно дозируемых фракций, мм: 5-10, 10-20 и 20-40.

Допускается применение крупного пористого заполнителя в виде смесей фракций 5-20 и 10-40 мм.

Наибольший размер зерен крупного заполнителя не должен превышать $\frac{3}{4}$ расстояния в свету между арматурными стержнями и $\frac{1}{3}$ толщины изделий.

Фракции пористых заполнителей и их соотношения выбирают при подборе состава бетона с учетом требований настоящего стандарта к крупному заполнителю по насыпной плотности и прочности на сжатие. При этом использование гравиеподобных заполнителей фракции 20-40 мм для конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных бетонов, а также для всех видов бетонных смесей при монолитном строительстве не допускается.

Марка крупного пористого заполнителя по насыпной плотности для теплоизоляционного бетона не должна быть выше М400, для конструкционного и конструкционно-теплоизоляционного бетонов - М1200.

Крупные пористые заполнители по насыпной плотности выбирают в зависимости от их назначения, структуры бетона, требований к прочности и

средней плотности бетона, вида и свойств применяемого мелкого заполнителя, вида крупного заполнителя (гравий, щебень) (таблицы 1.2 - 1.4).

Таблица 1.2-Насыпная плотность крупных пористых гравиеподобных заполнителей для конструкционно-теплоизоляционных бетонов классов В 2,5 - В10

Класс бетона по прочности на сжатие	Марка бетона по средней плотности	Максимальная марка крупного заполнителя по насыпной плотности в зависимости от вида песка				
		Дробленый песок из гравия или золы-уноса ТЭС	Песок из щебня пористых пород и шлаков	Вспученный перлитовый песок марок по насыпной плотности М200, М250	Без песка	Природный песок
В2,5	D600	-	-	M350	M300	-
	D700	M300	-	M400	M400	-
	D800	M400	M350	M450	M500	M300
	D900	M500	M450	M500	M600	M350
В3,5	D700	-	-	M400	M350	-
	D800	M350	-	M500	M450	-
	D900	M500	M350	M600	M500	M300
	D1000	M600	M500	-	M600	M500
	D1100	-	M600	-	-	M600
В5	D800	M300	-	M400	M350	-
	D900	M450	M300	M500	M500	-
	D1000	M500	M500	M600	M600	M450
	D1100	M600	M600	-	-	M500
	D1200	-	-	-	-	M600
В7,5	D900	M400	-	M400	M400	--
	D1000	M500	M350	M500	M500	-
	D1100	M600	M500	M600	M600	M450
	D1200	-	M600	-	-	M500
	D1300	-	-	-	-	M600
В10	D1000	M400	-	M450	-	-
	D1100	M500	M450	M500	-	M400
	D1200	M600	M500	M600	-	M450
	D1300	-	M600	-	-	M500
	D1400	-	-	-	-	M600

Примечание -Данные, приведенные в таблице, относятся к бетонам с воздухововлекающими добавками. При приготовлении бетонных смесей без воздухововлекающих добавок значения насыпной плотности крупного пористого заполнителя уменьшают на 50—100 кг/м³.

Таблица 1.3- Насыпная плотность крупных пористых щебневидных заполнителей для конструкционно-теплоизоляционных бетонов классов В 2,5 - В10

Класс бетона по прочности на сжатие	Марка бетона по средней плотности	Максимальная марка крупного заполнителя по насыпной плотности в зависимости от вида песка		
		Дробленый песок из гравия (кроме перлитового)	Вспученный перлитовый песок марок по насыпной плотности М100 и М250	Песок из щебня пористых пород и шлаков или золы-уноса ТЭС
1	2	3	4	5
В2,5	D700	-	M400	M300
	D800	M300	M500	M400
	D900	M400	M600	M500
	D1000	M500	M700	M600
	D1100	M600	M800	M700
	D1200	M700	M900	M800
В3,5	D700	-	M300	
	D800	-	M400	M300
	D900	M300	M500	M400
	D1000	M400	M600	M500
	D1100	M500	M700	M600
	D1200	M600	M800	M700
	D1300	M700	M900	M800
	D1400	M800		M900
В5	D800	-	M300	-
	D900	-	M400	-
	D1000	M300	M500	-
	D1100	M400	M600	-
	D1200	M500	M700	-
	D1300	M600	M800	-
	D1400	M700	M900	-
	D1500	M800		-
В7,5	D900	-	M300	-
	D1000	-	M400	M300
	D1100	M300	M500	M400
	D1200	M400	M600	M500
	D1300	M500	M700	M600
	D1400	M600	M800	M700
	D1500	M700	M900	M800
	D1600	M800	-	M900

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5
В10	D1000	-	M350	-
	D1100	-	M400	M350
	D1200	M350	M450	M400
	D1300	M400	M500	M450
	D1400	M500	M600	M600
	D1500	M600	-	M700
	D1600	M700	-	M800

Примечание - Данные, приведенные в таблице, относятся к бетонам, приготовленным с воздухововлекающими добавками. При приготовлении бетонных смесей без воздухововлекающих добавок значения насыпной плотности крупного пористого заполнителя уменьшают на 50 -100 кг/м³.

Таблица 1.4-Насыпная плотность крупных пористых заполнителей для конструкционных бетонов классов В12,5—В40

Класс бетона по прочности	Марка бетона по средней плотности	Максимальная марка крупного заполнителя по насыпной плотности в зависимости от вида песка			
		Гравий		Щебень	
		Природный песок	Пористый песок	Природный песок	Пористый песок
В12,5 В20	D1200	-	M500	M400	-
	D1300	-	M600	M500	M400
	D1400	M500	M700	M600	M500
	D1500	M600	M800	M700	M600
	D1600	M700	-	-	M700
	D1700	M800	-	-	M800
	D1800	M900	-	-	M900
В22,5 В40	D1400	-	M600	-	-
	D1500	-	M700	-	-
	D1600	M600	M800	-	-
	D1700	M700	-	-	M700
	D1800	M800	-	M600	M800
	D1900	M900	-	M700	M900
	D2000	-	-	M800	M1000

Марку крупного пористого заполнителя по прочности в зависимости от прочности бетона принимают по таблице 1.5. Для теплоизоляционного бетона

должен применяться пористый заполнитель с маркой по прочности не ниже П25.

Таблица 1.5- Марка крупного пористого заполнителя по прочности в зависимости от прочности бетона

Класс бетона по прочности на сжатие	Минимальная марка заполнителя по прочности	Класс бетона по прочности на сжатие	Минимальная марка заполнителя по прочности
B0,75	П15	B20	П125
B1,5	П25	B22,5	П125
B2,5	П35	B25	П150
B3,5	П50	B27,5	П150
B5	П75	B30	П200
B7,5	П100	B35	П200
B10	П125	B40	П300
B12,5			
B15			

1.4.3 Требования к добавкам и воде

Для регулирования и улучшения структуры и свойств бетонной смеси и бетона следует применять химические добавки, соответствующие требованиям ГОСТ 24211 [13], а также минеральные дисперсные микрозаполнители, соответствующие требованиям нормативных документов на них.

Виды добавок и требования к ним, обеспечивающие качество бетонов в соответствии с требованиями настоящего стандарта, должны быть приведены в технологической документации на приготовление бетонной смеси.

Для получения поровой структуры бетона применяют газо- и пенообразователи, а также воздухововлекающие добавки, обеспечивающие заданную среднюю плотность и требуемые физико-технические показатели бетона.

В качестве газообразователя применяют алюминиевую пудру по ГОСТ 5494 [14] или пасту на основе алюминиевой пудры. В качестве пенообразователей применяют синтетические и белковые пенообразователи. В качестве воздухововлекающих добавок применяют добавки, соответствующие требованиям ГОСТ 24211.

Совместимость добавок с компонентами бетона и между собой должна быть проверена при подборе состава бетона.

Вода для затворения бетонной смеси и приготовления растворов химических добавок должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732 [15].

Применение в исключительных случаях материалов для бетона, показатели качества и количество которых не соответствуют требованиям настоящего стандарта, должно быть обосновано предварительными исследованиями в аккредитованных лабораториях для подтверждения возможности и технико-экономической целесообразности получения бетонных смесей и бетонов с требуемыми по проекту нормируемыми показателями качества и требуемой долговечностью [3].

2 Определение свойств пористых заполнителей

2.1 Определение средней плотности зерен мелкого пористого заполнителя в цементном тесте

2.1.1 Общие сведения

При расчетах составов бетонов на пористых заполнителях с использованием метода абсолютных объемов необходимо учитывать объем воды, поглощаемой крупным и мелким заполнителями, которые в процессе приготовления, транспортирования и укладки бетонной смеси находятся в цементном тесте.

Лабораторной работой предусматривается определение средней плотности зерен пористого мелкого и крупного заполнителя в цементном тесте (ГОСТ 9758-2012)[16], т.е. той же самой среде, в которой находится пористый заполнитель в бетонной смеси. Метод предложен к.т.н. В.Г. Довжиком, при этом в расчет принимается объем зерен за вычетом объема открытых пор, заполненных цементным тестом, и объема тех сообщающихся пор, которые заполняются водой отсасываемой из цементного теста. Эта методика исключает необходимость учета водопоглощения заполнителя, как при самом определении средней плотности зерен пористых заполнителей, так и при расчетах по методу абсолютных объемов.

При выполнении работы взвешивание материалов производится с точностью до 0.1 % [3].

2.1.2 Аппаратура и материалы

Весы лабораторные по ГОСТ Р 53228-2008 [17], обеспечивающие точность взвешивания до 0,1 %. Сита с сеткой 0315, 063 и 1.25 по ГОСТ 6613-86 [168] и с круглыми отверстиями диаметром 5, 10, 20, 40 мм. Лабораторная виброплощадка по ГОСТ 10181[19]. Сушильный электрошкаф. Портландцемент по ГОСТ 10178-85[10]. Пористый песок фракций 0-5 мм. Кварцевый песок фракций 0-5 мм с модулем крупности 2-2,5.

2.1.3 Подготовка к испытанию

Пористый песок высушивают до постоянной массы и просеивают через сита с заданными размерами отверстий (например 5 и 1,25 мм , 5 и 0.63 мм и т.д). Объем пробы 2 литра.

Просеянный песок загружают в мерный сосуд в количестве примерно равном $0,9 \text{ дм}^3$.Отмеренный песок взвешивается. Взвешивается цемент из расчета 1 кг на 1 дм^3 объема мерного сосуда. Взвешивается мерный сосуд объемом 1 дм^3 [3].

2.1.4 Проведение испытания

Смачивается противень и на нем смешивается пористый песок и цемент сначала в сухом состоянии, а затем с постепенно наливаемой водой, взятой в количестве 500 мл, которое обеспечивает получение пластическую консистенцию раствора (6-8 см по ГОСТ 5802-86 [20]).Количество израсходованной воды фиксируется с точностью до 1 %.Смесь выдерживается 15 минут.

Готовой смесью заполняется мерный сосуд, в котором она уплотняется на виброплощадке 5-10 секунд до прекращения выделения пузырьков воздуха и обильного выделения цементного теста на поверхности. При этом сосуд должен быть полностью заполнен уплотненной смесью, а поверхность ее заглаживается вровень с краями сосуда .Избыток смеси не используется. Заполненный смесью сосуд взвешивается [3].

2.1.5 Обработка результатов

Вычисляется средняя плотность смеси по формуле:

$$\rho_{\text{см}} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \quad (2.1)$$

где m_1 - масса пустого сосуда, кг;

m_2 масса сосуда, заполненного смесью, кг;

V - объем мерного сосуда, дм^3

Средняя плотность зерен пористого песка в $\text{кг}/\text{дм}^3$ вычисляется с точностью до $0,1 \text{ кг}/\text{дм}^3$ по формуле:

$$\rho_{\text{п}}^{\text{цт}} = \frac{\rho_{\text{см}} \text{П}}{(\text{Ц} + \text{П} + \text{В} - \rho_{\text{см}} \left(\frac{\text{П}}{\rho_{\text{ц}}} + \text{В} \right))} \quad (2.2)$$

где Ц, П и В - расход соответственно цемента, пористого песка и воды на замес, кг;

$\rho_{\text{ц}}$ - плотность цемента, принимаемая равной $3,1 \text{ кг}/\text{дм}^3$.

Определение средней плотности зерен выполняется не менее двух раз. За окончательный результат принимается среднее арифметическое значение.

2.2 Определение средней плотности зерен крупного заполнителя в бетоне

2.2.1 Подготовка к испытанию

Крупный заполнитель высушивается до постоянного веса, рассеивается на фракции 5-10, 10-20, 20-40 мм. Объем пробы испытываемой фракции - 8 дм^3 . Испытываемая фракция загружается в мерный сосуд в количестве равном $3,5 \text{ дм}^3$. Отмеренный заполнитель взвешивается.

Взвешивается цемент в количестве 1,7кг и кварцевый песок в количестве 3,4 кг. Взвешивается мерный сосуд объемом 5 дм³[3].

2.2.2 Проведение испытания

Смачивается противень и на нем смешивается крупный заполнитель кварцевый песок и цемент сначала в сухом состоянии, а затем с постепенно наливаемой водой ,взятой в количестве, которое обеспечивает получение смеси малоподвижной консистенции (жесткость 10-20 с).Количество израсходованной на затворение воды фиксируется с точностью до 1%.

Готовой смесью заполняется сосуд, в котором она уплотняется на виброплощадке в течение 30-60 с, при этом сосуд должен быть заполнен уплотненной смесью, а поверхность ее заглаживается вровень с краями сосуда. Избыток смеси не используется. Заполненный смесью сосуд взвешивается [3].

2.2.3 Обработка результатов

Вычисляется средняя плотность смеси по формуле:

$$\rho_{\text{см}} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \quad (2.3)$$

где m_1 - масса пустого сосуда, кг;

m_2 масса сосуда, заполненного смесью, кг;

V -объем мерного сосуда, дм³

Средняя плотность зерен крупного пористого заполнителя в кг/дм³ вычисляется по формуле

$$\rho_K^{цт} = \frac{\rho_{см} K}{(Ц + K + П_{кв} + В - \rho_{см} (\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П_{кв}}{\rho_{п}} + В))} \quad (2.4)$$

где Ц, К, П_{кв}, В расход соответственно цемента, крупного пористого заполнителя, кварцевого песка и воды на замес, кг;

$\rho_{ц}$ -плотность цемента, принимаемая равной 3,1 кг/дм³;

$\rho_{п}$ -средняя плотность зерен кварцевого песка, которая может быть принята равной 2,65 кг/дм³;

Определение средней плотности зерен выполняется не менее двух раз. За окончательный результат принимается среднее арифметическое значение [3].

2.3 Определение плотности крупного заполнителя (способ 2)

Существует более простая методика, имеющая определенные преимущества перед стандартной, физический смысл которой не достаточно очевиден.

Предварительно подготавливают растворную часть бетонной смеси путем смешивания 1,5 кг цемента, 3 кг кварцевого песка и 0,7 дм³ воды. Отмеряют 2дм³ полученного раствора двухлитровым мерным сосудом, наполняя последний до краев при встряхивании. Отмеренный раствор помещают в предварительно увлажненный противень.

Взвешивают 2дм³ сухого испытуемого пористого гравия (щебня) и смешивают его с раствором до гомогенизации. Полученную смесь выдерживают 15 минут, снова перемешивают, полностью переносят в стандартный сосуд емкостью 5 дм³ и подвергают виброуплотнению 15-30 с.

Сосуд с уплотненной смесью взвешивают, заливают до краев водой и снова взвешивают. Плотность зерен испытуемого заполнителя в цементном тесте определяют по формуле:

$$\rho_k = \frac{m_3}{(3 - V_B)} \quad (2.5)$$

где m_3 - масса 2 дм³ пористого заполнителя , кг;

3 - объем , занимаемый в пятилитровом сосуде заполнителем и доли-
той водой , т.к объем раствора составляет 2 дм³ ;

V_B - объем долитой в сосуд воды, дм³ ;

$$V_B = m_2 - m_1 \quad (2.6)$$

где m_2 -масса сосуда со смесью и долитой водой , кг;

m_1 - масса сосуда со смесью, кг [3].

2.4 Определение водопотребности пористого песка

2.4.1 Приборы и материалы

Весы лабораторные по ГОСТ Р 53228-2008 [17]. Мерные стеклянные цилиндры емкостью 100-250 мл. Сферическая чашка и лопатка для приготовления цементного теста по ГОСТ - 310.3 - 76[21]. Встряхивающий столик и форма конус по ГОСТ 310.4-81 [22].Портландцемент по ГОСТ 10178-85[10].

2.4.2 Подготовка пробы

Из высушенной до постоянной массы пробы песка объемом 1 дм³ отбирают навеску, равную по массе $190 \rho_{п}^{шт}$ в граммах, Средняя плотность зерен песка $\rho_{п}^{шт}$ определяется согласно раздела 2.1.

2.4.3 Проведение испытания

Навеску песка смешивают в предварительно увлажненной сферической чашке с навеской цемента, равной 250 г. Затем в центре сухой смеси делают лунку и выливают в нее отмеренную с точностью до 1 мл воду в количестве 130- 150 мл. Смесь перемешивают в течение 3 минут.

Определяют расплыв конуса на встряхивающем столике. Раствор вновь собирают в чашку, доливают 5-10 мл воды, перемешивают в течение 1 мин и повторяют определение расплыва конуса [3].

Определение повторяют до тех пор, пока расплыв конуса не станет равным 170 мм или более. При этом на одной растворной смеси производят не более 3 определений.

Затем аналогичным способом определяют водоцементное отношение цементного теста $(В/Ц)_т$, обеспечивающее расплыв конуса 170 мм. Навеску цемента берут равной 700-900 г, первоначальный расход воды 150-170 мл [3].

2.4.4 Обработка результатов

По результатам определений строят график зависимости расплыва конуса от водоцементного отношения $(В/Ц)_р$, по которому определяется $(В/Ц)_р$, соответствующее расплыву конуса 170 мм.

Водопотребность песка $В_п$ в процентах вычисляют по формуле:

$$В_п = \frac{((В/Ц)_р - (В/Ц)_т) \cdot 100}{2,3} \quad (2.7)$$

где 2,3 -переводной коэффициент.

3 Расчёт состава легких бетонов

3.1 Определение состава конструктивно-теплоизоляционного “плотного” керамзитобетона

Подбор состава легкого бетона производится по тому же принципу, что и тяжелого бетона, на основе расчетно-экспериментального метода, но с учетом особенностей свойств легких бетонов:

1) для конструктивно-теплоизоляционных бетонов дополнительно к прочности необходимо обеспечить требуемую (невысокую) теплопроводность или связанную с ней среднюю плотность бетона;

2) применение пористых заполнителей в силу их высокого водопоглощения и склонности к расслоению, приводит к необходимости увеличения расхода цементного теста и следовательно средней плотности бетона;

3) применение фракционирования не только крупного, но и “мелкого” заполнителя значительно сокращает расход цемента но и расслоение смеси;

4) кривые зависимости прочности легкого бетона от В/Ц располагаются ниже кривых для обычного бетона, а достижение “предельной” прочности легкого бетона ограничено прочностью пористого заполнителя;

5) оптимальный расход воды достигается при получении бетонной смеси с минимальным коэффициентом выхода и соответственно с максимальной плотностью смеси.

При проектировании состава легкого бетона в качестве пористого заполнителя, как наиболее распространенный, принимается керамзитовый гравий. Зерновой состав заполнителя либо подбирается экспериментально по показателю наименьшей пустотности, либо принимается по таблицам.

Подбор состава бетона ведется без варьирования зерновым составом, варьируется лишь расход цемента, как фактор, оказывающий наибольшее влияние на свойства легкого конструктивно-теплоизоляционного бетона на пористых заполнителях [3].

3.1.1 Исходные данные

Проектная марка (класс бетона) Удобоукладываемость бетонной смеси. Характеристики цемента: наименование; активность (марка); плотность, г /см³; насыпная плотность, кг/ м³ . Характеристики заполнителя: наименование; предельная крупность, мм; средняя плотность каждой фракции (определенная с учетом водопоглощения в бетоне, для пористых), кг/ м³; насыпная плотность каждой фракции и (или) смеси фракций в оптимальном соотношении, кг/ м³; оптимальное соотношение фракций заполнителя, в процентах по массе.

