**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и оценки соответствия в строительстве»**

Методическое пособие

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДБОРУ СОСТАВОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ И МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

Москва 2016

gost.e-ecolog.ru

Содержание

Введение..... 4
Раздел 1. Общие положения..... 5
Раздел 2. Задание на подбор состава бетона..... 8
Раздел 3. Требования к материалам для приготовления бетона..... 10
Раздел 4. Расчет и подбор состава тяжелого бетона для монолитных конструкций и сооружений..... 16
4.1 Теоретический расчет состава бетонной смеси..... 17
4.2 Экспериментальный подбор и корректирование нормируемых технологических показателей качества бетонной смеси..... 21
4.3 Экспериментальная проверка соответствия начального номинального состава бетона требуемой прочности..... 22
4.4 Проверка и корректирование начального номинального состава бетона на его соответствие всем другим нормируемым показателям качества бетона..... 29
4.5 Назначение и корректировка рабочих составов бетона..... 30
4.6 Проверка и корректирование технологических показателей качества бетонной смеси рабочих составов на производстве..... 32
Раздел 5. Расчет и подбор состава тяжелого бетона, прошедшего тепловую обработку (изделия сборного железобетона) 33
Раздел 6. Расчет и подбор состава мелкозернистого бетона нормального твердения..... 39
Раздел 7. Расчет и подбор состава мелкозернистого бетона нормального твердения с водоредуцирующими добавками..... 45
Раздел 8. Расчет и подбор состава мелкозернистого бетона, прошедшего тепловую обработку..... 51
Раздел 9. Расчет и подбор состава мелкозернистого бетона с минеральными добавками..... 57
Раздел 10. Расчет и подбор состава напрягающего бетона нормального

твердения..... 67
Раздел 11. Расчет и подбор состава высокопрочного бетона..... 735
Раздел 12. Расчет и подбор состава самоуплотняющегося бетона..... 78
Приложение А (Обязательное). Расчет (проектирование) и подбор состава бетона, где задание на подбор содержит требования по водонепроницаемости и морозостойкости 85
Приложение Б (Справочное). «Европейский стандарт EN 12350-8. Испытания бетонной смеси – Часть 8: Самоуплотняющийся бетон – испытание бетонной смеси на расплыв при осадке конуса» (аутентичный перевод) 89
Нормативные ссылки..... 98
Библиография..... 100

Введение

Пособие разработано в развитие положений: СП 63.13330 «Бетонные и железобетонные конструкций. Основные положения». Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменением №1), СП 70.13330 «Несущие и ограждающие конструкции». Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87, ГОСТ 27006-86 «Бетоны. Правила подбора состава», ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».

Разработано НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» авторским коллективом в составе: М. И. Бруссер, к. т. н.; С. С. Каприелов, д. т. н.; С. А. Подмазова, к. т. н.; Л. А. Титова, к. т. н.; А. В. Шейнфельд, д. т. н.

Раздел 1. Общие положения

1.1 Настоящие Рекомендации к ГОСТ 27006 распространяются на подбор составов бетонных смесей по ГОСТ 7473, предназначенных для изготовления сборных железобетонных изделий, и монолитных бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого и мелкозернистого бетона в соответствии с требованиями ГОСТ 26633.

Рекомендации могут быть использованы при подборах номинальных составов сухих бетонных смесей по ГОСТ 31357

1.2 Подбор состава бетона производят с целью получения бетона в изделиях и конструкциях с прочностью и другими нормируемыми показателями качества, установленными государственными стандартами, техническими условиями и проектной документацией на эти изделия и конструкции.

1.3 Подбор номинального состава бетона производят при организации производства новых видов изделий и конструкций, изменении нормируемых показателей их качества или изменении свойств бетонной смеси, технологии производства, поставщиков, вида или марок применяемых материалов, а также при разработке и пересмотре производственных норм расхода материалов.

1.4 Основными варьируемыми технологическими параметрами при подборе номинального состава бетона должны быть: цементно-водное отношение, доля песка в смеси заполнителей и расход добавки.

1.5 Номинальный состав бетонной смеси рассчитывают по известным формулам или номограммам, связывающим качество применяемых материалов с заданными технологическими свойствами бетонных смесей и требуемыми строительно-технологическими свойствами бетонов, применительно к условиям производства сборных изделий и монолитных конструкций.

1.6 Рабочие составы бетона назначают при переходе на новый номинальный состав или при поступлении новых партий материалов тех же видов и марок, которые принимались при подборе номинального состава, с учетом их фактического качества.

1.7 Корректирование рабочих составов производят по результатам операционного контроля качества материалов данных партий и получаемой из них бетонной смеси, а также по результатам приемочного контроля качества бетона.

1.8 При подборе составов бетона, к которым кроме прочности предъявляются дополнительные требования (морозостойкость, водонепроницаемость, истираемость и т. д.), следует учитывать известные зависимости, связывающие качество материалов для бетона и технологию его приготовления со свойствами бетонов, которые необходимо обеспечить. В этих случаях состав бетона, отвечающий требованиям задания по прочности, проверяют на соответствие другим нормируемым показателям качества. Если это условие не выполняется, то рассчитывают новый состав с использованием различных технологических приемов, обеспечивающих получение бетона со всеми нормируемыми показателями качества.

1.9 При подборе состава бетона, сборных бетонных и железобетонных изделий, подвергаемых тепловой обработке при температуре до 100 °С, следует учитывать, что для бетонов определяющими показателями могут являться отпускная и передаточная прочность, на которые следует осуществлять подбор состава бетона. При этом фактическая прочность бетона в проектном (обычно 28-суточном) возрасте может превышать требуемую прочность, назначаемую по ГОСТ 18105, и тем больше, чем выше нормируемые отпускная и передаточная прочности, короче режим тепловой обработки и ниже активность цемента при пропаривании.

1.10 Подбор состава бетона выполняется лабораторией предприятия-изготовителя бетонной смеси или другими лабораториями по заданию, утвержденному главным инженером предприятия-изготовителя.

1.11 Результаты подбора номинального состава бетона, отвечающего требованиям утвержденного задания, должны быть оформлены в журнале подбора состава бетона и утверждены главным инженером предприятия-изготовителя. Рабочие составы подписываются начальником лаборатории или другим лицом, ответственным за подбор состава бетона.

1.12 При малых объемах или малосерийном нерегулярном производстве конструкций из монолитного бетона допускается принимать ориентировочные составы бетонов, приведенные в разделе 4, которые могут служить основой при

назначении рабочего состава бетона с обязательной экспериментальной проверкой и корректированием удобоукладываемости бетонной смеси.

Раздел 2. Задание на подбор состава бетона

2.1 Задание на подбор состава бетона является основным документом, в котором сформулированы все требования, предъявляемые к нормируемым технологическим показателям бетонных смесей заданного качества по ГОСТ 7473, а также все нормируемые показатели качества бетона сборных изделий и/или монолитных конструкций, для которых предназначена изготавливаемая бетонная смесь.

2.2 Задание на подбор состава бетона заданного состава по ГОСТ 7473 не разрабатывается. Такие составы бетонных смесей изготавливают по ранее поставляемым составам на основании договора поставки с заказчиком.

2.3 Задание на подбор состава бетона должно быть разработано технологической службой предприятия, изготавливающего бетонную смесь; утверждено техническим руководителем этого предприятия и при необходимости согласовано с заказчиком бетонной смеси.

2.3 Задание на подбор состава бетона должно содержать:

- все нормируемые показатели качества бетона в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и проектной документацией на изделия и конструкции, для которых предназначен бетон, в том числе:

• класс бетона по прочности на сжатие и другие виды напряженного состояния, если они нормируются;

• проектный возраст;

• отпускную прочность бетона изделий;

• передаточную прочность преднапряженных изделий;

• промежуточную прочность бетона конструкций;

• марки бетона по морозостойкости, водонепроницаемости, истираемости и другим нормируемым показателям качества, если они предусмотрены в нормативно-технической документации;

- требуемые технологические показатели качества бетонной смеси в соответствии с требованиями ГОСТ 7473, договором на поставку, в том числе:

• марка бетонной смеси по удобоукладываемости;

• расслаиваемость, воздухосодержание и другие показатели, предусмотренные в технической документации;

- технологические условия производства в соответствии с действующими нормативно-техническими документами (технологические карты, проект производства работ и т. д.), в том числе:

• сроки и условия твердения бетона до достижения им нормируемых показателей качества, включая режимы ускорения твердения;

• особенности технологического процесса (немедленная распалубка, двухстадийное твердение, дополнительная отделка и т.д.);

• способы и режимы уплотнения бетонной смеси в изделиях и конструкциях;

- характеристики всех материалов, используемых для приготовления бетонов, в том числе:

• виды цементов, их классы или марки, активность при пропаривании;

• виды и характеристики заполнителей;

• виды и характеристики добавок;

• качество воды;

- ограничения по составу бетона и качеству материалов, предусмотренные технической документацией, в том числе:

• по видам цемента, заполнителя и добавок;

• минимальный и максимальный расход цемента, заполнителей, воды и добавок;

• максимальная крупность заполнителей;

• максимальное или минимальное значение цементно-водного отношения.

Раздел 3. Требования к материалам для приготовления бетона

3.1 Материалы, используемые для приготовления бетонных смесей, должны отвечать требованиям ГОСТ 7473, ГОСТ 26633 и требованиям государственных и отраслевых стандартов и технических условий на эти материалы.

3.2 До начала работы по расчету состава бетона и приготовлению опытных замесов необходимо провести испытания материалов в соответствии со стандартами и техническими условиями с целью определения показателей их качества, необходимых для дальнейших расчетов и подборов.

При несоответствии отдельных составляющих бетона требованиям ГОСТ и ТУ необходимо оценить их качество испытанием в бетонах и дать технико-экономическое обоснование возможности и целесообразности их применения для получения бетонных смесей и бетонов со всеми нормируемыми показателями качества.

3.3 Вяжущие материалы

В качестве вяжущих материалов для приготовления бетонов следует применять портландцемент и его разновидности, отвечающие требованиям ГОСТ 10178, ГОСТ 31108, ГОСТ Р 55224, а также сульфатостойкие и пуццолановые цементы по ГОСТ 22266.

Для бетонов, подвергаемых тепловой обработке, следует применять цементы I и II группы эффективности при пропаривании.

Таблица 3.1

Проектный класс бетона	Рекомендуемые марки (классы) цемента при твердении в нормальных условиях или при тепловой обработке	
	Марки	Классы
В7,5	300	22,5
В12,5	300	22,5
В15	300	22,5
В20	400	32,5
В22,5	400	32,5
В25	400	32,5
В30	500	42,5
В35	500	42,5
В40	500	42,5
В45	600	52,5
В50	600	52,5
В55	600	52,5

3.4 Заполнители

В качестве мелких и крупных заполнителей следует применять песок, щебень из природного камня, гравий и щебень из гравия, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 8736-2014, ГОСТ 8267, и ГОСТ 26633.

3.4.1 Мелкие пески с модулем крупности от 1,5 до 1,8 допускается применять в бетонах класса до В15 включительно. Использование этих песков в бетонах класса В15 допускается при проведении испытаний этих песков в бетоне. При несоответствии зернового состава природных песков требованиям стандарта следует применять в качестве укрупняющей добавки к мелким пескам или очень мелким пескам – песок из отсевов дробления или крупный песок, а к крупному песку – мелкий или очень мелкий песок.

В случае отсутствия в регионе месторождений более крупных песков и возможности использования укрупняющих добавок допускается применять в бетонах класса до В20 включительно очень мелкие пески с модулем крупности от 1,0 до 1,5 с содержанием зерен размером менее 0,16 мм до 20% по массе и пылевидных и глинистых частиц – не более 3% по массе при проведении испытаний песков в бетоне.

3.4.2 В качестве крупных заполнителей для бетонов следует применять щебень, щебень из гравия и гравий из плотных горных пород по ГОСТ 8267, щебень из отсевов дробления плотных горных пород по ГОСТ 31424, щебень из доменных и ферросплавных шлаков черной металлургии и никелевых и медеплавильных шлаков цветной металлургии по ГОСТ 5578, щебень из дробленного бетона и железобетона по ГОСТ 32495, щебень из шлаков ТЭЦ по ГОСТ 26644.

Крупный заполнитель при приготовлении бетонной смеси следует применять в виде раздельно дозируемых фракций. Допускается применение крупного заполнителя в виде смеси двух смежных фракций соответствующих требованиям, приведенным в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Содержание отдельных фракций крупного заполнителя в составе бетона

Наибольшая крупность заполнителя, мм	Содержание фракций в крупном заполнителе, %				
	от 5(3) до 10 мм	св. 10 до 20 мм	св. 20 до 40 мм	св. 40 до 80 мм	св. 80 до 120 мм
10	100	-	-	-	-
20	25–40	60–75	-	-	-
40	15–25	20–35	40–65	-	-
80	10–20	15–25	20–35	35–55	-
120	5–10	10–20	15–25	20–30	25–35

3.5 Добавки

Для регулирования и улучшения свойств бетонной смеси и бетона необходимо применять химические добавки по ГОСТ 24211, удовлетворяющие требованиям действующих Стандартов и Технических условий на каждый вид добавок, разработанных производителем.

Добавки рекомендуется вводить в бетоны для достижения следующих основных целей:

- получения бетонных смесей требуемых технологических свойств, в том числе самоуплотняющихся, обладающих высокой степенью однородности, сегрегационной устойчивости, сохраняемости подвижности, а также обеспечения их специальных свойств (например, заданного воздухововлечения, перекачиваемости и др.);

- получения высокопрочных, напрягающих, расширяющихся, с частично компенсированной усадкой бетонов, а также обеспечения их специальных свойств (например, ускорение или замедление темпов схватывания и твердения, снижения тепловыделения, обеспечения пассивации арматурной стали и др.);

- использования местных доступных материалов, с дополнительной проверкой их качественных характеристик, для производства смесей, бетонов с заданными свойствами и качеством.

Добавки для бетонов можно условно разделить на три вида:

- химические добавки, представляющие собой, специально синтезированные органические и неорганические продукты постоянного состава со строго нормированными свойствами, вводимые в смеси в процессе их приготовления в количестве менее 5% массы цемента;

- минеральные добавки, представляющие собой дисперсный неорганический материал природного или техногенного происхождения, вводимый в смеси в процессе их приготовления в количестве не менее 5% массы цемента;

- органо-минеральные модификаторы, представляющие собой поликомпонентные материалы, включающие в себя суперводоредуцирующие и активные минеральные добавки, вводятся в составы бетонных смесей в количестве от 5 до 25% массы цемента.

Химические и минеральные добавки и органоминеральные модификаторы должны соответствовать требованиям ГОСТ 24211, ГОСТ Р 56592 и ГОСТ Р 56178, а также требованиям стандартов или технических условий, по которым они выпускаются.

Эффективность действия добавок зависит от их химического, минералогического и дисперсного состава, активности, механизма действия, вида используемых цемента и заполнителей, технологии производства бетонных смесей, времени транспортирования, особенностей выпускаемых изделий и возводимых конструкций, технологии производства бетонных работ, условий выдерживания и других факторов.

Эффективность применения добавок и их оптимальное содержание в бетоне следует устанавливать опытным путем в процессе подбора состава.

Перед началом подбора состава бетона с добавками производят выбор вида и типа добавок или их комплекса для обеспечения требуемых характеристик смеси и бетона.

Применение конкретных видов и типов добавок для производства бетонов осуществляется на основании требований ГОСТ 26633 к бетонам, предназначенным для различных видов строительства, основного и дополнительных эффектов действия добавок, приведенных в ГОСТ 24211, ГОСТ Р 56592, ГОСТ Р 56178, а также в технических условиях, по которым они выпускаются.

Подбор состава бетона с конкретными добавками начинается с определения соотношения между цементом и добавкой, которое обычно выражается дозировкой добавки и указывается в процентном содержании добавки от массы цемента. Дозировка добавки назначается с учетом требований к свойствам смеси и бетона.

Оптимальная дозировка добавки или комплекса добавок определяется опытным путем на основании экспериментальных данных о характеристиках бетонной смеси и бетона. Для этого в существующий или подобранный состав бетона без добавок вводится добавка или комплекс добавок в различных дозировках (от трех до пяти) в приделах рекомендуемого диапазона, который приводится в стандартах или технических условиях, по которым выпускаются конкретная добавка.

При использовании одной добавки, на основании полученных результатов строят зависимости изменения характеристик бетонных смесей и бетона от дозировки добавки и выбирают ее оптимальную дозировку – минимальное количество добавки, при котором обеспечиваются все заданные характеристики бетонных смесей и бетона.

При использовании комплекса из нескольких добавок, на основании полученных результатов строят плоские или объемные номограммы изменения характеристик бетонных смесей и бетона от дозировок добавок и выбирают их оптимальное соотношение.

Определять оптимальную дозировку добавок следует определять по методике ГОСТ 30459.

Оптимальная дозировка добавок уточняется при изменении качества используемых материалов для производства бетонных смесей.

3.6 Вода затворения

Вода затворения бетонной смеси должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732.

Раздел 4. Расчет и подбор состава тяжелого бетона для монолитных конструкций и сооружений

Подбор состава тяжелого бетона, твердеющего в нормальных условиях.

В соответствии с ГОСТ 25192 настоящий раздел Рекомендаций распространяется на тяжелые конструкционные цементные бетоны плотной структуры, на плотных заполнителях, твердеющие в нормальных условиях.

В соответствии с заданием на подбор состава бетона, к бетону могут быть предъявлены требования:

- по другим нормируемым показателям качества бетона (кроме прочности) по ГОСТ 4.212 (в т. ч. по маркам морозостойкости, водонепроницаемости, истираемости);

- по технологическим характеристикам бетонной смеси;

- по ограничениям состава бетона и применяемых материалов.

Выбор материалов, используемых при подборе состава бетона и определение их показателей качества, производят по разделам 1, 2 и 3 настоящих «Рекомендаций».

Процесс подбора состава бетона состоит из следующих этапов:

этап 1 – теоретический расчет состава бетонной смеси;

этап 2 – экспериментальный подбор и корректирование нормируемых технологических показателей качества бетонной смеси;

этап 3 – экспериментальная проверка соответствия начального номинального состава бетона требуемой прочности;

этап 4 – проверка и корректирование начального номинального состава бетона на его соответствие всем другим нормируемым показателям качества бетона;

этап 5 – назначение и корректирование рабочих составов бетона;

этап 6 – проверка и корректирование технологических показателей качества бетонной смеси рабочих составов на производстве.

4.1 Теоретический расчет состава бетонной смеси.

4.1.1 По формуле (1) или по рис. 4.1 назначают цементно-водное отношение (Ц/В), ориентировочно обеспечивающее требуемую среднюю прочность класса бетона в проектном возрасте (28 суток). При проведении подборов среднюю прочность класса назначают равной прочности бетона при коэффициенте вариации $V_{п} = 13,5\%$. Например, если в задании проектный класс бетона В30, то в подборах составов принимают среднюю прочность бетона 40,0 МПа.

Примечания

1 В случаях, когда известна экспериментально установленная зависимость (прочности бетона от цементно-водного отношения) для данного цемента, значение Ц/В для нормируемой средней прочности бетона, принимают по этой зависимости.

2 Для регулярно используемых цементов рекомендуется строить указанные зависимости с целью накопления и использования статистических данных, повышающих точность прогноза:

$$(Ц / В) = \frac{R_{б}^{28} - 0,06 \cdot R_{ц}^{28} + 13}{0,24 \cdot R_{ц}^{28} + 13} \qquad (1)$$

где (Ц/В) – цементно-водное отношение, обеспечивающее требуемую прочность бетона;

$R_{ц}^{28}$ – прочность (активность) цемента, принимаемая равной показателю класса, МПа;

$R_{б}^{28}$ – требуемая средняя прочность класса бетона нормального твердения в возрасте 28 суток, МПа.

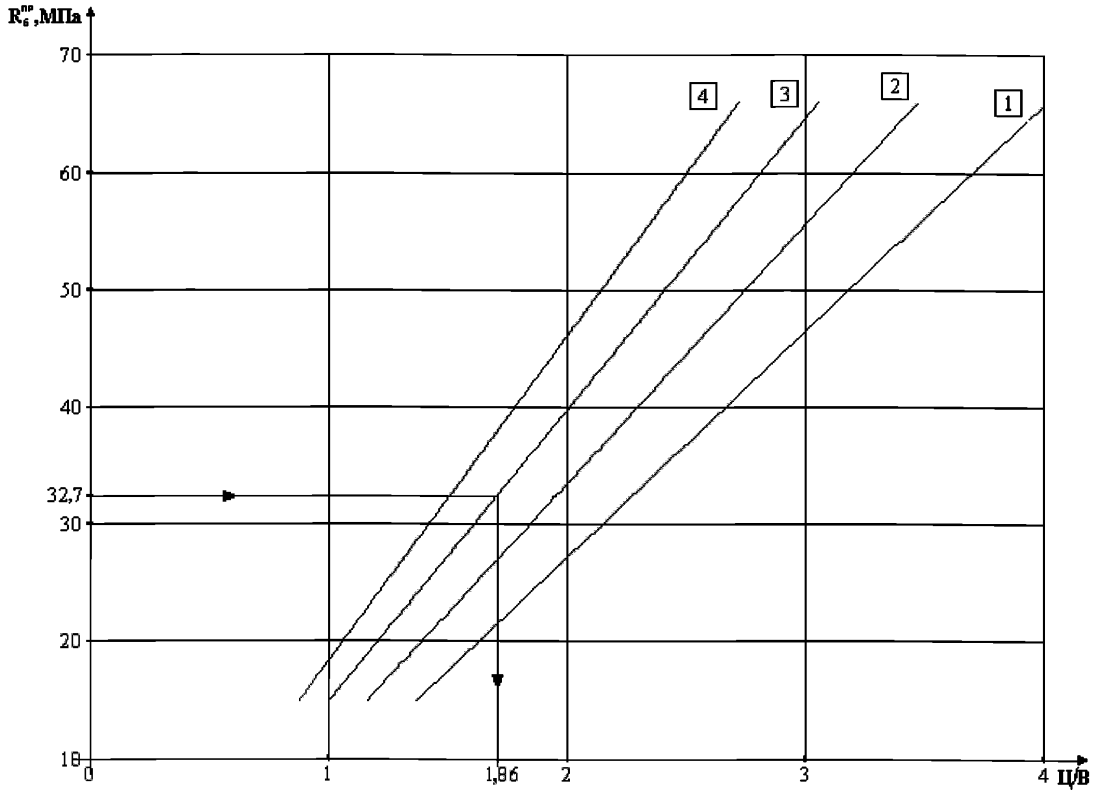


Рисунок 4.1 – Зависимость прочности бетона через 28 суток нормального твердения от Ц/В отношения и класса прочности цемента; **1** – цемент ЦЕМ 22,5; **2** – цемент ЦЕМ 32,5; **3** – цемент ЦЕМ 42,5; **4** – цемент ЦЕМ 52,5

4.1.2 Ориентировочный расход воды для расчета и подбора номинального начального состава принимают по табл.4.1.

