ГОССТРОЙ СССР

Рекомендации

по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006—86)

Москва 1990

gost.e-ecolog.ru

Государственный строительный комитет СССР
(ГОССТРОЙ СССР)

Рекомендации

по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006—86)

Москва ЦИТП 1990

УДК 666.972.7.031.1

Рекомендованы к изданию научно-техническим советом НИИЖБ Госстроя СССР, ВНИИжелезобетоном Госстроя СССР, Оргэнергостроем.

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

Содержат методики подбора составов тяжелых и мелкозернистых бетонов с минеральными и химическими добавками, предназначенные для разработки номинальных и рабочих составов бетона на производстве и для обоснования производственных норм расхода материалов.

Для инженерно-технических работников заводских лабораторий и ОТК, строительных лабораторий, центральных исследовательских лабораторий и других организаций, проектирующих составы бетона.

При пользовании Рекомендациями следует учитывать утвержденные изменения государственных стандартов, публикуемые в журнале „Бюллетень строительной техники" Госстроя СССР и информационном указателе „Государственные стандарты СССР" Госстандарта СССР.

© ЦИТП Госстроя СССР, 1990

ПРЕДИСЛОВИЕ

Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов разработаны к ГОСТ 27006–86 „Бетоны. Правила подбора состава" и предназначены для расчета и выдачи в производство составов тяжелых и мелкозернистых бетонов с заданными свойствами при экономном расходовании цемента на предприятиях строительной индустрии, и в строительных организациях при изготовлении сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций и приготовлении бетонной смеси для монолитных конструкций и сооружений, а также для разработки производственно-технических норм расхода материалов.

Рекомендации рассматривают вопросы подбора, назначения и выдачи в производство составов тяжелых и мелкозернистых бетонов с учетом особенностей свойств сырьевых материалов и технологии изготовления.

Разработаны НИИЖБ Госстроя СССР (Л.А.Малинина, д-р техн. наук, М.И.Бруссер, канд. техн. наук – руководители темы; кандидаты техн. наук: С.А.Подмазова, А.С.Дмитриев, С.А.Высоцкий, И.М.Дробященко, В.К.Власов, А.Н.Мокрушин; инженеры: В.А.Голубев, О.В.Раскопин, С.А.Абрамова); ВНИИжелезобетона Госстроя СССР (В.Г.Довжик, канд. техн. наук, Л.И.Левин, инж.); Оргэнергостроем Минэнерго СССР (В.А.Дорф, канд. техн. наук).

Подготовлены к утверждению Отделом стандартизации в строительстве Главного управления технического нормирования, стандартизации и метрологии Госстроя СССР (В.В.Тишенко, И.Н.Нагорняк).

Все замечания и предложения по содержанию настоящих Рекомендаций, а также сведения о результатах их применения просьба направлять в НИИЖБ Госстроя СССР по адресу: 109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации к ГОСТ 27006–86 распространяются на подбор составов тяжелых и мелкозернистых бетонов, изготавливаемых по поточно-агрегатной, конвейерной, стендовой или кассетной технологии с применением для уплотнения бетона и формования изделий всех видов вибрационных воздействий и центрифугирования, предназначенных для работы в эксплуатационных условиях под обычной статической постоянной или переменной нагрузкой в неагрессивной водной или воздушной среде. Рекомендации могут быть использованы при подборе составов бетонов, изготавливаемых по другим технологиям (например, вибропрессование, прокат, раздельная технология и т. д.), при условии обеспечения аналогичных режимов приготовления, уплотнения и твердения бетонной смеси в конструкциях и контрольных образцах или применения поправочных коэффициентов, принятых при контроле прочности, и других свойств бетона.

1.2. При подборе составов бетонов, к которым кроме прочности предъявляются дополнительные требования (морозостойкость, водонепроницаемость, коррозионная стойкость 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 производят новый подбор состава бетона с применением различных технологических приемов, обеспечивающих получение бетона со всеми нормируемыми показателями качества, как правило, без увеличения расхода цемента.

1.3. Подбор состава бетона производят с целью получения бетона в конструкциях с прочностью и другими показателями качества, установленными государственными стандартами, техническими условиями и проектной документацией на эти конструкции при минимально возможном расходе цемента.