3.1.2 Аппаратура и материалы

Весы лабораторные по ГОСТ Р 53228-2008 [17]. Цилиндры мерные для воды емкостью 500-1000 мл. Прибор для определения подвижности бетонной смеси по ГОСТ 10181-2014 [19] объемом 5,5 дм³. Форма - куб с размерами ребер 200 мм для упрощенного определения жесткости бетонной смеси или прибор Красного по ГОСТ 10181-2014 [19]. Формы-кубы с размерами ребер 100 мм для изготовления опытных образцов по ГОСТ 22685-89 [23]. Металлические линейки длиной не менее 400 мм и 200 мм по ГОСТ 427- 75 [24]. Штыковка - металлический стержень диаметром 16 мм, длиной 650 мм с закругленным концом. Кельмы типа КБ по ГОСТ 9533-81[25]. Емкости для взвешивания компонентов, приготовления смеси фракций заполнителя и бетонной смеси. Виброплощадка лабораторная по ГОСТ 10181-2014 [19]. Камера нормального твердения по ГОСТ 10180 [26]. Пресс по ГОСТ 28840-90 [27]. Кисть для нанесения смазки на формы типа КР-30. Цемент ГОСТ 10178-85 [10]. Пористый заполнитель, высушенный, фракций 0-5; 5-10;-10-20 мм по ГОСТ 9757-90 [28]. Смазка для форм (масло машинное).

3.1.3 Методика расчета

Для предварительного назначения ориентировочного расхода составляющих материалов на 1 м³ бетонной смеси для опытных замесов производятся следующие расчеты.

Назначается ориентировочный расход цемента в зависимости от требуемой прочности бетона, марки керамзита и средней плотности керамзитобетона в соответствии с таблицей 3.1

Справочные данные для расчета состава конструктивно - теплоизоляционного “плотного” керамзитобетона.

Таблица 3.1- Ориентировочный расход цемента М400 для керамзитобетона “плотного” строения различных классов (жесткость бетонной смеси 6-7 с по ГОСТ 10181 [19])

Марка керамзита	Расход цемента кг, для керамзитобетона класса					
	В 3,5	В 5	В 7,5	В 10	В 15	В 22,5
350-400	220/950	230/950	270/1100	-	-	-
450-500	210/1050	220/1050	250/1100	270/1700 300/1400	340/1800 400/1500	-
550-600	200/1150	210/1150	230/1200	250/1800 280/1400	320/1800 380/1500	470/1800 500/1700
700	-	200/1250	220/1250	240/1800 270/1400	310/1800 360/1500	440/1800 470/1700
800	-	-	-	230/1800 250/1500	300/1800 340/1500	480/1800 460/1600

Примечания.

1 Предварительно проверяется, соответствует ли прочность керамзита при сдавливании его марке. Над чертой расход цемента, под чертой средняя плотность бетона в высушенном состоянии.

2 При использовании цемента марки М300 норма его расхода для бетонов класса (В 3,5; В5;В7,5;В10;В 15) соответственно увеличивается на (5, 7, 10, 15 и 20 %), а цемента М 500 для бетонов класса (В7,5;В10;В 15;В20;В 22,5) соответственно уменьшается на (10, 12,14, 16 %).

3 При повышении подвижности бетонной смеси до 2, 5 и 8 см расход цемента повышается на (7, 15, 20 %), при повышении жесткости до 10-14 с расход цемента снижается на 10%.

Назначается ориентировочный расход воды в соответствии с заданным показателем удобоукладываемости смеси по таблице 3.2 в зависимости от вида песка и насыпной плотности керамзитового гравия.

Таблица 3.2-Ориентировочный расход воды на приготовление керамзито-бетонной смеси плотного строения.

Показатель удобоукладываемости смеси		Расход воды, л/м ³ для керамзитобетона на песке		
		кварцевом		
осадка конуса, см	жесткость по ГОСТ 10181-2014, с	при насыпной плотности гравия, кг/м ³		
		300	500	800
-	22-25	175-190	165-180	155-170
-	15-20	185-200	175-190	165-180
-	7-13	195-210	185-200	175-190
-	4-7	205-220	195-210	185-200
3-5	-	215-230	205-220	195-210
6-8	-	225-240	215-230	205-220
9-12	-	235-250	225-240	215-230

Продолжение таблицы 3.2

Показатель удобоукладываемости смеси		Расход воды, л/м ³ для керамзитобетона на песке	
		керамзитовом	
осадка конуса, см	жесткость по ГОСТ 10181-2014, с	при насыпной плотности гравия, кг/м ³	
		300	500
-	22-25	210-225	200-215
-	15-20	225-240	215-235
-	7-13	250-270	240-260
-	4-7	275-300	265-290
3-5	-	300-325	290-315
6-8	-	325-350	315-340
9-12	-	375-390	340-360

Продолжение таблицы 3.2

Примечание - Таблица рассчитана на сухой керамзитовый гравий с размером 20 мм и на песок средней крупности. При размере 10 мм расход воды увеличивается на 20 л на 1 м³, при размере 40 мм - уменьшается на 15 л. При использовании мелкого песка или золы-уноса расход воды увеличивается на 10 л /м³ бетона. Данные относятся к керамзитобетону содержащему 35-45 % песка от общего объема смеси заполнителей. В противном случае расход воды уменьшается или увеличивается на 1-1,5 л на каждый процент изменения содержания песка. Для бетонов на пуццолановых или шлакопортландских цементах расход воды увеличивается на 15-20 л/ м³ бетона.

Рассчитывается ориентировочный расход крупного и мелкого заполнителя в килограммах на 1 м³ бетонной смеси исходя из заданной средней плотности бетона в сухом состоянии по формуле:

$$З = \rho_{\text{б}} - 1,15 Ц \quad (3.1)$$

где $\rho_{\text{б}}$ - заданная средняя плотность бетона в сухом состоянии, кг/м³;

1,15 Ц-масса цементного камня с учетом химически связанной воды, кг;

Ц- расход цемента , назначенный по таблице 3.1, кг.

При этом расход крупного заполнителя по массе в килограммах на 1 м³ бетона равен:

$$К = З - П \quad (3.2)$$

где П- расход мелкого заполнителя , кг.

Расход мелкого заполнителя определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{3 r \rho_{\text{п}}}{(r \rho_{\text{п}} + (1 - r) \cdot \rho_{\text{к}})} \quad (3.3)$$

где $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{к}}$ - насыпная плотность соответственно фракционированного песка и крупного заполнителя, кг/м³;

r - доля песка в смеси заполнителей выбирают по данным в таблице 3.3 (суммируя доли фракций 0-5 мм) и выразив её в относительных единицах.

Таблица 3 3-Ориентировочные зерновые составы смеси фракционированных заполнителей для легкого бетона на керамзитовом гравии.

Размер зерна, мм	Зерновой состав заполнителя, в процентах от суммы объемов отдельных фракций смеси для бетона				
	конструкционно-теплоизоляционного			конструкционного	
	при наибольшей крупности зерен, мм				
	10	20	40	10	20
До 1,25	25	20	15	25	20
1,25-2,5	15	15	10	20	15
2,5-5	10	10	10	10	15
5-10	50	25	15	45	20
10-20	-	30	20	-	30
20-40	-	-	30	-	-

Примечание - При переходе от гравия к щебню содержание песчаных фракций увеличивается на 5-7 % и соответственно уменьшается содержание фракций крупного заполнителя

Определив расход материалов на 1 м³, рассчитывают расходы на опытные замесы, расход цемента в двух из них на 15 или 20% отличаются от третьего полученного первоначально в большую и меньшую сторону. Расходы компонентов на опытный замес определяются по формулам:

$$\text{Ц}^1 = \text{ЦV}/1000 \quad \text{В}^1 = \text{BV}/1000 \quad \text{К}^1 = \text{KV}/1000 \quad \text{П}^1 = \text{PV}/1000 \quad (3.4)$$

где Ц, В, К, П - расход материалов цемента, воды, крупного и мелкого заполнителя на 1 м³ бетона, кг;

Ц¹, В¹, К¹, П¹ - расход тех же компонентов на опытный замес, кг;

V - объем опытного замеса, дм³.

3.1.4 Проведение опытных работ

По полученным данным готовят опытные замесы с сохранением заданной подвижности или жесткости бетонной смеси.

Фракции заполнителя дозируются по массе, перемешиваются насухо, затем добавляется цемент. В процессе перемешивания добавляется вода по расчету до получения однородной бетонной смеси. Смесь должна обладать связностью, иметь характерный блеск и комковаться при сжатии в руке. Отсутствие блеска и связности указывает на недостаток воды, а отделение цементного молока - на избыток.

Удобоукладываемость приготовленных смесей проверяется в соответствии с ГОСТ 10181-2014 [19].

При принятом способе уплотнения каждому составу бетонной смеси соответствует оптимальное содержание воды, которое обеспечивает наибольшую плотность смеси при сохранении однородности и наибольшую прочность.

При необходимости определяют оптимальное количество воды следующим образом.

Для каждого состава при разном расходе воды отличающихся от табличного на 10-20% изготавливают не менее трех серий бетонной смеси и определяют их среднюю плотность в сосуде вместимостью 1 дм³, вибрируя ее в течение заданного времени уплотнения по п. 3.4 [29]. По результатам определения строят

график $\rho_{см}=f(V)$ при постоянном времени уплотнения и уточняют количество воды для получения средней плотности бетонной смеси, обеспечивающей заданное значение плотности бетона или максимальную плотность бетонной смеси.

$$\rho_{см} = \rho_{б} + (V - 0,15Ц) \quad (3.5)$$

где $\rho_{б}$ - заданная средняя плотность бетона , кг/ м³;

$\rho_{см}$ - плотность бетонной смеси, кг/ м³;

V - расход воды, кг;

Ц - расход цемента ,кг.;

0,15- коэффициент, учитывающий химически связанную воду.

Для каждого замеса, исходя из средней полученной средней плотности бетонной смеси в уплотненном состоянии, определяют фактический расход материалов на 1 м³ бетона по п. 4.2.7 [29].

Из бетонной смеси заданной удобоукладываемости для каждого расхода цемента изготавливается не менее двух образцов в серии.

При этом формование, хранение и испытание образцов бетона осуществляется в соответствии с ГОСТ 10180-2012 [26].

В тетради фиксируется средняя плотность свежеложенного бетона, значение которой используется для расчета фактических расходов материалов.

3.1.5 Обработка результатов

Данные испытания опытных образцов сводятся в таблицу 3.4. По этим данным строятся зависимости прочности и плотности бетона от расхода це-

мента $R_b=f(C)$, $\rho_b=f(C)$ (рисунок 3.1), по ним определяется расход цемента для бетона заданной прочности и плотности.

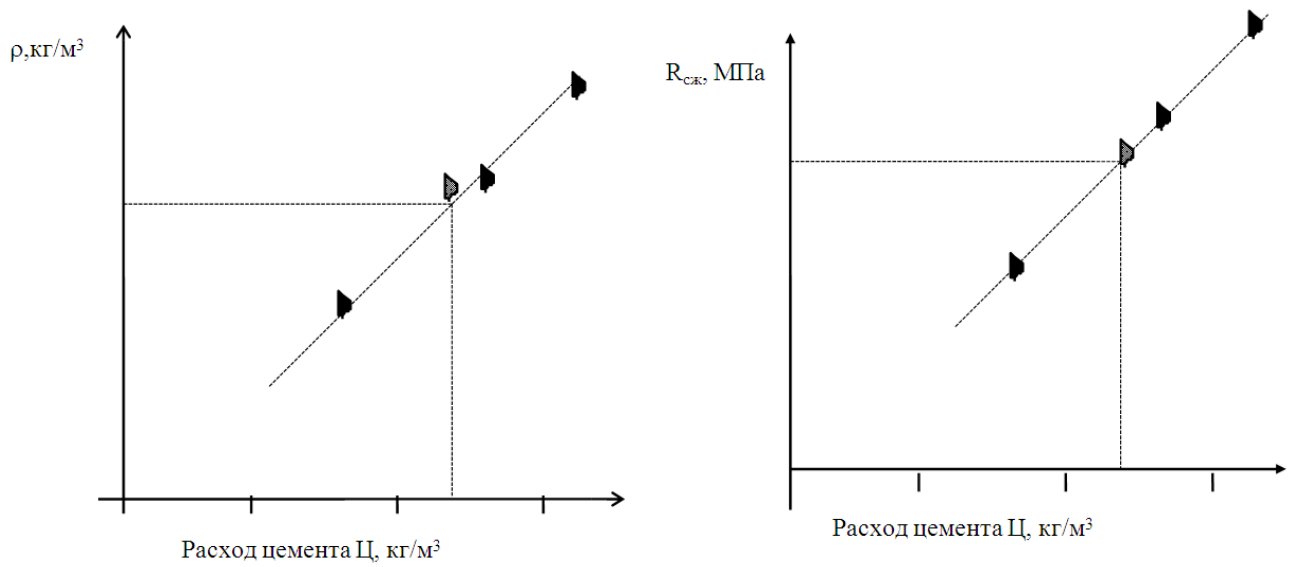


Рисунок 3.1- Зависимости плотности и прочности бетона от расхода цемента.

3.2 Определение состава высокопрочного легкого бетона на пористых заполнителях

Одним из путей повышения эффективности применения железобетона и снижения материалоемкости конструкций является применение легких бетонов класса В22,5-В40.

При проектировании состава бетона необходимо обеспечить получение более высокой прочности растворной составляющей, что достигается применением цементов марок М500, М600 и высококачественных природных кварцевых и полевошпатных песков. При этом содержание растворной составляющей с повышением прочности должно возрастать, что обуславливает повышенную среднюю плотность высокопрочных легких бетонов 1700-1900 кг/м³.

3.2.1 Исходные данные

Марка бетона. Удобоукладываемость смеси. Характеристики цемента: наименование; активность (марка); плотность, г/см³; насыпная плотность, кг/м³. Характеристики крупного заполнителя: наименование; предельная крупность, мм; средняя плотность смеси фракций, кг/м³, определенная непосредственно в бетоне. Характеристики мелкого заполнителя: средняя плотность, кг/м³, определенная непосредственно в цементном тесте; насыпная плотность кг/м³; водопотребность песка (определяется в соответствии с разделом 2.4)

3.2.2 Аппаратура и материалы

Весы лабораторные по ГОСТ Р 53228-2008 . Цилиндры мерные для воды емкостью 500-1000 мл. Прибор для определения подвижности бетонной смеси по ГОСТ 10181 [19] объемом 5,5 дм³. Форма куб с размерами ребер 200 мм для упрощенного определения жесткости бетонной смеси или прибор Красного по ГОСТ 10181[19].Формы-кубы с размерами ребер 100 мм для изготовления опытных образцов по ГОСТ 22685[23].Металлические линейки длиной не менее 400 и 200 мм по ГОСТ 427[24].Штыковка-металлический стержень диаметром 16 мм, длиной 650 мм с закругленным концом. Кельмы типа КБ по ГОСТ 9533-81. Емкости для взвешивания компонентов, приготовления смеси фракций заполнителя и бетонной смеси. Виброплощадка лабораторная по ГОСТ 10181[19].Камера нормального твердения по ГОСТ 10180 [26].Пресс по ГОСТ 28840 [27].Кисть для нанесения смазки на формы типа КР-30.Цемент ГОСТ 10178 [10].Пористый заполнитель высушенный фракций 0-5; 5-10;-10-20 мм по ГОСТ 9757 [28].Смазка для форм (масло машинное)[3].

3.2.3 Методика расчета

Проектирование состава конструкционных легких бетонов производится экспериментально-расчетным путем с построением зависимости $R_b=f(\rho)$, $\rho_b=f(\rho)$ для конкретных условий по аналогии с подразделом 3.1.

Для получения составов с минимальным расходом цемента необходимо правильно выбрать материалы для бетона. Марку цемента рекомендуется назначать в зависимости от класса бетона в соответствие с таблицей 3.5.

Таблица 3.5-Марки цементов применяемых для приготовления легких бетонов

Класс легкого бетона	Марки цементов	
	рекомендуемые	допускаемые
В 22,5	500	400, 600
В 27,5	500	400, 600
В 30	500	400, 600
В 40	600	500

Минимальная прочность крупного заполнителя должна быть не менее, чем указано в таблице 3.6, а насыпная плотность не более, чем указано в таблице 3.7

Таблица 3. 6-Минимальная прочность крупных пористых заполнителей в зависимости от заданной прочности бетона

Класс легкого бетона	Марка заполнителя по прочности на сжатие	Прочность на сжатие заполнителей при сдавливании в цилиндре ,МПа		
		пористого гравия	пористого щебня	аглопоритового щебня
В 22,5	150	3,5	1,8	1,0
В 27,5	200	4,5	2,2	1,2
В 30	250	5,5	2,7	1,4
В 40	300	6,5	3,3	1,6

Таблица 3.7-Максимальная марка по насыпной плотности крупных заполнителей в зависимости от заданной средней плотности бетона, кг/м³

Плотность бетона в сухом состоянии, кг/м ³	Пористый гравий	пористый щебень
1600	700	600
1700	800	700
1800	900	800

Предварительный состав бетона устанавливаются в следующем порядке .

Назначают расход цемента в зависимости от заданной прочности бетона марки цемента и крупного заполнителя (таблицы 3.8, 3.9)

Таблица 3.8-Ориентировочный расход цемента для расчета состава бетонов на пористых заполнителях с предельной крупностью 20 мм и плотном песке, с жесткостью бетонной смеси 5-6 с.

Класс бетона	Рекомендуемые марки цемента	Марка пористого заполнителя по прочности			
		150	200	250	300
В 22,5	500	420	390	360	330
В 27,5	500		450	410	380
В 30	500			480	450
В 40	600			570	540

Таблица 3.9-Коэффициент изменения расходов цемента при изменении его марки, вида песка, предельной крупности заполнителя и удобоукладываемости бетонной смеси.

Характеристики материалов	Класс бетона			
	В 22,5	В 27,5	В 30	В 40
1	2	3	4	5
Цемент марки				
400	1,15	1,2	1,25	-
500	1,00	1,00	1,00	1,00
600	0,9	0,88	0,85	1,00
Песок				
плотный	1,00	1,00	1,00	1,00
пористый	1,10	1,10	1,10	1,10
Наиб. крупн. зап.				
40	0,93	0,95	0,95	0,95
20	1,00	1,00	1,00	1,00
10	1,07	1,05	1,05	1,05
Жесткость смеси, с				
5-6	1,00	1,00	1,00	1,00
8-12	0,9	0,9	0,9	0,9
12-20	0,85	0,85	0,85	0,85

Продолжение таблицы 3.9

1	2	3	4	5
Подвижность смеси, см				
1-2	1,07	1,07	1,07	1,07
2-5	1,10	1,10	1,10	1,10
8-12	1,25	1,25	-	-
Примечание - Расход цемента уточняют путем последовательного умножения на соответствующие коэффициенты из таблицы 3.9 значения расхода цемента выбранного из таблицы 3.8.				

По таблице 3.10 устанавливается начальный расход воды в зависимости от заданной удобоукладываемости бетонной смеси, наибольшей крупности и вида крупного заполнителя.

Таблица 3.10-Ориентировочные расходы воды для приготовления бетонной смеси.

Удобоукладываемость бетонной смеси		Предельная крупность, мм					
		гравия			щебня		
осадка конуса, см	жесткость, с	10	20	40	10	20	40
8-12	-	235	220	205	265	250	235
3-7	-	220	205	190	245	230	215
1-2	3-4	205	190	175	225	210	195
-	4-8	195	180	165	215	200	185
-	8-13	185	170	160	200	185	175
-	13-20	175	160	150	190	175	165

Определяют объемную концентрацию крупного заполнителя от расхода цемента и воды, плотности зерен крупного заполнителя и водопотребности песка (таблица 3.11) .