Таблица 4.1 – Водопотребность бетонной смеси, л/м^3

Удобоукладываемость Ж, с; ОК, см	Без добавок, л/м^3	С водоредуцирующей добавкой по ГОСТ 24211, л/м^3	С суперводоредуцирующей добавкой по ГОСТ 24211, л/м^3
Ж4 (31–50)	135	–	–
Ж3 (21–30)	145	–	–
Ж2 (10–20)	155	145	130
Ж1 (5–10)	170	160	145
П1 (1–4)	185	165	150
П2 (5–9)	205	185	165
П3 (10–15)	215	200	170
П4 (16–20)	230	210	185
П5 (21~25)	240	215	190

Примечания

1 Значения в табл. 3 получены при применении фракции щебня 5(3)–20 мм. При применении щебня фракции 5(3)–10 мм расход воды увеличивается на 10–15 л/м^3; при применении щебня фракции 5–40 мм расход воды уменьшается на 10–15 л/м^3.

2 Водопотребность бетонной смеси с водоредуцирующими/пластифицирующими добавками определена при применении песка с модулем крупности 2,0.

3 Примерный объем вовлеченного воздуха без воздухововлекающих добавок в зависимости от максимальной крупности заполнителей от 1% (фр. 5–40 мм) до 3% (фр. 5(3)–10 мм).

4 Изготовление бетонных смесей марок по подвижности П3, П4 и П5, без водоредуцирующих/пластифицирующих добавок не рекомендуется.

4.1.3 Расход цемента *Ц*, кг, на 1 м^3 в начальном составе бетонной смеси рассчитывают по формуле

$$Ц_з = Ц / В \cdot В, \qquad (2)$$

где *Ц/В* – цементно-водное отношение, определенное по п. 4.1.1; *В* – расход воды, л, принятый по п. 4.1.2.

4.1.4 Абсолютный объем заполнителей, $V_з$, л, рассчитывается по формуле

$$V_з = \mathbf{1000} - В / \rho_в - Ц / \rho_ц, \qquad (3)$$

где $\rho_ц$ – истинная плотность цемента, кг/л; $\rho_в$ – плотность воды, принимаемая равной $\rho_в$ = 1 кг/л.

4.1.5 Количество мелкого заполнителя (песка) рассчитывают по формуле

(4)

$$П = V_з \cdot r \cdot \rho_п,$$

где П – расход песка, кг/м^3; r – доля песка в смеси заполнителей; $\rho_п$ – истинная плотность зерен песка, кг/л.

Долю песка в начальном составе в зависимости от расхода цемента и наибольшей крупности заполнителя принимают по табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Доля песка в смеси заполнителей

Расход цемента, кг/м^3	Наибольшая крупность щебня, мм		
	10	20	40
200	0,54	0,51	0,48
300	0,51	0,48	0,45
400	0,48	0,45	0,42
500	0,45	0,42	0,39

Примечание: при использовании гравия доля песка *r* уменьшается на 0,03.

4.1.6 Количество крупного заполнителя рассчитывают по формуле

$$Щ = V_э \cdot (1 - r) \cdot \rho_щ, \quad (5)$$

где Щ – расход крупного заполнителя, кг/м^3; $\rho_щ$ – средняя плотность зерен щебня, кг/л.

Оптимальное количество добавок, вводимых в бетонную смесь (Д, кг/м^3), определяют по ГОСТ 30459.

4.2 Экспериментальный подбор и корректировка нормируемых технологических показателей качества бетонной смеси.

4.2.1 Начальный номинальный состав бетона (Ц, В, П, Щ, Д), рассчитанный по пп. 4.1.1–4.1.7, проверяют на опытном замесе с целью уточнения удобоукладываемости бетонной смеси. Для этого изготавливают опытный замес и определяют удобоукладываемость бетонной смеси по ГОСТ 10181. Если удобоукладываемость опытного замеса не соответствует заданной, то производят корректировку начального номинального состава бетона. При этом повышение осадки конуса или снижение жесткости бетонной смеси достигают за счет добавление в пробный замес воды, а снижение осадки конуса или повышение жесткости достигают за счет добавления в пробный замес заполнителей (в соотношении, равном r).

При корректировании удобоукладываемости начального номинального состава допускается только разовое введение в пробный замес воды или песка. Если разовое введение указанных компонентов не приводит к требуемой удобоукладываемости, то скорректированный пробный замес следует повторить.

Рекомендуемое количество добавленных компонентов бетонной смеси составляет: вода – 5–10 л/м^3; заполнители – 2–4% начального состава.

Если выполненное корректирование не позволило получить заданную удобоукладываемость бетонной смеси, то замес следует повторить, удвоив дозировку добавляемого компонента.

Удобоукладываемость бетонной смеси соответствует заданной, если фактическая осадка конуса или жесткость находятся в пределах заданной марки по удобоукладываемости.

4.2.2 В подобранном по удобоукладываемости начальном составе бетона фиксируют фактический расход материалов на замес ($g_ц$, $g_п$, $g_щ$, $g_в$, $g_д$), кг, их общую сумму ($\Sigma g = g_ц + g_п + g_щ + g_в + g_д$), кг, и определяют среднюю плотность бетонной смеси $\rho_{см}$, кг/м^3, по ГОСТ 10181.

Фактический расход материалов, кг/м^3, в подобранном начальном номинальном составе бетонной смеси определяют по формулам:

$$Ц = \frac{\rho_{см}}{\sum g} \cdot g_ц, \quad (6)$$

$$П = \frac{\rho_{см}}{\sum g} \cdot g_п, \quad (7)$$

$$Щ = \frac{\rho_{см}}{\sum g} \cdot g_щ, \quad (8)$$

$$В = \frac{\rho_{см}}{\sum g} \cdot g_в. \quad (9)$$

4.3 Экспериментальная проверка соответствия начального номинального состава бетона требуемой прочности.

4.3.1 Из выбранного начального состава с заданной удобоукладываемостью бетонной смеси изготавливают контрольные образцы для определения прочности бетона в проектном и промежуточном возрастах.

4.3.2 Одновременно с начальным составом изготавливают дополнительные составы.

Дополнительные составы бетона рассчитывают, изменяя значение *Ц/В*, принятое в начальном составе по п. 4.2.1. на ±(0,3÷0,5) и принимая значение *В* и *Щ* по начальному составу по п. 4.2.1. Значение *П* увеличивают или уменьшают на величину уменьшения или увеличения значения *Ц*.

4.3.3 Из начального номинального состава, изготавливают специальные серии контрольных образцов для определения и оценки соответствия бетона другим нормируемым в задании на подбор состава показателям качества.

В случае, если заданные марки по водонепроницаемости и морозостойкости требуют более высокий класс бетона по прочности (см. Приложение), по п.4.1.1 рассчитывают состав бетона на более высокую среднюю прочность, обеспечивающую указанные в задании на подбор требования, и изготавливают специальные серии контрольных образцов для определения и оценки соответствия рассчитанного номинального состава другим показателям качества.

4.3.4 По результатам определения прочности бетона начального номинального и дополнительных составов строят базовые зависимости прочности бетона в 3-, 7- и 28-суточном возрасте от Ц/В отношения. По этим зависимостям определяют значение Ц/В отношения, обеспечивающее получение бетона с заданными промежуточной и проектной прочностями.

4.3.5 По требуемой средней прочности класса, указанного в задании на подбор, определяется Ц/В отношение и рассчитывается состав бетона, обеспечивающий заданную проектную прочность в 28-суточном возрасте.

В зависимости от технологии строительства и времени нагружения конструкции в проекте производства работ (ППР) назначается величина распалубочной прочности в процентах требуемой средней прочности класса.

Если Ц/В отношение, назначенное для обеспечения требуемой прочности класса, менее Ц/В отношения, необходимого, для получения промежуточной

прочности бетона в определенном возрасте, то производится расчет нового состава бетона с бо'льшим Ц/В отношением.

4.3.6 На основании построенных базовых зависимостей и в пределах полученных прочностей возможен расчет не только одного номинального состава, но и производственных норм расхода составляющих бетона, обеспечивающего проектные требования по прочности в 28-суточном возрасте (см. пример, рис. 4.2).

Пример. В техническом задании сказано, что необходимо получить бетон класса по прочности на сжатие В25 (средняя прочность 32,7 МПа при V = 13,5%) W10 $F_2$200 и подвижностью П4, при использовании следующих материалов:

- цемент: ЦЕМ I 42,5, $\rho_{ц} = 3{,}1$ кг/л;
- песок: $М_к = 2{,}2$, $\rho_{п} = 2{,}65$ кг/л;
- щебень: фр. 5(3) –20 мм, $\rho_{щ} = 2{,}63$ кг/л;
- добавка:
  - суперводоредуцирующая с расходом 0,6 л на 100 кг цемента;
  - воздухововлекающая – 1,5 кг 2% раствора на 1 м^3 бетона.

Рассчитывается начальный номинальный состав по формулам 1–9 и дополнительно еще два состава с изменением Ц/В отношения ±0,3.

По рис. 4.1 или по формуле (1) определяется Ц/В отношение:

$$Ц/В = \mathbf{1{,}86}$$

Расход воды (В, л) для расчета и подбора состава бетона назначают по табл. 4.1.

$$В = \mathbf{185}$$

Расход цемента (Ц, кг/м^3) в начальном составе бетона рассчитывают по формуле (2):

$$Ц = \mathbf{1{,}86 \cdot 185 = 344}$$

Абсолютный объем заполнителей ($V_з$, л) рассчитывается по формуле (3):

$$V_з = \mathbf{1000 - 185/1 - 344/3{,}1 = 704}$$

Доля песка в смеси заполнителей по абсолютному объему; назначается с учетом расхода цемента и крупности заполнителя по табл. 4.2.

По табл.4.2:

$$r = \mathbf{0,47}$$

Количество мелкого заполнителя (П, кг/м^3) рассчитывается по формуле (4):

$$П = \mathbf{704 \cdot 0,47 \cdot 2,65 = 871}$$

Количество крупного заполнителя (Щ, кг/м^3) рассчитывают по формуле (5):

$$Щ = \mathbf{704 \cdot (1 - 0,47) \cdot 2,63 = 987}$$

Расход добавки (Д, л/м^3):

$$Д = \frac{\mathbf{344}}{\mathbf{100}} \cdot \mathbf{0,6 = 2,06}$$

Начальный состав бетона, рассчитанный по пп. 4.1.1-4.1.7 (Ц, В, П, Щ, Д), проверяют на опытном замесе с целью определения удобоукладываемости и ее соответствия требованиям, указанным в Техническом задании. Для этого изготавливают замес и определяют подвижность по ГОСТ 10181.

Удобоукладываемость соответствует заданной.

В начальном составе бетона, обеспечивающем заданную удобоукладываемость, фиксируют расход материалов на замес (10 л):

$g_ц = 3,44$ кг;

$g_п = 8,71$ кг;

$g_щ = 9,87$ кг;

$g_в = 1,85$ кг;

$g_д = 0,0206$ кг;

$\sum g = 23,89$ кг.

Фактическая плотность бетонной смеси:

$$\rho_{см} = 2370 \text{ кг/м}^3.$$

Фактический расход материалов (кг/м^3) в подобранном начальном составе бетонной смеси рассчитываем по формулам 6–9:

$$Ц = \frac{\mathbf{2370}}{\mathbf{23,89}} \cdot \mathbf{3,44 = 341};$$

$$П = \frac{\mathbf{2370}}{\mathbf{23,89}} \cdot \mathbf{8,71 = 864};$$

$$Щ = \frac{2370}{23{,}89} \cdot 9{,}87 = 979;$$

$$В = \frac{2370}{23{,}89} \cdot 1{,}85 = 184;$$

$$Д = \frac{2370}{23{,}89} \cdot 0{,}0206 = 2{,}05;$$

$$Ц/В = 342/184 = 1{,}86$$

В виду отсутствия в опытном замесе водо- и растворотделения, а также полученной необходимой подвижности, корректирование состава по различной доли песка не требуется.

Дополнительно рассчитываются два состава (кг/м^3), с изменением Ц/В отношения на 0,5, при сохранении расхода щебня и воды начального номинального состава (табл. 4.3).

№1:

$Ц/В_1 = 1{,}36$;

$В_1 = 184$;

$Щ_1 = 979$;

$Ц_1 = Ц/В_1 \times В_1 = 1{,}36 \times 184 = 250$;

$П_1 = V_п \times \rho_п = (V_з - V_щ) \times \rho_п = (1000 - 250/3{,}1 - 184/1 - 979/2{,}63) \times 2{,}65 = 964$;

$Д_1 = (250/100) \times 0{,}6 = 1{,}50$.

№2:

$Ц/В_2 = 2{,}36$;

$В_2 = 184$;

$Щ_2 = 979$;

$Ц_2 = Ц/В_2 \times В_2 = 2{,}36 \times 184 = 433$;

$П_2 = V_п \times \rho_п = (V_з - V_щ) \times \rho_п = (1000 - 433/3{,}1 - 184/1 - 979/2{,}63) \times 2{,}65 = 807$;

$Д_2 = (433/100) \times 0{,}6 = 2{,}60$.

Таблица 4.3

	Ц/В	Ц, кг/м^3	П, кг/м^3	Щ, кг/м^3	В, кг/м^3	Добавка, кг/м^3	
						Супер-водоред.	Воздухо-вовлек.
Оптимальный начальный состав	1,86	341	864	979	184	2,05	1,5
Дополнительные составы							
№1	1,36	250	964	979	184	1,50	1,5
№2	2,36	433	807	979	184	2,60	1,5

Из оптимального начального состава, а также из двух дополнительных составов изготавливают контрольные образцы, которые испытываются в промежуточном (3 и 7 суток), а также в проектном возрасте (28 суток) нормального твердения.

По полученным результатам определения прочности бетона контрольных образцов начального и дополнительных составов строят базовые зависимости (рис.4.2).

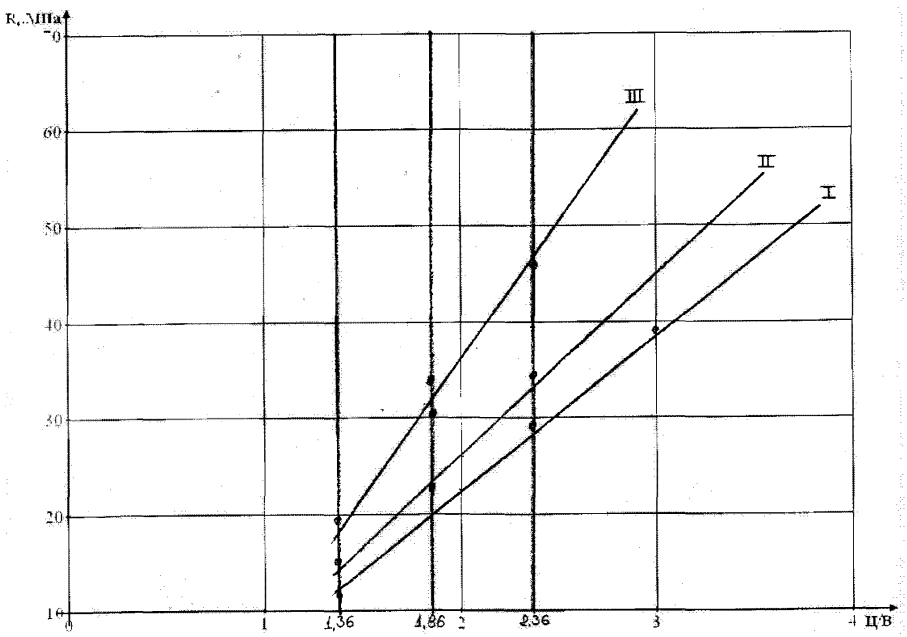


Рисунок 4.2 – Зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения; **I** – в возрасте 3 суток; **II** – в возрасте 7 суток; **III** – в возрасте 28 суток

По зависимостям рис. 4.2 также можно рассчитать в полученном диапазоне прочностей «чистый» расход материалов для производственных норм (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Класс бетона (прочность при $V_{п}$ = 13,5%)	Ц/В	Ц, кг/м^3	П, кг/м^3	Щ, кг/м^3	В, кг/м^3	Добавка, кг/м^3	
						Супер-водоред.	Воздухо-вовлек.
В20 (26,0 МПа^2)	1,56	286	932	979	184	1,72	1,5
В22.5 (30,0 МПа)	1,71	314	909	979	184	1,88	1,5
В25 (32,7 МПа)	1,83	336	890	979	184	2,01	1,5
В27.5 (36,0 МПа)	1,95	358	871	979	184	2,15	1,5
В30 (40,0 МПа)	2,10	385	847	979	184	2,31	1,5
В35 (45,8 МПа)	2,33	428	811	979	184	2,57	1,5
В37.5 (49,3 МПа)	2,45	450	793	979	184	2,70	1,5
В40 (52,4 МПа)	2,57	472	774	979	184	2,83	1,5

Т. к. в техническом задании на подбор состава бетона присутствуют требования по водонепроницаемости и морозостойкости, то согласно п. 4.3.3., а также табл. А.1 и табл. А.2 Приложения А для обеспечения марки по водонепроницаемости W10 следует изготовить бетон класса В35 (средняя прочность класса 46,0 МПа при V = 13,5%), а для морозостойкости F_2200 достаточно изготовить бетон класса В30 (средняя прочность класса 40,0 МПа при V = 13,5%) с применением воздухововлекающей добавки, т. е. для того чтобы обеспечить определенный в задании на подбор уровень по водонепроницаемости и морозостойкости, следует назначить состав бетона класса по прочности В35 (46,0 МПа) с дополнительным введением воздухововлекающей добавки, затем изготовить специальные контрольные образцы на испытания.

Образцы на стандартные испытания по водонепроницаемости и морозостойкости изготавливаются сразу после изготовления образцов номинального начального состава и двух вспомогательных.

После полученных результатов (табл.4.5) по прочности начального номинального состава, и водонепроницаемости и морозостойкости образцов вспомогательного состава, назначают состав бетона класса В35 (46,0 кгс/см^2), обеспечивающий все нормируемые показатели качества бетона, указанные в задании.

Таблица 4.5 – Результаты испытаний

Состав	Ц/В	R, МПа	W	F^2
Начальный номинальный состав	1,86	34,5	–	–
Вспомогательный	2,33	47,3	10	300

4.3.7 При изготовлении малого объема бетона для монолитных конструкций классов по прочности В7,5–В15, где в техническом задании приведены проектные требования по средней прочности класса, определение и назначение номинального состава бетона допускается принимать на основании табл. 4.6, а расход воды по табл. 4.1.

При этом к бетонам классов по прочности В7,5–В15 требования по водонепроницаемости и морозостойкости не предъявляются.

4.3.8 Ориентировочные составы бетона в табл. 4.6 и табл.4.7 даны при следующих характеристиках исходных материалов:

- насыпная плотность песка и щебня $\rho_{п,щ}$ = 1370–1400 кг/м^3;
- модуль крупности песка $М_к$ = 1,8–2,2;
- средняя плотность бетонной смеси $\rho_{см}$ = 2370–2400 кг/м^3.

Если фактическая средняя плотность бетонной смеси отличается, то расход материалов следует пересчитать по формулам 6-9.

4.3.9 В табл. 4.6 и табл. 4.7 представлены ориентировочные номинальные составы бетона.

В зависимости от эффективности применяемой добавки назначается водопотребность бетона для получения заданной удобоукладываемости.

Таблица 4.6 – Ориентировочные составы тяжелого бетона на щебне фракций до 20 мм

Класс бетона в возрасте 28 суток нормального твердения (прочность)	Расход материалов, кг/м^3, при классе цемента					
	ЦЕМ 32,5			ЦЕМ 42,5		
	Ц	П	Щ	Ц	П	Щ
В7,5 (10,0 МПа)	210	985	970	200	995	970
В12,5 (16,5 МПа)	260	935	970	230	965	970
В15 (20,0 МПа)	310	885	970	275	920	970

Примечание: составы бетона даны при подвижности П2 (5-9 см), расходе воды 205 л/м^3, без применения химических добавок

Таблица 4.7 – Ориентировочные составы тяжелого бетона на щебне фракций до 40 мм

Средняя прочность бетона в возрасте 28 суток нормального твердения	Расход материалов, кг/м^3, при классе цемента					
	ЦЕМ 32,5			ЦЕМ 42,5		
	Ц	П	Щ	Ц	П	Щ
В7,5 (100 кгс/см^2)	200	1015	950	200	1015	950
В12,5 (165 кгс/см^2)	240	975	950	210	1005	950
В15 (200 кгс/см^2)	290	925	950	255	960	950

Примечание: составы бетона даны при подвижности П2 (5-9 см), расходе воды 205 л/м^3, без применения химических добавок

Перед производственным изготовлением бетонной смеси определенного по таблицам состава производится ее корректирование по удобоукладываемости путем уменьшения или увеличения расхода воды затворения.

4.4 Проверка и корректирование начального номинального состава бетона на его соответствие всем другим нормируемым показателям качества бетона.

4.4.1 В случаях, когда результаты испытаний резервных серий принятого подобранного начального номинального состава бетона не подтверждают их соответствия требованиям задания на проектирование к другим (кроме прочности) нормируемым показателям качества, например, по морозостойкости, водонепроницаемости, истираемости, необходимо скорректировать номинальный состав бетона так, чтобы он обеспечивал все без исключения нормируемые показатели качества, указанные в задании (см. пример в п. 4.3.6).

4.4.2 При корректировании составов бетона следует выбирать из известных приемов повышения конкретных показателей качества наиболее эффективные. Например, повышение морозостойкости бетона достигать не только за счет повышения Ц/В отношения, путем введения в бетон водоредуцирующих добавок, но и за счет введения в бетонную смесь воздухововлекающих (газообразующих) добавок повышающих морозостойкость бетона.

4.5 Назначение и корректирование рабочих составов бетона.

4.5.1 Рабочие составы бетона назначают на основании принятых номинальных лабораторных составов бетона.

4.5.2 В случаях, когда материалы, применяемые на производстве, по своим показателям качества, не отличаются от использованных в лабораторных замесах – в рабочих составах учитывают только фактическую влажность заполнителей. При этом расход цемента в бетоне сохраняют по принятому начальному номинальному составу, а расходы воды, л/м^3, и заполнителей определяют по формулам:

$$В = В_О - \frac{W_П \cdot П_О + W_Щ \cdot Щ_О}{100}; \quad (10)$$

$$П = П_О \cdot (1 + \frac{W_П}{100}), \quad (11)$$

$$Щ = Щ_О \cdot (1 + \frac{W_Щ}{100}); \quad (12)$$

где В – расход воды в рабочем составе, кг/м^3; П – расход песка в рабочем составе, кг/м^3; Щ – расход щебня в рабочем составе, кг/м^3; $W_П$ – влажность песка, определенная по ГОСТ 8735, %; $W_Щ$ – влажность щебня, определенная по ГОСТ 8269.0, %; $В_о$ – расход воды по номинальному составу, кг/м^3; $П_о$ – расход песка по номинальному составу, кг/м^3; $Щ_о$ – расход щебня по номинальному составу, кг/м^3.

4.5.3 Назначенные рабочие составы бетона проверяют (лабораторно) на соответствие всем нормируемым технологическим показателям качества.

Допустимые отклонения фактических технологических свойств бетонной смеси от соответствующих требуемых значений принимают по таблицам 4.8 и 4.9.