1.4. При подборе состава бетона, подвергаемого тепловой обработке при температуре до 100°С, следует учитывать, что:

для бетонов классов В20 (М250) определяющими показателями являются 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 18105–86, и тем больше, чем выше нормируемые отпускная и передаточная прочности, короче режим тепловой обработки и ниже активность цемента при пропаривании;

бетоны классов В20, В25 (М250 – М350) после тепловой обработки достигают прочности, близкой к требуемой отпускной или передаточной проч-

ности (если их значения не превышают 70 % проектной). В связи с этим фактическая прочность в проектном возрасте, на которую следует подбирать состав бетона, соответствует требуемой прочности по ГОСТ 18105–86;

бетоны классов В30 и выше (М400 и выше) при режимах средней и более средней продолжительности могут достигать значения отпускной прочности, превышающие 70 % проектной, поэтому проектирование состава такого бетона следует осуществлять в соответствии с требуемой по ГОСТ 18105–86 проектной прочностью;

при нормируемой отпускной прочности бетона, не превышающей 60 % проектной, подбор состава бетона всех классов (марок) следует производить согласно требуемой прочности бетона в проектном возрасте.

1.5. В Рекомендациях изложены новые принципы подбора обычных тяжелых и мелкозернистых бетонов с минеральными добавками различной природы и гидравлической активности.

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

1.7. Номинальный состав бетона необходимо назначать по результатам обработки данных испытаний образцов, изготовленных из опытных замесов, на материалах, наиболее представительных для данного предприятия с учетом применяемой технологии приготовления и транспортирования смеси, формования и твердения изделий.

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

1.9. Рассчитывая начальные составы бетона при подборе номинального состава, помимо методики, описанной в настоящих Рекомендациях, допускается применять другие методы, детально учитывающие специфику отдельных технологий и условий их применения.

1.10. Для построения технологических (базовых) зависимостей, особенно при подборе составов бетона с комплексными химическими, минеральными добавками и (или) с использованием многофракционных заполнителей, можно применять методы подбора состава бетона с применением математического планирования эксперимента.

1.11. 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.

Рабочие составы бетона назначают по предварительно построенным базовым зависимостям с проверкой в лабораторных или производственных условиях.

1.12. Корректировку 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.

1.13. Корректировку рабочих составов производят по таблицам (алгоритмам) или построенным в ходе подбора номинальных составов базовым зависимостям, связывающим показатели качества бетонной смеси и бетона с качеством и расходом основных компонентов.

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

1.15. 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.

1.16. При малых объемах или малосерийном нерегулярном производстве конструкций и изделий из монолитного бетона допускается принимать ориентировочные составы бетонов из материалов среднего качества, приведенные в разд. 7, которые могут служить основой при назначении рабочего состава бетона с обязательной экспериментальной проверкой и корректировкой подвижности бетонной смеси.

2. ЗАДАНИЕ НА ПОДБОР СОСТАВА БЕТОНА

2.1. Задание на подбор состава бетона должно быть составлено для конструкций конкретной номенклатуры, изготавливаемых из бетона одного вида и качества по определенной технологии.

Если по одной технологии изготавливают конструкции (изделия) из бетонов одного или разных, но близких классов по прочности, то для них можно составить одно общее задание.

2.2. Задание на подбор состава разрабатывает технологическая служба предприятия–изготовителя бетонной смеси на основе проектной документации, действующих нормативных документов и конкретных условий производства на предприятии или стройплощадке.

2.3. Задание должно содержать:

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

класс (марку) бетона по прочности на сжатие;

отпускную прочность бетона сборных конструкций, % класса (марки);

передаточную прочность преднапряженных конструкций, % класса (марки);

классы (марки) бетона по прочности на растяжение, по морозостойкости, водонепроницаемости, истираемости и другим показателям качества, если они предусмотрены в нормативно-технической документации;

показатели однородности прочности и соответствующие им средние уровни прочности, согласно которым необходимо подбирать состав бетона.

2. Требуемые показатели качества бетонной смеси в соответствии с требованиями СНиП 3.09.01-85, СНиП 5.01.18-86, СНиП 5.01.23-83 и др., в том числе:

удобоукладываемость бетонной смеси, место и время ее определения, сохраняемость (см. приложение);

расслаиваемость, воздухосодержание и другие показатели, предусмотренные в технической документации.

3. Технологические условия производства в соответствии с действующими нормативно-техническими документами (технологические карты, проект организации работ и т. д.) и фактически имеющиеся на предприятии, в том числе:

сроки и условия твердения бетона до достижения им нормируемых показателей качества, включая режим ускоренного твердения;

способы и режимы приготовления бетонной смеси (например, раздельное приготовление с использованием скоростных активаторов);

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

способы и режимы уплотнения бетонной смеси в конструкциях.

4. Ограничения по составу бетона и качеству материалов, предусмотренные технической документацией, в том числе:

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

максимальная крупность заполнителей;

максимальное или минимальное значение цементно-водного отношения.

5. Характеристики всех материалов, используемых для приготовления бетонов, в том числе:

виды цементов, их марки и активность при пропаривании;

виды и фракции заполнителей;

виды и характеристики добавок.

3. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОНА

Материалы для приготовления бетона должны отвечать требованиям государственных и отраслевых стандартов и технических условий на эти материалы.

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.