Таблица 3.11-Объемная концентрация крупного заполнителя ϕ для легких бетонов на плотном песке

Средняя плотность бетона $\rho_{\text{б}}$, г/м ³	Плотность крупного заполнителя в цем. тесте $\rho_{\text{к}}$, кг/дм ³	Водопотребность песка, %								
		6			8			10		
		Расход воды . л								
		160	200	240	160	200	240	160	200	240
1600	1,0	0,44	0,39	0,33	0,43	0,36	0,26	0,4	0,33	-
	1,2	0,48	0,43	0,36	0,47	0,41	0,31	0,45	0,39	0,28
	1,4	0,51	0,47	0,42	0,51	0,46	0,40	0,49	0,44	0,37
	1,6	0,55	0,51	0,46	0,54	0,50	0,45	0,54	0,49	0,44
1700	1,0	0,40	0,32	-	0,37	0,27	-	0,33	-	-
	1,2	0,44	0,39	0,27	0,42	0,34	-	0,39	0,28	-
	1,4	0,48	0,43	0,34	0,46	0,40	0,31	0,44	0,37	0,30
	1,6	0,51	0,47	0,41	0,50	0,46	0,38	0,49	0,43	0,32
	1,8	0,55	0,51	0,46	0,54	0,50	0,48	0,54	0,49	0,42
1800	1,2	0,38	0,31	-	0,34	-	-	-	-	-
	1,4	0,43	0,35	0,26	0,40	-	-	0,37	-	-
	1,6	0,46	0,41	0,27	0,46	0,38	0,26	0,43	0,31	-
	1,8	0,52	0,46	0,39	0,50	0,45	0,31	0,49	0,42	0,28
	2,0	-	0,51	0,45	-	0,50	0,43	-	0,49	0,45

Примечание - Значения ϕ даны при расходе цемента 400 кг/м³. При большем расходе, значения ϕ возрастают приблизительно на 0,01 на каждые 100 кг/м³ цемента, при уменьшении расхода цемента - соответственно сокращаются.

При этом объемная концентрация крупного заполнителя не должна превышать более чем на 0,05 оптимальное значение таблицы 3.12, в противном случае применяют более легкие заполнители.

Таблица 3.12-Оптимальная объемная концентрация крупного заполнителя

Межзерновая пустотность	Оптимальная объемная концентрация при		
	жесткости свыше 10 с	осадке конуса 1-3 см или жесткости 3- 10 с	осадке конуса свыше 3 см
0,36	0,52	0,49	0,47
0,38	0,50	0,47	0,49
0,40	0,48	0,45	0,43
0,42	0,46	0,43	0,41
0,44	0,44	0,41	0,39
0,46	0,42	0,39	0,37
0,48	0,40	0,37	0,35
0,50	0,38	0,35	0,33
0,52	0,36	0,33	0,31
0,54	0,34	0,31	0,29

Расход крупного заполнителя определяют по формуле:

$$K = 1000\varphi\rho_k \quad (3.6)$$

где ρ_k - плотность зерен крупного заполнителя в цементном тесте, кг/дм³;

φ - объемная концентрация крупного заполнителя.

Расход плотного песка в зависимости от средней плотности бетона в сухом состоянии и расходов цемента и крупного заполнителя определяют:

$$П = \rho_b - 1,15 Ц - К \quad (3.7)$$

где ρ_b - плотность бетона в сухом состоянии, кг/ м³;

Ц, К - расходы соответственно цемента и крупного заполнителя ,кг.

Расход воды определяется с учетом поправок на расход пористого заполнителя , цемента , на водопотребность песка ;

$$V = V_0 + V_1 + V_2 + V_3 \quad (3.8)$$

где V_0 -начальный расход воды по таблице 3.10, л;

V_1 -поправка на водопотребность песка при применении песков с отличной от средней водопотребностью 7%. Водопотребность песка определяют в соответствии с 2.4;

V_2 -поправка к расходу воды при расходах цемента более 450 кг/м³, л;

V_3 - поправка к расходу воды при объемной концентрации крупного заполнителя , отличной от оптимальной 0,37, л.

При этом V_1 определяется по формуле;

$$V_1 = \frac{(0,025\Pi (V_{\Pi} - 7))}{\rho_{\Pi}} \quad (3.9)$$

где Π - расход песка ,кг;

ρ_{Π} -плотность зерен песка в цементном тесте , кг/л;

V_{Π} - водопотребность песка, %.

Поправку V_2 определяют по формуле:

$$V_2 = 0,15 (\text{Ц} - 450) \quad (3.10)$$

где Ц -расход цемента , кг.

Поправку V_3 определяют по формуле:

$$V_3 = 2000 (\varphi - 0,37)^2 \quad (3.11)$$

где φ - объемная концентрация крупного заполнителя.

После определения расхода материалов на 1 м³ бетонной смеси рассчитываются расходы материалов для составов с расходом цемента на 10-20 % отличающемся в большую и меньшую сторону от принятого. Затем рассчитывается расход материалов на три опытных замеса объемом 2,2 л каждый (см. пункт 2.3).

Приготовление опытных замесов, испытание опытных образцов и обработка результатов аналогична приведенным в пункте 3.1.4.

3.3 Определение состава поризованного легкого бетона на пористых заполнителях

3.3.1 Исходные данные

Марка (класс) бетона. Удобоукладываемость бетонной смеси.

Характеристики цемента : наименование ; активность (марка); истинная плотность, г/см³ ; насыпная плотность , кг/м³.

Характеристики крупного заполнителя : наименование ; предельная крупность , мм; средняя плотность заполнителя в смеси фракций ,определенная непосредственно в бетоне , кг м; насыпная плотность смеси фракций заполнителя уплотненной вибрацией и неуплотненной , кг/м³.

Характеристики мелкого заполнителя: средняя плотность (для пористого песка определяется в цементном тесте), кг/м³; насыпная плотность, кг/м³[3].

3.3.2 Аппаратура и материалы

Аппаратура и материалы аналогичны пункту 3.1.2.

3.3.3 Методика расчета

Состав поризованного керамзитобетона проектируют расчетно-экспериментальным способом с построением зависимостей прочности и средней плотности легкого бетона от расходов цемента и воздухововлекающей добавки.

Проектирование состава поризованного легкого бетона начинают с выбора материалов позволяющих получить бетон с заданной прочностью и требуемой средней плотностью бетонной смеси[3].

При выборе крупного пористого заполнителя можно использовать данные приведенные в таблице 3.12.

Таблица 3.12- Рекомендуемые соотношения между марками крупных пористых заполнителей, прочностью и средней плотностью бетона.

Класс бетона	Минимальная средняя плотность поризованного бетона в сухом состоянии, кг/м ³ , при марке крупного заполнителя.							
	200	300	400	500	600	700	800	1000
В 2,5	700/-	800/-	900/-	-/950	-/1100	-	-	-
В 3,5	-	800/-	850/-	900/1050	1000/1150	1100/1200	-/1250	-
В 5	-	850/-	900/-	950/1100	1050/1200	1150/1300	-/1350	-/1450
В 7,5	-	-	100/-	1050/1250	1100/1350	1200/1450	-	-/1550

Примечание-Над чертой приведены показатели средней плотности поризованного бетона на пористом гравии, под чертой - на пористом щебне. Значения средней плотности указаны для бетонов на дробленном керамзитовом песке или без песка; при использовании шлакового песка указанные величины средней плотности увеличивают примерно на 100 кг/м³, кварцевого песка - на 150 кг/м³.

После выбора материалов и определения их основных характеристик, расчетно-экспериментальным способом подбирают исходный состав поризованного легкого бетона [3].

Расход цемента назначают по данным таблицы 3.14 и расход воды ориентировочно по таблице 3.13.

Таблица 3.13 - Ориентировочный расход воды, принимаемый для изготовления легкого бетона с воздухововлекающими добавками.

Крупный заполнитель	Вид песка	Ориентировочный расход воды, л/м ³ , при			
		осадке конуса, см		жесткости, с	
		до 5	5-10	до 7-8	8-15
Гравий (керамзит)	Дробленый керамзитовый	210-240	240-260	200-230	170-200
	шлаковый	190-220	220-240	180-210	150-17-
	Кварцевый	170-190	200-230	160-190	150-170
Щебень	Дробленый пористый (из щебня)	240-270	270-230	230-270	200-230

Расход крупного заполнителя определяют по формуле:

$$K = (0,90 \dots 1,05) \rho_{\text{нк}} \quad (3.12)$$

где $\rho_{\text{нк}}$ -насыпная плотность смеси фракций крупного заполнителя, кг/м³.

Расход мелкого заполнителя определяется по формуле:

$$П = \rho_{\text{б}} - 1,15 Ц - К \quad (3.13)$$

где $\rho_{\text{б}}$ - плотность поризованного бетона в сухом состоянии, кг/м³;

Ц, К - расходы соответственно цемента и крупного заполнителя, кг/м³;

1,15 - коэффициент, учитывающий химически связанную воду.

Ориентировочный объем вовлеченного воздуха для получения поризованного бетона слитной структуры находят расчетным путем:

Таблица 3.14- Ориентировочный расход цемента марки 400 в бетонах, поризованных воздухововлекающими добавками.

Класс бетона	Расход цемента, кг/м ³ бетона, при марке пористого щебня (гравия), кг/м ³							
	200	300	400	500	600	700	800	1000
В 2.5	230-260 / -	220-230 /	210-220 / 230-260	210-240 /210 220	- /190-220			
В 3,5	230/250/ -	230-250 / -	220-230 / -	210-220/230-260	200-210/210-240		- /190-220	
В 5		250-280/-	230-250/ -	220-230 / -	210 220/230-260	200-210/ -	- /210-240	- /190-220
В 7,5			250-280/ -	230-250/ -	220-230/250-290	210-220/ -	- /230-260	- /210-240

Таблица 3.15 - Ориентировочный расход воздухововлекающих добавок для приготовления поризованных легких бетонов(в процентах от массы цемента).

Микропенообразователь	Требуемый объемоздуховвлечения %в	Вид песка		
		дробленый керамзитовый	кварцевый	шлаковый
ЦНИИПС-1 или абиетат натрия	4-8	0,02-0,1	0,04-0,15	0,05-0,15
	8-12	0,05-0,15	0,1-0,2	-
Гидролизованная кровь	4-8	0,3-1,0	0,5-1,5	1-2
	8-12	0,3-1,5	1,0-2,5	-

$$V_{\text{в}} = 0,1 \left(1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{К}{\rho_{\text{к}}} + \frac{П}{\rho_{\text{п}}} + В \right) \right) \quad (3.14)$$

где Ц, В, П, К- соответственно расходы цемента , воды , мелкого и крупного заполнителя, кг/ м³;

$\rho_{\text{ц}}$ -истинная плотность цемента, кг/ м³;

$\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{к}}$ -средняя плотность соответственно мелкого и крупного заполнителя определенная в бетоне, кг/ м³;

Расход воздухововлекающей добавки принимают по таблице 3.15 в зависимости от требуемого объема вовлеченного воздуха и вида мелкого заполнителя.

Определив расход материалов на 1 м³ бетонной смеси при принятом расходе цемента рассчитывают расход материалов еще для двух составов при расходе цемента на 20% больше и меньше исходного[3].

Далее определяют расход материалов на опытный замес объемом V по формуле:

$$Ц^1 = ЦV/1000 \quad В^1 = BV/1000 \quad К^1 = KV/1000 \quad П^1 = PV/1000 \quad (3.15)$$

где Ц, В, К, П - расход материалов цемента , воды , крупного и мелкого заполнителя на 1 м³ бетона , кг;

Ц¹, В¹, К¹, П¹- расход тех же компонентов на опытный замес, кг;
объем опытного замеса, дм³.

Бетонную смесь изготавливают следующим образом в смоченный противень помещают сначала расчетное количество заполнителя и перемешивают примерно с третью расчетного количества воды в течение 0,5 мин. Затем добавляют вяжущее и остальную воду и перемешивают 1,5-2 минуты.

Пена изготавливается отдельно из раствора 10 % концентрации (при этом вода для приготовления раствора учитывается в общем расходе воды).

В приготовленную бетонную смесь полученная пена подается при одновременном перемешивании в течение 1-2 минут.

Из полученной смеси формуют образцы - кубы, при этом определяют подвижность бетонной смеси и ее плотность. Образцы твердеют в соответствии с ГОСТ 10180 [26] и испытываются в установленные сроки.

Данные испытания опытных образцов сводятся в таблицу 3.4. По этим данным строятся зависимости прочности и плотности бетона от расхода цемента $R_b=f(C)$, $\rho_b=f(C)$ при принятом расходе добавки (см. пункт 3.1.4) и определяют оптимальный состав. Учитывая возможные колебания основных показателей поризованного бетона рекомендуется принимать расчетную среднюю плотность бетона на 2-5 % ниже, а прочность на 10-20 % выше, чем требуется по заданию[3].

3.4 Определение состава крупнопористого бетона на пористом заполнителе

3.4.1 Общие сведения

Методика подбора состава крупнопористого бетона на пористых заполнителях основывается на следующих особенностях свойств этого бетона:

прочность крупнопористого бетона на пористых заполнителях определяется в первую очередь прочностью заполнителя, расходом цемента и плотностью укладки заполнителя;

- изменения в плотности (следовательно в прочности) цементного камня за счет возможных колебаний водоцементного отношения незначительно сказываются на прочности такого бетона ;

- водоцементное отношение в крупнопористом бетоне отражается на прочности его главным образом постольку, поскольку он определяет собой вязкость

цементного теста, т.е. способствует получению той или иной плотности бетона в целом.

Поскольку плотность крупнопористого бетона теснейшим образом связана с плотностью укладки заполнителя, прочность этого бетона может быть поставлена в прямую связь с количественным расходом заполнителя на 1 м^3 бетона. При постоянном расходе заполнителя плотность и прочность крупнопористого бетона находится в зависимости от расхода цемента. Поэтому при подборе состава крупнопористого бетона водоцементное отношение выбирается из условия наилучшей упаковки заполнителя при обеспечении нерасслаиваемости смеси, а варьирование состава осуществляется за счет изменения расхода цемента[3].

3.4.2 Исходные данные

Марка (класс) бетона. Режим уплотнения. Характеристики заполнителя: наименование; зерновой состав; средняя плотность после уплотнения в течение 30 с вибрированием $\rho_{\text{зв}}$ - кг/м³.

Характеристики цемента; наименование; активность (марка) [3].

3.4.3 Аппаратура и материалы

Аппаратура и материалы аналогичны пункту 3.1.2.

3.4.4 Методика расчета

Расход цемента Ц выбирается по таблице 3.16. Расход заполнителя К в килограммах на 1 м^3 бетона для трех серий принимается численно равным средней плотности заполнителя, уплотненного вибрацией

$$\text{К} = \rho_{\text{зв}} \quad (3.16)$$

где $\rho_{\text{зв}}$ - средней плотности заполнителя, уплотненного вибрацией.

Таблица 3.16-Примерный расход цемента марки 400 для крупнопористого бетона

Насыпная плотность заполнителя уплотненного вибрацией кг/м ³	Расход цемента марки 400 в кг/м ³ бетона для бетонов марок,											
	на мелкопористом щебне						на керамзитовом гравии					
	10	15	25	35	50	75	10	15	25	35	50	75
400	200	220	260	-	-	-	150	180	220	270	-	-
500	190	210	240	-	-	-	140	170	205	255	280	320
600	180	200	230	-	-	-	130	160	185	225	275	300
700	170	185	215	250	-	-	120	145	170	210	260	290
800	160	175	200	235	275	-	110	130	150	190	235	275
900	150	160	185	210	250	-	100	120	140	170	205	230
1000	140	150	170	200	235	265	-	-	-	-	-	-
1200	125	135	160	180	210	240	-	-	-	-	-	-

Примечание- Примерный расход цемента других марок принимается со следующими поправочными коэффициентами: для марок цемента 300, 500, 600 соответственно 1,2;0,9; 0,8.

Расход цемента Ц в килограммах на 1 м^3 бетона для изготовления трех серий опытных образцов назначается по таблице с отклонениями от указанных в ней значений расхода цемента на 10% в большую и меньшую стороны.

Далее определяют расход материалов на опытный замес объемом V по формулам:

$$\text{Ц}^1 = \text{Ц}V/1000 \quad (3.17)$$

$$\text{К}^1 = \text{К}V/1000 \quad (3.18)$$

где Ц , К , - расход материалов цемента, крупного заполнителя на 1 м^3 бетона, кг;

Ц^1 , К^1 - расход тех же компонентов на опытный замес, кг;

V - объем опытного замеса, дм^3 [3].

3.4.5 Проведение опытных работ

Заполнитель дозируется по массе, высыпается в противень. Затем добавляется цемент. В процессе их перемешивания добавляется вода. Перемешивание продолжается до получения однородной бетонной смеси и израсходования всего необходимого количества воды.

Количество воды, необходимое для приготовления смеси устанавливается пробными замесами.

Наименьшее количество воды выбирается одновременно с уточнением режима уплотнения смеси. Критерием достаточности количества воды и интенсивности уплотнения смеси служит достижение такого уплотнения заполнителя в бетоне, при котором его расход численно примерно равен средней плотности запол-

нителя, уплотненного вибрацией. При этом расход заполнителя должен быть не меньше, чем $0,95 \rho_{зв}$. Определение наименьшего водосодержания может быть совмещено с формованием опытных образцов.

Верхний предел водосодержания определяется из условия обеспечения нерасслаиваемости бетонной смеси. Для проверки нерасслаиваемости проба бетонной смеси массой 3-10 кг засыпается с высоты 10-15 см на сито с отверстиями диаметром 2,5 см, под которым размещается предварительно взвешенный с точностью до 1г поддон или подкладка из плотной бумаги, картона и т.п. Затем сито с поддоном вибрируется в течение 30 с, вторично определяется масса поддона, рассчитывается масса отделившегося цементного теста с точностью до 1г. По результатам двух определений вычисляется процент вытекания цементного теста. Он не должен превышать 1,5-2%. Из бетонной смеси с выбранным водосодержанием изготавливаются опытные образцы бетона для каждого расхода цемента. При этом уплотнение смеси ведется по уточненному режиму.

Хранение образцов осуществляется в камере нормального твердения в течение 28 суток из них не менее трех суток в формах[3].

Образцы испытываются в соответствии с ГОСТ10180 [26].

3.4.6 Обработка результатов

Данные испытания опытных образцов сводятся в таблицу 3.4. По этим данным строятся зависимости прочности и плотности бетона от расхода цемента $R_b=f(C)$, $\rho_b=f(C)$ (см. пункт 3.1.4), по ним определяется расход цемента заданной прочности и плотности. Расход заполнителя и воды определяется путем интерполяции между значениями для двух смежных составов бетона.

Строится график зависимости средней плотности бетона от расхода цемента и по нему определяется расчетная средняя плотность бетона[3].

4 Определение прочности бетона неразрушающими методами

В готовых железобетонных изделиях и конструкциях контролируют показатели, которые обеспечивают восприятие действующих на них нагрузок: прочность, жесткость и трещиностойкость.

Для контроля прочности используют:

-разрушающие методы определения прочности бетона: Определение прочности бетона по контрольным образцам, изготовленным из бетонной смеси по ГОСТ 10180 [26] или отобраным из конструкций по ГОСТ 28570 [30].

- прямые неразрушающие методы определения прочности бетона: Определение прочности бетона по "отрыву со скалыванием" и "скалыванию ребра" по ГОСТ 22690 [31].

- косвенные неразрушающие методы определения прочности бетона: Определение прочности бетона по предварительно установленным градуировочным зависимостям между прочностью бетона, определенной одним из разрушающих или прямых неразрушающих методов, и косвенными характеристиками прочности, определяемыми по ГОСТ 22690 [31] и ГОСТ 17624 [32].

Под неразрушающим контролем понимают:

-совокупность контрольных операций в процессе изготовления и приемочного контроля готовых железобетонных изделий и конструкций, гарантирующих заданные проектом прочность, жесткость и трещиностойкость без испытания образцов конструкций нагружением;

-контроль отдельных параметров или операций с помощью неразрушающих методов.

В зависимости от определяемых при неразрушающем контроле характеристик можно выделить:

- группу физических методов, среди которых импульсный и частотный методы

- группу механических методов неразрушающего контроля, в которую входят метод пластических деформаций, метод упругого отскока, метод ударного импульса, метод местных разрушений.

4.1 Методика применения неразрушающего ультразвукового контроля прочности бетона

Ультразвуковой метод определения прочности бетона относится к физическим неразрушающим методам контроля качества бетона. Он основан на связи между скоростью распространения ультразвуковых (частотой свыше 20 кГц) колебаний в бетоне и его плотностью, динамическим модулем упругости и соответственно прочностью. Скорость распространения ультразвука в бетоне велика, до 4500 м/с.

По ГОСТ 17624 [32] не допускается применение ультразвуковых приборов, градуированных в единицах прочности бетона для непосредственного определения его прочности.

Косвенный показатель (показание прибора) применяют только после установления градуировочной зависимости "показания прибора - прочность бетона" или уточнения градуировочной зависимости, установленной в приборе по формуле 4.11.