Таблица 4.8 – Допустимые отклонения заданных значений показателей удобоукладываемости

Марки по удобоукладываемости	Номинальное значение	Допуски
Осадка конуса, см	до 10	±1
	более 10	±2

Расплыв конуса, см	Все значения	±3
Коэффициент уплотнения	более 1,25	±0,10
	от 1,11 до 1,25	±0,08
	до 1,10	±0,05
Жесткость, с	более 10	±3
	до 10	±2

Таблица 4.9 – Допустимые отклонения заданных значений показателей качества бетонной смеси

Наименование показателя качества бетонной смеси	Диапазон, в который попадает заданное значение показателя	Допустимое отклонение заданного значения показателя
Средняя плотность, кг/м^3	Все значения	±20
Расслаиваемость: - по водоотделению, %	менее 0,4	+0,1
	0,4 и более	+0,2
- по растворотделению, %	менее 4	+0,5
	4 и более	+1,0
Пористость, % абс.	все значения	±1
Температура, °С	все значения	±3
Сохраняемость свойств во времени	не менее 1 ч 30 мин	минус 10 мин
	от 1 ч 30 мин до 3 ч 00 мин	минус 20 мин
	более 3 ч 00 мин	минус 30 мин

4.5.4 Корректировку рабочего состава производят, если по данным входного контроля качества заполнителей и операционного контроля производства установлено изменение качества материалов более чем на:

2 абс. % – содержание песка в щебне или щебня в песке;

2,0 абс. % – нормальной густоты цементного теста;

1,5 абс. % – содержание илистых, глинистых и пылевидных частиц;

30 кг/м^3 – истинной или средней плотности зерен заполнителя.

4.6 Проверка и корректирование технологических показателей качества бетонной смеси рабочих составов на производстве.

4.6.1 Рабочие составы бетона после их корректирования должны быть проверены в производственных условиях на опытных замесах.

4.6.2 Корректирование рабочих составов по результатам их проверки на опытных замесах проводят в случаях устойчивого (неслучайного) отклонения удобоукладываемости бетонной смеси и других технологических показателей от заданных интервалов.

Отклонение удобоукладываемости (подвижности или жесткости) бетонной смеси считают устойчивым, если:

- из последних десяти результатов определения показателя удобоукладываемости разных замесов три результата выходят за границу заданного интервала в одну и ту же сторону;

- подряд два результата определения показателя удобоукладываемости разных замесов выходят за границу заданного интервала в одну и ту же сторону.

Раздел 5. Расчет и подбор состава тяжелого бетона, прошедшего тепловую обработку (изделия сборного железобетона)

5.1 Выбор и определение характеристик исходных материалов производят по рекомендациям раздела 3.

5.2 Расчет и подбор состава бетона.

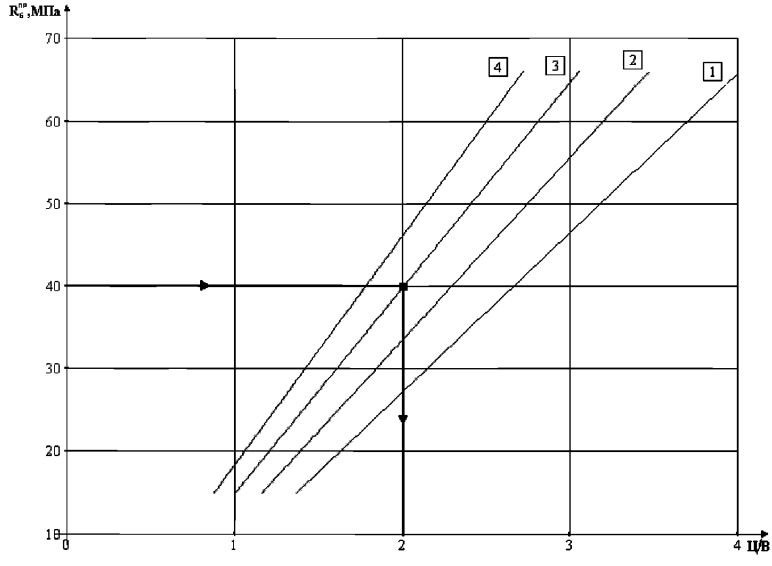


Рисунок 5.1 – Зависимость прочности бетона через 28 суток после тепловой обработки от Ц/В отношения и класса цемента; **1** – цемент ЦЕМ 22,5; **2** – цемент ЦЕМ 32,5; **3** – цемент ЦЕМ 42,5; **4** – цемент ЦЕМ 52,5

5.2.1 По формуле (13) или по рис. 5.1 определяют цементно-водное отношение (Ц/В), ориентировочно обеспечивающее заданный средний уровень прочности класса бетона в проектном возрасте, прошедшего тепловую обработку:

$$(Ц/В) = \frac{R_б^{пр} - 0{,}07 \cdot R_ц^{28} + 13}{0{,}28 \cdot R_ц^{28} + 13}, \quad (13)$$

где (Ц/В) – цементно-водное отношение, обеспечивающее среднюю прочность класса бетона после тепловой обработки;

$R_б^{пр}$ – прочность бетона после тепловой обработки, в возрасте 28 суток, МПа;

$R_ц^{28}$ – прочность (активность) цемента в возрасте 28 суток, принимаемая равной показателю класса, МПа.

5.2.2 Порядок действий по подбору состава бетона, прошедшего тепловую обработку, показан на следующем примере.

Пример. Требование к бетону опор ЛЭП – В30 W8 $F_2$200, с отпускной прочностью 80% и 90% от средней прочности класса (40,0 МПа при V = 13,5%) и подвижностью П2 (5-9 см) при использовании следующих материалов:

- цемент: ЦЕМ I 42,5Н, ρ = 3,1 кг/л;
- песок: $М_к$ = 2,2, ρ = 2,65 кг/л;
- щебень: фр.5(3)-20 мм, ρ = 2,63 кг/л;
- добавки:

•суперводоредуцирующая с эффектом ускорения твердения – расход 0,8 кг на 100 кг цемента;

•воздухововлекающая – 1,5 кг 2% раствора на 1 м^3 бетона.

Режим тепловой обработки:

- выдержка – 4 часа;
- равномерный подъем температуры 60°С – 2 часа;
- изотермический прогрев при температуре °С – 8 часов;
- равномерное остывание до температуры 20°С – 2 часа.

Рассчитываем начальный номинальный состав по формулам 2−13 и дополнительно еще два состава с изменением Ц/В отношения ±0,3−0,5.

По формуле (13) или по рис. 5.1 определяется Ц/В отношение для цемента ЦЕМ 42,5:

Ц/В = **2,0**

Расход воды (В, л/м^3) для расчета и подбора состава бетона назначают по табл. 4.1:

$$В = \mathbf{165}$$

Расход цемента (Ц, кг/м3) в начальном составе бетона рассчитывают по формуле (2):

$$Ц = 2{,}0 \cdot 165 = 329$$

Абсолютный объем заполнителей ($V_з$, л) рассчитывается по формуле:

$$V_з = 1000 - 165/1 - 329/3{,}1 = 730.$$

Доля песка доля песка в смеси заполнителей по абсолютному объему назначается с учетом расхода цемента и крупности заполнителя по табл. 4.2 или в зависимости от технологии производства определенных изделий.

По табл. 4.2:

$$r = 0{,}47$$

Количество мелкого заполнителя (П, кг/м^3) рассчитывается по формуле:

$$П = 730 \cdot 0{,}47 \cdot 2{,}65 = 911$$

Количество крупного заполнителя (Щ, кг) рассчитывают по формуле:

$$Щ = 730 \cdot (1 - 0{,}47) \cdot 2{,}63 = 1015$$

Расход суперводоредуцирующей добавки (Д, л/м^3):

$$Д = \frac{329}{100} \cdot 0{,}8 = 2{,}64$$

Начальный состав бетона, рассчитанный по пп. 4.1.1–4.1.7 (Ц, В, П, Щ, Д), проверяют на опытном замесе с целью определения удобоукладываемости и ее соответствия требованиям, указанным в Техническом задании. Для этого изготавливают замес и определяют подвижность по ГОСТ 10181.

Удобоукладываемость соответствует заданной.

В начальном составе бетона, обеспечивающем заданную удобоукладываемость, фиксируют расход материалов на замес (10 л):

$g_ц$ = 3,29 кг;

$g_п$ = 9,11 кг;

$g_щ$ = 10,15 кг;

$g_в$ = 1,65 кг;

$g_д$ = 0,0264 кг;

$\sum g$ = 24,22 кг.

Фактическая плотность бетонной смеси:

$$\rho_{см} = 2390 \text{ кг/м}^3.$$

Фактический расход материалов в подобранном начальном составе бетонной смеси:

$$Ц = \frac{2390}{24,22} \cdot 3,29 = 325;$$

$$П = \frac{2390}{24,22} \cdot 9,11 = 899;$$

$$Щ = \frac{2390}{24,22} \cdot 10,15 = 1001;$$

$$В = \frac{2390}{24,22} \cdot 1,65 = 162;$$

$$Д = \frac{2390}{24,21} \cdot 0,0264 = 2,60;$$

$$Ц/В = 322/160 = 2,0.$$

В виду отсутствия в опытном замесе водо- и растворотделения, а также получения необходимой подвижности корректирование состава по различной доли песка не требуется.

Дополнительно рассчитываются два состава, с изменением Ц/В отношения на ±0,3, при сохранении расхода щебня и воды начального номинального состава (табл. 5.1).

№1:

$Ц/В_1 = 1,7;$

$В_1 = 162;$

$Щ_1 = 1001;$

$Ц_1 = Ц/В_1 \times В_1 = 1,7 \times 162 = 277;$

$П_1 = V_п \times \rho_п = (V_з - V_щ) \times \rho_п = (1000 - 277/3,1 - 162/1 - 1001/2,63) \times 2,65 = 976;$

$Д_1 = (277/100) \times 0,8 = 2,01.$

№2:

$Ц/В_2 = 2,31;$

$В_2 = 162;$

$Щ_2 = 1001;$

$Ц_2 = Ц/В_2 \times В_2 = 2,3 \times 162 = 374;$

$П_2 = V_п \times \rho_п = (V_з - V_щ) \times \rho_п = (1000 - 374/3{,}1 - 162/1 - 1001/2{,}63) \times 2{,}65 = 893;$

$Д_2 = (374/100) \times 0{,}6 = 2{,}24.$

Таблица 5.1

	Ц/В	Ц, кг/м^3	П, кг/м^3	Щ, кг/м^3	В, кг/м^3	Добавка, кг/м^3	
						супер-водоредуц.	воздухо-вовлек.
Оптимальный начальный состав	2,0	325	899	1001	162	2,01	1,5
Дополнительные составы:							
№1	1,7	277	976	1001	162	1,66	1,5
№2	2,3	374	893	1001	162	2,24	1,5

Таблица 5.2 – Результаты испытаний

Состав	Ц/В	Прочность после тепловой обработки, МПа	
		через 4 часа	через 28 суток
Начальный номинальный состав	2,0	30,1	40,2
№1	1,7	23,6	31,5
№2	2,3	35,4	47,2

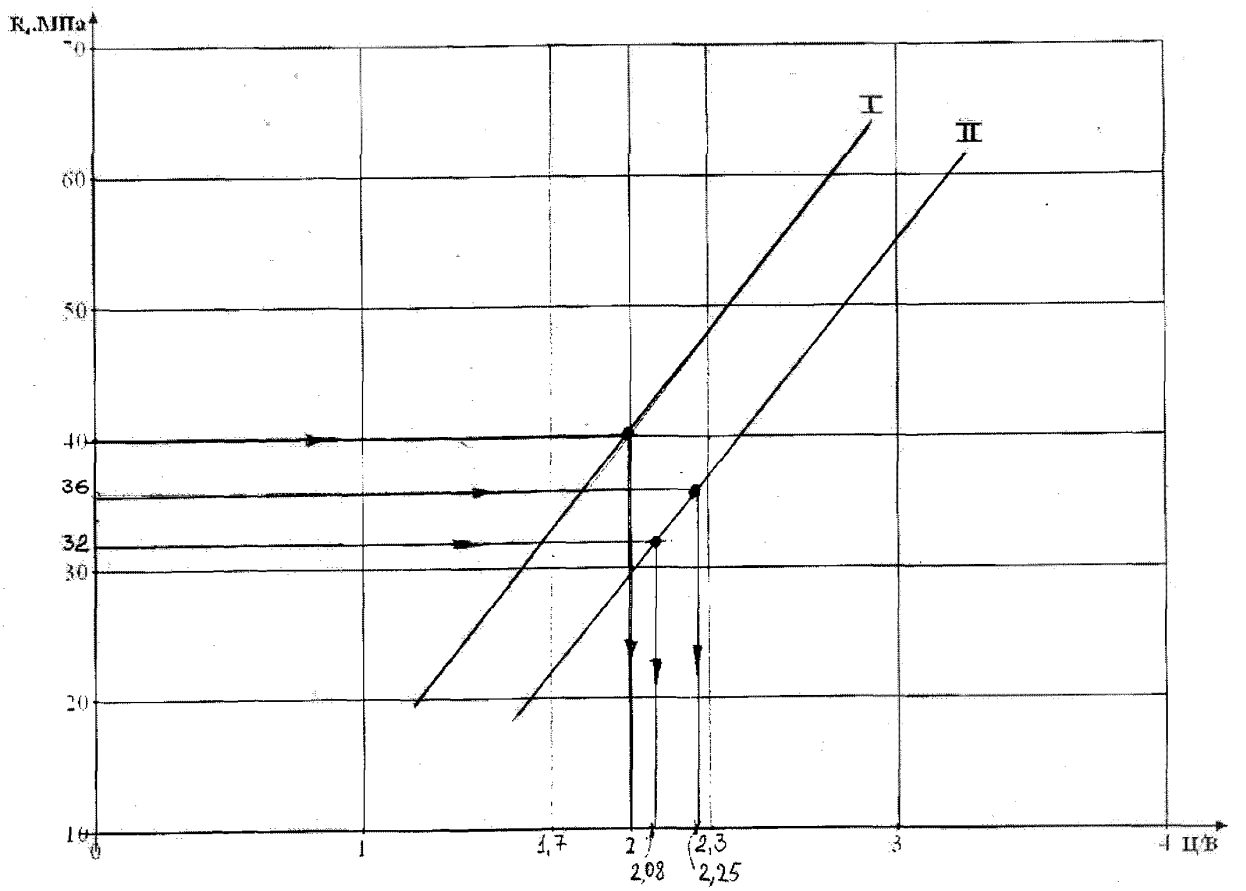


Рисунок 5.2 – Зависимость прочности бетона после тепловой обработки от цементно-водного отношения; **I** – через 28 суток после тепловой обработки; **II** – через 4 часа после тепловой обработки

Из начального номинального состава, а также из двух дополнительных составов изготавливают контрольные образцы, которые проходят тепловую обработку (ТО), согласно требованиям технологии. Испытания контрольных образцов проводят через 4 часа (отпускная прочность) и через 28 суток после тепловой обработки.

По результатам определения прочности бетона контрольных образцов начального и дополнительных составов (табл.5.2) строят базовые зависимости «отпускная прочность – Ц/В-отношение» и «проектная прочность – Ц/В-отношение» (рис. 5.2).

По рис. 5.2 определяем цементно-водное отношение, необходимое для обеспечения требований к бетону по отпускной прочности, и корректируем начальный номинальный состав бетона изделий.

Так как к изделиям бетона опор ЛЭП предъявляются требования по водонепроницаемости и морозостойкости, то по табл.А.1 и А.2 Приложения А находим класс бетона, который обеспечивает марку по водонепроницаемости W8 и марку по морозостойкости F_2200:

- для W8 (табл.А.1): В30 (средняя прочность 40,0 МПа);
- для F_2200 (табл.А.2): В27,5 (средняя прочность 36,0 МПа), с применением воздухововлекающей добавки.

Но для обеспечения отпускной или передаточной прочность 80% и 90% следует назначать Ц/В-отношение 2,08 и 2,25, что больше значений, указанных в табл.А.1, А.2.

Таким образом, именно эти значения Ц/В-отношения принимаются для расчета составов бетона (табл. 5.3), которые будут обеспечивать среднюю прочность класса В30, марку по водонепроницаемости W8 и марку мо морозостойкости F_2200.

Таблица 5.3

Требуемая средняя прочность	Ц/В	Ц, кг/м^3	П, кг/м^3	Щ, кг/м^3	В, кг/м^3	Добавка, кг/м^3	
						суперводо-редуц.	воздухо-вовлек.
Отпускная прочность 80% (32,0 МПа)	,08	37	24	001	62	2,02	1,5
Отпускная прочность 90% (36,0 МПа)	,25	64	01	001	62	2,18	1,5

Раздел 6. Расчет и подбор состава мелкозернистого бетона нормального твердения

6.1 В соответствии с заданием на подбор состава, кроме класса по прочности на сжатие, к бетону могут быть предъявлены дополнительные требования:

- по другим нормируемым показателям качества, в т.ч. по маркам морозостойкости, водонепроницаемости и истираемости;

- по технологическим параметрам бетонной смеси;

- по ограничению состава бетона и применяемых материалов в зависимости от проектных требований к бетону.

6.2 Выбор материалов, используемых при подборе состава бетона, и определение их показателей качества, производят по разделам 1, 2 и 3 настоящих Рекомендаций.

6.3 Расчетно-экспериментальный метод определения состава бетона.

По рис. 6.1 назначают цементно-водное отношение, ориентировочно обеспечивающее требуемую среднюю прочность класса бетона в проектном возрасте (28 суток).

При проведении подборов назначают среднюю прочность класса, равную средней прочности класса при коэффициенте вариации 13,5%. Например, если в задании на подбор проектный класса бетона В20, то для подбора состава принимают среднюю прочность класса 26,0 МПа.

Цементно-водное отношение назначают в зависимости от средней прочности класса и от класса цемента, на котором будут производиться подборы состава по рис. 6.1.

В дальнейших расчетах используют не Ц/В-, а В/Ц-отношение, определенное по формуле (14):

$$\text{В/Ц} = \frac{1}{\text{Ц/В}} \qquad (14)$$

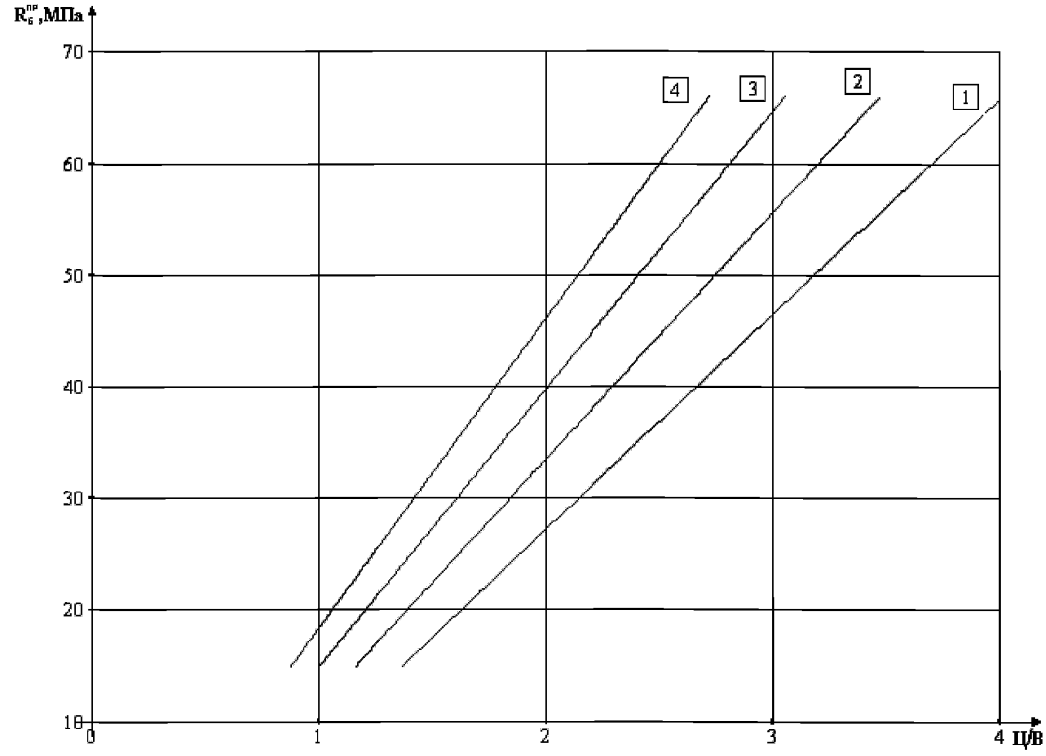


Рисунок 6.1 – Зависимость прочности мелкозернистого бетона через 28 суток нормального твердения от Ц/В отношения и класса прочности цемента; **1** –цемент ЦЕМ 22,5; **2** –цемент ЦЕМ 32,5; **3** – цемент ЦЕМ 42,5; **4** – цемент ЦЕМ 52,5

6.4 Соотношение между песком и цементом (П/Ц) начального номинального состава назначают по табл.6.1 в зависимости от заданной удобоукладываемости и водо-цементного отношения.

Таблица 6.1 – Определение соотношения между песком и цементом

Удобоукладываемость бетонной смеси		Соотношение между песком и цементом по массе, П/Ц		
ОК, см	Ж, с	при В/Ц = 0,4	при В/Ц = 0,5	при В/Ц = 0,6
10–15	–	1,4	2,6	3,6
5–9	–	1,6	2,7	3,8
1–4		1,8	2,9	4,0
–	5–10	2,2	3,3	4,4
–	11–20	2,7	3,7	4,8

Примечание: значения П/Ц в таблице приведены для песка с модулем крупности $М_к$ = 2,5.

При применении песка с другим модулем крупности величина П/Ц корректируется по графику (рис. 6.2).

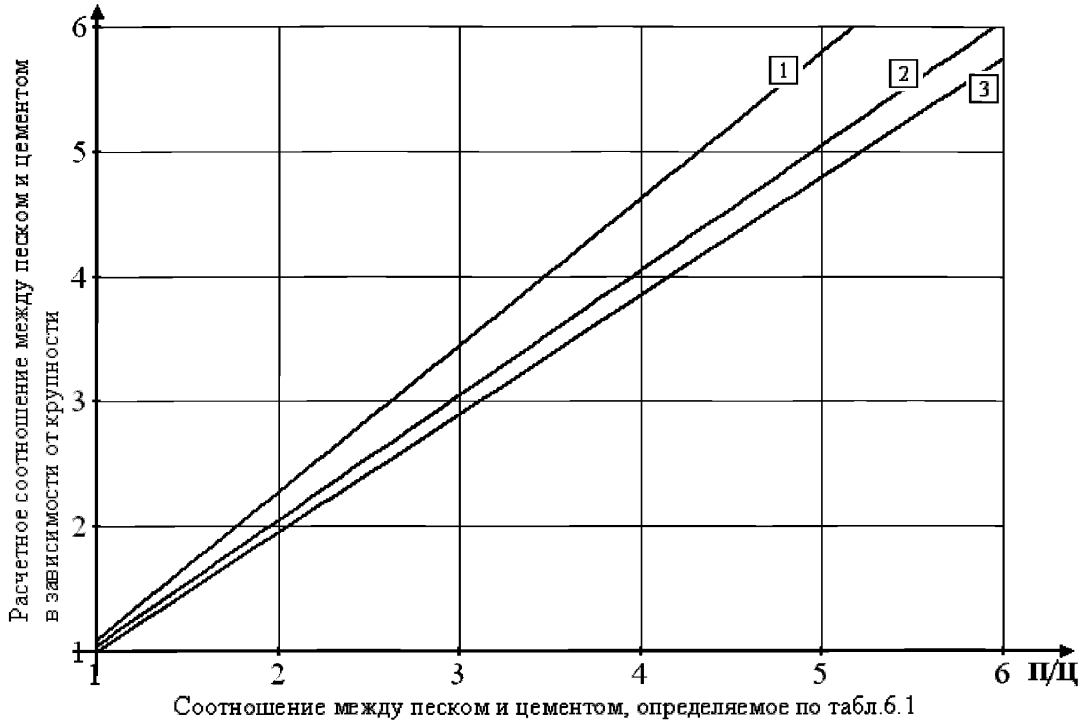


Рисунок 6.2 – Корректирование песко-цементного отношения, обеспечивающего заданную удобоукладываемость; модуль крупности песка: **1** – 3,0; **2** – 2,5; **3** – 2,0.