Градуировочную зависимость между скоростью распространения ультразвука и прочностью бетона на сжатие определяют предварительно для данного состава бетона. Это связано с тем, что применение градуировочных зависимостей для бетонов других или неизвестных составов может привести к ошибкам в определении прочности.

На зависимость «прочность бетона - скорость ультразвука» влияют следующие факторы, колебания которых нужно учитывать при применении ультразвукового метода контроля:

- количество и зерновой состав заполнителя;
- изменение расхода цемента более чем на 30 %;

- способ приготовления бетонной смеси;
- степень уплотнения бетона;
- напряженное состояние бетона.

Ультразвуковой метод позволяет осуществлять массовые испытания изделий любой формы, многократно, вести непрерывный контроль нарастания или снижения прочности. Недостатком метода является погрешность при переходе от акустических характеристик к $R_{сж}$.

Ультразвуковой метод определения прочности бетона на сжатие распространяется на конструкционные тяжелый, легкий и плотный силикатный бетоны сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций (класс бетона В 7,5-В35).

Ультразвуковой метод применяют для определения прочности бетона в установленном проектной документацией промежуточном и проектном (как правило, 28-суточном) возрасте и возрасте, превышающем проектный при обследовании конструкций [33].

4.1.1 Аппаратура и материалы

Весы лабораторные по ГОСТ Р 53228-2008 [17]. Пресс по ГОСТ 28840-90 [27]. Штангенциркуль по ГОСТ 166 [37]. Прибор ультразвуковой по ГОСТ 17624-14. Смазка контактная (солидол по ГОСТ 4366-76, технический вазелин по ГОСТ 5774-76 и др.). Кисть для нанесения смазки типа КР-30. Образцы кубы с размером ребра не менее 100 мм изготовленные по ГОСТ 10180-2012 [26] из бетона номинального состава, не менее 15 серий по 2 образца в каждой серии.

4.1.2 Подготовка и проведение испытания

Подготовка к испытанию включает в себя проверку используемых приборов в соответствии с инструкциями по их эксплуатации и получение данных для построения градуировочных зависимостей.

Для измерения скорости ультразвука применяют следующие способы прозвучивания бетона:

- способ сквозного прозвучивания. Для проведения испытаний ультразвуковые преобразователи размещают соосно с противоположных сторон изделия;
- способ поверхностного прозвучивания, при котором ультразвуковые преобразователи устанавливают на фиксированной базе с одной стороны изделия.

Для контроля прочности бетона при поверхностном прозвучивании градуировочную зависимость устанавливают на основании следующих данных:

- результатов испытаний ультразвуковым методом и механических испытаний одних и тех же стандартных бетонных образцов по ГОСТ 10180[26].
- результатов параллельных испытаний одних и тех же участков конструкций ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690[31];
- результатов испытаний конструкций ультразвуковым методом и механических испытаний образцов-кернов, отобранных из тех же участков конструкций и испытанных в соответствии с ГОСТ 28570[30];

Для контроля прочности бетона при сквозном прозвучивании градуировочную зависимость устанавливают на основании следующих данных:

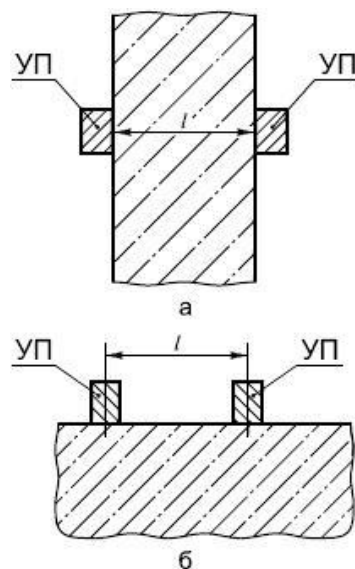
- результатов испытаний ультразвуковым методом и механических испытаний одних и тех же стандартных бетонных образцов по ГОСТ 10180[26].
- результатов испытаний ультразвуковым методом участков конструкций и испытаний в соответствии с ГОСТ 28570 образцов-кернов, отобранных из тех же участков конструкций;

Градуировочные зависимости устанавливают отдельно по каждому виду нормируемой прочности, указанному в 4.1 для бетонов одного номинального состава. Допускается строить одну градуировочную зависимость для бетонов одного вида, отличающихся по номинальному составу и значению нормируемой прочности, но не более трех нормированных классов [32] .

4.1.3 Способы прозвучивания бетона

Сквозное прозвучивание.

При измерении времени распространения ультразвука при сквозном прозвучивании ультразвуковые преобразователи устанавливают с противоположных сторон образца или конструкции в соответствии с рисунком 4.1а.



а - схема испытания бетона при сквозном прозвучивании; б - схема испытания бетона при поверхностном прозвучивании; УП - ультразвуковые преобразователи; l - база прозвучивания

Рисунок 4.1 - Схемы испытания бетона ультразвуковым методом

Скорость ультразвука v в м/с, вычисляют по формуле:

$$v = (l/t)10^2 \quad (4.1)$$

где t – время распространения ультразвука, мкс;

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

Поверхностное прозвучивание.

При измерении времени распространения ультразвука при поверхностном прозвучивании ультразвуковые преобразователи устанавливают на одной стороне образца или конструкции в соответствии с рисунком 4.1б.

Число и расположение контролируемых участков в конструкциях должны соответствовать требованиям ГОСТ 18105 [34] и указываться в проектной документации на конструкции или устанавливаться с учетом:

- задач контроля (определение фактического класса бетона, разопалубочной или отпускной прочности, выявление участков пониженной прочности и др.);
- вида конструкций (колонны, балки, плиты и др.);
- размещения захваток и порядка бетонирования;
- армирования конструкций.

Прочность бетона каждого участка конструкции может быть определена методом поверхностного или сквозного прозвучивания.

Монолитные конструкции, а также сборные конструкции, для которых применение сквозного прозвучивания затруднено (плоские, ребристые и многопустотные панели перекрытий, стеновые панели, трубы и т.д.), испытывают методом поверхностного прозвучивания.

База при поверхностном прозвучивании при измерениях на конструкциях должна быть такой же, как и при установлении градуировочной зависимости.

Возраст бетона контролируемой конструкции не должен отличаться от возраста бетона конструкции (образца), испытанной для установления градуировочной зависимости более чем на 50 % при контроле нормируемой прочности бетона и 25 % - при определении прочности бетона в процессе твердения.

Качество поверхности бетона контролируемого участка конструкции в зоне контакта с ультразвуковыми преобразователями должно соответствовать требованиям, приведенным в п.4.1.4.

При сквозном прозвучивании ультразвуковое измерение следует проводить в направлении, перпендикулярном к направлению рабочей арматуры.

При поверхностном прозвучивании для исключения влияния арматуры измерение должно проводиться по схеме, приведенной на рисунке 4.1.

На каждом участке конструкции проводят не менее двух измерений при поверхностном прозвучивании и одно измерение - при сквозном прозвучивании.

Отклонение отдельных результатов от среднего значения при поверхностном прозвучивании не должно превышать 2 %.

Прочность бетона каждого участка определяют по среднему значению скорости (времени) ультразвука по градуировочной зависимости, установленной в соответствии с п.п. 4.1.4-4.1.12, при условии, что измеренное значение косвенного показателя находится в пределах между наименьшим и наибольшим значениями, полученными при построении или уточнении универсальной градуировочной зависимости.

Статистическую оценку класса бетона по результатам испытаний ультразвуковым методом проводят по ГОСТ 18105[34] только в тех случаях, когда прочность бетона определяют по градуировочной зависимости, построенной в соответствии с п.п. 4.1.4-4.1.12.

При использовании универсальных градуировочных зависимостей путем их привязки к конкретным условиям с учетом коэффициента совпадения (см. формулу 4.11) не допускается проводить статистический контроль, при этом оценку бетона проводят по схеме Г ГОСТ 18105[34].

При контроле прочности бетона сборных конструкций (отпускной или передаточной) число контролируемых конструкций каждого вида принимают не менее 10 % и не менее 12 конструкций из партии. Если партия состоит из 12 конструкций и менее, проводят сплошной контроль. При этом число испытываемых участков должно быть не менее:

- 1 на 4 м длины линейных конструкций;
- 1 на 4 м площади плоских конструкций.

При контроле прочности бетона монолитных конструкций в промежуточном возрасте контролируют не менее одной конструкции каждого вида (колонна, стена, перекрытие, ригели и т.д.) из контролируемой партии.

При контроле прочности бетона монолитных конструкций в проектном возрасте проводят сплошной контроль прочности бетона всех конструкций контролируемой партии. При этом число участков испытаний должно быть не менее:

- 3 на каждую захватку для плоских конструкций (стена, перекрытие, фундаментная плита);

- 1 на 4 м длины (или 3 на захватку) для каждой линейной горизонтальной конструкции (балка, ригели);

- 6 на каждую конструкцию (для линейных вертикальных конструкций - колонна, пилон).

Общее число участков измерений для расчета характеристик однородности прочности бетона партии конструкций должно быть не менее 20.[32]

За единичное значение прочности бетона при неразрушающем контроле принимают:

- при контроле сборных конструкций (плоских и многопустотных плит перекрытий и покрытий, дорожных плит, панелей внутренних несущих стен, стеновых блоков, а также напорных и безнапорных труб) - среднюю прочность бетона конструкции, вычисленную как среднеарифметическое значение прочности бетона контролируемых участков конструкции;

- при контроле других видов конструкций - среднюю прочность бетона конструкции или контролируемого участка или зоны конструкции, или части монолитной и сборно-монолитной конструкции.[34]

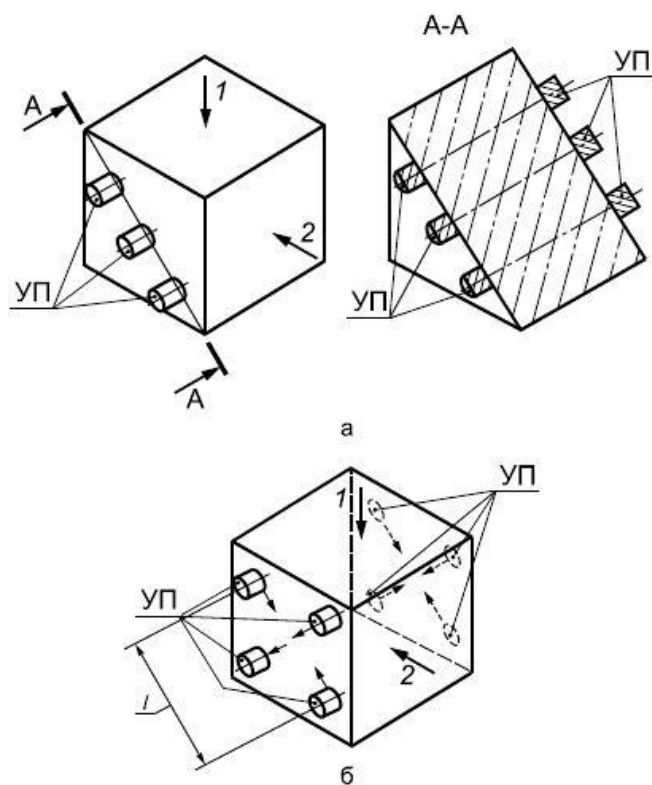
4.1.4 Особенности построения градуировочной зависимости по результатам испытаний ультразвуковым методом бетонных образцов-кубов и механических испытаний тех же образцов-кубов

При построении градуировочной зависимости по результатам испытаний ультразвуковым методом бетонных образцов-кубов и механических испытаний тех же образцов-кубов механические испытания проводят по ГОСТ 10180[26] после испытаний ультразвуковым методом.

При необходимости проведения ультразвуковых испытаний бетона конструкций после термообработки (горячего бетона) для определения отпускной

прочности бетона этих конструкций после их остывания допускается устанавливать градуировочную зависимость по результатам испытаний ультразвуковым методом горячих образцов и механических испытаний тех же образцов после их остывания. Для построения градуировочной зависимости по результатам испытаний образцов-кубов используют результаты испытаний не менее 15 серий образцов-кубов.

Образцы изготавливают в соответствии с требованиями ГОСТ 10180[26] в разные смены в течение не менее трех суток из бетонной смеси того же номинального состава, по той же технологии, при том же режиме твердения, что и конструкции, подлежащие контролю. При установлении градуировочной зависимости для метода сквозного прозвучивания по результатам испытаний образцов-кубов измерения проводят, как показано на рисунке 4.2а.



а - схема испытания образцов-кубов способом сквозного прозвучивания; б - схема испытания образцов-кубов способом поверхностного прозвучивания; УП - ультразвуковые преобразователи; - база прозвучивания; 1 - направление формования; 2 - направление испытания при сжатии

Рисунок 4 2 - Схемы испытания образцов-кубов при прозвучивании

База прозвучивания должна быть не менее 100 мм. Допускается базу прозвучивания уменьшать до 70 мм при испытании мелкозернистых бетонов и бетонов на ранних стадиях твердения (скорость ультразвука менее 2000 м/с).

При установлении градуировочной зависимости для метода поверхностного прозвучивания по результатам испытаний образцов-кубов измерения проводят в соответствии с рисунком 4.2б.

База прозвучивания должна быть не менее 120 мм.

Измерения следует проводить на поверхности, занимающей при изготовлении то же положение относительно формы и направления формования, что и контролируемая поверхность изделия.

Число измерений на каждом образце должно быть, при сквозном прозвучивании три, при поверхностном - четыре.

Отклонение отдельного результата измерения косвенного показателя в каждом образце от среднеарифметического значения результатов измерений для данного образца не должно превышать 2 %.

Результаты измерения времени распространения ультразвука в образцах-кубах, не удовлетворяющие указанному условию, не учитывают при расчете среднеарифметического значения косвенного показателя в данной серии образцов. При наличии в серии двух образцов, не удовлетворяющих этому условию, результаты испытаний серии бракуют.

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

Относительная погрешность измерения базы прозвучивания не должна превышать 0,5 % [32]. Полученные при испытаниях результаты оформляют в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2-Таблица результатов

Класс марка бетона по прочности	Дата изготовления образца	Дата испытаний	Номер образца	Масса образца, г	Рабочая площадь образца, см ²	Результаты ультразвуковых измерений						Результаты механических испытаний		Примечание		
						Номер точки прозвучивания	База прозвучивания ,мм	Время распространения (УЗК) ультразвука, мкс	Скорость ультразвука (УЗК) м/с	Средняя скорость (время)УЗК в образце, м/с	Средняя скорость (время)УЗК в серии образцов, м/с	Разрушающая нагрузка, кг(МПа)с	Прочность образца, МПа		Средняя прочность серии образцов, МПа	

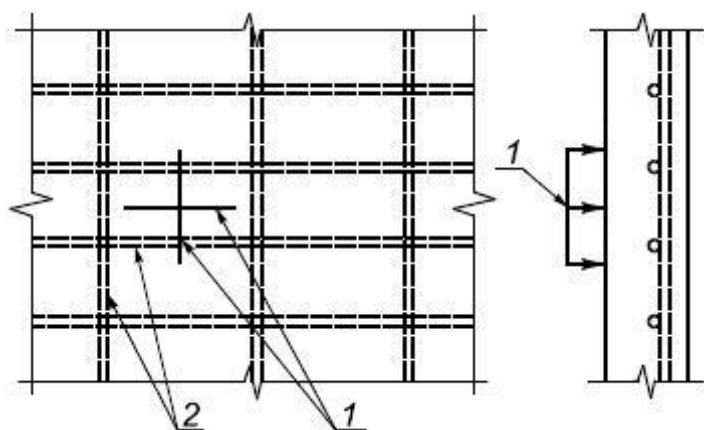
4.1.5 Особенности построения градуировочной зависимости по результатам параллельных испытаний ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием или испытаний образцов, отобранных из конструкций

При построении градуировочной зависимости по результатам параллельных испытаний ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием или испытаний образцов, отобранных из конструкций, на подлежащих испытанию конструкциях или их зонах предварительно проводят ультразвуковые измерения и определяют участки с минимальным и максимальным косвенными показателями. Затем выбирают не менее 12 участков, включая участки, в которых значение косвенного показателя максимальное, минимальное и имеет промежуточные значения.

После испытания ультразвуковым методом эти участки испытывают методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690 [31] или отбирают из них образцы для испытания по ГОСТ 28570 [30].

Возраст бетона отдельных участков не должен отличаться более чем на 25 % среднего возраста бетона зоны конструкции или группы конструкций, подлежащей контролю. Возраст отдельных участков конструкции не учитывают, если градуировочную зависимость устанавливают для конструкций, возраст которых превышает два месяца.

На каждом участке определяют положение арматуры, а затем ультразвуковым прибором проводят не менее двух измерений косвенного показателя. Прозвучивание проводят в двух взаимно перпендикулярных направлениях под углом примерно 45° к направлению арматуры, параллельно или перпендикулярно к ней. При прозвучивании в направлении, параллельном арматуре, линию прозвучивания располагают между арматурными стержнями (см. рисунок 4.3).



1 - положение прибора при испытании; 2 - расположение арматуры

Рисунок 4.3 - Расположение линии прозвучивания

Отклонение отдельных результатов измерений скорости или времени распространения ультразвука на каждом участке от среднего арифметического значения результатов измерений для данного участка не должно превышать 2 %. Результаты измерений, не удовлетворяющие этому условию, не учитывают при вычислении среднеарифметического значения скорости (времени) распространения ультразвука для данного участка.

Градуировочную зависимость устанавливают по единичным значениям косвенного показателя и прочности бетона. За единичное значение косвенного показателя принимают среднее значение косвенных показателей на участке. За единичное значение прочности бетона принимают прочность бетона участка, определенную методом отрыва со скалыванием или испытанием отобранных образцов.

При построении градуировочной зависимости по результатам испытаний образцов-кубов за единичное значение прочности бетона принимают среднюю прочность бетона в серии образцов, определенную по ГОСТ 10180[26].

При необходимости проведения испытаний монолитных конструкций непосредственно после тепловой обработки при температуре поверхности бетона выше 40 °С ультразвуковые испытания на конструкции проводят при этой температуре, а испытание бетона методом отрыва со скалыванием или испытания образцов - после его остывания.

При испытании монолитных конструкций при отрицательной температуре бетона участка, выбранные для построения градуировочной зависимости, предварительно испытывают ультразвуковым методом, а затем отогревают до температуры не ниже 0 °С на глубине 50 мм и испытывают методом отрыва со скалыванием или отбирают образцы для последующего испытания при положительной температуре[32].

4.1.6 Методика установления градуировочной зависимости

Уравнение градуировочной зависимости (косвенный показатель - прочность) принимают линейным по формуле

$$R = aH + b, \quad (4.2)$$

где R - прочность бетона, МПа;

H - косвенный показатель (время или скорость ультразвука). Коэффициенты a и b рассчитывают по формулам:

$$b = \bar{R}_\phi - a\bar{H}, \quad (4.3)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N [(R_{i\phi} - \bar{R}_\phi)(H_i - \bar{H})]}{\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2} \quad (4.4)$$

где $R_{i\phi}$ прочность бетона на i -м участке, определенная при испытании образцов или методом отрыва со скалыванием, МПа;

H_i - косвенный показатель на i -м участке (образце), определенный в соответствии с требованиями п. 4.1.2;

$$\bar{R}_\phi = \frac{\sum_{i=1}^N R_{i\phi}}{N}, \quad (4.5)$$

$$\bar{H}_\phi = \frac{\sum_{i=1}^N H_i}{N}, \quad (4.6)$$

где N - число участков или отдельных образцов, использованных для построения градуировочной зависимости.

4.1.7 Отбраковка результатов испытаний

После построения градуировочной зависимости по формуле (4.2) проводят ее корректировку путем отбраковки единичных результатов испытаний, не удовлетворяющих условию

$$\frac{|R_{iн} - R_{i\phi}|}{S} \leq 2, \quad (4.7)$$

где S - остаточное среднеквадратическое отклонение, определенное по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{i\phi} - R_{iH})^2}{N-2}}, \quad (4.8)$$

R_{iH} - прочность бетона на i -м участке, определенная по градуировочной зависимости по формуле

$$R_{iH} = a_j H + b_j, \quad (4.9)$$

где a_j, b_j - коэффициенты для установленной градуировочной зависимости.

После отбраковки минимальное и максимальное значения косвенного показателя H_{min} , H_{max} и градуировочную зависимость устанавливают вновь по оставшимся результатам испытания по формулам (4.1)-(4.5)[32].