6.5 Расход цемента (кг/м^3) начального номинального состава рассчитывают по формуле (15).

$$Ц = \frac{\rho^{o}_{см}}{1 + П/Ц + В/Ц}, \quad (15)$$

где $\rho^{o}_{см}$ – плотность бетонной смеси, принимаемая ориентировочно по табл.6.2; В/Ц – водо-цементное отношение, определенное по п.6.3; П/Ц – песчано-цементное отношение, определенное по п.6.4.

Таблица 6.2 – Ориентировочные значения средней плотности мелкозернистой бетонной смеси

Удобоукладываемость бетонной смеси		Средняя плотность, кг/м^3	
ОК, см	Ж, с	при В/Ц < 0,5	при В/Ц ≥ 0,5
10–15	–	2200	2150
5–9	–	2190	2140
1–4	–	2180	2130
–	5–10	2170	2120
-–	11–20	2160	2100

Примечание: значение ориентировочной средней плотности даны для песка с модулем крупности $М_к$ = 2,5. С увеличением или уменьшением модуля крупности песка плотность бетона увеличивастся или уменьшается на 30 кг/м^3.

6.6 Расход песка (кг/м^3) начального номинального состава рассчитывают по формуле (16):

$$П = Ц \cdot П/Ц, \quad (16)$$

где Ц – расход цемента, определенный по п.6.5; П/Ц – песчано-цементное отношение, определенное по п.6.4.

6.7 Расход воды (л/м^3) принимают по табл.6.3.

Таблица 6.3 – Водопотребность бетонной смеси

Удобоукладываемость Ж, с; ОК, см	Без добавок, л/м^3	С суперводоредуцирующей или с уплотняющей (для Ж1 и Ж2) добавкой по ГОСТ 24211, л/м^3
Ж2 (10-20)	160	145
Ж1 (5-10)	185	155
П1 (1-4)	260	210
П2 (5-9)	260	220
П3 (10-15)	270	230
П4 (16-20)	280	240

Примечания

1 Дозировку добавок, вводимых в бетонную смесь (Д, кг/м^3),определяют по ГОСТ 30459.

2 При применении водоредуцирующих добавок водопотребность снижается на 10–13% от бездобавочной.

6.8 Начальный номинальный состав бетона, рассчитанный и определенный по п.п. 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 и 6.7 (Ц, П, В) проверяют на опытном замесе с целью уточнения и корректирования удобоукладываемости бетонной смеси. Для этого изготавливают пробный замес и определяют удобоукладываемость по ГОСТ 10181.

Если удобоукладываемость опытного замеса не соответствует заданной, то производят корректировку начального номинального состава бетона. При этом повышение осадки конуса или снижение жесткости бетонной смеси достигают за счет добавления в пробный замес воды, а снижение осадки конуса или повышения жесткости достигают за счет добавления в пробный замес песка.

При корректировании удобоукладываемости начального номинального состава допускается только разовое введение в пробный замес воды или песка. Если разовое введение указанных компонентов не приводит к требуемой удобоукладываемости, то скорректированный пробный замес следует повторить.

Удобоукладываемость бетонной смеси признают соответствующей заданной, если осадка конуса или жесткость в диапазоне требуемой марки по удобоукладываемости.

6.9 В подобранном по удобоукладываемости начальном номинальном составе бетона определяют фактическую среднюю плотность бетонной смеси ($\rho^{ф}_{см}$) по ГОСТ 10181 и по формулам (17)-(24) рассчитывают фактический расход составляющих (кг/м^3), где определяют фактическое соотношение (в случае увеличения расхода воды или песка при корректировке состава):

$$П/Ц^{ф} = \frac{П_1 + \Delta П}{Ц_1}; \quad (17)$$

$$В_{ф} = В_1 + \Delta В; \quad (18)$$

$$П_{ф} = Ц \cdot (П/Ц^{ф}). \quad (19)$$

Для определения фактического расхода составляющих (кг/м^3) бетона в уплотненном состоянии по формуле (21) рассчитывают коэффициент К:

$$К = \frac{\rho^{ф}_{см}}{\rho^{назн.}_{см}} \quad (21)$$

$$Ц = Ц \cdot К; \quad (22)$$

$$П = П_{ф} \cdot К; \quad (23)$$

$$В = В_{ф} \cdot К. \quad (24)$$

6.10 Из полученного начального номинального состава бетонной смеси изготавливают контрольные образцы для определения прочности бетона нормального твердения в возрасте 7 суток (промежуточная прочность) и 28 суток (проектная прочность).

6.11 Дополнительные составы бетона рассчитывают, изменяя Ц/В-отношение на ±0,3, принимая расход воды равным расходу воды подобранного и откорректированного состава. Величину средней плотности бетонной смеси необходимо увеличить на 20–30 кг/м^3 для состава бетона с большим Ц/В-отношением и уменьшить на 10–20 кг/м^3 для состава с меньшим Ц/В-отношением. Расход цемента и песка рассчитывают по формулам пп. 6.5 и 6.6.

Из двух рассчитанных дополнительных составов изготавливают контрольные образцы, твердеющие в нормальных условиях, для определения прочности бетона в промежуточном (7 суток) и проектном (28 суток) возрасте.

6.12 По результатам прочности бетона начального номинального состава и двух дополнительных составов в промежуточном возрасте и проектном возрасте необходимо построить базовые зависимости прочности бетона от Ц/В-отношения и фактической средней плотности от Ц/В-отношения.

По этим зависимостям определяют Ц/В-отношение, обеспечивающее бетон с заданной проектной средней прочностью и соответствующее значение средней плотности бетонной смеси.

6.13 На основании определенного Ц/В-отношения и фактической средней плотности по пп. 6.5–6.7 рассчитывают номинальный состав бетона.

Раздел 7. Расчет и подбор состава мелкозернистого бетона нормального твердения с водоредуцирующими добавками

7.1 Расчетно-экспериментальный метод определения состава бетона.

По рис. 6.1 назначают цементно-водное отношение, ориентировочно обеспечивающее требуемую среднюю прочность класса бетона в проектном возрасте (28 суток).

При проведении подборов назначают среднюю прочность класса, равную средней прочности класса при коэффициенте вариации 13,5%. Например, если в задании на подбор проектный класса бетона В20, то для подбора состава принимают среднюю прочность класса 26,0 МПа.

Цементно-водное отношение назначают в зависимости от средней прочности класса и от класса цемента, на котором будут производиться подборы состава по рис.6.1.

В дальнейших расчетах используют не Ц/В-, а В/Ц-отношение, определенное по формуле (14).

7.2 При применении водоредуцирующих добавок их оптимальное количество (Д, кг/м^3) определяют по ГОСТ 30459.

7.3 Расход воды с водоредуцирующими добавками принимают по табл. 6.3.

7.4 По водоцементному отношению и водопотребности бетона начального состава определяют расход цемента бетона с добавкой:

$$Ц_1 = \frac{В_1}{В/Ц} \quad , \qquad (25)$$

где $Ц_1$ – расход цемента, кг, при введении водоредуцирующей добавки; $В_1$ – расход воды, л, при введении водоредуцирующей добавки.

7.5 Далее определяют расход песка в бетоне с добавкой:

$$П = (\rho^{o}_{см} \cdot 1) - В_1 - Ц_1 \quad , \qquad (26)$$

7.6 Начальный номинальный состав бетона с добавкой, рассчитанный по пп. 7.1–7.5, в опытном замесе корректируют на заданную удобоукладываемость бетонной смеси по п.6.8.

7.7 В подобранном по удобоукладываемости начальном номинальном составе бетона определяют среднюю фактическую плотность бетона и фактическое соотношение между песком и цементом по п. 6.9.

7.8 Из полученного начального состава бетонной смеси изготавливают контрольные образцы для определения прочности бетона после его твердения по принятому режиму.

7.9 Дополнительные составы бетона рассчитывают и корректируют по п. 6.11.

7.10 По результатам прочности бетона начального и двух дополнительных составов строят базовые зависимости «Ц/В отношение-прочность» и «фактическая плотность-прочность».

7.11 На основании определенного Ц/В отношения, средней плотности по п.6.9 рассчитывают номинальный состав бетона с добавкой.

7.12 Порядок действий по подбору состава бетона показан на следующем примере.

Пример. По техническому заданию необходимо подобрать состав мелкозернистого бетона класса по прочности на сжатие В20 (средняя прочность 26,0 МПа при V = 13,5%) с подвижностью П3 (10-15 см), применяя следующие материалы:

- цемент ЦЕМ II/А-Ш 32,5;
- песок с $М_к = 2,7$, $p_{нас.} = 1450$ кг/м^3;
- добавка: суперводоредуцирующая с расходом 0,7 л на 100 кг цемента.

По рис. 6.1 назначают цементно-водное отношение, ориентировочно обеспечивающее требуемую среднюю прочность класса бетона в проектном возрасте (28 суток).

$$Ц/В = 1,9$$

В дальнейших расчетах используют не В/Ц, Ц/В отношение, определенное по формуле (14):

$$В/Ц = 0,53$$

Расход воды $В_1$ (л/м^3) принимаем по табл. 6.3 в зависимости от заданной удобоукладываемости:

$$В_1 = 230$$

По водоцементному отношению начального состава и расходу воды, назначенному по табл.6.3 определяем расход цемента (кг/м^3):

$$Ц_I = В_1/В/Ц = 230/0,53 = 434$$

Определяют расход добавки (л/м^3) в бетоне:

$$Д = 0,7 \cdot 434/100 = 3,1$$

Определяют расход песка (кг/м^3) в бетоне с добавкой, принимая значение средней плотности в зависимости от заданной удобоукладываемости и модуля крупности песка (для расчета среднее значение плотности увеличили, т. к. модуль крупности превышает значение $М_к$ = 2,5):

$$П = 2220 \cdot 1 – 230 – 434 = 536$$

Далее проверяют начальный номинальный состав на опытном замесе с целью уточнения удобоукладываемости бетонной смеси. Для этого изготавливают пробный замес и определяют удобоукладываемость по ГОСТ 10181.

Опытные испытания показали, что удобоукладываемость отвечает заданным параметрам при ОК = 14 см, следовательно корректировку расхода песка, цемента, воды производить не надо. Фактическая плотность бетонной смеси составляет $р_{б.с.}$ = 2160 г/л.

Для определения фактического расхода составляющих (кг/м^3) бетона в уплотненном состоянии по формуле (21) рассчитывают коэффициент К:

К = 2160/ 2200 = 0,98

Ц = 434 · 0,98 = 425;

П = 1536 · 0,98 = 1505;

В = 230 · 0,98 = 225;

Д = 3,1 · 0,98 = 3,0.

Из полученного начального номинального состава бетонной смеси изготавливают контрольные образцы для определения прочности бетона нормального твердения в 7 суток (промежуточная прочность) и 28 суток (проектная прочность). Результаты испытаний представлены в табл. 6.5.

Дополнительные составы бетона рассчитывают, изменяя Ц/В-отношение на ±0,3, принимая расход воды равным расходу воды подобранного и

откорректированного состава. Величину средней плотности бетонной смеси необходимо увеличить на 20–30 кг/м^3 для состава бетона с большим Ц/В-отношением и уменьшить на 10–20 кг/м^3 для состава с меньшим Ц/В отношением. Расход цемента и песка рассчитывают по формулам пп. 6.5 и 6.6.

Для Ц/В = 1,6

Расчетное значение плотности:

$$р_{см} = 2160 - 20 = 2140 \text{ кг/м}^3.$$

Расход воды принимают равными начальному составу:

$$В = 225 \text{ л}$$

$$Ц = 1,6 \cdot 225 = 360 \text{ кг};$$

$$П = p_{см} \cdot 1–Ц –В = 2140–360–225 = 1555 \text{ кг};$$

$$Д = 360 \cdot 0,7/100 = 2,5 \text{ кг}.$$

Для Ц/В = 2,2

Расчетное значение плотности:

$$р_{см} = 2160 + 30 = 2190 \text{ кг/м}^3.$$

Расход воды принимаем равными начальному составу:

$$В = 225 \text{ л}$$

$$Ц = 2,2 \cdot 225 = 495 \text{ кг};$$

$$П = p_{см} \cdot 1–Ц–В = 2140–495–225 = 1470 \text{ кг};$$

$$Д = 495 \cdot 0,7/100 = 3,5 \text{ кг}.$$

По двум расчетным дополнительным составам изготавливают бетон, определяют подвижность, фактическую плотность $p_{см2}$ = 2130 кг/м^3 и $p_{см3}$ = 2210 кг/м^3 соответственно для Ц/В = 1,6 и 2,2, а также изготовляют контрольные образцы для определения промежуточной и проектной прочности в возрасте 28 сут. Подвижность бетонной смеси в двух данных составах не превышала допустимые пределы заданной марки, поэтому проводить корректировку удобоукладываемости дополнительных составов не было необходимости.

По данным испытаний начального и двух дополнительных составов бетона строят базовые зависимости промежуточной прочности и прочности в возрасте 28 сут. и фактической средней плотности бетонной смеси от Ц/В.

Таблица 7.1

Состав	Ц/В	Технические характеристики мелкозернистого бетона в возрасте (средние значения плотности, прочности)			
		7 сут.		28 сут.	
		Плотность, кг/м^3	Прочность, МПа	Плотность, кг/м^3	Прочность, МПа
Оптимальный начальный	1,9	2157	22,5	2160	28,1
Дополнительные составы					
№1	1,6	2133	13,6	2130	17,0
№2	2,2	2206	31,2	2210	39,0

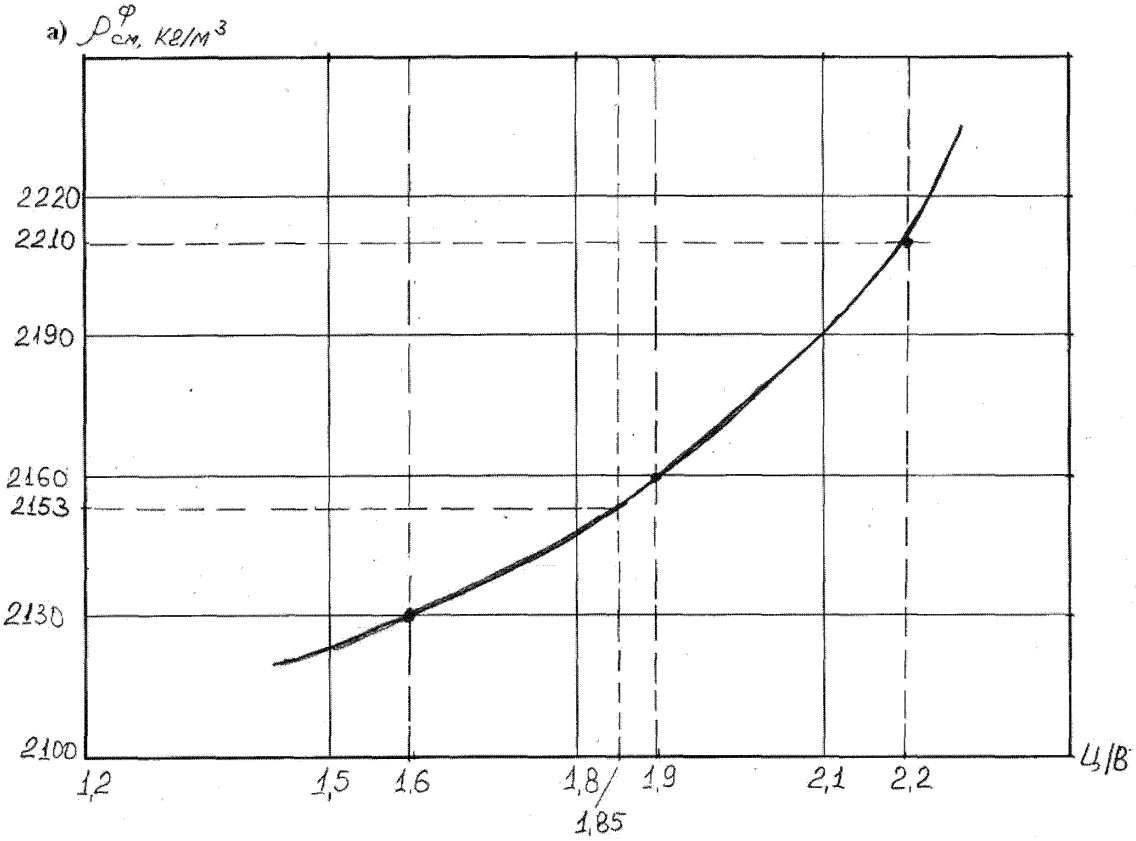


Рисунок 7.1, а – Базовая зависимость: «плотность – Ц/В-отношение»

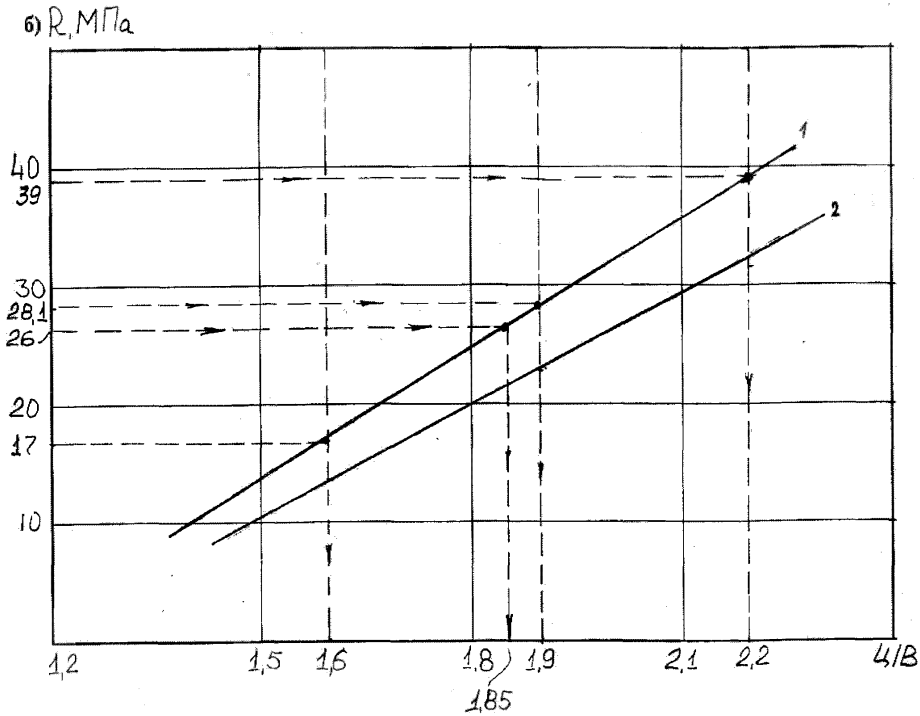


Рисунок 7.1, б – Базовая зависимость: «прочность – Ц/В отношение»; **1** – в возрасте 28 суток; **2** – в возрасте 7 суток

На основании данных рис. 7.1 определяем, что для обеспечения средней прочности 26,0 МПа необходимо Ц/В = 1,85 при плотности $\rho_{см}$ = 2153 кг/м^3.

Таким образом, окончательный номинальный состав мелкозернистого бетона, обеспечивающий среднюю прочность класса В20 (26,0 МПа), следующий:

$Ц = В \cdot Ц/В = 225 \cdot 1{,}85 = 416$ кг;

$П = 2153 \cdot 1 - 416 - 225 = 1512$ кг;

Д = 416 · 0,7/100 = 2,9 кг

$В = 225$ л.

Раздел 8. Расчет и подбор состава мелкозернистого бетона, прошедшего тепловую обработку

8.1 Выбор и определение характеристик исходных материалов производят по рекомендациям раздела 3.

8.2 Расчет и подбор состава бетона.

8.2.1 По рис. 8.1 определяют цементно-водное отношение (Ц/В), ориентировочно обеспечивающее заданный средний уровень прочности бетона, прошедшего тепловую обработку, в проектном возрасте.

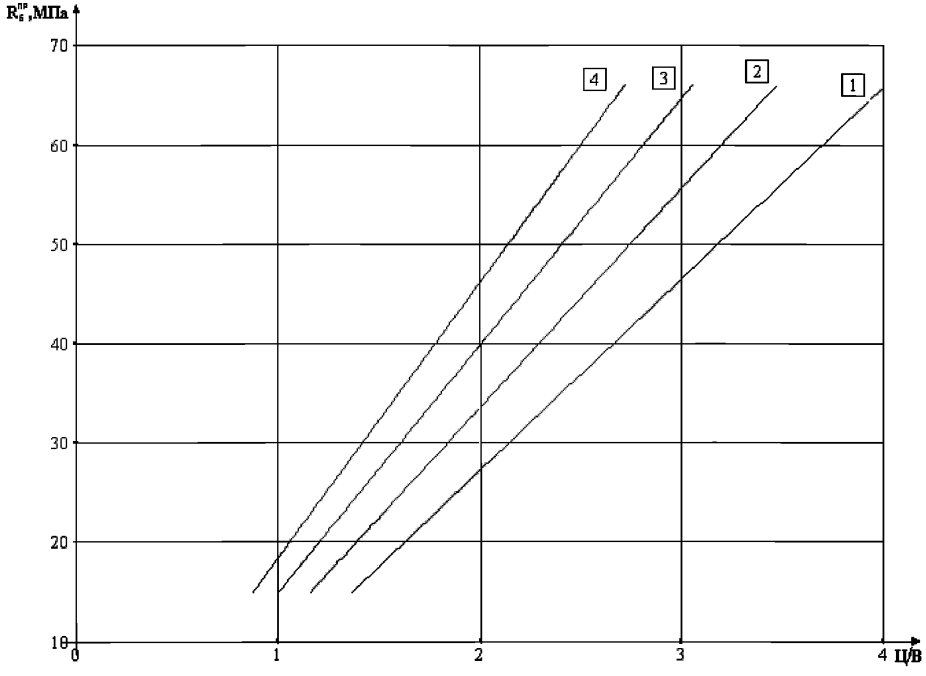


Рисунок 8.1 – Зависимость прочности бетона через 28 суток после тепловой обработки от Ц/В отношения и класса прочности цемента; **1** – цемент ЦЕМ 22,5; **2** – цемент ЦЕМ 32,5; **3** – цемент ЦЕМ 42,5; **4** – цемент ЦЕМ 52,5

8.2.2 Порядок действий по подбору состава мелкозернистого бетона, прошедшего тепловую обработку, показан на следующем примере.