4.1.8 Параметры градуировочной зависимости

Среднеквадратическое отклонение $S_{Т.М.Н}$ построенной градуировочной зависимости определяют по формуле (4.7). Коэффициент корреляции градуировочной зависимости r определяют по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N [(R_{iH} - \bar{R}_H)(R_{i\phi} - \bar{R}_\phi)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{iH} - \bar{R}_H)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{i\phi} - \bar{R}_\phi)^2}}, \quad (4.10)$$

где $\bar{R}_H = \frac{\sum_{i=1}^N R_{iH}}{N}$

4.1.9 Корректировка градуировочной зависимости

Корректировка установленной градуировочной зависимости с учетом дополнительно получаемых результатов испытаний должна проводиться не реже одного раза в месяц.

При корректировке градуировочной зависимости к существующим результатам испытаний добавляют не менее трех новых результатов. По мере накопления данных для построения градуировочной зависимости результаты предыдущих

испытаний, начиная с самых первых, отбраковывают так, чтобы общее число результатов не превышало 20. После отбраковки единичных результатов испытаний, не удовлетворяющих условию (4.7) и добавления новых результатов минимальное и максимальное значения косвенного показателя, градуировочную зависимость и ее параметры устанавливают вновь по формулам (4.2)-(4.10).

4.1.10 Условия применения градуировочной зависимости

Применение градуировочной зависимости для определения прочности бетона в соответствии с требованиями настоящего стандарта допускается только для значений косвенного показателя, попадающего в диапазон от H_{min} до H_{max} .

Если коэффициент корреляции $r < 0,7$ или среднеквадратическое отклонение градуировочной зависимости $\frac{S_{Т.М.Н}}{R_{\phi}} > 0.15$, то контроль и оценка прочности по полученной градуировочной зависимости не допускаются[32].

4.1.11 Пример установления и оценки параметров градуировочной зависимости

Прочность бетона классов В20-В25 контролируют в конструкции методом поверхностного прозвучивания. Для установления градуировочной зависимости между скоростью ультразвука и прочностью бетона в возрасте 28 сут выполнены параллельные испытания одних и тех же участков конструкций ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690[31]. Результаты испытаний приведены в графах 2, 3 таблицы 4.1. Средние значения прочности (R_{ϕ}) в мегапаскалях и скорости ультразвука (v) в метрах в секунду составляют

$$\bar{R}_{\phi} = \frac{(20,8 + 13,6 + \dots + 20,1)}{19} = 25,05 \text{ МПа,}$$
$$v = \frac{(3245 + 2470 + \dots + 3765)}{19} = 3396 \text{ м/с}$$

Коэффициенты a и b определяют по формулам (4.3) и (4.4)

$$a = \frac{(20,8-25,05)(3245-3396)+\dots+(20,1-25,05)(3765-3396)}{(3245-3396)^2+\dots+(3765-3396)^2} = 0,0145;$$

$$b = 25,05 - 0,0145 \cdot 3396 = -24,19$$

Таким образом, градуировочная зависимость описывается уравнением

$$R = 0,0145v - 24,19$$

Значения прочностей $R_{ин}$, рассчитанные по градуировочной зависимости ,приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1-Данные для построения градуировочной зависимости.

Номер участка	Скорость ультразвука, м/с	Прочность, МПа			$ R_{ин} - R_{ф} /S$		Примечание
		по результатам испытаний по ГОСТ 22690	по градуировочной зависимости		до отбраковки	после отбраковки	
			до отбраковки	после отбраковки			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3245	20,8	22,9	23,3	0,61	0,73	-
2	2470	13,6	11,6	11,3	0,58	0,68	-
3	3095	22,6	20,7	21,0	0,56	0,48	-
4	2870	15,6	17,4	17,5	0,54	0,55	-
5	4320	37,3	38,5	40,0	0,34	0,78	-
6	3615	33,5	28,2	29,0	1,55	1,31	-
7	2655	14,2	14,3	14,2	0,03	0,01	-
8	3780	30,7	30,6	31,6	0,02	0,26	-
9	3490	21,8	26,4	27,1	1,36	1,56	-
10	3840	38,1	31,5	32,5	1,94	1,64	-
11	3400	30,3	25,1	25,7	1,53	1,35	-
12	3255	22,5	23,0	23,5	0,15	0,28	-
13	3940	35,8	32,9	34,1	0,84	0,51	-
14	4070	33,1	34,8	36,1	0,51	0,88	-
15	3340	23,2	24,2	24,8	0,31	0,46	-

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
16	2940	15,6	18,4	18,6	0,84	0,87	-
17	3130	17,5	21,2	21,5	1,09	1,18	-
18	3305	29,7	23,7	24,2	1,76	1,61	-
19	3765	20,1	30,4	-	3,03	-	Отбраковано

Остаточное среднее квадратическое отклонение, определенное по формуле (4.8), составляет

$$S = \sqrt{\frac{(20,8 - 22,9)^2 + (13,6 - 11,6)^2 + \dots + (20,6 - 30,4)^2}{19 - 2}} = 4,29 \text{ МПа}$$

Сравнивая значения фактической прочности R_{if} в сериях образцов с прочностью R_{in} , определенной по градуировочной зависимости (см таблицу 4.1), устанавливают, что условие (4.7) не выполняется для результатов на участке 19, которые подлежат отбраковке.

По оставшимся 18 результатам рассчитывают новые значения \bar{R}_ϕ , $\bar{\nu}$ и коэффициенты скорректированной зависимости a и b :

$$\bar{R}_\phi = \frac{(20,8 + 13,6 + \dots + 29,7)}{18} = 25,32 \text{ МПа,}$$

$$\bar{\nu} = \frac{(3245 + 2470 + \dots + 3305)}{19} = 3375 \text{ м/с}$$

$$a = \frac{(20,8 - 25,32)(3245 - 3375) + \dots + (29,7 - 25,32)(3305 - 3375)}{(3245 - 3375)^2 + \dots + (3305 - 3375)^2} = 0,0155;$$

$$b = 25,32 - 0,0155 \cdot 3375 = -27,0$$

Определив значения R_{in} , рассчитывают среднее квадратичное отклонение

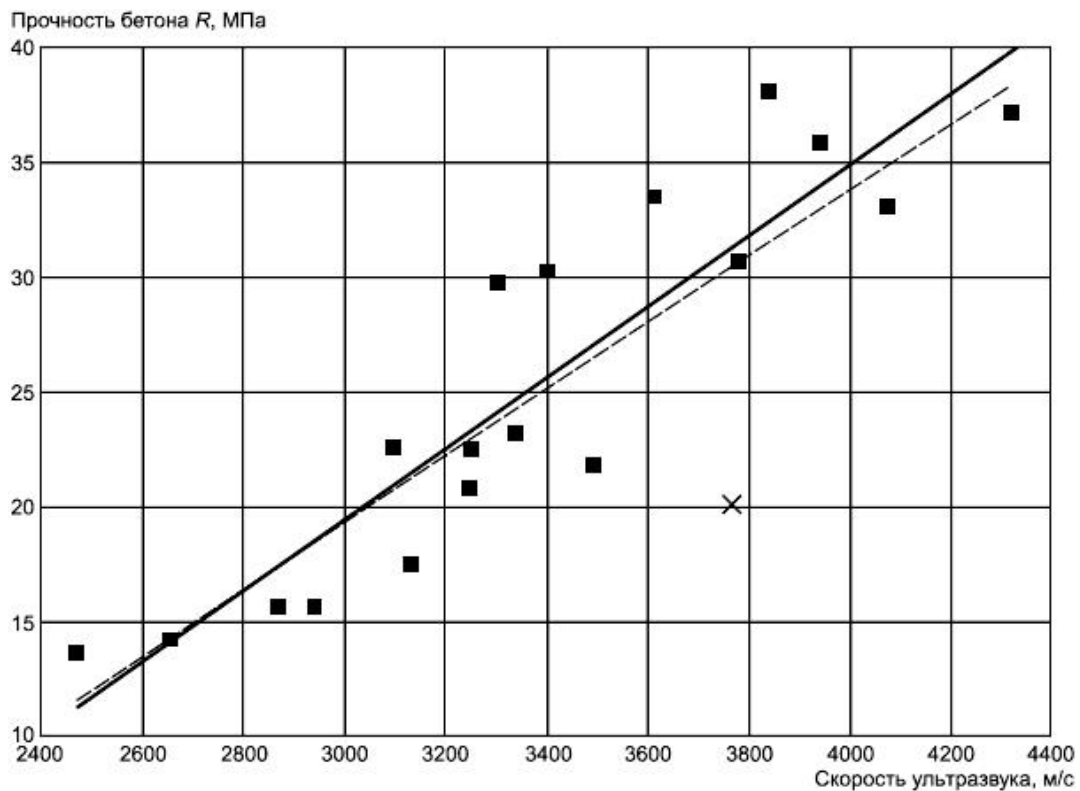
$$S = \sqrt{\frac{(20,8 - 23,3)^2 + (13,6 - 11,6)^2 + \dots + (29,7 - 24,2)^2}{18 - 2}} = 3,5 \text{ МПа}$$

Для скорректированной градуировочной зависимости $\frac{|R_{iн} - R_{iф}|}{S} \leq 2$, по всем

сериям образцов. Таким образом дальнейшую корректировку производить не требуется искомая градуировочная зависимость описывается уравнением

$$R = 0,0155v - 27,0$$

Графики градуировочных зависимостей до и после корректировки приведены на рисунке 4.4



- — — -градуировочная зависимость до отбраковки;
- - - -градуировочная зависимость после отбраковки;
- ✘ - отбракованные результаты испытаний.

Рисунок 4.4- Графики градуировочных зависимостей до и после корректировки.

Среднеквадратическое отклонение построенной градуировочной зависимости $S_{T.M.H}=S= 3,5$ МПа; $S_{T.M.H}/R_{\phi}=3,5/25,32>0,15$.

Коэффициент корреляции градуировочной зависимости r вычисляют по формуле (4.10) при

$$\bar{R}_n = \frac{(23,3 + 11,3 + \dots + 24,7)}{18} = 25,33 \text{ МПа,}$$

$$r = \frac{(29,7 - 25,33) \cdot (20,8 - 25,32) + \dots (24,2 - 25,33) \cdot (29,7 - 25,32)}{\sqrt{(23,3 - 25,33)^2 + \dots (24,2 - 25,33)^2} \cdot \sqrt{(20,8 - 25,32)^2 + \dots (29,7 - 25,32)^2}} = 0,91$$

$$0,91 > 0,7$$

Полученная градуировочная зависимость может быть использована для определения прочности бетона в конструкции в соответствии с требованиями настоящего стандарта в диапазоне прочностей 11,3-40 МПа.

Проверка и корректировка установленной градуировочной зависимости с учетом дополнительно получаемых результатов испытаний должны проводиться не реже одного раза в месяц по методике, приведенной выше.

Число образцов или участков при проведении корректировки должно быть не менее трех [32].

Допускается ориентировочное определение прочности бетона с использованием зависимости, ранее установленной для бетона, отличающегося от испытуемого, или универсальной градуировочной зависимости.

Универсальные градуировочные зависимости для тяжелых бетонов классов В7,5-В35 и В35-В60 приведены ниже.

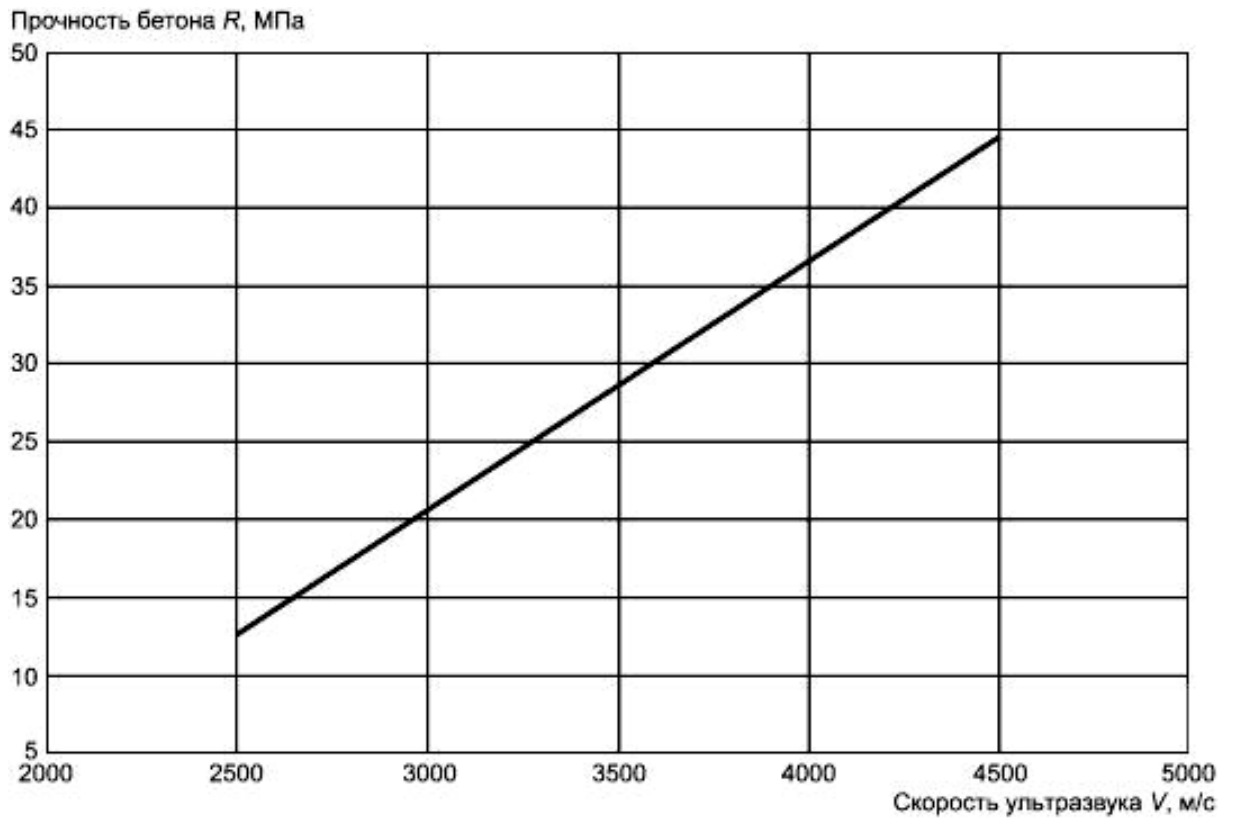


Рисунок 4.5 - Универсальная градуировочная зависимость, построенная по результатам испытаний конструкций из бетона проектных классов В7,5-В35

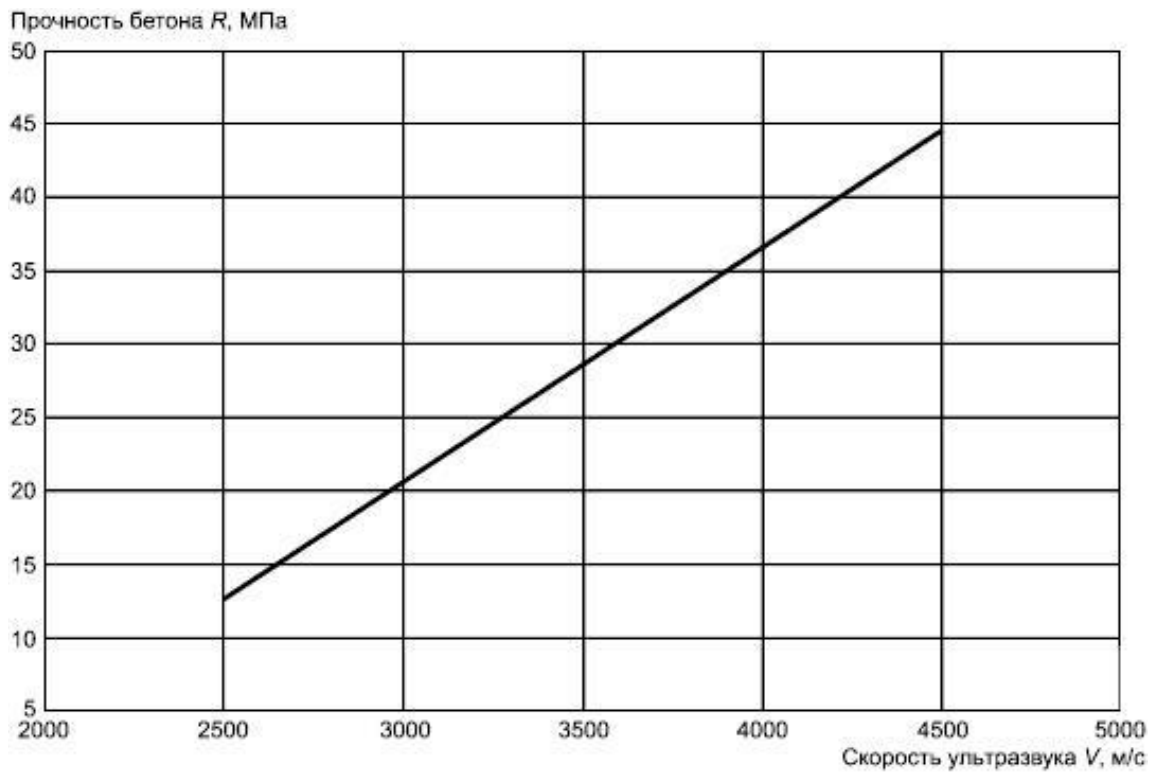


Рисунок 4.6 - Универсальная градуировочная зависимость, построенная по результатам испытаний конструкций из бетона проектных классов В35-В60

Указанные зависимости могут использоваться для ориентировочной оценки прочности бетона от 12,5 до 45 МПа и от 45 до 75 МПа соответственно при поверхностном прозвучивании с базой 150 мм.

Ранее установленную или универсальную градуировочную зависимость для конкретных условий испытаний следует уточнять с помощью коэффициента совпадения (см. формулу 4.11).

Для уточнения градуировочной зависимости, установленной для бетона, отличающегося от испытуемого, значение прочности бетона, определенное с использованием этой градуировочной зависимости, умножают на коэффициент совпадения, определяемый по формуле

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{R_{o.c.i}}{R_{узк i}}}{n} \quad (4.11)$$

где – $R_{o.c.i}$ прочность бетона в участке, определяемая методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690 или испытанием кернов по ГОСТ 28570[30];

$R_{узк i}$ – прочность бетона в участке, определяемая ультразвуковым методом по используемой градуировочной зависимости;

n - число участков, принимаемое не менее трех.

При вычислении коэффициента совпадения должны быть соблюдены следующие условия:

- каждое частное значение $\frac{R_{o.c.i}}{R_{узк i}}$ должно быть не менее 0,7 и не более 1,3:

$$0,7 \leq \frac{R_{o.c.i}}{R_{узк i}} \leq 1,3 \quad (4.12)$$

;

- каждое частное значение $\frac{R_{o.c.i}}{R_{узк i}}$ должно отличаться от среднего значения не

более чем на 15%

$$0,85K_c \leq \frac{R_{o.c.i}}{R_{узк i}} \leq 1,15K_c \quad (4.13)$$

Значения $\frac{R_{0.c.i}}{R_{узк.i}}$ не удовлетворяющие приведенным выше условиям, не

должны учитываться при вычислении коэффициента совпадения K_c

Установленные или универсальные градуировочные зависимости могут использоваться без привязки к конкретным условиям испытаний только для получения ориентировочных значений прочности. Не допускается использовать ориентировочные значения прочности для оценки класса бетона по прочности[32].

4.1.12 Порядок работы с прибором УК-14П

Общие сведения.

Прибор ультразвуковой УК-14П предназначен для определения прочности бетона в сборных и монолитных конструкциях и железобетонных изделиях и конструкциях в диапазоне (10-50) МПа с погрешностью, не превышающей 12 %, контроля твердения бетона в сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкциях в процессе тепловой обработки и твердения их в естественных условиях по методике, изложенной в ГОСТ17624 [32];а также контроля качества других изделий, материалов и дефектов в них по соответствующим методикам.

Измерения производятся в двух режимах:

-режим измерения времени распространения ультразвуковых колебаний (УЗК) (переключатель **РЕЖИМ t**);

- режим измерения длительности фронта первого вступления сигнала (переключатель **РЕЖИМ τ**);

Прибор эксплуатируется при температуре окружающего воздуха от минус 10 °С до плюс 50 °С и относительной влажности 95 % , при 35 °С и более низких температурах без конденсации влаги.

После каждого замера преобразователи прибора необходимо протирать ветошью от остатков смазки и частиц испытываемого материала [33].