Пример. Требования к бетону тротуарных плит и бордюров: В30 (средняя прочность 40.0 МПа при V = 13,5%) F_2300 с водопоглощением не более 5%. Отпускная прочность 90% от средней прочности класса (36,0 МПа), жесткость Ж2 (11−20 с).

Режим тепловой обработки:

- выдержка − 5 часов;
- подъем температуры до 50−55 °С – 2 часа;
- изотермический прогрев при температуре 50-55°С – 8 часов;
- спуск температуры до 20°С - 7 часов..

Используемые материалы:

- цемент – ЦЕМ I 42,5Н;
- песок – $М_к$ = 3,0, $\rho_{нас}$ = 1450 кг/м^3;
- добавка водоредуцирующая с эффектом уплотнения ($Д_1$) – расход 0,8 л на 100 кг цемента;
- добавка воздухововлекающая ($Д_2$) – расход 1,2 л на 1 м^3 бетона.

Цементно-водное отношение назначается по рис. 8.1. В 28-суточном возрасте после тепловой обработки нужно получить 40.0 МПа, следовательно, по рис. 8.1:

$$Ц/В = 2,0\ (В/Ц = 0,5).$$

По формулам (15) и (16) рассчитываем расход цемента и песка (кг). Значение П/Ц отношение принимается по табл.6.1, исходя из определенного В/Ц; значение средней плотности принимаем по табл.6.2.

$$Ц = \frac{2100}{1 + 3,7 + 0,5} = 404$$

$$П = 415 \cdot 3,7 = 1495$$

$$Д_1 = 0,8 \cdot 404/100 = 3,23$$

Расход воды В (л/м^3) начального номинального состава назначается по табл. 6.3.

$$В = 145$$

Корректирование удобоукладываемости в опытном замесе производят в следующем порядке.

Из расчетного состава бетона изготавливают опытный замес объемом 10 л. Расход материалов на замес: Ц = 4,04 кг, П = 14,95 кг, В = 1,45 л, $Д_1$ = 0,323 л, $Д_2$ = 0,120 л.

Определяют жесткость: Ж = 10 с. Для повышения жесткости бетонной смеси в замес добавляют 0,5 кг песка; перемешивают и повторно определяют жесткость: Ж = 20 с, среднюю плотность бетонной смеси $\rho_{см}$ = 2230 кг/м^3 и на основании фактической плотности бетонной смеси пересчитывают фактический состав бетона (кг/м^3).

К = 2230/2100 = 1,06

Ц = 404·1.06 = 428;

П = (1495+50)·1,06 = 1638;

В = 145·1,06 = 154;

$Д_1$ = 3,23·1,06 = 3,42;

Ц/В = 428/154 = 2,78

Откорректированный по жесткости и рассчитанный по фактической плотности состав принимают за начальный номинальный состав бетона.

Из полученного замеса изготавливают контрольные образцы для определения отпускной и проектной прочности. Испытания показали, что

$$R^{п}_{4ч} = 29,0 \text{ МПа};$$

$$R^{п}_{28} = 36,0 \text{ МПа}.$$

Для определения номинального состава бетона строят базовые зависимости по отпускной и проектной прочности. Для этого рассчитывают два дополнительных состава бетона с Ц/В = 2,48 и 3,08.

Расход воды принимают равным откорректированному составу В = 154 л/м^3 и рассчитывают расходы цемента, песка и добавки (кг/м^3).

Для Ц/В = 3,08

Расчетное значение плотности:

$\rho_{см}$ = 2230+20 = 2250 кг/м^3;

Ц = 154·3,08 = 474;

$П = p_{см} \cdot 1 – Ц – В = 2250 – 474 – 154 = 1622$;

$Д_1 = 474 \cdot 0{,}8/100 = 3{,}8$.

Для Ц/В = 2,48

Расчетное значение плотности:

$\rho_{см} = 2230 – 15 = 2210$ кг/м^3;

$Ц = 154 \cdot 2{,}48 = 382$;

$П = p_{см} \cdot 1 – Ц – В = 2210 – 382 – 154 = 1674$ кг;

$Д_1 = 382 \cdot 0{,}8/100 = 3{,}1$.

По двум расчетным дополнительным составам изготавливают бетон, определяют подвижность, фактическую плотность $\rho_{см2}$ = 2250 кг/м^3 и $\rho_{см3}$ = 2210 кг/м^3 соответственно для Ц/В = 3,08 и 2,48, а также формуют контрольные образцы для определения отпускной и проектной прочности. Жесткость бетонной смеси в двух данных составах может несколько отличаться от жесткости начального состава бетона. Если это отличие превышает пределы марки по жесткости, то необходимо провести корректирование удобоукладываемости.

По данным испытаний начального и двух дополнительных составов бетона строят базовые зависимости отпускной и проектной прочности и фактической средней плотности бетонной смеси от Ц/В отношения.

На основании данных рис. 8.2 и рис. 8.3 определяют, что для обеспечения отпускной прочности 36,0 МПа Ц/В = 3,14, при этом R_{28} = 45,0 МПа, а $\rho_{см}$ = 2250 кг/м^3.

Номинальный состав бетона, пересчитанный по формулам, следующий (на 1 м^3):

$Ц = В \cdot Ц/В = 154 \cdot 3{,}14 = 484$ кг;

$П = 2250 \cdot 1 - 484 - 154 = 1622$ кг;

В = 154 л;

$Д_1 = 484 \cdot 0{,}8/100 = 3{,}87$ л;

$Д_2 = 1{,}2$ л.

По табл. А.2 Приложения А определяем, что $F_2$300 можно обеспечить при прочности ≥36,0 МПа при использовании воздухововлекающей добавки. Таким

образом, номинальный состав обеспечит морозостойкость F_2300, т. к. прочность в возрасте 28 суток после тепловой обработки 41,4 МПа. Но для выдачи данного состава в производство необходимо изготовить контрольные образцы и определить фактическую морозостойкость по ГОСТ 10060.

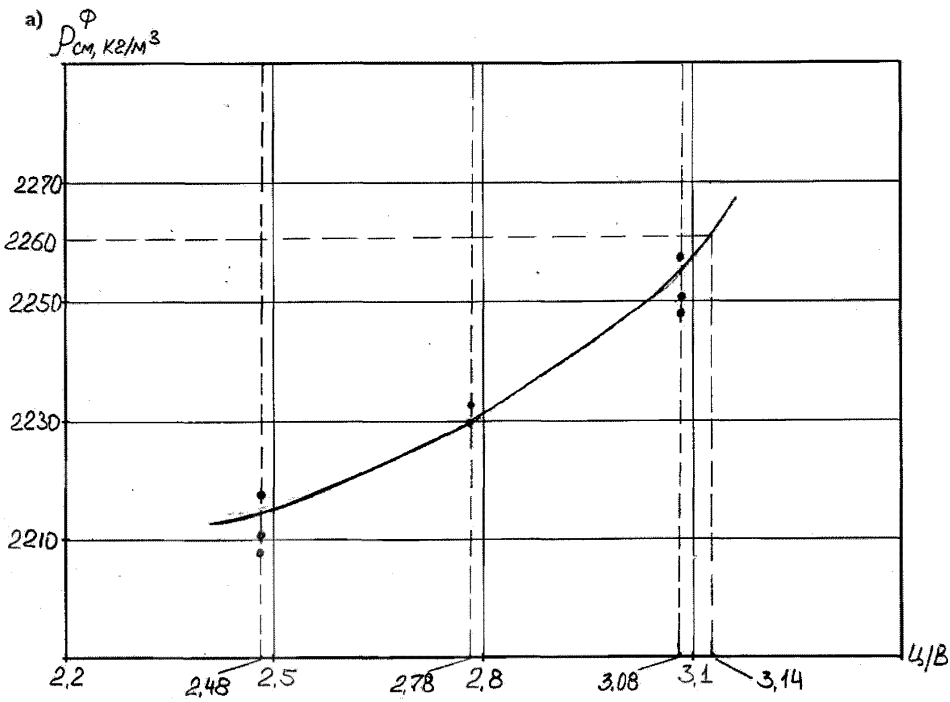


Рисунок 8.2 – Базовая зависимость «средняя плотность бетонной смеси – Ц/В-отношение»

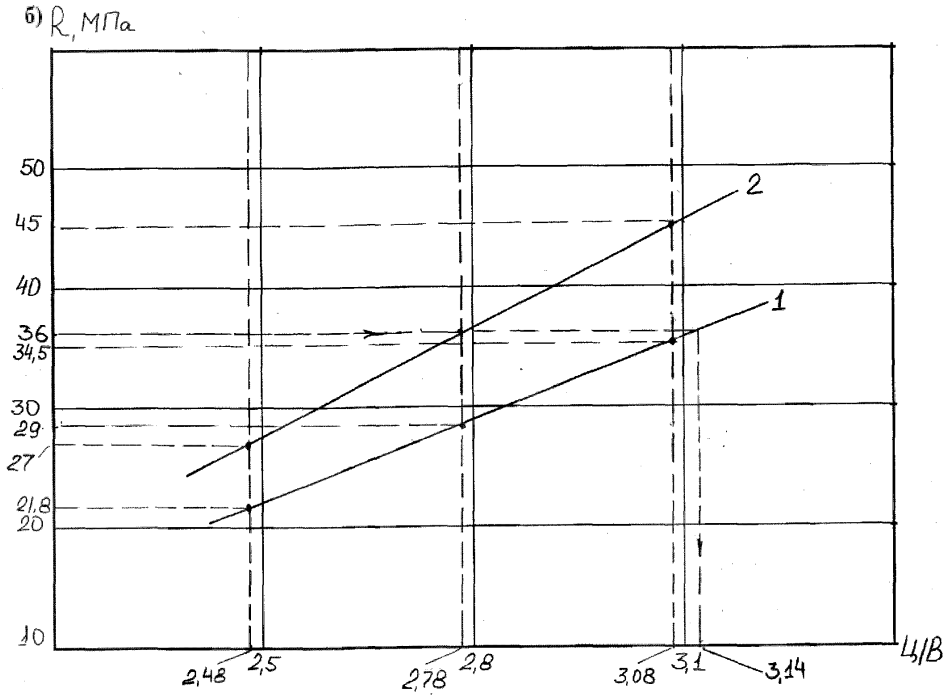


Рисунок 8.3 – Базовые зависимости «прочность – Ц/В-отношение»; **1** – через 4 часа после тепловой обработки; **2** – в возрасте 28 суток

Данные построенных базовых зависимостей могут быть для разработки производственных составов мелкозернистого бетона классов по прочности В20–В35 при использовании тех же материалов.

Раздел 9. Расчет и подбор состава мелкозернистого бетона с минеральными добавками

9.1 Настоящий подбор состава относится к использованию минеральных добавок (МД) в качестве самостоятельного компонента бетона, а не в составе вяжущего.

9.2 Расчет и подбор начального номинального состава мелкозернистого бетона начинают с определения исходного состава.

Исходным составом является производственный или лабораторный состав мелкозернистого бетона без минеральных добавок, обеспечивающий требуемую проектную прочность при заданной удобоукладываемости бетонной смеси. При отсутствии этого состава его рассчитывают в соответствии с разделом 6.

9.3 Минеральные добавки обладают вяжущими свойствами, что обусловлено взаимодействием добавок с продуктами гидратации цемента. При расчете состава бетона эти свойства учитывают коэффициентом цементирующей эффективности $К_{ц.э}$.

9.4 Определение коэффициента цементирующей эффективности минеральной добавки.

9.4.1 Ориентировочное цементно-водное отношение Ц/В бетона с добавкой рассчитывают в размере 40% общего количества цемента и минеральных добавок (Ц + МД = 100%) по формуле (27):

$$Ц / В = \frac{Ц / В_{исх}}{1 + К^{р}_{ц.э} \cdot МД / Ц}, \qquad (27)$$

где Ц/В, $Ц/В_{исх}$ – цементно-водные отношения бетона с добавкой и исходного состава; $К^{р}_{ц.э}$ – ориентировочное значение коэффициента цементирующей эффективности добавки, принимаемое по табл. 9.1; МД/Ц – отношение массы добавки к массе цемента определяют по табл. 9.2 в зависимости от доли минеральных добавок, принимаемой на этом этапе 0,25 (20%) для природных добавок осадочного происхождения и 0,67 (40%) для природных добавок вулканического происхождения и искусственных добавок.

Таблица 9.1 – Ориентировочные значения коэффициента цементирующей эффективности минеральных добавок

Минеральные добавки	Коэффициент цементирующей эффективности для обеспечения прочности бетона $K^{ф}_{ц.э}$	
	пропаренного	нормального твердения
Золы уноса кислые	1,10—1,30	0,7—0,8
Золы уноса высококальциевые	0,80—0,90	0,5—0,6
Отвальная кислая зола	0,4—0,7	0,2—0,3
Молотый песок	0,2—0,3	0,1—0,6
Диатомиты и трепелы	2,0—3,0	1,2—1,7

Таблица 9.2 – Соотношения между цементом и минеральной добавкой

Доля МД в смеси с цементом $\frac{МД}{Ц+МД}\cdot 100\%$	0	10	20	30	40	50	60
$\frac{МД}{Ц}$	0	0,11	0,25	0,44	0,67	1,0	1,5
$\frac{Ц}{МД}$	0	9	4	2,33	14	1,0	0,67

9.4.2 Приготавливают два вспомогательных состава бетона с Ц/В, отличающихся от полученных в п.9.4.1 на ± 0,2. Расход песка в замесе и соотношение между песком и цементом этих составов определяют опытом, подбирая заданную удобоукладываемость бетонной смеси при принятых отношениях Ц/В и МД/Ц. При этом корректировку удобоукладываемости бетонной смеси проводят в соответствии с п.6.8.

9.4.3 Из трех составов бетона (по пп. 9.4.1, 9.4.2) изготавливают контрольные образцы для определения прочности через 4 ч после окончания тепловой обработки, а для бетона, твердеющего в нормальных условиях, через 28 сут.

9.4.4 По результатам определения прочности составов бетона в соответствии с п.9.4.3 строят зависимость прочности от Ц/В. По этой зависимости определяют цементно-водное отношение Ц/В, обеспечивающее получение прочности бетона с добавкой, равной прочности исходного состава.

9.4.5 Рассчитывают фактическое значение коэффициента цементирующей эффективности $К_{ц.э}$ по формуле (28):

$$К^{ф}_{ц.э}=\left[\frac{Ц/В_{исх}}{Ц/В_{всп}}-1\right]\cdot\frac{Ц}{МД}, \quad (28)$$

где $Ц/В_{исх}$, $Ц/В_{всп}$ – цементно-водные отношения исходного состава бетона и бетона с добавкой, имеющих равную прочность.

9.5 Определение оптимальной дозировки минеральной добавки.

9.5.1 Приготавливают дополнительно составы бетона с содержанием добавок в смеси с цементом, %:

- природных осадочного происхождения – 10, 20, 30 и 40;
- природных вулканического происхождения и искусственных молотых – 10, 20, 30, 40 и 50;
- высококальциевых зол уноса – 20, 30, 40, 50 и 60;
- глины – 4, 8, 12.

Цементно-водные отношения этих составов определяют по формуле (29):

$$Ц/В = \frac{Ц/В_{исх}}{1 + К^{ф}_{ц.э} \cdot \frac{МД}{Ц} \cdot 0{,}9}. \quad (29)$$

Соотношение между песком и цементом в каждом дополнительном составе подбирают опытом, регулируя удобоукладываемость в соответствии с п. 9.4.2.

9.5.2 В подобранных по удобоукладываемости дополнительных составах бетона фиксируют фактическую среднюю плотность бетонной смеси и изготавливают контрольные образцы для определения отпускной и проектной прочности бетона.

9.5.3 В качестве оптимального количества добавки в смеси ее с цементом принимают то, при котором получена максимальная прочность дополнительного состава бетона. Для этого состава рассчитывают фактический расход цемента и добавки по формулам:

$$Ц = \frac{\rho^{ф}_{п}}{1 + МД/Ц + П/Ц + В/Ц}, \quad (30)$$

$$МД = Ц \cdot МД/Ц. \quad (31)$$

Расход воды и песка рассчитывают по формулам (15) и (16).

9.5.4 Приготавливают два состава бетона с найденным в пп. 9.5.2–9.5.3 оптимальным отношением МД/Ц, отличающимся от Ц/В оптимального дополнительного состава на ± (0,2–0,4) и принимают значения В равными расходу

воды в оптимальном дополнительном составе, откорректированном по удобоукладываемости, а величину средней плотности бетонной смеси увеличивают на 20–30 кг/м^3 для состава с большим Ц/В и уменьшают на 10–20 кг/м^3 для состава с меньшим Ц/В. С учетом этого рассчитывают состав бетона в соответствии с п. 9.5.3. Из замесов этих составов изготавливают контрольные образцы для определения прочности бетона в отпускном и проектном возрасте, а также определяют фактическую плотность и удобоукладываемость бетонной смеси.

9.5.5 По результатам определения прочности бетона дополнительного оптимального состава и двух откорректированных строят базовые зависимости прочности бетона в отпускном и проектном возрасте и фактической средней плотности бетонной смеси в зависимости от Ц/В. По этим зависимостям определяют минимальное значение Ц/В, обеспечивающее получение бетона с заданной отпускной и проектной прочностью и соответствующее ему значение средней плотности бетонной смеси.

9.5.6 На основании определенного по базовой зависимости Ц/В и средней плотности бетонной смеси по п.9.5.3 рассчитывают номинальный состав бетона.

Пример. Требуется подобрать состав мелкозернистого бетона с минеральной добавкой (кислой) – золой уноса Ступинской ТЭС. Класс по прочности на сжатие В15 (средняя прочность класса 20 МПа при V = 13,5%), отпускная прочность 14 МПа (70%). Заданная удобоукладываемость бетонной смеси ОК = 3 см. Используются следующие материалы:

- цемент ЦЕМ I 42,5;
- песок с $М_к$ = 2,7, $\rho_{нас.}$ = 1450 кг/м^3;
- добавка: суперводоредуцирующая с расходом 0,7 л на 100 кг цемента.

Расчет и подбор номинального состава бетона производят в следующем порядке.

В качестве исходного состава бетона принимают состав с расходом материалов на 1 м^3:

Ц/В = 1,72;

Ц = 490 кг;

П = 1390 кг;

В = 285 л; Д = 3,43 л.

1. Определение цементирующей эффективности золы.

Рассчитывают ориентировочное отношение Ц/В бетона с золой по формуле (29), принимая $K^{ф}_{ц.э}$ по табл. 9.1:

$$K^{ф}_{ц.э} = 1{,}2\%,$$

$$Ц/В = \frac{1{,}72}{1+1{,}2 \cdot 0{,}67} = 0{,}95.$$

Приготавливают два вспомогательных состава с Ц/В, отличающихся от рассчитанного на ± (0,2−0,3), например 1,15 и 0,75.

Фактическое соотношение между песком и цементом вспомогательных составов определяют опытом, подбирая заданную удобоукладываемость бетонной смеси при принятых Ц/В = 1,15 и 0,75 и В/Ц = 0,67.

Для того чтобы при этом подборе использовать замесы не объемом 7−8 л, который необходим для определения осадки стандартного конуса, а меньшие, подвижность рекомендуется оценивать величиной погружения конуса СтройЦНИИЛ по ГОСТ 5802 или расплывом конуса на встряхивающем столике по ГОСТ 310.4. Объем замеса при использовании этих приборов равен соответственно 0,5 л, а связь с осадкой стандартного конуса для мелкозернистого бетона приведена на рис. 9.1.

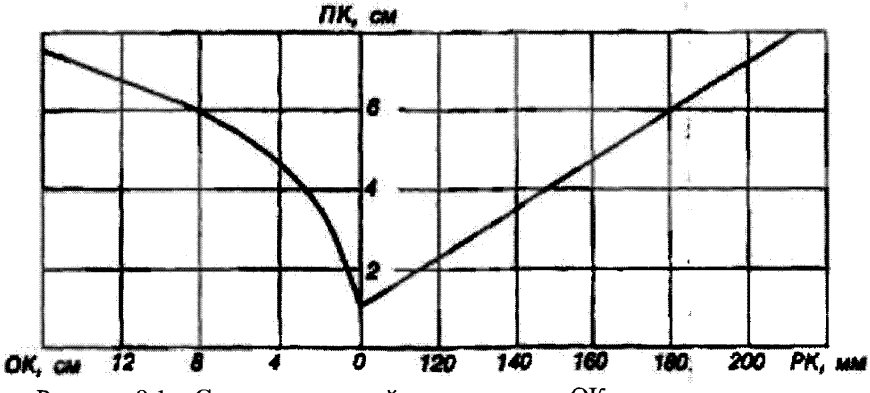


Рисунок 9.1 – Связь показателей осадки конуса ОК, погружения конуса ПК СтройЦНИИЛ и расплыва конуса РК на встряхивающем столике для мелкозернистой бетонной смеси

После корректировки удобоукладываемости и определения фактической средней плотности бетонных смесей получают два вспомогательных состава с расходом материалов, рассчитанных по формулам п. 9.5.3.

Для Ц/В 1,15:

Ц = 430 кг;

МД = 288 кг;

П = 920 кг;

В = 374 л;

Д = 3,01 л.

Ддля Ц/В = 0,75:

Ц = 320 кг;

МД = 214 кг;

П = 1015 кг;

В = 427 л;

Д = 2,24 л.

Из вспомогательных составов изготавливают контрольные образцы для определения прочности через 4 ч после тепловой обработки.

Получают для первого состава $R_{4ч}$ = 16,2 МПа, для второго - $R_{4ч}$ = 5,4 МПа.

Строят зависимость прочности от Ц/В (рис. 9.2). По этой зависимости определяют Ц/В, обеспечивающее получение прочности 14 МПа, которое равно 1,07, и рассчитывают фактическое значение коэффициента цементирующей эффективности по формуле (28):

$$K_{ц.э}^{ф} = \left(\frac{1,72}{1,07} - 1\right) \cdot 1,5 = 0,91$$

2.Определение оптимальной дозировки золы

Приготавливают дополнительные составы бетона с содержанием золы в смеси ее с цементом 10, 20, 30, 40 и 50%. Цементно-водные отношения этих составов, рассчитанные по формуле (29), соответственно равны 1,58; 1,43; 1,26; 1,11; 0,95.

Соотношение между песком и цементом дополнительных составов определяют опытом, подбирая заданную удобоукладываемость бетонной смеси при рассчитанных Ц/В и принятых МД/Ц.

После корректировки удобоукладываемости дополнительных составов и определения фактической средней плотности бетонных смесей по формулам п. 10.5.3 рассчитывают расход материалов на 1 м^3 (табл. 9.3).

Таблица 9.3 – Дополнительные составы и прочность через 4 ч после тепловой обработки

Доля золы в смеси с цементом, %	Ц, кг/м^3	МД, кг/м^3	П, кг/м^3	В, кг/м^3	$R^{п}_{4ч}$, МПа
10	466	51	1328	295	14,5
20	435	109	1287	304	15,3
30	394	173	1250	313	15,9
40	355	238	1212	320	14,8
50	320	320	1143	337	12,5

Из дополнительных составов изготавливают контрольные образцы для определения прочности через 4 ч и через 28 сут. после окончания тепловой обработки.

По результатам определения прочности дополнительных составов через 4 ч после тепловой обработки (см. табл. 9.3), в качестве состава с оптимальной долей золы в смеси ее с цементом принимают состав № 3, имеющий максимальную прочность 15,9 МПа и фактическую среднюю плотность бетонной смеси

$$\rho^{ф}_{см} = 2130 \text{ кг/м}^3.$$

Приготавливают два откорректированных состава бетона с найденной оптимальной долей золы в смеси с цементом − 30% и с Ц/В, отличающимися от Ц/В = 1,26 оптимального дополнительного состава на ± (0,2−0,4), например 1,45 и 1,05.

Принимают расход воды в этих составах на 1 м^3 В = 313 л, а для большего Ц/В $\rho_{см}$ = 2130+30 = 2160 кг/м^3, для меньшего 2130 − 20 = 2110 кг/м^3.

По формулам п. 9.5.3 рассчитывают расход материалов на 1 м^3.

Для Ц/В = 1,45:

Ц = 313·1,45 = 454 кг;

зола = 454·0,44 = 200 кг;

П = 2160 – 454 – 200 − 313 = 1193 кг;

Д = 3,18 л.

Для Ц/В = 1,05:

Ц = 313·1,05 = 329 кг;

зола = 329·0,44 = 145 кг;

П = 2110 – 329 – 145 −313 = 1323 кг; Д = 2,3 л

Из замесов двух откорректированных составов изготавливают контрольные образцы для определения прочности через 4 ч и через 28 сут. после тепловой обработки, а также определяют фактическую среднюю плотность и удобоукладываемость бетонной смеси.

По результатам определения прочности бетона дополнительного оптимального состава и двух откорректированных строят базовые зависимости прочности и фактической средней плотности от Ц/В.

По этим зависимостям (рис. 9.2, 9.3, 9.4) определяют минимальное Ц/В, обеспечивающее получение бетона с отпускной прочностью 14 МПа и проектной 20 МПа, которое равно 1,23. При этом Ц/В получают среднюю прочность класса В 15–20 МПа при отпускной прочности 15 МПа. Фактическая средняя плотность бетонной смеси:

$$\rho^{ф}_{см} = 2127 \text{ кг/м}^3.$$

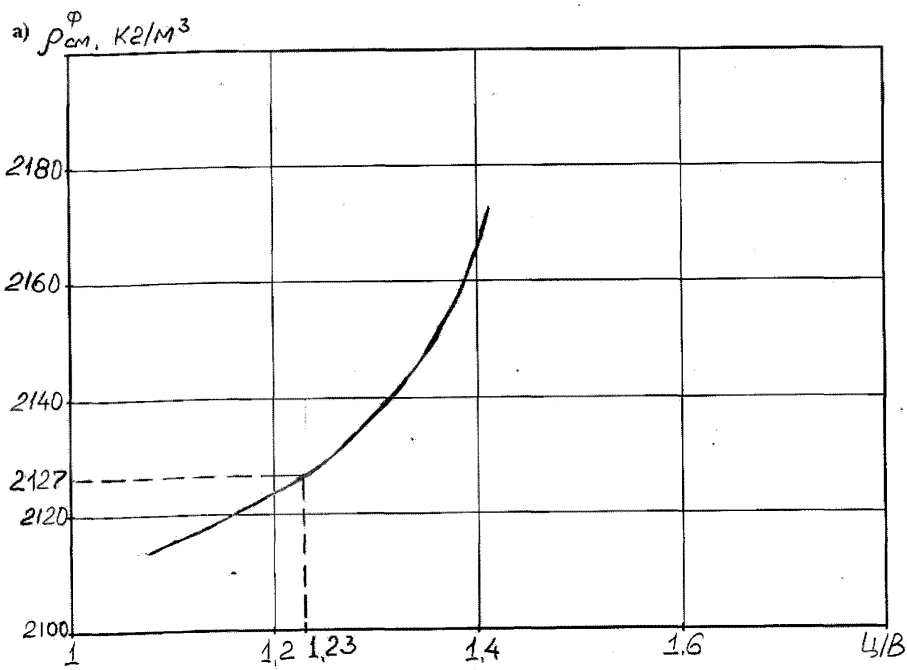


Рисунок 9.2 – Базовая зависимость «средняя плотность бетонной смеси – Ц/В-отношение»

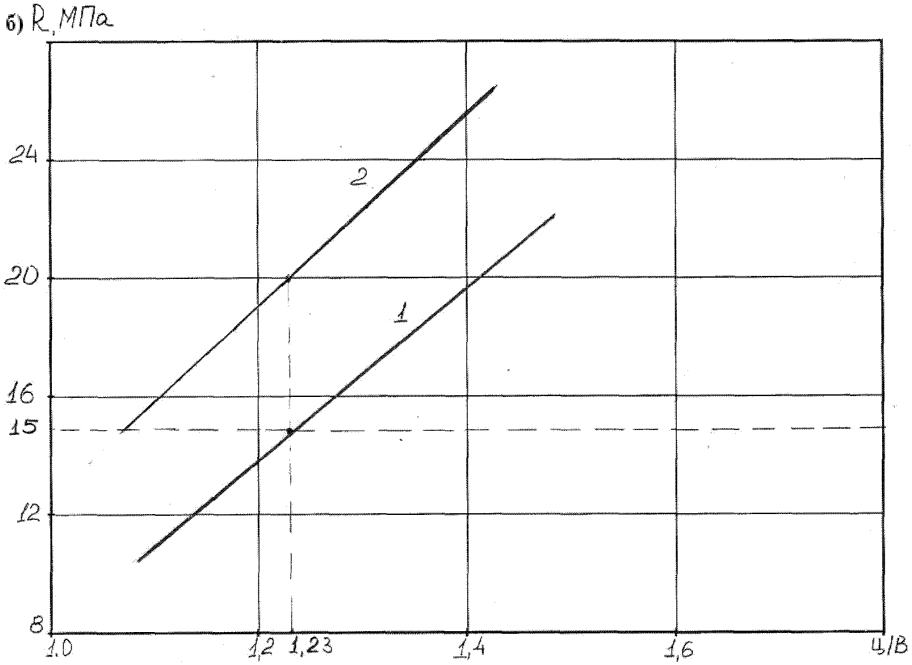


Рисунок 9.3 – Базовая зависимость «прочность – Ц/В-отношение»;

1 – в возрасте 28 суток; **2** – в возрасте 7 суток

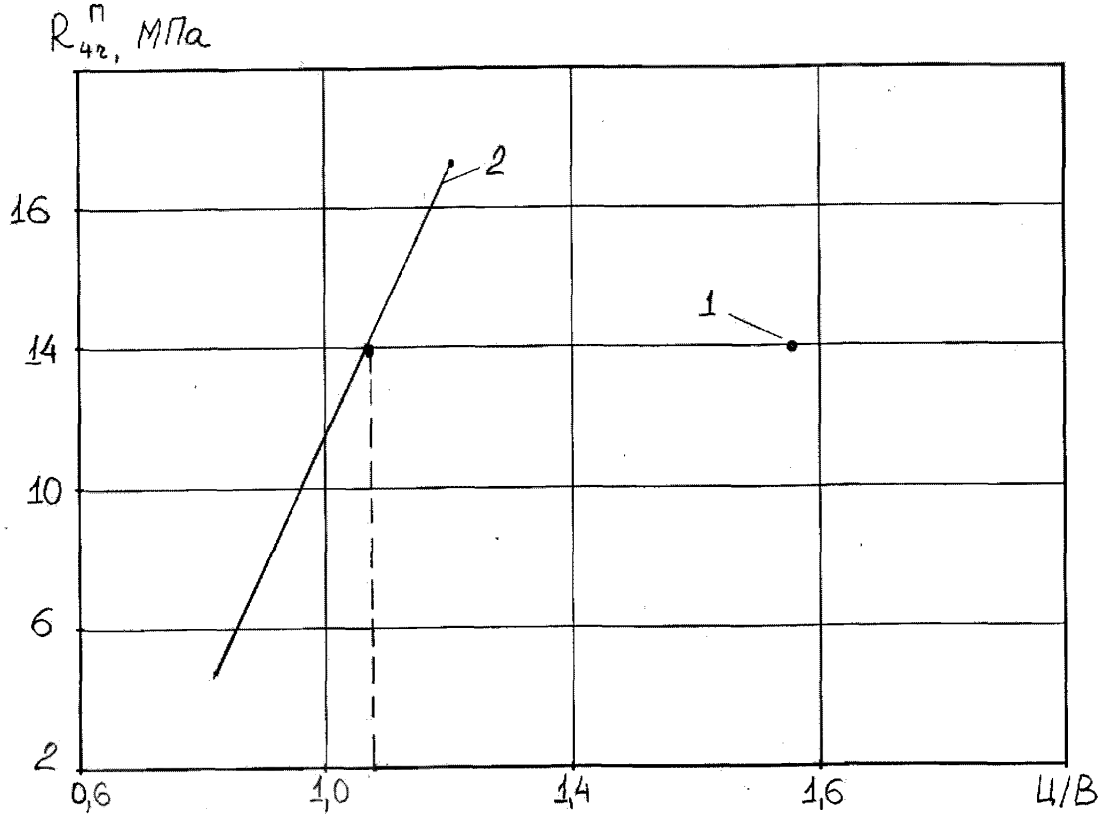


Рисунок 9.4 – Определение отношения Ц/В для расчета фактического значения коэффициента цементирующей эффективности; **1** – исходный состав бетона без золы; **2** – вспомогательные составы бетона с 40%-ным содержанием золы в смеси с цементом

По формулам п. 9.5.3 рассчитывают номинальный состав бетона на 1м^3:

Ц = 313 · 1,23 = 385 кг;

зола = 385 · 0,44 = 169 кг;

П = 2127 – 385 – 169 – 313 = 1260 кг;

В = 313 л;

Д = 2,7 л.

Раздел 10. Расчет и подбор состава напрягающего бетона нормального твердения

10.1 Напрягающий бетон относится к тяжелым бетонам и должен удовлетворять всем требованиям ГОСТ 26633 и ГОСТ 32803.

10.2 Для напрягающего бетона возможно применение следующих цементов:

- напрягающие цементы по ГОСТ Р 56727 «Цементы напрягающие. Технические условия»;

- портландцементы по ГОСТ 31108 «Цементы общестроительные. Технические условия».

10.3 Расчет состава бетона производится в соответствии с разделом 4 настоящих Рекомендаций со следующими дополнениями:

- при расчете состава бетона с нормируемой величиной самонапряжения (S_p от 1 МПа по ГОСТ 32803) расход напрягающего цемента (НЦ) или портландцемента с расширяющейся добавкой (РД) должен быть не ниже 330 кг/м^3;

- применять цемент с классом по прочности не менее ЦЕМ 42,5;

- доля песка с модулем крупности $М_к$ = 1,8–2,2 назначается с учетом таблицы 4.2 настоящих Рекомендаций.

10.4 В соответствии с ГОСТ 32803 напрягающий бетон классифицируется как бетон с компенсированной усадкой, бетон с ненормируемой величиной самонапряжения и бетон с нормируемой величиной самонапряжения.

10.5 Расчет и подбор состава бетона с расширяющейся добавкой производится по разделу 4 настоящих Рекомендаций.

10.5.1Дополнительно назначается расход расширяющейся добавки с учетом получения напрягающего бетона с заданными показателями качества, указанными в техническом задании.

Таблица 10.1 – Ориентировочные расходы расширяющей добавки для получения бетонов требуемых характеристик

№ п\п	Требования к бетону	Расход РД, % от массы цемента
1	Обеспечение требуемой марки по самонапряжению	10–25
2	Компенсация усадочных явлений	7–11
3	Обеспечение заданной марки по водонепроницаемости	7–18

10.5.2Этапы подбора состава или составов напрягающего бетона:

- расчет состава бетона по разделу 4, где расход напрягающего цемента или портландцемента рассчитывается по формуле (2);

- назначение количества расширяющейся добавки в бетон на портландцементе рассчитывается в зависимости от требований указанных в Техническом задании;

- по табл. 4.1 раздела 4 выходим на требуемую удобоукладываемость с проверкой сохраняемости подвижности;

- дополнительно рассчитываем два состава с Ц/В ±(0,3);

- экспериментально изготавливаем три состава (начальный номинальный состав бетона и два дополнительных) и через 28 суток нормального твердения проводим стандартные испытания и определяем прочность и другие показатели качества, указанные в Техническом задании.

Пример. В техническом задании сказано, что необходимо получить бетон класса по прочности на сжатие В30 W8 с обеспечением марки по самонапряжению Sp 1,2 и подвижностью П4 при использовании следующих материалов:

- цемент: ЦЕМ I 42,5Н, $\rho_ц$ = 3,1 кг/л;
- песок: $М_к$ = 2,2, $\rho_п$ = 2,65 кг/л;
- щебень: фр.5(3) –20 мм, $\rho_щ$ = 2,63 кг/л;
- расширяющая добавка (РД) = 15% от массы цемента, $\rho_{рд}$ = 3,0 кг/л;
- добавка: суперводоредуцирующая – 0,8 л на 100 кг цемента,

Примечание: расход расширяющей добавки назначается табл. 10.1 в зависимости от получения бетона требуемых характеристик, в данном случае расход добавки РД принимается 15% от массы цемента с целью получения ориентировочной марки по самонапряжению Sp 1,2.

Рассчитываем начальный номинальный состав по формулам 1–9 раздела 4 и дополнительно еще два состава с изменением Ц/В отношения ±0,3.

По рис. 1 или по формуле (1) определяется Ц/В отношение для цемента ЦЕМ 42,5

$$Ц/В = \mathbf{2,2}$$

Расход воды (В, л/м^3) для расчета и подбора состава бетона назначают по табл. 4.1.

$$B = \mathbf{185}$$

При ведении расширяющей добавки водопотребность бетонной смеси увеличивается, поэтому расход воды принимается из расчета

$$B = \mathbf{185 + 5 = 190\ л/м^3}$$

Расход цемента (Ц, кг/м^3) в начальном составе бетона рассчитывают по формуле (2):

$$Ц = \mathbf{2,2 \cdot 190 = 418}$$

Количество расширяющей добавки (РД, кг/м^3) рассчитывают на основании принятого расхода по Техническому заданию:

$$РД = 418 \times 0,15 = 63$$

Абсолютный объем заполнителей (V`$_з$, л) рассчитывается по формуле (3) с учетом расхода расширяющей добавки:

$$V_з^{'} = V_з - РД / \rho_{рд} = \mathbf{1000 - 190/1 - 418/3,1 - 63/3,0 = 654}$$

Доля песка в смеси заполнителей по абсолютному объему назначается с учетом расхода цемента и крупности заполнителя по табл. 4.2 или в зависимости от технологии производства определенных изделий.

По табл.4.2:

$$r = 0,44.$$

Количество мелкого заполнителя (П, кг/м^3) рассчитывается по формуле (4):

$$Ц = \frac{2390}{24,00} \cdot 4,18 = 416.$$

Количество крупного заполнителя (Щ, кг/м^3) рассчитывают по формуле (5):

$$П = \frac{2390}{24,00} \cdot 7,63 = 760.$$

Количество суперводоредуцирующей добавки (Д, л/м^3) рассчитывают на основании принятого расхода по Техническому заданию:

$$Д = 418 \times 0{,}8/100 = 3{,}3.$$

Начальный состав бетона, рассчитанный по пп. 4.2.1–4.2.7 (Ц, В, П, Щ, РД, Д), проверяют на опытном замесе с целью определения удобоукладываемости и ее соответствия требованиям, указанным в Техническом задании. Для этого изготавливают замес и определяют подвижность по ГОСТ 10181.

В начальном составе бетона, обеспечивающем заданную удобоукладываемость, фиксируют расход материалов на замес на 10 л:

$g_ц = 4{,}18$ кг;

$g_п = 7{,}63$ кг;

$g_щ = 9{,}63$ кг;

$g_в = 1{,}90$ кг;

$g_{рд} = 0{,}630$ кг;

$g_д = 0{,}033$ кг;

$\sum g = 24{,}00$ кг.

Фактическая плотность бетонной смеси:

$$\rho_{см} = 2390 \text{ кг/м}^3.$$

Фактический расход материалов (кг/м^3) в подобранном начальном составе бетонной смеси рассчитываем по формулам 6–9:

$$Щ = \frac{2390}{24{,}00} \cdot 9{,}63 = 960,$$

$$В = \frac{2390}{24{,}00} \cdot 1{,}90 = 189,$$

$$РД = \frac{2390}{24{,}00} \cdot 0{,}63 = 63,$$

$$Д = \frac{2390}{24{,}00} \cdot 0{,}033 = 3{,}3,$$

$$РД = \frac{2390}{24{,}00} \cdot 0{,}63 = 63,$$

$$Д = \frac{2390}{24{,}00} \cdot 0{,}033 = 3{,}3,$$

$$Ц/В = 407/185 = 2{,}2.$$

При проведении опытного замеса получена необходимая подвижность бетонной смеси, и в виду отсутствия водо- и растворотделения, корректирование состава по различной доли песка не требуется.

Дополнительно рассчитываются два состава, с изменением Ц/В-отношения на ±0,3. Назначение расхода материалов для дополнительных составов принимается из расчета на основании расчета оптимального начального состава, расход расширяющей добавки, суперводоредуцирующей добавки рассчитывается в процентном отношении от расхода цемента (табл. 10.2).

Таблица 10.2

	Ц/В	Ц, кг/м^3	П, кг/м^3	Щ, кг/м^3	В, кг/м^3	Добавка, кг/м^3	
						РД	супер-водоред.
Начальный номинальный состав	2,2	416	760	960	189	63	3,3
Дополнительные составы							
№1	1,9	354	807	941	186	53	2,8
№2	2,5	473	718	945	189	71	3,8

Из оптимального начального состава, а также из дополнительных двух составов изготавливают контрольные образцы, которые испытываются в проектном возрасте (28 суток) нормального твердения, контрольные образцы цилиндры для определения водонепроницаемости, образцы-призмы размером 100×100×400 для измерения упругой деформации в соответствии ГОСТ 32803.

По полученным результатам определения прочности бетона контрольных образцов начального и дополнительных составов строят базовую зависимость «проектная прочность-цементно-водное отношение» (рис. 10.1).

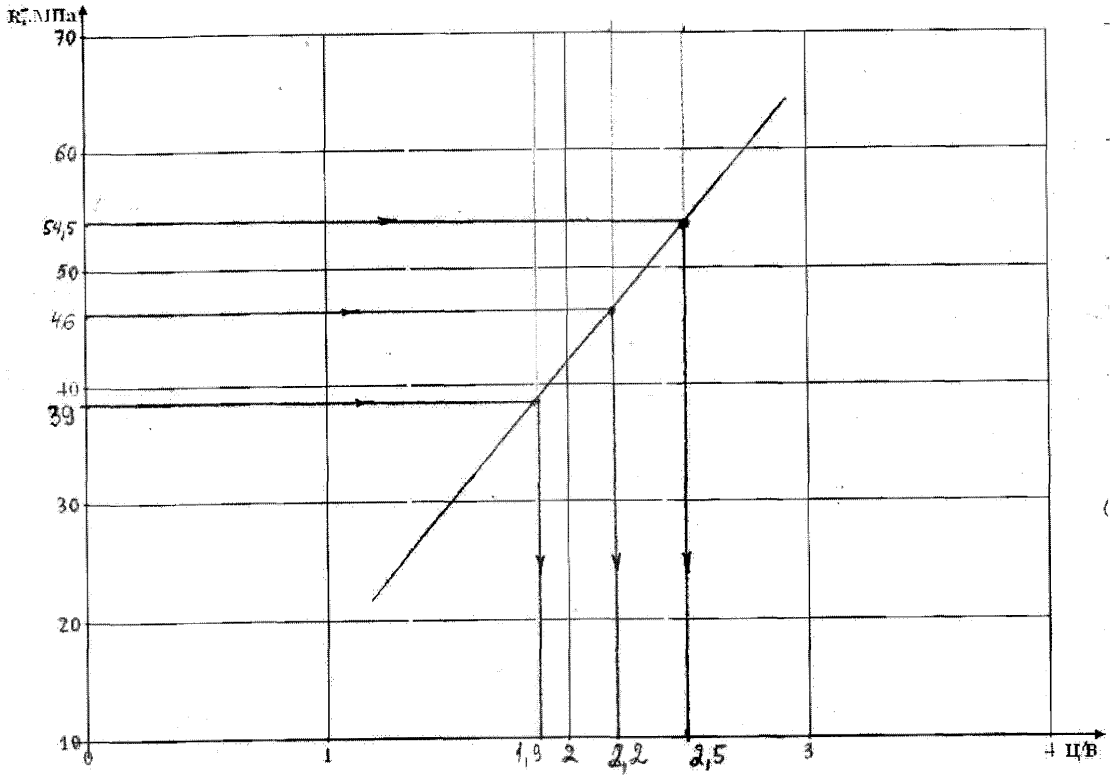


Рисунок 10.1 – Зависимость прочности бетона нормального твердения с добавкой РД от цементно-водного отношения

По полученным результатам испытаний в возрасте 28 суток составляется таблица.

Таблица 10.3

	Ц/В	Показатели качества бетона		
		Прочность в возрасте 28 сут., МПа	Марка по водонепроницаемости, W	Значение самонапряжения, S_p, МПа
Начальный номинальный состав	2,2	46,0	12	1,0
Дополнительные составы				
№1	1,9	39,0	10	0,8
№2	2,5	54,5	14	1,2

На основании полученных результатов по водонепроницаемости W и показателю самонапряжения S_p принимается дополнительный разработанный состав №2 на основании получения показателя S_p равному 1,2 МПа, удовлетворяющему требованиям Технического задания.

Раздел 11. Расчет и подбор состава высокопрочного бетона

11.1 Подбор составов высокопрочного бетона (классов по прочности на сжатие В60 и выше) осуществляется по тем же принципам, которые лежат в основе метода подбора обычных бетонов с учетом особенностей, связанных с обязательным использованием добавок и дополнительными требованиями к качеству и количеству компонентов смесей. При этом следует учитывать следующие дополнительные требования.

11.2 При подборе составов бетонных смесей следует предусматривать применение комплекса из химических и минеральных добавок, в частности, суперводоредуцирующих в сочетании с активными минеральными добавками или использование органо-минеральных модификаторов, содержащих вышеуказанные компоненты.

11.3 Рекомендуется назначать вяжуще-водное отношение, под которым понимается отношение общего расхода цемента и активной минеральной добавки или органо-минерального модификатора к расходу воды, в диапазоне от 2,5 до 4,0.