Подготовка к работе.

Для приведения прибора в рабочее состояние включается в сеть шнур блока питания сетевого, расположенного в нижней части прибора и включается кнопка сетевого питания **СЕТЬ** при этом должен загореться индикатор красного свечения на блоке питания .

Перед работой с прибором преобразователи подключаются к разъемам (→ и →) прибора. Включается прибор нажатием на кнопку **ВКЛ** ,при этом должен загореться индикатор включения электропитания **ВКЛ** и индикатор **РЕЖИМ t**.

Производится коррекцию систематической погрешности прибора с помощью комплекта отраслевых стандартных образцов КМД19-0 стекло орг.ТОСП (МД19-0-1,МД19-0-2), в дальнейшем образцы ,следующим образом:

- преобразователи устанавливаются соосно на торцевых поверхностях образца МД19-0-1,предварительно смазанных контактной жидкостью (масло касторовое ГОСТ 6990-75) и производится измерение времени распространения УЗК по цифровому индикатору **ВРЕМЯ μs** ;

-производятся аналогичные измерения времени распространения УЗК в образцах МД19-0-1 и МД19-0-2, установленных друг на друга через контактную среду;

-вычисляется “истинное” время распространения УЗК в образце МД19-0-2 по формуле :

$$t_{2u} = t_3 - t_1 \quad (4.14)$$

где t_{2u} -“истинное” время распространения УЗК в образце МД19-0-2, μs ;

t_3 - время распространения УЗК в образцах МД19-0-1 и МД19-0-2, μs ;

t_1 -- время распространения УЗК в образцах МД19-0-1, μs .

- преобразователи устанавливаются соосно на торцевых поверхностях образца МД19-0-2, предварительно смазанных контактной жидкостью, и с помощью

регулировки $>0<$, добиваются равенства измеряемого t_2 и «истинного» времени распространения УЗК t_{2u} .

Коррекцию систематической погрешности измерения временных интервалов необходимо проводить перед началом работы и при смене преобразователей [33].

Порядок работы.

Измерение времени распространения УЗК в образцах и изделиях производится следующим образом:

- прибор подготавливается к работе;
- преобразователи устанавливаются соосно на образце материала или контролируемом изделии, предварительно смазанных контактной смазкой;
- при наличии устойчивых показаний фиксируется результат по цифровому индикатору **ВРЕМЯ μ s**;
- показания прибора заносятся в таблицу 4.2 .

Измерение длительности фронта первого поступления сигнала производится следующим образом:

- прибор подготавливается к работе;
- переключается режим работы переключателя на **РЕЖИМ τ** , при этом должен загореться индикатор **τ** ;
- при наличии устойчивых показаний результат фиксируется по цифровому индикатору **ВРЕМЯ μ s**;
- показания прибора заносятся в таблицу 4.2 .

При необходимости переключиться обратно в режим измерения времени распространения УЗК необходимо нажать переключатель **РЕЖИМ t** .

По окончании работы прибор необходимо отключить от сети, протереть преобразователи от остатков смазки и частиц материала, упаковать прибор в имеющийся чехол [33].

4.2 Механические методы неразрушающего контроля

Неразрушающие механические методы применяют для определения прочности бетона на сжатие в установленном проектной документацией промежуточном и проектном возрасте и в возрасте, превышающем проектный, при обследовании конструкций.

Существует несколько механических неразрушающих методов контроля прочности бетона (ГОСТ 22690—2015 [31]). Они различаются совокупностью тех механических свойств, которые непосредственно определяют величину косвенного показателя прочности бетона. По этому признаку механические неразрушающие методы можно разбить на три группы:

Первая - основанная на существующей зависимости между прочностью бетона на сжатие и поверхностной твердостью, называемая методом пластической деформации;

вторая - основанная на зависимости между прочностью бетона и его упругими свойствами;

третья - основанная на зависимости между прочностью бетона и усилием, необходимым для местного разрушения с помощью специальных приспособлений небольшого участка бетона.

Метод пластической деформации. Твердость - это сопротивление поверхности материала местному деформированию при внедрении в материал более твердого тела - наконечника (индентора). В зависимости от метода испытания, свойств наконечника и испытываемого материала твердость может быть оценена различными величинами. В большинстве случаев твердость оценивают по размерам оставшегося на поверхности отпечатка. Эти методы уже более 100 лет тому назад начали использовать для определения твердости металлов (методы Бринелля, Роквелла). В дальнейшем они нашли широкое распространение и при определении твердости других материалов, в частности бетона.

Твердость связана с прочностью на сжатие. Чем выше твердость материала, тем выше его прочность. На этом основана первая группа механических неразру-

шающих методов определения прочности бетона. Различают метод пластической деформации при динамическом воздействии или вдавливании.

При динамическом воздействии производится удар по поверхности бетона индентором в виде шарика. При вдавливании в поверхность бетона вдавливаются индентор обычно в виде сферы или шарика. Косвенным показателем служит диаметр отпечатка, а при вдавливании — иногда и его глубина.

Методы, основанные на зависимости между прочностью бетона и его упругими свойствами. Если на бетонную поверхность бросить стальной шарик, он отскочит. Причем чем выше упругие свойства бетона, тем выше высота отскока. Упругие свойства связаны с прочностью бетона на сжатие: чем выше прочность, тем большую упругость имеет материал. В настоящее время применяют методы: упругого отскока и ударного импульса, при которых удар производится о поверхность бетона. При упругом отскоке измеряют высоту отскока ударяющегося элемента прибора, при ударном импульсе — электрический импульс, возбуждаемый при отскоке.

Методы, основанные на местном разрушении бетона. Прочность бетона влияет на усилие, необходимое для местного разрушения бетона, например при вырыве из бетона, заделанного в него стержня (метод отрыва со скалыванием), при сколе ребра конструкции или при отрыве от конструкции приклеенного металлического диска [35].

Наиболее распространенными неразрушающими механическими методами определения прочности на сжатие тяжелых, мелкозернистых, легких и напрягающих бетонов, монолитных, сборных и сборно-монолитных бетонных и железобетонных изделий, конструкций и сооружений (далее — конструкции) являются:

- метод упругого отскока;
- метод ударного импульса;
- метод пластической деформации;
- метод отрыва, скалывания ребра и отрыва со скалыванием.

Метод испытания следует выбирать с учетом данных, приведенных в таблице 1. и дополнительных ограничений, установленных производителями конкретных средств измерений. Применение методов за пределами рекомендуемых в таблице 4.3 диапазонов прочности бетона допускается при научно-техническом обосновании по результатам исследований с использованием средств измерений, прошедших метрологическую аттестацию для расширенного диапазона прочности бетона.

Таблица 4.3- Рекомендуемые диапазоны прочности бетона

Наименование метода	Предельные значения прочности бетона. МПа
Упругий отскок и пластическая деформация	5—50
Ударный импульс	5—150
Отрыв	5—60
Скалывание ребра	10—70
Отрыв со скалыванием	5—100

Метод отрыва со скалыванием при проведении испытаний в соответствии со стандартной схемой (рисунок 4.7) и метод скалывания ребра при проведении испытаний в соответствии со стандартной схемой (рисунок 4.9) являются прямыми неразрушающими методами определения прочности бетона. Для прямых неразрушающих методов допускается использовать градуировочные зависимости, установленные по формулам 4.14 и 4.15.

Стандартные схемы испытаний применимы в ограниченном диапазоне прочности бетона (см. таблицы 4.4 и 4.5). Для случаев, не относящихся к стандартным схемам испытаний, следует устанавливать градуировочные зависимости по общим правилам.

Стандартная схема испытания методом отрыва со скалыванием [31].

Стандартная схема испытания методом отрыва со скалыванием предусматривает проведение испытаний при соблюдении указанных ниже требований.

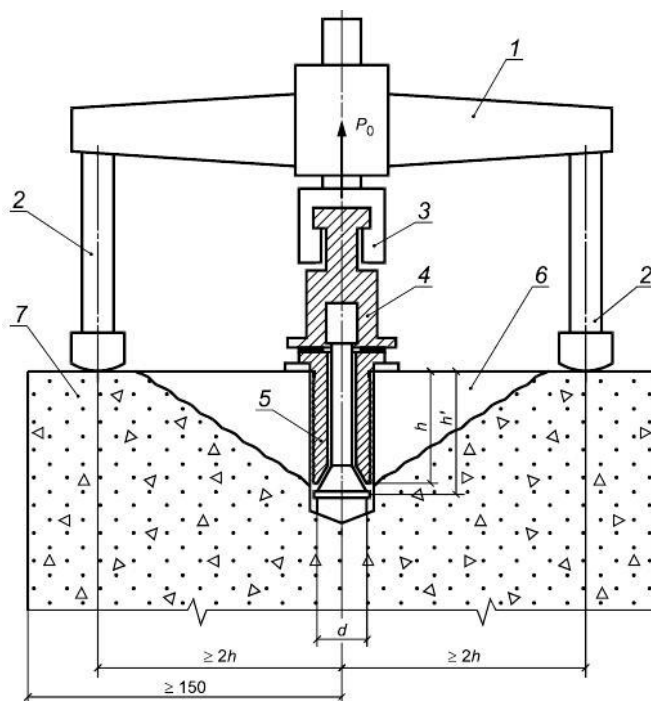
Стандартная схема испытаний применима в следующих случаях:

-испытания тяжелого бетона прочностью на сжатие от 5 до 100 МПа;

- испытания легкого бетона прочностью на сжатие от 5 до 40 МПа:

-максимальная фракция крупного заполнителя бетона не более рабочей глубины заделки анкерных устройств.

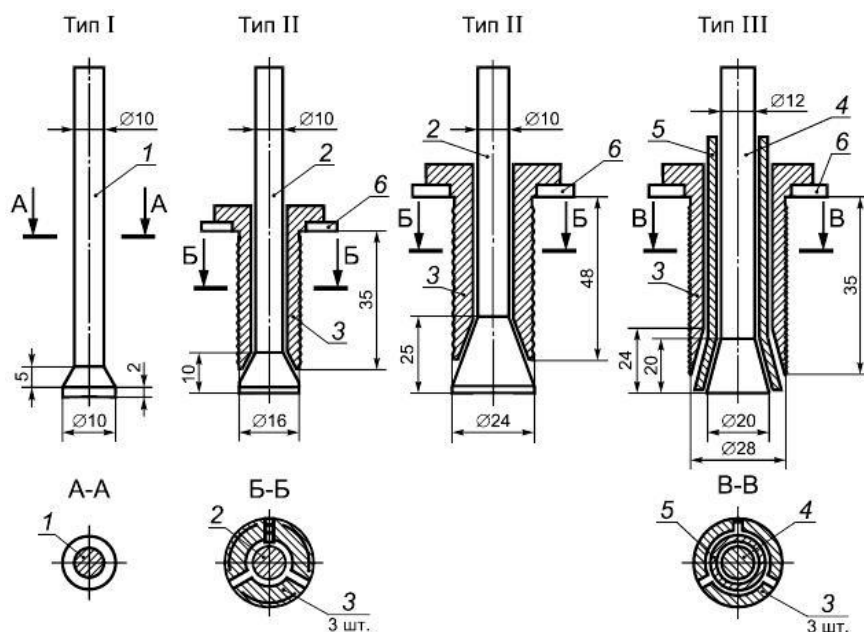
Опоры нагружающего устройства должны равномерно прилегать к поверхности бетона на расстоянии не менее $2h$ от оси анкерного устройства, где h — рабочая глубина заделки анкерного устройства. Схема испытания на рисунке 4.7.



1 - прибор с нагружающим устройством и силоизмерителем: 2 - опоры нагружающего устройства: 3 - захват нагружающего устройства: 4 - переходные элементы тяги. 5 – анкерное устройство 6 - вырываемый бетон (конус отрыва): 7 - испытываемая конструкция

Рисунок 4.7 —Схема испытания методом отрыва со скалыванием

Стандартной схемой испытания методом отрыва со скалыванием предусмотрено применение анкерных устройств трех типов (см. рисунок 4.8). Анкерное устройство типа I устанавливают в конструкции при бетонировании. Анкерные устройства типов II и III устанавливают в предварительно подготовленные в конструкции отверстия.



I — рабочий стержень; 2 — рабочий стержень с расширенным конусом; 3 — сегментные рифленные щёки; 4 — опорный стержень; 5 — рабочий стержень с полым разжимным конусом; в - выравнивающая шайба.

Рисунок 4.8— Типы анкерных устройств для стандартной схемы испытаний

Параметры анкерных устройств и допустимые для них диапазоны измеряемой прочности бетона при стандартной схеме испытаний указаны в таблице 4.4. Для легкого бетона при стандартной схеме испытаний применяются только анкерные устройства с глубиной заделки 48 мм.

Таблица 4.4 — Параметры анкерных устройств при стандартной схеме испытаний

Тип анкерного устройства	Диаметр анкерного устройства, мм	Глубина заделки анкерных устройств, мм		Допустимый для анкерного устройства диапазон измерений прочности на сжатие бетона, МПа	
		рабочая h	полная h ¹	тяжелого	лёгкого
I	14	35	37	45-75	-
	14	48	50	10-50	10-40
II	16	35	42	40-100	-
	24	48	55	5-100	5-40
III	28	35	42	10—50	-

Конструкции анкеров типов II и III должны обеспечивать предварительное (до приложения нагрузки) обжатие стенок отверстия на рабочей глубине заделки h и контроль проскальзывания после испытания.

Градуировочная зависимость для метода отрыва со скалыванием при стандартной схеме испытания [31].

При проведении испытаний методом отрыва со скалыванием по стандартной схеме кубиковую прочность бетона на сжатие R , МПа допускается вычислять по градуировочной зависимости по формуле

$$R = m_1 m_2 P. \quad (4.15)$$

где m_1 - коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя в зоне вырыва и принимаемый равным 1 при крупности заполнителя менее 50 мм;

m_2 , - коэффициент пропорциональности для перехода от усилия вырыва в килоньютонах к прочности бетона в мегапаскалях;

P - усилие вырыва анкерного устройства, кН.

При испытании тяжелого бетона прочностью 5 МПа и более и лёгкого бетона прочностью от 5 до 40 МПа значения коэффициента пропорциональности m_2 , принимают по таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Значения коэффициента пропорциональности m_2

Тип анкерного устройства	Диапазон измеряемой прочности бетона на сжатие, МПа	Диаметр анкерного устройства d , мм	Глубина заделки анкерного устройства, мм	Значение коэффициента m_2 для бетонов	
				тяжелого	легкого
I	45—75	14	35	2,4	-
	10—50	14	48	1,1	1.2
II	40—75	16	35	1,7	-
	5—75	24	48	0.9	1.0
III	10—50	28	35	1.5	-

Коэффициенты m_2 - при испытании тяжелого бетона со средней прочностью выше 70 МПа следует принимать по ГОСТ 31914 [36].

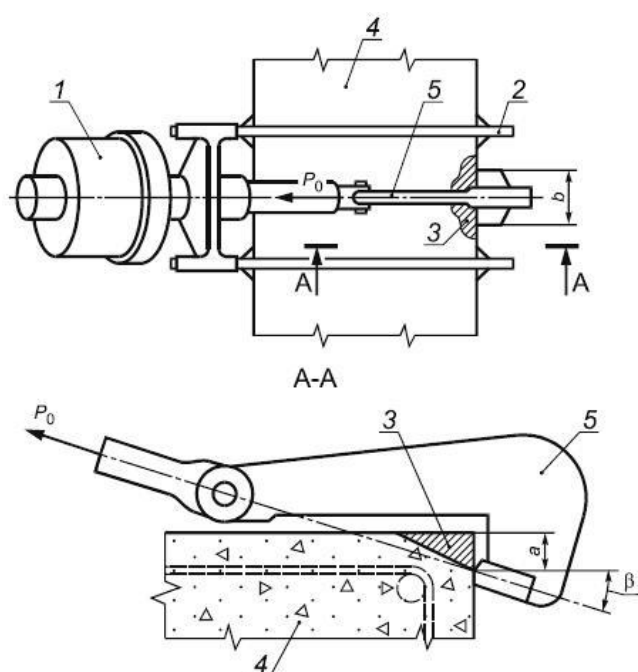
Стандартная схема испытания методом скалывания ребра [31].

Стандартная схема испытания методом скалывания ребра предусматривает проведение испытаний при соблюдении указанных ниже требований.

Стандартная схема испытаний применима в следующих случаях:

- максимальная фракция крупного заполнителя бетона не более 40 мм;
- испытания тяжелого бетона прочностью на сжатие от 10 до 70 МПа на гранитном и известняковом щебне.

Для проведения испытаний применяют прибор, состоящий из силового двигателя с блоком силоизмерителя и захвата со скобой для местного скалывания ребра конструкции. Схема испытания приведена на рисунке 4.9.



1 — прибор с нагружающим устройством и силоизмерителем; 2 — опоры для рамы; 3 — скалываемый бетон; 4 — испытываемая конструкция; 5 — захват со скобой

Рисунок 4.9 — Схема испытания методом скалывания ребра

При местном скалывании ребра должны быть обеспечены следующие параметры:

- глубина скалывания $a = (20 \pm 2)$ мм;
- ширина скалывания $b = (30 \pm 0,5)$ мм;

-угол между направлением действия нагрузки и нормалью к нагружаемой поверхности конструкции ($\beta=(18\pm 1)^\circ$).

Градуировочная зависимость для метода скалывания ребра при стандартной схеме испытания [31].

При выполнении испытания методом скалывания ребра по стандартной схеме, кубиковую прочность на сжатие бетона на гранитном и известковом щебне R , МПа допускается вычислять по градуировочной зависимости по формуле

$$R = 0,058 \cdot m \cdot (30P + P^2), \quad (4.16)$$

где m — коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя и принимаемый равным:

1,0 — при крупности заполнителя менее 20 мм:

1,05 — при крупности заполнителя от 20 до 30 мм: •

1,1 — при крупности заполнителя от 30 до 40 мм.

P — усилие скалывания. кН.

Определение прочности тяжелых бетонов проектных классов В60 и выше или при средней прочности бетона на сжатие $R_m \geq 70$ МПа в монолитных конструкциях необходимо проводить с учетом положений ГОСТ 31914[36].

Прочность бетона определяют на участках конструкций, не имеющих видимых повреждений (отслоение защитного слоя, трещины, каверны и т. п.).

Возраст бетона контролируемых конструкций и ее участков не должен отличаться от возраста бетона конструкций (участков, образцов), испытанных для установления градуировочной зависимости, более чем на 25 %. Исключениями являются контроль прочности и построение градуировочной зависимости для бетона, возраст которого превышает два месяца. В этом случае различие в возрасте отдельных конструкций (участков, образцов) не регламентируется[31].

Испытания проводят при положительной температуре бетона. Допускается проводить испытания при отрицательной температуре бетона, но не ниже минус

10 °С. при установлении или привязке градуировочной зависимости с учетом требований п. 4.2.2. Температура бетона при испытаниях должна соответствовать температуре, предусмотренной условиями эксплуатации приборов[31].

Градуировочные зависимости, установленные при температуре бетона ниже 0 :С. не допускается применять при положительных температурах.

При необходимости проведения испытаний бетона конструкций после тепловой обработки при температуре поверхности $T \geq 40$ °С (для контроля отпускной, передаточной и распалубочной прочности бетона) градуировочную зависимость устанавливают после определения прочности бетона в конструкции косвенным разрушающим методом при температуре $t = (T \pm 10)$ °С, а испытания бетона прямым неразрушающим методом или испытания образцов — после остывания при нормальной температуре[31].

4.2.1 Средства измерений, аппаратура и инструмент

Средства измерений и приборы для механических испытаний, предназначенные для определения прочности бетона, должны быть аттестованы и поверены в установленном порядке и должны соответствовать требованиям таблицы 4.6.

Таблица 4.6- Требования к приборам для механических испытаний

Наименование характеристик приборов	Характеристика приборов для метода					
	упругого отскока	ударного импульса	пластической деформации	отрыва	скалывания ребра	отрыва со скалыванием
1	2	3	4	5	6	7
Твердость ударника, бойка или индентора HRC, не менее	51	51	51	-	-	-
Шероховатость контактной части ударника или индентора, мкм, не более	10	10	10	-	-	-
Диаметр ударника или индентора, мм, не менее	10	10	10	-	-	-
Толщина кромок дискового индентора. мм, не менее	-	-	10	-	-	-
Угол конического индентора	-	-	30-60°	-	-	-
Диаметр отпечатка. % диаметра индентора	-	-	20-70	-	-	-

Продолжение таблицы 4.6

1	2	3	4	5	6	7
Допуск перпендикулярности при приложении нагрузки на высоте 100 мм. мм	4	4	4	4	-	4
Энергия удара. Дж. не менее	0,7	0,02	0,7	-	-	-
Скорость увеличения нагрузки. кН/с	-	-	$\leq 1,5^*$	0,5-1,5	0,5-1,5	1,5-3,0
Погрешность измерения нагрузки, %, не более	-	-	5*	5	5	5
* При вдавливании индентора в поверхность бетона.						