Цементно-водное отношение, или отношение воды к вяжущему, под которым подразумевается общая (суммарная) масса цемента и активных минеральных добавок, в связи с применением суперводоредуцирующих добавок уменьшается.

11.4 Абсолютные объемы заполнителей в составе бетонной смеси рассчитывается с учетом активных минеральных или органоминеральных добавок по формуле:

$$V_{з} = 1000 - В/\rho_{в} - Ц/\rho_{ц} - М/\rho_{м},$$

где $V_з$ – абсолютный объем заполнителей в составе бетонной смеси, л; *Ц, В, М* – расход цемента, воды, активных минеральных или органоминеральных добавок в составе бетонной смеси кг/м^3; $\rho_в$ – плотность воды, 1 кг/л; $\rho_ц$, $\rho_м$ – средняя плотность зерен цемента, активных минеральных или органоминеральных добавок, кг/л.

11.5 Качество материалов (цемента и заполнителей) должно соответствовать требованиям ГОСТ 26633.

11.6 В качестве цемента рекомендуется применять портландцемент класса не менее ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108 с содержанием C_3A не более 8%.

11.7 Расход портландцемента в составе бетона не должен превышать 550 кг/м^3 для тяжелого бетона и 650 кг/м^3 для мелкозернистого бетона.

11.8 В качестве мелкого заполнителя рекомендуется применять природные пески, пески из отсевов дробления по ГОСТ 8736 и их смеси с модулем крупности в пределах 2,2–3,0 с содержанием пылевидных и глинистых частиц до 2%, и наличием зерен известняка и других карбонатных пород до 5%.

11.9 В качестве крупного заполнителя в тяжелом бетоне рекомендуется применять щебень из плотных горных пород по ГОСТ 8267 фракции не более 20 мм с маркой по дробимости не ниже 1200 с содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм не более 15% и зерен слабых пород не более 5% массы.

Пример. Требуется подобрать составы бетонных смесей марок БСТ В60 П5, БСТ В70 П5 и БСТ В80 П5 со средней прочностью бетона в возрасте 28 суток, соответственно 78,0; 91,0 и 104,0 МПа. Заданная подвижность бетонных смесей ОК = 22−24 см.

Материалы:

- портландцемент класса ЦЕМ I 52,5 Н;
- песок с $М_к$ = 2,5, истинной плотностью зерен 2650 кг/м^3;
- щебень гранитный фракции 5-20 мм, со средней плотностью зерен 2700 кг/м^3.

На заводе выпускаются бетонные смеси марок БСТ В25 П4, БСТ В30 П4, БСТ В40 П5 и БСТ В50 П5 с использованием водоредуцирующих добавок со средней прочностью бетона в возрасте 28 суток, соответственно 34,3; 41,5; 52,0 и 63,9 МПа. Составы и характеристики бетонных смесей и бетонов представлены в табл. 11.1.

Таблица 11.1 – Составы и характеристики бетонных смесей и бетонов

Марка смеси	Состав бетонных смесей, кг/м^3					Свойства смеси				Средняя прочность бетона в возрасте 28 суток, МПа
	Ц	П	Щ	В	супер-водоред. доб.	средняя плотность, кг/м^3	r	Ц/В	ОК, см	
БСТ В25 П4	360	850	980	183	2,2	2375	0,46	1,97	20	34,3
БСТ В30 П4	400	840	970	175	2,4	2387	0,46	2,29	20	42,5
БСТ В40 П5	460	740	995	185	2,7	2383	0,43	2,49	21	52,0
БСТ В50 П5	501	730	990	180	3,0	2404	0,42	2,78	22	63,9

Выбор вида и типа добавок. Для обеспечения требуемых характеристик бетонных смесей и бетонов, на основании требований ГОСТ 26633 к материалам для высокопрочных бетонов, для подборов составов выбирается добавка (Д) - органо-минеральный модификатор с плотностью зерен 2200 кг/м^3 (основной эффект действия – обеспечение высокой прочности и низкой проницаемости бетона при одновременном увеличении подвижности смесей), содержащий в своем составе водоредуцирующую добавку и активные минеральные добавки (микрокремнезем и золу уноса) и соответствующий классу А по ГОСТ Р 56178.

Определения оптимальной дозировки добавки. Для определения оптимальной дозировки добавки в имеющиеся на заводе составы бетона вводится добавка в дозировках 10, 15, 20 и 25% массы цемента. При этом доля песка в смеси заполнителей принимается как в исходных составах. Расходы воды подбираются в диапазоне (Ц+Д)/В = 2,5–4,0 для получения бетонных смесей с заданной подвижностью ОК = 22–24 см. Составы и характеристики подобранных бетонных смесей и бетонов представлены в табл. 11.2.

Таблица 11.2 – Составы и характеристики подобранных бетонных смесей и бетонов

№ пп	Состав бетонных смесей, кг/м^3					Свойства смеси				Прочность бетона в возрасте 28 суток, МПа
	Ц	П	Щ	В	Д	средняя плотность, кг/м^3	r	(Ц+Д)/В	ОК, см	
1	352	834	972	180	35	2373	0,46	2,14	22	50,2
2	351	830	970	171	52	2374	0,46	2,35	23	61,9
3	348	821	981	150	70	2370	0,46	2,80	23	74,5
4	350	820	975	145	87	2377	0,46	3,01	24	80,5
5	399	810	965	170	41	2385	0,46	2,59	22	65,2
6	402	818	952	160	60	2392	0,46	2,89	23	77,3
7	400	803	955	155	80	2393	0,46	3,10	24	86,5
8	401	800	950	150	100	2401	0,46	3,34	24	92,0
9	452	745	980	175	45	2397	0,43	2,84	22	73,3
10	450	742	983	153	67	2395	0,43	3,38	23	87,2
11	448	737	985	148	90	2408	0,43	3,64	23	98,9
12	453	735	980	145	111	2424	0,43	3,89	24	108,5
13	502	701	980	170	50	2403	0,42	3,25	22	85,0
14	501	698	980	160	75	2414	0,42	3,60	23	98,5
15	500	685	970	156	100	2411	0,42	3,85	24	110,0
16	498	673	970	150	122	2413	0,41	4,13	24	117,2

Для подбора номинальных составов бетона с органо-минеральным модификатором строим зависимость прочности бетона от вяжуще-водного отношения (рис. 11.1) и номограмму зависимости прочности бетона от расхода цемента и дозировки добавки (рис. 11.2).

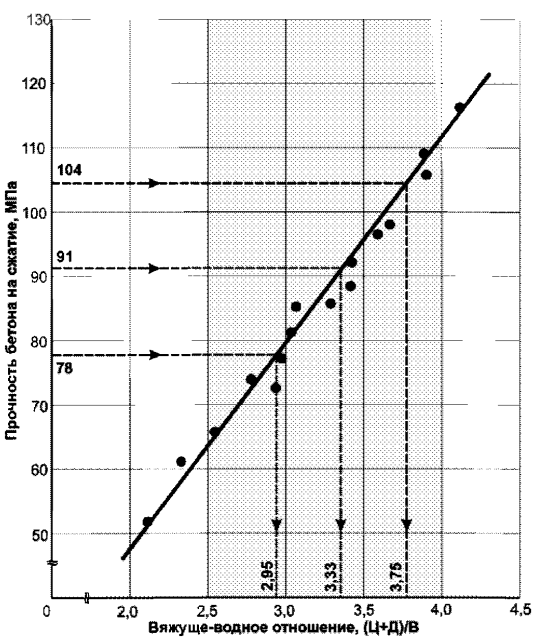


Рисунок 11.1 – Зависимость прочности бетона с добавкой от вяжуще-водного отношения

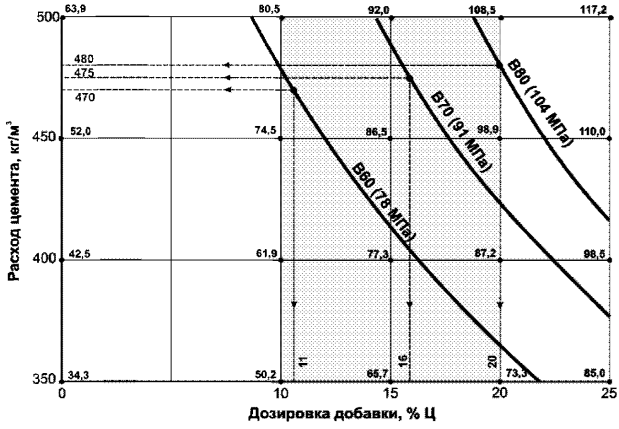


Рисунок 11.2 – Зависимость прочности бетона
от расхода цемента и дозировки добавки

На основании полученной зависимости (рис. 11.1) определяем вяжуще-водное отношение (Ц + Д)/В для получения бетонов классов В60 (78,0 МПа), В70 (91,0 МПа) и В80 (104,0 МПа), которое составит, соответственно, 3,0, 3,3 и 3,75.

Расход материалов в номинальных составах бетона с добавкой принимается с учетом технико-экономической эффективности на основании зависимости, приведенной на рис. 11.2, и может составлять (на сухие компоненты):

- для бетонной смеси БСТ В60П5 с прочностью в возрасте 28 суток 78 МПа (кг/м^3): цемент – 470, добавка – 50, вода – 174, песок − 725, щебень – 980;

- для бетонной смеси БСТ В70П5 с прочностью в возрасте 28 суток 91 МПа (кг/м^3): цемент – 475, добавка – 75, вода – 166, песок − 720, щебень – 975;

- для бетонной смеси БСТ В80П5 с прочностью в возрасте 28 суток 104 МПа (кг/м^3): цемент – 480, добавка – 95, вода – 153, песок − 710, щебень – 975.

Полученные номинальные составы бетонов проверяются в заводских условиях перед началом выпуска бетонных смесей и оптимизируются в процессе производства, по мере получения данных статистического контроля.

Раздел 12. Расчет и подбор состава самоуплотняющегося бетона

12.1 Подбор составов бетонов из самоуплотняющихся смесей (с расплывом стандартного конуса от 55 до 85 см) осуществляется по тем же принципам, которые лежат в основе метода подбора обычных бетонов с учетом особенностей, связанных с обязательным использованием добавок и дополнительными требованиями к качеству и количеству компонентов смесей. При этом следует учитывать следующие дополнительные требования.

12.2 В качестве компонентов самоуплотняющихся бетонных смесей могут быть использованы следующие материалы:

- ЦЕМ I и ЦЕМ II с нормальной густотой не более 26% и содержанием C_3A не более 8%, соответствующие ГОСТ 31108;
- пески с модулем крупности ($М_к$) от 1,1 до 3,0, соответствующие ГОСТ 8736;
- крупный заполнитель фракций не более 20 мм, соответствующий ГОСТ 8267.

12.3 В качестве добавок следует использовать:

- суперводоредуцирующие, соответствующие требованиям ГОСТ 24211;
- стабилизирующие (водоудерживающие), соответствующие требованиям ГОСТ 24211;
- минеральные добавки, соответствующие ГОСТ Р 56592, включая активные (микрокремнезем, зола уноса, метакаолин, тонкомолотые доменный гранулированный шлак и природные пуццоланы) и инертные – микронаполнители.

12.4 В качестве компонента, повышающего связность-нерасслаиваемость (сегрегационную устойчивость) может применяться фибра полимерная или стальная прямого профиля длиной не более 20 мм.

12.5 Расход цемента в составе бетона должен находиться в диапазоне от 300 до 500 кг/м^3 для тяжелого бетона и от 400 до 650 кг/м^3 для мелкозернистого бетона.

12.6 Общее количество тонкодисперсных компонентов, включающих цемент, минеральные (активные и инертные микронаполнители) или органоминеральные добавки должен находиться в диапазоне от 550 до 600 кг на м^3.

Количество воды затворения определяется с учетом заданной подвижности смеси по расплыву конуса.

12.7 Общий объем теста из тонкодисперсных компонентов бетонной смеси (цемент + добавки + вода) должен составлять в составе бетонной смеси от 0,35 до 0,40 $м^3/м^3$.

12.8 Абсолютный объем заполнителей в составе бетонной смеси рассчитывается с учетом объема вовлеченного воздуха, активных минеральных или органо-минеральных добавок по формуле:

$$V_з = 985 - В/\rho_в - Ц/\rho_ц - М/\rho_м,$$

где $V_з$ – абсолютный объем заполнителей в составе бетонной смеси, л; Ц, В, М – расход цемента, воды, активных минеральных или органоминеральных добавок в составе бетонной смеси, $кг/м^3$; $\rho_в$ – плотность воды, 1 кг/л; $\rho_ц$, $\rho_м$ – средняя плотность зерен цемента, активных минеральных или органоминеральных добавок, кг/л.

12.9 Расчет количества мелкого и крупного заполнителя в составе бетона выполняется исходя из обеспечения оптимального гранулометрического состава смеси заполнителей (равномерного распределения частиц в диапазоне размеров от 0,65 до 10−20 мм).

12.10 Доля песка в объеме растворной части бетонной смеси (цемент + добавки + песок + вода) должна находиться в диапазоне 40−50%.

12.11 Соотношение объемов мелкого и крупного заполнителей должно находиться в диапазоне от 45 : 55 до 50 : 50 объемных %. Соответственно, доля песка в смеси заполнителей *r* рекомендуется в диапазоне от 0,45 до 0,50.

12.12 Оптимизация расходов мелкого и крупного заполнителей в составе бетона, в приделах вышеуказанных объемных соотношений, может осуществляться по условию максимальной насыпной плотности смеси используемых заполнителей.

12.13 Для обеспечения оптимального гранулометрического состава смеси заполнителей рекомендуется совместное использование песков с разным модулем крупности (например, мелких с модулем крупности 1,1−1,8 и крупных с модулем крупности 2,5−3,0) и крупного заполнителя двух фракций 5−10 мм и 10−20 мм;

12.14 В качестве крупного заполнителя рекомендуется использование заполнителя фракции от 5(3) до 10 мм или с соотношением фракций 5(3) −10 мм и 10−20 мм на уровне 60 : 40 массовых %.

Пример. Требуется подобрать состав самоуплотняющейся бетонной смеси БСТ В40П5 с прочностью бетона в возрасте 28 суток 52,0 МПа. Заданная удобоукладываемость бетонной смеси РК = 60−70 см.

Материалы:

- портландцемент класса ЦЕМ I 42,5 Н без добавок, с нормальной густотой 25,5% и содержанием C_3A 7%;
- песок с $M_к$ = 2,6, с истинной плотностью зерен 2650 кг/м^3;
- щебень гранитный фракции 5−10 мм, со средней плотностью зерен 2650 кг/м^3.

На заводе выпускаются бетонные смеси марок БСТ В25П5, БСТ В30П5 и БСТ В40П5 с расходом цемента от 350 до 450 кг/м^3 и использованием суперпластификатора из высокоподвижных смесей с ОК = 22−24 см.

Выбор вида и типа добавок. В соответствии с п. 12.3, для обеспечения требуемых характеристик бетонной смеси и бетона, для подбора состава выбирается комплекс химических и минеральных добавок:

- суперводоредуцирующая (СВ), соответствующая требованиям ГОСТ 24211 (основной эффект действия – обеспечение высокой подвижности смеси);

- высокоактивная минеральная добавка − микрокремнезем конденсированный (МК) с плотностью зерен 2200 кг/м^3, соответствующий требованиям ГОСТ Р 56592 (основной эффект действия – обеспечение высокой прочности, снижение водоотделения и расслоения смеси);

- инертная минеральная добавка микронаполнитель (МН) – минеральный порошок с плотностью зерен 2500 кг/м^3, соответствующий требованиям ГОСТ Р 56592 и ГОСТ Р 52129 (основной эффект действия – стабилизация свойств смеси).

Выбор расхода цемента. В связи с тем, что активная минеральная добавка повышает прочность бетона, на первом этапе выбираем три расхода цемента, соответствующие диапазону, указанному в п.12.5 и соответствующие выпускаемым на заводе составам из высокоподвижных смесей: 350, 400 и 450 кг/м^3.

Определение оптимальной дозировки активной минеральной добавки. Оптимальная дозировка микрокремнезема конденсированного принимается на основании технических условий на добавку и составляет 10% массы цемента. Таким образом, количество МК в расчетных составах бетона составит 35, 40 и 45 кг/м^3.

Определение количества микронаполнителя. Количество микронаполнителя на начальном этапе определяется исходя из среднего значения количества тонкодисперсных компонентов (Ц + МК + МН) в составе бетона – 575 кг/м^3, приведенного в п. 12.6, и составит 190, 135 и 80 кг/м^3.

Оптимальная дозировка суперпводоредуцирующей добавки. Оптимальная дозировка суперводоредуцирующей добавки определяется экспериментальным путем при подборе расчетных составов бетона и принимается по минимальному значению, при котором достигается заданная подвижность смеси (РК = 60–70см).

Определение расхода воды. Количество воды на начальном этапе подбора состава бетона определяется исходя из среднего значения общего объема теста из тонкодисперсных компонентов бетонной смеси (Ц + МК + МН + В) М 0,375 м^3/м^3, приведенного в п. 12.7, и составит 170, 174 и 177 л/м^3.

Оптимизация расходов мелкого и крупного заполнителей.

Оптимизация расходов мелкого и крупного заполнителей в составе бетона в пределах, указанных в п. 12.11, осуществляется по условию максимальной насыпной плотности смеси используемых сухих заполнителей при различных значениях доли песка в смеси заполнителей (r) – 0,40; 0,45; 0,50; 0,55 и 0,60.

Для выбора оптимального гранулометрического состава смеси заполнителей строим зависимость насыпной плотности смеси от r (рис. 12.1).

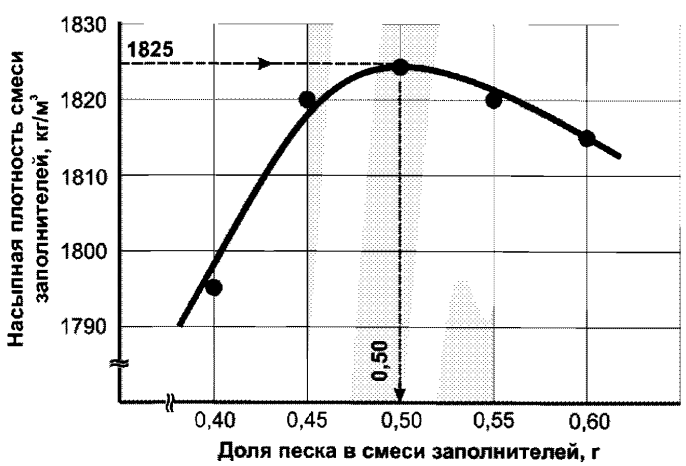


Рисунок 12.1 – Зависимость насыпной плотности смеси заполнителей от доли песка в смеси

На основании полученной зависимости (рис. 12.1) для получения оптимального гранулометрического состава смеси заполнителей доля песка в смеси заполнителей составляет 0,50.

Абсолютный объем заполнителей в составе бетонной смеси рассчитывается согласно п. 8.8 и составит 0,610 $м^3/м^3$.

С учетом оптимального гранулометрического состава смеси заполнителей (r = 0,5) расход песка и щебня принимается равным 810 $кг/м^3$.

Расчетные и подобранные составы, а также характеристики самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов приведены в табл. 12.1.

Таблица 12.1 – Составы и характеристики самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов

№ п/п	Состав бетонных смесей, $кг/м^3$							Свойства смеси			Прочность бетона в возрасте 28 суток, МПа
	Ц	МК	МН	П	Щ	В	СВ	средняя плотность, $кг/м^3$	(Ц+МК)/В	РК, см	
Расчетные составы											
1	350	35	190	810	810	170	3,7	2369	2,32		
2	400	40	135	810	810	174	4,2	2373	2,51		
3	450	45	80	810	810	177	5,0	2377	2,81		
Подобранные составы											
1	352	35	191	815	815	171	3,7	2383	2,26	65	41,1
2	402	40	136	814	814	175	4,2	2385	2,53	70	60,0
3	451	45	80	811	811	177	5,0	2380	2,80	62	79,7

В случае если подвижность бетонных смесей оказывается ниже требуемой (РК < 60 см), а так же если бетонная смесь имеет признаки водоотделения или расслоения, производят повторный расчет и подбор составов бетона с повышенной дозировкой активной минеральной добавки и суперпластификатора, сниженным общим объемом теста из тонкодисперсных компонентов бетонной смеси (Ц + МК + МН + В) до 0,35 $м^3/м^3$ и увеличенным количеством тонкодисперсных компонентов (Ц + МК + МН) до 600 $кг/м^3$.

Для уточнения расхода воды и цемента строим зависимости прочности самоуплотняющегося бетона от вяжуще-водного отношения (рис. 12.2) и расхода цемента (рис. 12.3).

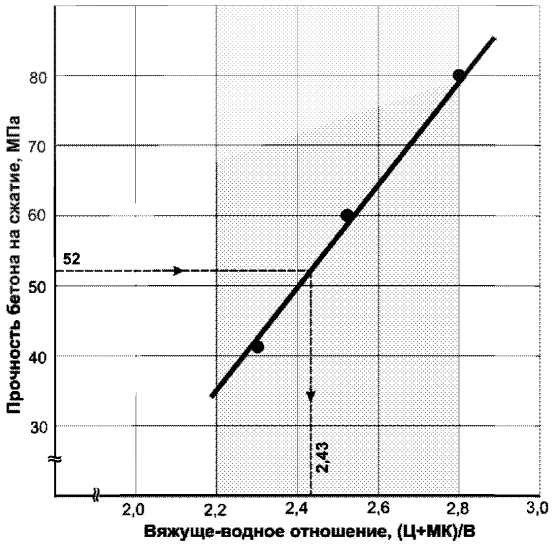


Рис унок 12.2 – Зависимость прочности бетона от вяжуще-водного отношения

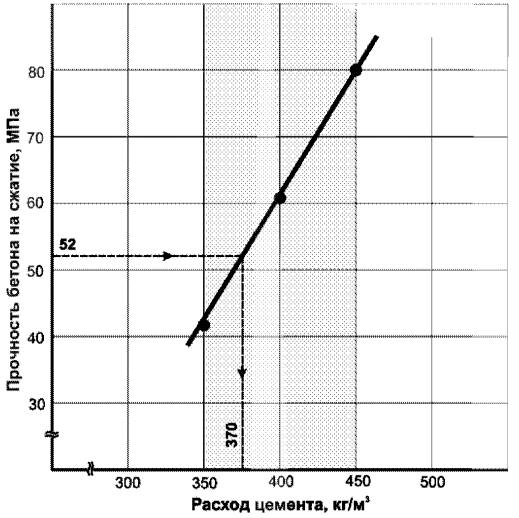


Рисунок 12.3 – Зависимость прочности бетона от расхода цемента

На основании полученных зависимостей (рис. 12.2 и 12.3) определяем вяжуще-водное отношение (Ц + МК)/В – 2,43 и расход цемента – 370 кг/м^3 для получения самоуплотняющегося бетона класса В40 (52 МПа).

На следующем этапе, для уточнения расходов микронаполнителя и заполнителей, рассчитываются три состава бетона с расходом цемента 370 кг/м^3, вяжуще-водным отношением (Ц + МК)/В = 2,43 и количеством тонкодисперсных компонентов (Ц + МК + МН) – 550, 575 и 600 кг/м^3. Расчет составов бетонов осуществляется аналогично вышеприведенным примерам.