Показания приборов, градуированных в единицах прочности бетона, следует рассматривать как косвенный показатель прочности бетона. Указанные приборы следует использовать только после установления градуировочной зависимости «показание прибора — прочность бетона» или привязки зависимости, установленной в приборе в соответствии с 4.2.9.

Инструмент для измерения диаметра отпечатков (штангенциркуль по ГОСТ 166)[37], используемый для метода пластических деформаций, должен обеспечивать измерение с погрешностью не более 0,1 мм, инструмент для измерения глубины отпечатка (индикатор часового типа по ГОСТ 577 [38] и др.) — с погрешностью не более 0.01 мм.

Стандартные схемы проведения испытаний методом отрыва со скалыванием и скола ребра предусматривают применение анкерных устройств и захватов в соответствии с рисунками 4.7 – 4.9 [31].

Для метода отрыва со скалыванием следует применять анкерные устройства, глубина заделки которых должна быть не менее максимального размера крупного заполнителя бетона испытываемой конструкции.

Для метода отрыва следует использовать стальные диски диаметром не менее 40 мм, толщиной не менее 6 мм и не менее 0,1 диаметра, с параметрами шероховатости приклеиваемой поверхности не менее $R_a = 20$ мкм по ГОСТ 2789. Клей для приклейки диска должен обеспечивать прочность сцепления с бетоном, при которой разрушение происходит по бетону[31].

4.2.2 Подготовка к испытаниям

Подготовка к испытаниям включает в себя проверку используемых приборов в соответствии с инструкциями по их эксплуатации и установление градуировочных зависимостей между прочностью бетона и косвенной характеристикой прочности.

Градуировочную зависимость устанавливают на основании следующих данных:

-результатов параллельных испытаний одних и тех же участков конструкций одним из косвенных методов и прямым неразрушающим методом определения прочности бетона;

-результатов испытаний участков конструкций одним из косвенных неразрушающих методов определения прочности бетона и испытаний образцов-кернов, отобранных из тех же участков конструкции и испытанных в соответствии с ГОСТ 28570 [30];

-результатов испытаний стандартных бетонных образцов одним из косвенных неразрушающих методов определения прочности бетона и механических испытаний по ГОСТ 10180 [26].

Для косвенных неразрушающих методов определения прочности бетона градуировочную зависимость устанавливают для каждого вида нормируемой прочности, указанной в 4.1 для бетонов одного номинального состава.

Допускается строить одну градуировочную зависимость для бетонов одного вида с одним типом крупного заполнителя, с единой технологией производства, отличающихся по номинальному составу и значению нормируемой прочности.

При построении градуировочной зависимости отклонения единичных значений прочности бетона R_{ϕ} от среднего значения прочности бетона участков или образцов \bar{R}_{ϕ} , использованных для построения градуировочной зависимости, должны быть в пределах:

-от 0,5 до 1,5 среднего значения прочности бетона \bar{R}_{ϕ} при $\bar{R}_{\phi} \leq 20$ МПа;

-от 0,6 до 1,4 среднего значения прочности бетона \bar{R}_ϕ при $20 \text{ МПа} < \bar{R}_\phi \leq 50$

МПа;

-от 0,7 до 1,3 среднего значения прочности бетона \bar{R}_ϕ при $50 \text{ МПа} < \bar{R}_\phi \leq 80$

МПа;

-от 0,8 до 1,2 среднего значения прочности бетона \bar{R}_ϕ при $\bar{R}_\phi > 80$ МПа.

Допустимое отличие возраста бетона отдельных конструкций (участков, образцов) при установлении градуировочной зависимости от возраста бетона контролируемой конструкции может составлять не более 25%.

Для прямых неразрушающих методов допускается использовать зависимости 4.15 и 4.16. для всех видов нормируемой прочности бетона.

Градуировочная зависимость должна иметь среднеквадратическое (остаточное) отклонение $S_{Т.Н.М.}$ не превышающее 15 % среднего значения прочности бетона участков или образцов, использованных при построении зависимости, и коэффициент (индекс) корреляции не менее 0,7.

Рекомендуется использовать линейную зависимость вида $R = a + bK$ (где R - прочность бетона, K - косвенный показатель). Методика установления, оценки параметров и определения условий применения линейной градуировочной зависимости приведена в п. 4.2.5.

Корректировка установленной зависимости для бетонов в промежуточном и проектном возрасте должна проводиться не реже одного раза в месяц с учетом дополнительно полученных результатов испытаний. Число образцов или участков дополнительных испытаний при проведении корректировки должно быть не менее трех. Методика корректировки приведена в приложении 4.2.5.

Допускается применять косвенные неразрушающие методы определения прочности бетона, используя градуировочные зависимости, установленные для бетона, отличающегося от испытываемого по составу, возрасту, условиям твердения, влажности, с привязкой в соответствии с методикой п. 4.2.9.

Без привязки к конкретным условиям по п. 4.2.9 градуировочные зависимости, установленные для бетона, отличающегося от испытуемого, допускается использовать только для получения ориентировочных значений прочности. Не допускается использовать ориентировочные значения прочности без привязки к конкретным условиям для оценки класса бетона по прочности [31].

Построение градуировочной зависимости по результатам испытаний прочности бетона в конструкциях.

При построении градуировочной зависимости по результатам испытаний прочности бетона в конструкциях зависимость устанавливают по единичным значениям косвенного показателя и прочности бетона одних и тех же участков конструкций.

За единичное значение косвенного показателя принимают среднее значение косвенного показателя в участке. За единичное значение прочности бетона принимают прочность бетона участка, определенную прямым неразрушающим методом или испытанием отобранных образцов.

Минимальное число единичных значений для построения градуировочной зависимости по результатам испытаний прочности бетона в конструкциях - 12.

При построении градуировочной зависимости по результатам испытаний прочности бетона в конструкциях не подлежащих испытанию конструкциях или их зонах предварительно проводят измерения косвенным неразрушающим методом согласно требованиям п. 4.2.4.

Затем выбирают участки в количестве 12 шт., на которых получены максимальное, минимальное и промежуточные значения косвенного показателя.

После испытания косвенным неразрушающим методом участки испытывают прямым неразрушающим методом или отбирают образцы для испытания по ГОСТ 28570 [30].

Для определения прочности при отрицательной температуре бетона участки, выбранные для построения или привязки градуировочной зависимости, сначала испытывают косвенным неразрушающим методом, а затем отбирают образцы

для последующего испытания при положительной температуре или отогревают внешними источниками тепла (инфракрасные излучатели, тепловые пушки и др.) на глубину 50 мм до температуры не ниже 0 °С и испытывают прямым неразрушающим методом. Контроль температуры отогреваемого бетона проводят на глубине установки анкерного устройства в подготовленном отверстии или по поверхности скола бесконтактным способом с помощью пирометра по ГОСТ 28243[39].

Отбраковка результатов испытаний, используемых для построения градуировочной зависимости при отрицательной температуре, допускается только в том случае, если отклонения связаны с нарушением процедуры испытания. При этом отбраковываемый результат должен быть заменен результатами повторного испытания в той же зоне конструкции [31].

4.2.3 Построение градуировочной зависимости по контрольным образцам

При построении градуировочной зависимости по контрольным образцам зависимость устанавливают по единичным значениям косвенного показателя и прочности бетона стандартных образцов-кубов.

За единичное значение косвенного показателя принимают среднее значение косвенных показателей для серии образцов или для одного образца (если градуировочную зависимость устанавливают по отдельным образцам). За единичное значение прочности бетона принимают прочность бетона в серии по ГОСТ 10180[26] или одного образца (градуировочная зависимость по отдельным образцам). Механические испытания образцов по ГОСТ 10180[26] проводят непосредственно после испытаний косвенным неразрушающим методом.

При построении градуировочной зависимости по результатам испытаний образцов-кубов используют не менее 15 серий образцов-кубов по ГОСТ 10180 или не менее 30 отдельных образцов-кубов. Образцы изготовляют в соответствии с требованиями ГОСТ 10180 в разные смены, в течение не менее 3 суток из бетона

одного номинального состава, по одной технологии, при том же режиме твердения, что и конструкция, подлежащая контролю[31].

Единичные значения прочности бетона образцов-кубов, используемых для построения градуировочной зависимости, должны соответствовать ожидаемым на производстве отклонениям, при этом быть в пределах диапазонов, установленных в 6.1.7.

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

При установлении градуировочной зависимости для метода отрыва со скалыванием изготавливают основные и контрольные образцы. На основных образцах определяют косвенную характеристику, контрольные образцы испытывают по ГОСТ 10180. Основные и контрольные образцы должны быть изготовлены из одного бетона и твердеть в одинаковых условиях.

Размеры образцов следует выбирать в соответствии с наибольшей крупностью заполнителя в бетонной смеси по ГОСТ 10180, но не менее:

100x100x100мм для метода отскока, ударного импульса, пластической деформации, а также для метода отрыва со скалыванием (контрольные образцы),

200x 200x200 мм для метода скалывания ребра конструкции;

300x300x300 мм, но с размером ребра не менее шести глубин установки анкерного устройства для метода отрыва со скалыванием (основные образцы).

Для определения косвенных характеристик прочности проводят испытания согласно требованиям раздела 4.2.4 на боковых (по направлению бетонирования) гранях образцов-кубов.

Общее число измерений на каждом образце для метода упругого отскока, ударного импульса, пластической деформации при ударе должно быть не менее установленного числа испытаний на участке по таблице 4.7. а расстояние между местами ударов — не менее 30 мм (15 мм для метода ударного импульса). Для

метода пластической деформации при вдавливании число испытаний на каждой грани должно быть не менее двух, а расстояние между местами испытаний - не менее двух диаметров отпечатков.

При установлении градуировочной зависимости для метода скалывания ребра проводят по одному испытанию на каждом боковом ребре.

При установлении градуировочной зависимости для метода отрыва со скалыванием проводят по одному испытанию на каждой боковой грани основного образца.

При испытаниях методом упругого отскока, ударного импульса, пластической деформации при ударе образцы должны быть зажаты в прессе с усилием не менее (30 ± 5) кН и не более 10 % ожидаемого значения разрушающей нагрузки.

Образцы, испытанные методом отрыва, устанавливаются на прессе так, чтобы к опорным плитам пресса не прилегали поверхности, на которых проводили вырыв. Результаты испытаний по ГОСТ 10180[26] увеличивают на 5 % [31].

4.2.4 Проведение испытаний

Общие требования.

Число и расположение контролируемых участков в конструкциях должны соответствовать требованиям ГОСТ 18105[31] и указываться в проектной документации на конструкции или устанавливаться с учетом:

- задач контроля (определение фактического класса бетона, распалубочной или отпускной прочности, выявление участков пониженной прочности и т. п.);
- вида конструкции (колонны, балки, плиты и др.);
- размещения захваток и порядка бетонирования;
- армирования конструкций.

Правила назначения числа участков испытаний монолитных и сборных конструкций при контроле прочности бетона приведены в п. 4.2.11. При определении прочности бетона обследуемых конструкций число и расположение участков должны приниматься по программе проведения обследования.

Испытания проводят на участке конструкции площадью от 100 до 900 см³.

Общее число измерений на каждом участке, расстояние между местами измерений на участке и от края конструкции, толщина конструкций на участке измерений должны быть не менее значений, приведенных в таблице 4.7 в зависимости от метода испытаний [31].

Таблица 4.7 - Требования к участкам испытаний

Наименование метода	Общее число измерений на участке	Минимальное расстояние между местами измерений на участке, мм	Минимальное расстояние от краёв конструкции до места измерения, мм	Минимальная толщина конструкции, мм
Упругий отскок	9	30	50	100
Ударный импульс	10	15	50	50
Пластическая деформация	5	30	50	70
Скалывание ребра	2	200	—	170
Отрыв	1	2 диаметра диска	50	50
Отрыв со скалыванием при рабочей глубине заделки анкера h:				
≥ 40мм	1	5h	150	2h
< 40мм	2			

Отклонение отдельных результатов измерений на каждом участке от среднего арифметического значения результатов измерений для данного участка не должно превышать 10%. Результаты измерений, не удовлетворяющие указанному условию, не учитывают при вычислении среднего арифметического значения косвенного показателя для данного участка. Общее число измерений на каждом участке при вычислении среднего арифметического должно соответствовать требованиям таблицы 4.7.

Прочность бетона в контролируемом участке конструкции определяют по среднему значению косвенного показателя по градуировочной зависимости, установленной в соответствии с требованиями раздела 4.2.2, при условии, что вычис-

ленное значение косвенного показателя находится в пределах установленной (или привязанной) зависимости (между наименьшим и наибольшим значениями прочности).

Шероховатость поверхности участка бетона конструкций при испытании методами отскока, ударного импульса, пластической деформации должна соответствовать шероховатости поверхности участков конструкции (или кубов), испытанных при установлении градуировочной зависимости. В необходимых случаях допускается зачищать поверхности конструкции.

При использовании метода пластической деформации при вдавливании, если нулевой отсчет снимают после приложения начальной нагрузки, требований к шероховатости поверхности бетона конструкции не предъявляют[31].

Метод упругого отскока.

Испытания проводят в следующей последовательности:

- прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;

- положение прибора при испытании конструкции относительно горизонтали рекомендуется принимать таким же, как и при установлении градуировочной зависимости. При другом положении прибора необходимо вносить поправку на показатели в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;

- фиксируют значение косвенной характеристики в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора:

- вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции[31].

Метод пластических деформации.

Испытания проводят в следующей последовательности:

- прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;

- при применении сферического индентора для облегчения измерений диаметров отпечатков испытание допускается проводить через листы копировальной

и белой бумаги (в этом случае испытания для установления градуировочной зависимости проводят с применением такой же бумаги);

- фиксируют значения косвенной характеристики в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;

- вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции[31].

Метод ударного импульса.

Испытания проводят в следующей последовательности:

- прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;

- положение прибора при испытании конструкции относительно горизонтали рекомендуется принимать таким же, как и при испытании при установлении градуировочной зависимости. При другом положении прибора необходимо вносить поправку на показания в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;

- фиксируют значение косвенной характеристики в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;

- вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции[31].

Метод отрыва.

При испытании методом отрыва участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры.

Испытание проводят в следующей последовательности:

- в месте приклейки диска снимают поверхностный слой бетона глубиной 0,5- 1 мм и очищают поверхность от пыли;

- диск приклеивают к бетону, прижимая диск и удаляя излишки клея за пределами диска;

- прибор соединяют с диском;

Нагрузку плавно увеличивают со скоростью $(1 \pm 0,3)$ кН/с;

- фиксируют показание силоизмерителя прибора;

- измеряют площадь проекции поверхности отрыва на плоскости диска с погрешностью $\pm 0,5$ см²;

- определяют значение условного напряжения в бетоне при отрыве как отношение максимального усилия отрыва к площади проекции поверхности отрыва.

Результаты испытаний не учитывают, если при отрыве бетона была обнажена арматура или площадь проекции поверхности отрыва составила менее 80 % площади диска[31].

Метод отрыва со скалыванием.

При испытании методом отрыва со скалыванием участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры.

Испытания проводят в следующей последовательности:

- если анкерное устройство не было установлено до бетонирования, то в бетоне выполняют отверстие, размер которого выбирают в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора в зависимости от типа анкерного устройства;

- в отверстие закрепляют анкерное устройство на глубину, предусмотренную инструкцией по эксплуатации прибора, в зависимости от типа анкерного устройства;

- прибор соединяют с анкерным устройством;

- нагрузку увеличивают со скоростью 1,5—3,0 кН/с;

- фиксируют показание силоизмерителя прибора P_0 и величину проскальзывания анкера Δh (разность между фактической глубиной вырыва и глубиной заделки анкерного устройства) с точностью не менее 0,1 мм.

Измеренное значение силы вырыва P_0 умножают на поправочный коэффициент γ , определяемый по формуле

$$\gamma = \frac{h^2}{(h - \Delta h)^2}, \quad (4.17)$$

где h — рабочая глубина заделки анкерного устройства, мм;

Δh — величина проскальзывания анкера, мм.

Если наибольший и наименьший размеры вырванной части бетона от анкерного устройства до границ разрушения по поверхности конструкции отличаются более чем в два раза, а также, если глубина вырыва отличается от глубины заделки анкерного устройства более чем на 5 % ($\Delta h > 0,05h$, $\gamma > 1,1$), то результаты испытаний допускается учитывать только для ориентировочной оценки прочности бетона.

Ориентировочные значение прочности бетона не допускается использовать для оценки класса бетона по прочности и построения градуировочных зависимостей.

Результаты испытания не учитывают, если глубина вырыва отличается от глубины заделки анкерного устройства более чем на 10 % ($\Delta h > 0,1h$) или была обнажена арматура на расстоянии от анкерного устройства, меньшем, чем глубина его заделки[31].

Метод скалывания ребра.

При испытании методом скалывания ребра на участке испытания не должно быть трещин, околлов бетона, наплывов или раковин высотой (глубиной) более 5 мм. Участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры.

Испытание проводят в следующей последовательности:

- прибор закрепляют на конструкции. прикладывают нагрузку со скоростью не более $(1 \pm 0,3)$ кН/с;
- фиксируют показание силоизмерителя прибора;
- измеряют фактическую глубину скалывания;
- определяют среднее значение усилия скалывания.

Результаты испытания не учитывают, если при скалывании бетона была обнажена арматура или фактическая глубина скалывания отличалась от заданной более чем на 2 мм [31].

4.2.5 Установление уравнения градуировочной зависимости

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

$$R = aH + b, \quad (4.18)$$

где R — прочность бетона. МПа;

H — косвенная характеристика.

a и b — коэффициенты, рассчитываемые по формулам:

$$b = \bar{R}_\phi - a\bar{H}; \quad (4.19)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})(R_{i\phi} - \bar{R}_\phi)}{\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2} \quad (4.20)$$

здесь $R_{i\phi}$ — прочность бетона в i -м участке (образце), определенная путем испытания прямым неразрушающим методом или разрушающим образцов-кернов или стандартным образом, МПа.

H_i — косвенная характеристика в i -м участке (образце), определенная в соответствии с требованиями раздела 7:

N — число участков или отдельных образцов, использовавшихся для построения градуировочной зависимости.

Средние значения прочности бетона \bar{R}_ϕ и косвенной характеристики \bar{H} рассчитывают по формулам:

$$\bar{R}_\phi = \frac{\sum_{i=1}^N R_{i\phi}}{N}; \quad (4.21)$$

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i}{N}, \quad (4.22)$$

Отбраковка результатов испытаний.

После построения градуировочной зависимости по формуле (4.18) проводят ее корректировку путем отбраковки единичных результатов испытаний, не удовлетворяющих условию:

$$\frac{|R_{iH} - R_{i\phi}|}{S} \leq 2, \quad (4.23)$$

где R_{iH} , — прочность бетона в i -м участке, определенная по рассматриваемой градуировочной зависимости:

S — остаточное среднеквадратическое отклонение, рассчитываемое по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{i\phi} - R_{iH})^2}{N - 2}}, \quad (4.24)$$

здесь $R_{i\phi}$, N — см. экспликацию к формуле (4.20).

После отбраковки градуировочную зависимость устанавливают вновь по формулам (4.18) - (4.22) по оставшимся результатам испытания. Отбраковку оставшихся результатов испытаний повторяют, рассматривая выполнение условия (4.23) при использовании новой (скорректированной) градуировочной зависимости.

Частные значения прочности бетоне должны удовлетворять требованиям изложенным в п. 4.2.2.

4.2.6 Параметры градуировочной зависимости

Для принятой градуировочной зависимости определяют:

- минимальное и максимальное значения косвенной характеристики H_{\min} ,

H_{\max}

- среднеквадратическое отклонение $S_{Т.Н.М}$ построенной градуировочной зависимости по формуле (4.24);

- коэффициент корреляции градуировочной зависимости r по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N [(R_{iH} - \bar{R}_H)(R_{i\Phi} - \bar{R}_\Phi)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{iH} - \bar{R}_H)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{i\Phi} - \bar{R}_\Phi)^2}}, \quad (4.25)$$

где среднее значение прочности бетона по градуировочной зависимости \bar{R}_H рассчитывают по формуле

$$\bar{R}_H = \frac{\sum_{i=1}^N R_{iH}}{N} \quad (4.26)$$

здесь значения R_{iH} , $R_{i\Phi}$, \bar{R}_Φ , N — см. экспликации к формулам (4.20),(4.23)

[31].

4.2.7 Корректировка градуировочной зависимости

Корректировка установленной градуировочной зависимости с учетом дополнительно получаемых результатов испытаний должна проводиться не реже одного раза в месяц.

При корректировке градуировочной зависимости к существующим результатам испытаний добавляют не менее трех новых результатов, полученных при минимальном, максимальном и промежуточном значениях косвенного показателя.

По мере накопления данных для построения градуировочной зависимости результаты предыдущих испытаний, начиная с самых первых, отбраковывают, чтобы общее число результатов не превышало 20. После добавления новых результатов и отбраковки старых минимальное и максимальное значения косвенной характеристики, градуировочную зависимость и ее параметры устанавливают вновь по формулам (4.18) - (4.26).

4.2.8 Условия применения градуировочной зависимости

Применение градуировочной зависимости для определения прочности бетона по настоящему стандарту допускается только для значений косвенной характеристики, попадающей в диапазон от H_{min} до H_{max} .

Если коэффициент корреляции $r < 0,7$ или значение $S_{Т.Н.М} / \bar{R}_\phi > 0.15$, то проведение контроля и оценке прочности по полученной зависимости не допускаются.

4.2.9 Методика привязки градуировочной зависимости

Значение прочности бетона, определяемое с использованием градуировочной зависимости, установленной для бетона, отличающегося от испытуемого, умножают на коэффициент совладения K_c . Значение K_c вычисляют по формуле

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{R_{o.c.i}}{R_{\text{косв.}i}}}{n} \quad (4.27)$$

где – $R_{o.c.i}$ прочность бетона в участке, определяемая методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690[31] или испытанием кернов по ГОСТ 28570[30];

$R_{\text{косв.}i}$ – прочность бетона в участке, определяемая ультразвуковым методом по используемой градуировочной зависимости;

n – число участков, принимаемое не менее трех.

При вычислении коэффициента совпадения должны быть соблюдены следующие условия:

- каждое частное значение $\frac{R_{o.c.i}}{R_{\text{косв.}i}}$ должно быть не менее 0,7 и не более 1,3:

$$0,7 \leq \frac{R_{o.c.i}}{R_{\text{косв.}i}} \leq 1,3 \quad (4.28) ;$$

- каждое частное значение $\frac{R_{o.c.i}}{R_{\text{косв.}i}}$ должно отличаться от среднего значения не

более чем на 15%

$$0,85K_c \leq \frac{R_{o.c.i}}{R_{кocв.i}} \leq 1,15K_c \quad (4.29)$$

Значения $\frac{R_{o.c.i}}{R_{кocв.i}}$ не удовлетворяющие приведенным выше условиям, не

должны учитываться при вычислении коэффициента совпадения K_c [31].

4.2.10 Пример установления градуировочной зависимости

Пример. Прочность бетона проектного класса по прочности В20 контролируют методом отскока прибором КМ. Для установления зависимости между значениями отскока и прочности бетона было испытано в течение 5 суток 20 серий образцов-кубов размером 100×100×100 мм ($N=20$). Средние результаты по каждой серии приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Данные для установления градуировочной зависимости

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

Продолжение таблицы 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8
17	18,4	24,9	25,20	25,24	0,13	0,17	
18	18,8	26,2	26,60	26,68	0,17	0,23	
19	17,2	25,8	21,00	-	2,03	-	
20	17,3	21,0	21,35	21,28	0,15	0,13	

Среднее значение прочности \bar{R}_ϕ и значение отскока \bar{H} вычисляем по формулам (4.21) и (4.22):

$$\bar{R}_\phi = \frac{18,7 + 26,7 + \dots + 21}{20} = 24,5$$

$$\bar{H} = \frac{17,7 + 18,6 + \dots + 17,3}{20} = 18,2.$$

Вычисляем по формулам (4.20) и (4.19) значения коэффициентов a и b :

$$a = \frac{(17,7 - 18,2)(18,7 - 24,5) + (18,6 - 18,2)(26,7 - 24,5) + \dots + (17,3 - 18,2)(21 - 24,5)}{(17,7 - 18,2)^2 + (18,6 - 18,2)^2 + \dots + (17,3 - 18,2)^2} = 3,5;$$

$$b = 24,5 - 3,5 \cdot 18,2 = -39,2.$$

Таким образом, градуировочную зависимость описываем уравнением

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

Значения прочностей $R_{ин}$, рассчитанные по градуировочной зависимости, приведены в таблице 4.8.

Остаточное среднее квадратическое отклонение, определенное по формуле (4.24), составит

$$S = \sqrt{\frac{(18,7 - 22,75)^2 + (26,7 - 25,9)^2 + \dots + (21 - 21,35)^2}{20 - 2}} = 2,36 \text{ МПа}$$

Сравнивая значение фактической прочности $R_{i\phi}$ в сериях образцов с прочностью $R_{ин}$, определенной по градуировочной зависимости (см. таблицу 4.8), устанавливаем, что условие формулы (4.23) не выполняется для серии 19, которая подлежит отбраковке.

По оставшимся 19 сериям образцов рассчитывают новые значения \bar{R}_ϕ , \bar{H} и коэффициентов a и b : $\bar{R}_\phi = 24,46$ МПа; $\bar{H} = 18,2$ $a = 3,6$; $b = -41$.

Определим опять значение $R_{ин}$ (см. таблицу 4.8) и рассчитаем среднее квадратическое отклонение $S = 2,1$ МПа.

Для скорректированной градуировочной зависимости по всем сериям образцов условие формулы (4.23) теперь удовлетворяется (см. таблицу 4.8). Таким образом, дальнейшую корректировку проводить не требуется и искомая градуировочная зависимость описывается уравнением

$$R_{ин} = 3,6 \cdot H - 41.$$

По п. 4.2.8 определим погрешность полученной зависимости. Поскольку $\frac{2,1}{24,46} = 0,0857 < 0,15$, то определение прочности бетона по установленной градуировочной зависимости может производиться по настоящему стандарту.

Коэффициент корреляции градуировочной зависимости r вычисляют по формуле (4.25) при

$$\bar{R}_н = \frac{(22,72 + 25,96 + \dots + 21,28)}{19} = 24,46 \text{ МПа,}$$

$$r = \frac{(22,72 - 24,46) \cdot (18,7 - 24,46) + \dots + (21,20 - 24,46) \cdot (21,0 - 24,46)}{\sqrt{(22,72 - 24,46)^2 + \dots + (21,28 - 24,46)^2} \cdot \sqrt{(21,2 - 24,46)^2 + \dots + (21,0 - 24,46)^2}} = 0,89$$

$0,89 > 0,7$, что удовлетворяет условию п. 4.2.8 [31].

4.2.11 Назначение числа участков испытаний сборных и монолитных конструкций

В соответствии с ГОСТ 18105[34] при контроле прочности бетона сборных конструкций (отпускной или передаточной) число контролируемых конструкций каждого вида принимают не менее 10 % и не менее 12 конструкций из партии.

Если партия состоит из 12 конструкций и менее, проводят сплошной контроль.

При этом число участков должно быть не менее:

- 1 на 4 м длины линейных конструкций;
- 1 на 4 м² площади плоских конструкций.

В соответствии с ГОСТ 18105 при контроле прочности бетона монолитных конструкций в промежуточном возрасте неразрушающими методами контролируют не менее одной конструкции каждого виде (колонна, стена, перекрытие, ригель и т. д.) из контролируемой партии.

В соответствии с ГОСТ 18105 при контроле прочности бетона монолитных конструкций в проектном возрасте проводят сплошной неразрушающий контроль прочности бетона всех конструкций контролируемой партии. При этом число участков испытаний должно быть не менее:

- 3 на каждую захватку для плоских конструкций (стена, перекрытие, фундаментная плита);
- 1 на 4 м длины (или 3 на захватку) для каждой линейной горизонтальной конструкции (балка, ригели);
- 6 на каждую конструкцию — для линейных вертикальных конструкций (колонна, пилон).

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

Число единичных измерений прочности бетона механическими методами неразрушающего контроля на каждом участке (число измерений на участке) принимают по таблице 4.7.

4.2.12 Обработка и оформление результатов

Результаты испытаний представляют в таблице, в которой указывают:

- вид конструкции;
- проектный класс бетона;

- возраст бетона;
- прочность бетона каждого проконтролированного участка по п. 4.2.4; среднюю прочность бетона конструкции;
- зоны конструкции или ее части при соблюдении требований п. 4.2.4.

Форма таблицы представления результатов испытаний приведена ниже (таблица 4.9).

Обработку и оценку соответствия установленным требованиям значений фактической прочности бетона, полученных с применением приведенных в настоящем стандарте методов, проводят по ГОСТ 18105[34].

Статистическую оценку класса бетона по результатам испытаний проводят по ГОСТ 18105 (схемы «А», «Б» или «В») в тех случаях, когда прочность бетона определяется по градуировочной зависимости, построенной в соответствии с пп. 4.2.2 - 4.2.3. При использовании ранее установленных зависимостей путем их привязки (по п. 4.2.9) статистический контроль не допускается, а оценку класса бетона проводят только по схеме «Г» ГОСТ 18105.

Результаты определения прочности бетона механическими методами неразрушающего контроля оформляют в заключении (протоколе), в котором приводят следующие данные:

- об испытанных конструкциях с указанием проектного класса, даты бетонирования и проведения испытаний или возраста бетона на момент проведения испытания;
- о применяемых методах контроля прочности бетона;
- о типах приборов с заводскими номерами, сведения о поверках приборов;
- о принятых градуировочных зависимостях (уравнение зависимости, параметры зависимости, соблюдение условий применения градуировочной зависимости);
- используемые для построения градуировочной зависимости или ее привязки (дата проведения и результаты испытаний неразрушающими косвенными и прямыми или разрушающими методами, корректирующие коэффициенты);

- о числе участков определения прочности бетона в конструкциях с указанием их расположения;

- результаты испытаний;

- методику, результаты обработки и оценки полученных данных[31].

Таблица 4.9 - Форма таблицы представления результатов испытаний

Наименование ¹⁾	Обозначение ²⁾	№ участка по схеме или расположение в осях ³⁾	Прочность бетона. МПа		Класс прочности бетона ⁶⁾
			Участка ⁴⁾	Средняя ⁵⁾	

¹⁾ Наименование конструкций (партии конструкций), проектный класс прочности бетона, дата бетонирования или возраст бетона испытанных конструкций.

²⁾ Марка, условное обозначение и (или) расположение конструкции в осях, зоны конструкции, или части монолитной и сборно-монолитной конструкции (захватки), для которой определяется класс прочности бетона.

³⁾ Общее число и расположение участков в соответствии с 4.2.4.

⁴⁾ Прочность бетона участка в соответствии с 4.2.4.

⁵⁾ Средняя прочность бетона конструкции, зоны конструкции или части монолитной и сборно-монолитной конструкции при количестве участков, отвечающих требованиям 4.2.4.

⁶⁾ Фактический класс прочности бетона конструкции или части монолитной и сборно-монолитной конструкции согласно пунктам 7.3— 7.5 ГОСТ 18105 в зависимости от выбранной схемы контроля.

Примечание - Представление в графе «Класс прочности бетона» оценочных значений класса или значений требуемой прочности бетона для каждого участка отдельно (оценка класса прочности по одному участку) не допустимо.

5 Литература рекомендуемая для изучения

1. Бужевич, Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях / Г. А. Бужевич, канд. техн. наук ; Госстрой СССР. Науч.-исслед. ин-т бетона и железобетона. - Москва : Стройиздат, 1970. - 272 с.: ил.

2. Бурлаков, Г.С. Технология изделий из легкого бетона : [Учеб. пособие для вузов по спец. "Пр-во строит. изделий и конструкций"] / Г. С. Бурлаков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 1986. - 295,[1] с. : ил.

3. Иванов, И.А. Технология легких бетонов на искусственных пористых заполнителях: учеб. пособие для вузов / И.А. Иванов. - М.:Стройиздат,1974.-287 с.

4. Ицкович, С. М. Технология заполнителей бетона : учеб. для вузов / С. М. Ицкович, Л. Д. Чумаков, Ю. М. Баженов. - М. : Высш. шк., 1991. - 272 с. : ил.

5. Диковский, И. А. Механические свойства бетона: учеб. пособие для вузов / И. А. Диковский, А. И. Кравцов . - Оренбург : ОГУ, 1998. - 159 с.

6. Ферронская, А. В. Лабораторный практикум по курсу `Технология бетонных и железобетонных изделий`: учеб. пособие для вузов / А. В. Ферронская, В. И. Стамбулко. - М. : Высш. шк., 1988. - 222 с.

7. Лещинский, М. Ю. Испытание прочности бетона / М. Ю. Лещинский, Б. Г. Скрамтаев .- 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Стройиздат, 1973. - 272 с. : ил. - Библиогр.: с. 258-271

8. Джонс, Р. Неразрушающие методы испытаний бетонов / Р. Джонс, И. Фэкзоару; пер. с рум. В. М. Маслобойщикова. - М. : Стройиздат, 1974. - 296 с.

9 Долидзе, Д. Е. Испытание конструкций и сооружений : учеб. пособие для вузов / Д. Е. Долидзе. - М. : Высш. шк., 1975. - 256 с.

10.Исследование свойств строительных материалов: учебное пособие для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство / А. А. Макаева [и др.]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 32735 Kb). - Оренбург : ОГУ, 2015.

Список использованных источников

1.Макаева, А. А. Современная нормативная база на цементы и бетоны / А. А. Макаева, А. И. Кравцов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф., 29-31 янв. 2014 г., Оренбург / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург,2014. - . - С. 705-709.

2.Кравцов, А.И., О новых стандартах для дорожного строительства / Кравцов А. И., А. А. Макаева, // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф., 1 - 3 февраля 2017 г., Оренбург / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург,2017. - . - С. 297-299.

3. Кравцов, А.И. Легкие бетоны на пористом заполнителе: Методические указания к лабораторным работам // Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" URL: <http://window.edu.ru/resource/257/19257/files/53.pdf> (дата обращения: 09.12.2016).

4. ГОСТ 25820-2014 Бетоны легкие. Технические условия. Дата принятия: 14 ноября 2014 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115734> (дата обращения: 09.12.2016).

5. ГОСТ 31384-2008 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования. Введ.2010-03-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200075105> (дата обращения: 09.12.2016).

6. СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 (с Изменением N 1). Введ.2013-03-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Элек-

трон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200092602> (дата обращения: 09.12.2016).

7. ГОСТ 6133-99 Камни бетонные стеновые. Технические условия. Введ.2002-01-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200025705> (дата обращения: 09.12.2016).

8. ГОСТ 13015-2012 Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. Введ. 2013-07-01// Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101281> (дата обращения: 09.12.2016).

9. ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия. Дата принятия: 13 мая // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200085075> (дата обращения: 09.12.2016).

10. ГОСТ 10178-85 (СТ СЭВ 5683-86) Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия (С Изменениями N 1, 2) измен. и доп. 25.01.2006 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL:<http://docs.cntd.ru/document/871001094/> (дата обращения: 09.12.2016).

11. ГОСТ 22266-2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия. Введ. 2013-01-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200111313> (дата обращения: 09.12.2016).

12. ГОСТ 31108-2003 Цементы общестроительные. Технические условия. Введ. 2004-09-01// Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200035243> (дата обращения: 09.12.2016).

13. ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. Введ. 2011-01-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200078983> (дата обращения: 09.12.2016).

14. ГОСТ 5494-95. Пудра алюминиевая. Технические условия. Введ. 1997-01-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-5494-95> (дата обращения: 09.12.2016).

15. ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия Введ. 2012-10-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200093835> (дата обращения: 09.12.2016).

16. ГОСТ 9758-2012 Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний Введ. 2013-11-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200100905> (дата обращения: 09.12.2016).

17. ГОСТ Р 53228-2008 Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания. Введ. 2010-01-01, 2013-01-01 в части весов, разработанных до 1 января 2010 г.*// Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200076726> (дата обращения: 09.12.2016).

18. ГОСТ 6613-86 Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия (с Изменением N 1) измен. и доп. 01.04.2003 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004296> (дата обращения: 09.12.2016).

19. ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний. Введ. 2015-07-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115733> (дата обращения: 09.12.2016).

20. ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний. Введ.1986-07-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/901710699> (дата обращения: 09.12.2016).

21. ГОСТ 310.34-81 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема (с Изменением N 1) Введ. 01 января 1978// Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001227> (дата обращения: 09.12.2016).

22. ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии (с Изменениями N 1, 2) Введ. 01 апреля 2003// Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001227> (дата обращения: 09.12.2016).

23. ГОСТ 22685-89 Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия. Введ. 1990-01-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/901705762> (дата обращения: 09.12.2016).

24. ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3) Введ.1977-01-01// Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004030> (дата обращения: 09.12.2016).

25. ГОСТ 9533-81 Кельмы, лопатки и отрезовки. Технические условия Введ.1982-01-01// Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/9054169> (дата обращения: 09.12.2016).

26. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Введ. 2013-07-01// Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200100908> (дата обращения: 09.12.2016).

27. ГОСТ 28840-90 Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования. Введ. 1993-01-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023577> (дата обращения: 09.12.2016).

28. ГОСТ 9757-90 Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия (с Изменением N 1) Введ. 1991-01-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/901700274> (дата обращения: 09.12.2016).

29. Кравцов, А. И. Железобетон и его составляющие. Определение свойств: учебное пособие для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлениям подготовки 270800.62 Строительство и 270800.68 Строительство: в 2 ч. / А. И. Кравцов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Ч. 1. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 25707 Кб). - Оренбург : ОГУ, 2015. - Adobe Acrobat Reader 6.0 - ISBN 978-5-7410-1240-6.

30. ГОСТ 28570-90 (СТ СЭВ 3978-83) Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций. Введ. 1990-24-05// Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL <http://docs.cntd.ru/document/12000002099> (дата обращения: 12.01.2017).

31. ГОСТ 22690 -2015 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. Введ. 2016-01-01// Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL <http://docs.cntd.ru/document/1200124396> (дата обращения: 12.01.2017).

32.ГОСТ 17624-12 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности Введ. 2014-01-01// Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL <http://docs.cntd.ru/document/1200101539> (дата обращения: 12.01.2017).

33. Кравцов, А.И. Ультразвуковой контроль прочности бетона: Методические указания по курсу "Технология бетона строительных изделий и конструкций" // Единое окно доступа к образовательным ресурсам URL: <http://window.edu.ru/resource/255/19255> (дата обращения: 25.12.2016).

34. ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Введ. 2012-09-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200092221> (дата обращения: 16.01.2017).

35. Коревицкая, М.Г. Неразрушающие методы контроля качества железобетонных конструкций : [Учеб. пособие для сред. ПТУ] / М. Г. Коревицкая. - М. : Высш. шк., 1989. - 78,[1] с.

36. ГОСТ 31914-2012 Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества. Введ. 2014-01-01 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200102204> (дата обращения: 16.01.2017).

37. ГОСТ 166-89 (СТ СЭВ 704-77 - СТ СЭВ 707-77; СТ СЭВ 1309-78, ИСО 3599-76) Штангенциркули. Технические условия (с Изменениями N 1, 2). Введ. 30.10.89 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012675> (дата обращения: 16.01.2017).

38. ГОСТ 577-68 Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия (с Изменениями N 1-6).). Введ. 05.02.68 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200004105> (дата обращения: 16.01.2017).

39. ГОСТ 28243-96 Пирометры. Общие технические требования. Введ. 01.01.2004 // Единая справочная служба «Кодекс» и «Техэксперт» / ЗАО «Кодекс». - Электрон. дан. - [М.]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200031267> (дата обращения: 16.01.2017).

Учебное пособие

Алексей Иванович Кравцов

**ЖЕЛЕЗОБЕТОН И ЕГО
СОСТАВЛЯЮЩИЕ.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ**

ЧАСТЬ 2

ISBN 978-5-7410-1755-5



9 785741 017555