Расчетные и подобранные составы, а также характеристики самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов приведены в табл. 12.2.

Таблица 12.2 – Составы и характеристики самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов

№ пп	Состав бетонных смесей, кг/м^3							Свойства смеси			Прочность бетона в возрасте 28 суток, МПа
	Ц	МК	МН	П	Щ	В	СП	средняя плотность, кг/м^3	(Ц+МК)/ В	РК, см	
Расчетные составы											
1	370	37	143	828	828	167	4,2	2377	2,43		
2	370	37	168	815	815	167	4,5	2377	2,43		
3	370	37	193	802	802	167	5,2	2376	2,43		
Подобранные составы											
1	369	37	143	827	827	167	4,2	2374	2,26	58	57,3
2	372	37	169	819	819	168	4,5	2389	2,53	65	54,7
3	369	37	192	800	800	167	5,2	2370	2,80	70	50,2

На основании полученных результатов расход материалов (на сухие компоненты) в номинальном составе бетона класса В40 с прочностью в возрасте 28 суток 52 МПа из самоуплотняющейся смеси с расплывом стандартного конуса 60–70 см принимается (кг/м^3): цемент – 370; активная минеральная добавка – 37; микронаполнитель – 170; суперводоредуцирующая добавка – 4,5; вода – 168; песок – 820; щебень – 820.

Полученный номинальный состав бетона проверяется в заводских условиях перед началом выпуска бетонной смеси и оптимизируется в процессе производства, по мере получения данных статистического контроля.

Приложение А (обязательное)

Расчет (проектирование) и подбор состава бетона, где задание на подбор содержит требования по водонепроницаемости и морозостойкости.

А.1 В случае определенного уровня и вида агрессивной среды при эксплуатации бетона конструкций или работы бетона в гидротехнических сооружениях назначается марка бетона по водонепроницаемости.

А.1.1 Марки бетона по водонепроницаемости назначают в зависимости от условий эксплуатации изделий и конструкций по СП 28.13330.2012 (Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии»). Вид, класс (марку) цемента следует назначать, соответствующую требованиям ГОСТ 10178, ГОСТ 22266, ГОСТ 31108 и ГОСТ Р 55224.

Крупный и мелкий заполнитель должен обладать стойкостью ко всем видам распадов и быть не реакционноспособным.

А.1.2 Расчет и подбор состава бетона при требованиях по водонепроницаемости производится по разделу 4 с учетом назначения определенных составляющих бетона.

А.1.3 Требования по водонепроницаемости обеспечиваются применением определенных составляющих и надлежащим назначением цементно-водного отношения, которое обеспечивает среднюю прочность класса на сжатие и марку по водонепроницаемости бетона (табл. А.1).

Таблица А.1 – Ориентировочные технологические параметры, обеспечивающие водонепроницаемость бетона

Диапазон технологических показателей	Марка по водонепроницаемости, W		
	4–6	8–10	12–14
Средняя прочность бетона, МПа	30–35	40–45	50–60
Цементно-водное отношение, Ц/В	1,67–1,82	2,22–2,50	2,63–2,86
Водо-цементное отношение, В/Ц	0,6–0,55	0,45–0,40	0,38–0,35
Примечание: ориентировочные технологические параметры определены при применении цемента ЦЕМ I 42,5Н и крупного заполнителя фракции 5–20 мм.			

А.1.4 В случае, когда Ц/В-отношение, назначенное для обеспечения средней прочности класса, менее Ц/В-отношения, необходимого для получения заданной марки по водонепроницаемости, необходимо произвести перерасчет номинального состава бетона с большим Ц/В-отношением и проверить его экспериментально.

А.1.5 Для подтверждения обеспечения заданной марки по водонепроницаемости следует определить водонепроницаемость и фактическую прочность разработанного состава бетона.

А.1.6 При разработке производственных норм на основании базовой зависимости для определения и подтверждения марки по водонепроницаемости производственных составов следует, например, на составах бетона В22,5, В30 и В40 изготовить контрольные образцы и определить водонепроницаемость и фактическую прочность бетона этих составов.

А.2 В случае эксплуатации бетона конструкций и сооружений в условиях попеременных циклов замораживания и оттаивания назначается марка бетона по морозостойкости.

А.2.1 Для бетона, где установлены требования по морозостойкости F_1300 (F_2100) и более, следует назначать вид цемента, соответствующий требованиям ГОСТ 10178, ГОСТ 22266, ГОСТ 31108 и ГОСТ Р 55224 с содержанием трехкальциевого алюмината (C_3A) не более 7% и количества минеральных добавок не более 15% в виде шлака.

А.2.2 Крупный заполнитель, который следует применять в бетоне с морозостойкостью F_1300 (F_2100), должен применяться с морозостойкостью не менее

F200 и с водопоглощением 1% для изверженных пород и с водопоглощением не более 2,0% для метаморфических пород.

Допускается применение крупного заполнителя из осадочных пород, имеющего водопоглощение не более 4% и среднюю плотность не менее 2500 кг/м^3, после проведения испытаний его на морозостойкость по ГОСТ 8269.0.

Мелкий заполнитель следует применять с морозостойкостью, определенной по ГОСТ 8735.

После 25 циклов замораживания и оттаивания фракция 1,25−5 мм в мелком заполнителе должна содержать фракцию менее 1,25 мм не более 7%.

А.2.3 Расчет и подбор состава бетона, при требованиях по морозостойкости, проводится по разделу 4.

А.2.4 Требования по морозостойкости обеспечиваются применением определенных составляющих и надлежащим назначением цементно-водного отношения из условий обеспечения морозостойкости бетона по табл. А.2.

Таблица А.2 – Ориентировочные технологические параметры, обеспечивающие морозостойкость бетона

Технологические показатели	Марка по морозостойкости			
	$F_1$75–100*	F_1 200–300*	$F_1$400–600*	$F_1$700–1000*
	–	$F_2$100**	$F_2$200**	$F_2$300–500*
Средняя прочность бетона, МПа	≥ 30,0	≥ 33,0	≥ 36,0	≥ 40,0
Цементно-водное отношение, Ц/В	>1,67	>1,82	>2,0	>2,22
Водо-цементное отношение, В/Ц	<0,6	<0,55	<0,5	<0,45
Добавки по ГОСТ 24211		Воздухововлекающая (газообразующая)		
Воздухововлечение, %	-	3–7		

- *Морозостойкость всех видов бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, F_1.
- **Морозостойкость бетонов дорожных и аэродромных покрытий, F_2.

А.2.5 В случае, когда Ц/В-отношение, назначенное для обеспечения средней прочности класса менее Ц/В-отношения необходимого для получения заданной марки по морозостойкости, то производится перерасчет состава бетона с назначением большего Ц/В-отношения.

А.2.6 При разработке производственных норм на основании базовой зависимости для определения и подтверждения марки по морозостойкости производственных составов следует, например, на составах бетона В22,5, В30 и В40 изготовить контрольные образцы и определить морозостойкость и фактическую прочность бетона этих составов.

Приложение Б (справочное)

Европейский стандарт EN 12350-8

Испытания бетонной смеси – Часть 8: Самоуплотняющийся бетон – испытание бетонной смеси на расплыв при осадке конуса

(аутентичный перевод)

Настоящий европейский стандарт утвержден Европейской комиссией по стандартизации (CEN) 20 июня 2010 года.

Члены CEN обязаны соблюдать регламенты CEN/CENELEC, которые оговаривают условия предоставления настоящему европейскому стандарту статуса национального стандарта без изменений. Обновленные перечни и библиографические ссылки можно получить, обратившись в центр управления CEN или к любому члену CEN.

Настоящий стандарт существует в трех официальных вариантах (английский, французский, немецкий). Вариант на любом другом языке, выполненный под ответственность члена CEN с уведомлением центра управления CEN, имеет такой же статус, как официальный вариант.

Членами CEN являются органы стандартизации Австрии, Бельгии, Болгарии, Хорватии, Кипра, Чехии, Дании, Эстонии, Финляндии, Франции, Германии, Греции, Венгрии, Исландии, Ирландии, Италии, Латвии, Литвы, Люксембурга, Мальты, Нидерландов, Норвегии, Польши, Португалии, Румынии, Словакии, Словении, Испании, Швеции, Швейцарии и Соединенного Королевства.

Центр управления: Avenue Marnix 17, B-1000, Брюссель

Все права использования в любой форме и любым способом во всем мире принадлежат национальным членам CEN

Регистрационный номер EN 12350-8:2010:E

Предисловие

Настоящий документ (EN12350-8:2010) был подготовлен Техническим комитетом CEN/TC 104 «Бетон и сопутствующая продукция», секретариат которого поддерживается DIN.

Настоящему Европейскому стандарту не позднее января 2011 г. должен быть придан статус национального стандарта путем публикации идентичного текста или подписью на обороте. До января 2011 года должны быть отозваны противоречащие ему национальные стандарты.

Обращаем внимание на возможность того, что отдельные элементы настоящего документа могут быть предметом патентных прав. CEN (и/или CENELEC) не несет ответственность за установление наличия любого или всех таковых патентных прав.

Настоящий документ подготовлен на основании мандата, данного CEN Еврокомиссией и Европейской ассоциацией свободной торговли, и придерживается основных требований Директив(ы) Евросоюза.

Настоящий стандарт основывается на результатах проекта Евросоюза «Испытания самоуплотняющегося бетона» по 5-й рамочной программе (GRD2-2000-30024\G6RD-CT-2001-00580).

Благодаря своим значительным преимуществам в улучшении качества строительства и производственных условий самоуплотняющийся бетон широко применяется застройщиками. Применение самоуплотняющегося бетона в практическом бетонном строительстве постоянно расширяется. Поскольку самоуплотняющийся бетон должен обеспечивать на площадке удовлетворительные свойства (полное заполнение опалубки и покрытие арматуры, однородность и полное уплотнение) без виброуплотнения, надлежащие методы испытаний самоуплотняющейся смеси имеют очень большое значение. Это следует отнести к трем основным характеристикам: способность заполнения, способность прохождения и стойкость к расслоению. Желательно до заливки самоуплотняющейся бетонной смеси проверять ее консистенцию, особенно в случае использования новых составляющих материалов или новых комбинаций бетона.

Для испытания самоуплотняющейся бетонной имеется ряд методик испытаний, в том числе и этот метод. Большинство из обычно применяемых методик испытаний оценивались в недавно закрытом проекте Евросоюза «Испытания самоуплотняющегося бетона» по 5-й рамочной программе (GRD2-2000-30024\G6RD-CT-2001-00580). По результатам этого проекта Евросоюза представляется, что ни один отдельный метод не может оценить все три основные характеристики. Тем не менее, любой метод испытаний должен, по меньшей мере, соотносится с практической ситуацией и давать достоверные результаты для того, чтобы предоставить надежные данные по удобоукладываемости бетонной смеси.

Настоящий стандарт относится к группе стандартов, касающихся испытаний бетонной смеси.

EN 12350 «Испытания бетонной смеси» состоит из следующих частей:

EN 12350-1. Испытания бетонной смеси – часть 1 – Отбор проб

EN 12350-2. Испытания бетонной смеси – часть 2 – Определение осадки конуса

EN 12350-3. Испытания бетонной смеси – часть 3 – Определение жесткости по методу Вебе

EN 12350-4. Испытания бетонной смеси – часть 4 – Определение степени уплотнения

EN 12350-5. Испытания бетонной смеси – часть 5 – Испытание бетонной смеси на расплыв на встряхивающем столике

EN 12350-6. Испытания бетонной смеси – часть 6 – Плотность

EN 123507-7. Испытания бетонной смеси – часть 7 – Содержание воздуха в бетонной смеси – компрессионный метод

EN 12350-8. Испытания бетонной смеси – часть 8 – Самоуплотняющийся бетон – испытание бетонной смеси на расплыв при осадке конуса

EN 12350-9. Испытания бетонной смеси – часть 9 – Самоуплотняющийся бетон – Испытания на V-образной воронке

EN 12350-10. Испытания бетонной смеси – часть 10 – Самоуплотняющийся бетон – Испытания в L-образном коробе

EN 12350-11. Испытания бетонной смеси – часть 11 – Самоуплотняющийся бетон – Испытания на расслаивание при просеивании

EN 12350-12. Испытания бетонной смеси – часть 12 – Самоуплотняющийся бетон – испытания на J-образном кольце

Внимание. При смешивании цемента с водой происходит выделение щелочи. Примите меры против попадания сухого цемента в глаза, в рот или в нос во время перемешивания цемента. Избегайте контакта кожи с мокрым цементом или бетонной смесью с помощью подходящей защитной одежды. В случае попадания цемента или бетонной смеси в глаза тщательно промойте их водой и сразу обратитесь за медицинской помощью. Немедленно смойте бетонную смесь с кожи.

Согласно внутренним правилам CEN/CENELEC настоящий европейский стандарт обязаны выполнять органы стандартизации следующих стран: Австрии, Бельгии, Болгарии, Хорватии, Кипра, Чехии, Дании, Эстонии, Финляндии, Франции, Германии, Греции, Венгрии, Исландии, Ирландии, Италии, Латвии, Литвы, Люксембурга, Мальты, Нидерландов, Норвегии, Польши, Португалии, Румынии, Словакии, Словении, Испании, Швеции, Швейцарии и Соединенного Королевства.

1. Область применения

Настоящий Европейский стандарт устанавливает порядок определения расплыва при осадке конуса и время t_{500} для самоуплотняющегося бетона. Этот метод не пригоден, если максимальный размер зерен заполнителя превышает 40 мм.

2. Ссылки на нормативные документы

При применении настоящего стандарта обязательно использование следующих документов, на которые дается ссылка. Для датированных ссылок применяется только цитируемая редакция. Для ссылок без указания даты

применяется последняя редакция документа, на который дается ссылка (включая любые изменения).

EN 12350-1. Испытания бетонной смеси – часть 1 – Отбор проб

EN 12350-2. Испытания бетонной смеси – часть 2 – Определение осадки конуса

3. Метод определения

Расплыв и время t_{500} используются для оценки подвижности и текучести самоуплотняющейся бетонной смеси при отсутствии препятствий. Они основываются на испытаниях путем измерения осадки конуса, описанных в EN 12350-2. Результаты являются показателем заполняющей способности самоуплотняющейся бетонной смеси. Время t_{500} является показателем скорости растекания и относительной вязкости самоуплотняющейся бетонной смеси.

Бетонная смесь заливается в конус, как это делается при определении осадки конуса по EN 12350-2. После снятия конуса измеряют время от момента начала движения конуса вверх при растекания бетонной смеси до диаметра 500 мм – это и есть время t_{500}. Затем измеряют самый большой диаметр расплыва и диаметр расплыва под прямыми углами. Среднее значение и является расплывом.

Измерение времени расплыва t_{500} можно не проводить, если этого не требуется.

4. Приборы

Приборы должны соответствовать EN12350-2, за исключением указанных ниже.

4.1 Базовая плита, на которую вытекает бетонная смесь и на которой выполняется определение подвижность, должна быть изготовлена в виде плоской стальной плиты с площадью в плане не менее 900 мм × 900 мм.

Плита должна иметь плоскую гладкую поверхность. Если плита изготовлена из других материалов, должны быть представлены данные испытаний

эксплуатационных качеств, которые подтверждают эквивалентность со стальной плитой.

Поверхность не должна подвергаться агрессивному воздействию цементного теста и не быть подверженной ржавлению. Конструкция плиты должна препятствовать возникновению перекосов. Отклонения по ровности поверхности не должны превышать 3 мм в любой точке при установке поверочной линейки между противоположными сторонами и углами.

Центр плиты должен быть помечен крестом, линии которого параллельны кромкам плиты и окружностями с диаметром 210 ± 1 мм и 500 ± 1 мм, центры которых совпадают с центральной точкой плиты (см. рисунок 1). Все линии должны быть не шире 2 мм и не глубже 1 мм.

4.2 Рулетка или мерная лента, должна быть длиной не менее 1000 мм и с делениями по длине не более чем 5 мм.

4.3 Секундомер с точностью измерения до 0,1 сек.

4.4 Спиртовой уровень для проверки горизонтальности базовой плиты до начала проведения испытаний.

4.5 Контейнер для пробы бетонной смеси для испытаний емкостью не менее 10 л.

4.6 Раструб (по усмотрению) весом не менее 9 кг (см. рисунок 2).

Примечание: раструб позволяет провести испытание одному человеку.

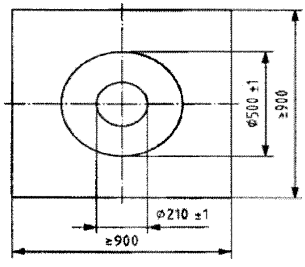


Рисунок 1. Базовая плита, размеры в мм

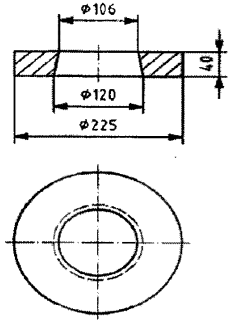


Рисунок 2. Раструб, размеры в мм

5. Отбор пробы

Пробу следует отбирать согласно требованиям EN 12350-1

6. Порядок проведения испытания

Установите базовую плиту на плоскую горизонтальную поверхность, не подвергающуюся вибрации или ударам. Используя спиртовой уровень, проверьте верхнюю поверхность на горизонтальность. Почистите стол и конус и протрите мокрой тряпкой перед началом испытаний, но избегайте излишней влаги.

Присоедините раструб, если он используется, к конусу.

Поместите конус по центру внутри 210-милиметровой окружности на базовой плите и удерживайте его на месте, прижимая ногами за лапки (или используйте раструб), чтобы предотвратить вытекание бетона из-под конуса.

Заполните конус за один раз без побуждения или механического уплотнения и стряхните излишек с верхушки конуса. Дайте конусу постоять не более 30 секунд, за это время удалите все выплеснувшиеся остатки бетонной смеси с базовой плиты.

Поднимите конус одним движением за 1–3 секунды, не препятствуя расплыванию бетона. Если требуется определить время t_{500}, включите секундомер сразу же после того, как конус оторвется от базовой плиты и с округлением до ближайшей 0,1 сек. зафиксируйте время, за которое бетонная смесь впервые коснется 500-милиметровой окружности.

После того как расплывание бетона стабилизируется самостоятельно, без влияния на плиту или бетонную смесь, измерьте диаметр расплыва смеси и зафиксируйте как d_1 с округлением до ближайших 10 мм. Затем измерьте распространение расплыва под прямыми углами к d_1 и зафиксируйте как d_2. Если разница между d_1 и d_2 больше 50 мм, следует взять другую пробу и повторить процедуру.

Если два последовательных испытания покажут разницу между d_1 и d_2 больше 50 мм, бетонной смеси не хватает необходимой подвижности для признания испытания на расплыв удовлетворительным.

Проверьте расплыв бетона на наличие признаков расслоения и занесите в отчете согласно пункту 8 е), отражая качество, например, нет следов расслоения, сильные следы расслоения.

Примечание: Признаки расслоения включают кольцо цементного раствора/теста и отслоившихся крупных зерен заполнителя в центральной зоне.

7. Результаты испытаний

Расплыв SF – это среднее от d_1 и d_2, округленных до ближайших 10 мм, данный в следующем уравнении:

$$SF = \frac{(d_1 + d_2)}{2},$$

где SF – расплыв в мм, d_1 – наибольший диаметр распространения расплыва в мм, d_2 – распространение расплыва под углом 90° к d_1 в мм.

Время t_{500} указывается в отчете с округлением до ближайших 0,5 сек.

8. Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать:

а) идентификация пробы для испытаний;

б) место проведения испытаний;

в) дата и время испытаний;

г) расплыв SF с округлением до ближайших 10 мм;

д) время t_{500} с округлением до ближайших 0,5 сек (где требуется);

е) любые признаки расслоения бетона;

ж) любые отклонения от стандартной методики испытаний;

з) Заявление лица технически ответственного за испытания, о том, что оно было проведено согласно настоящему стандарту за исключением того, что указано в пункте ж);

Отчет может включать:

и) температура бетона во время испытаний;

к) возраст бетона во время испытаний (если известно).

9. Повторяемость и воспроизводимость

Повторяемость r и воспроизводимость R были определены программой, в которой участвовали восемь лабораторий, 16 операторов и две реплики, и интерпретированной согласно ISO 5725-2.

Полученные значения даны в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Повторяемость и воспроизводимость для типичных значений расплыва

Расплыв *SF* в мм	< 600	600–750	> 750
Повторяемость *r* в мм	нет данных	42	22
Воспроизводимость *R* в мм	нет данных	43	28

Таблица 2 – Повторяемость и воспроизводимость для типичных значений времени t_{500}

t_{500} в секундах	< 3,5	3,5–6,0	> 6,0
Повторяемость *r* в сек.	0,66	1,18	н.д.
Воспроизводимость *R* в сек.	0,88	1,18	н.д.

Нормативные ссылки

В настоящем пособии использованы нормативные ссылки на следующие своды правил и стандарты:

ГОСТ 4.212-80 Система показателей качества продукции. Строительство. Бетоны. Номенклатура показателей

ГОСТ 5578-94 Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов. Технические условия

ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний

ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия

ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний

ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний

ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия

ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний

ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности

ГОСТ 22266-2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия

ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия

ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия

ГОСТ 25192-2012 Бетоны. Классификация и общие технические требования

ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия

ГОСТ 26644-85 Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона. Технические условия

ГОСТ 27006-86 Бетоны. Правила подбора состава

ГОСТ 30459-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности

ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии

ГОСТ 31108-2016 Цементы общестроительные. Технические условия

ГОСТ 31357-2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия

ГОСТ 31424-2010 Материалы строительные нерудные от отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия

ГОСТ 32495-2013 Щебень, песок и песчано-щебеночные смеси из дробленого бетона и железобетона. Технические условия

ГОСТ 32803-2014 Бетоны напрягающие. Технические условия

ГОСТ Р 52129-2003 Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия

ГОСТ Р 55224-2012 Цементы для транспортного строительства. Технические условия

ГОСТ Р 56178-2014 Модификаторы органо-минеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей. Технические условия

ГОСТ Р 56592-2015 Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия

ГОСТ Р 56593-2015 Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Методы испытаний

ГОСТ Р 56727-2015 Цементы напрягающие. Технические условия

СП 63.13330 «Бетонные и железобетонные конструкций. Основные положения». Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменением №1)

СП 70.13330 «Несущие и ограждающие конструкции». Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87

Библиография

1) Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006-86)/Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР., 1990 г. – 72 с.

2) Руководство по подбору составов тяжелого бетона/НИИ Бетона и железобетона Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1979 г. – 103 с

3) СТО 40619399-001-2010 «Бетоны мостовых конструкций. Производство, контроль качества, оценка соответствия. Технические условия» (актуализированная редакция, 2016 г.)

4) American Concrete Institute (ACI) 211.1-91 Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (reapproved 2009)

5) EN 12350-8 «Испытания бетонной смеси – Часть 8: Самоуплотняющийся бетон – испытание бетонной смеси на расплыв при осадке конуса»

gost.e-ecolog.ru