При несоответствии отдельных составляющих бетон материалов требованиям ГОСТ, ОСТ и ТУ необходимо оценить их качество испытанием в бетонах и дать технико-экономические обоснования возможности и целесообразности их применения.

3.1. Цемент

В качестве вяжущих материалов для приготовления бетонов следует применять портландцемент и шлакопортландцемент и их разновидности, отвечающие требованиям ГОСТ 10178–85, а также сульфатостойкие и пуццолановые цементы по ГОСТ 22266–76 и цементы по действующим техническим условиям.

Рациональные марки цементов для бетона различных марок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Проектный класс бетона по прочности на сжатие*	Рекомендуемые и допускаемые марки цемента для тяжелого бетона при твердении в условиях					
	естественных		тепловой обработки при отпускной прочности бетона, % проектной			
			70 и менее		80 и более	
	рекомендуемые	допускаемые	рекомендуемые	допускаемые	рекомендуемые	допускаемые
В7,5	300	–	300	–	–	–
В10	300	400	300	400	400	300
В12,5	300	400	300	400	400	300; 500
В15	400	300; 500	400	300; 500	400	300; 500
В20	400	300; 500	400	300; 500	400	300; 500
В22,5	400	500	400	500	500	400
В25	400	500	400	500	500	400
В30	500	400; 550	500	400; 550	500	400; 550
В35	500	550	500	550	500	550
В40	500	550	500	550	550	–
В45	550	–	550	–	–	–

* Соотношение классов и марок бетона приведено в ГОСТ 26633–85.

Для бетонов, подвергаемых тепловой обработке, следует применять цементы I и II группы эффективности при пропаривании по ГОСТ 22236–85. Применение цементов III группы одинаковых видов и марок нецелесообразно, так как приводит к значительному повышению расхода цемента.

Выбор вида цемента для различных условий работы конструкций следует принимать по ГОСТ 23464–79, при этом необходимо также учитывать требования ГОСТ 26633–85, касающиеся условий использования цементов для производства различных видов конструкций и предъявляемых к ним требований.

Применение пуццолановых цементов для бетонов, подвергаемых тепловой обработке, из-за повышенной водопотребности не рекомендуется.

Для оценки активности цемента на производстве используют, например, Рекомендации по прогнозированию прочности цемента методом „Прогноз" и по корректировке состава бетонной смеси с учетом его активности (М.: НИИЖБ Госстроя СССР, МИСИ им. В. В. Куйбышева Минвуза РСФСР, 1988) или Рекомендации по ускоренной оценке активности цемента (М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1986) и др., либо принимают активность цемента в зависимости от его фактической прочности в бетоне постоянного состава, который является наиболее массовым для предприятия–изготовителя бетона.

3.2. Заполнители

В качестве мелких и крупных заполнителей следует применять песок, щебень из природного камня, гравий и щебень из гравия, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 10268–80.

ГОСТ 10268–80 допускает для приготовления бетона в зависимости от класса (марки) его прочности на сжатие применение практически любых природных песков с модулем крупности от 1,0 до 3,5 (ГОСТ 8736–85), удовлетворяющих требованиям стандартов по другим показателям (содержание пылевидных и глинистых частиц и т. д.).

Мелкие пески с модулем крупности от 1,5 до 2 допускается применять в бетонах класса до В15 (М200) включ. Использование этих песков в бетонах класса выше В15 (М200) 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 В30 (М400) включ. 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.

Пески с модулем крупности более 1,0 до 1,5 (очень мелкие) рекомендуется применять для бетонов классов В10 (М150) и ниже, мелкие пески (модуль крупности более 1,5 до 2,0) – для бетонов класса В25 (М300) и ниже, средние пески (модуль крупности от 2,0 до 2,5) можно использовать для бетонов любых классов по прочности. Крупные пески (модуль крупности более 2,5 до 3,0), а также повышенной крупности (модуль крупности более 3,0 до 3,5) целесообразно использовать для приготовления бетонов классов В30 (М400) и выше.

В случае, когда на производстве требуется бетон более широкой номенклатуры по классам прочности от низкомарочных до высокомарочных, при поставке какого-либо песка одной крупности необходимо для корректирования его зернового состава дополнительно использовать укрупняющие или замельчающие добавки. Например, при наличии крупного песка и необходимости приготовления бетона класса В10 для улучшения зернового состава следует добавлять золу ТЭС или очень мелкий песок. Когда же основным песком является очень мелкий, а необходимо приготавливать бетон класса В25 и выше, следует добавлять крупный песок, например отсевы от дробления крупного заполнителя.

В качестве мелкого и крупного заполнителей допускается применение песка и щебня из попутно добываемых пород и отходов горно-обогатительных предприятий по ГОСТ 23254–78, отсевов дробления, изверженных горных пород по ГОСТ 26193–84, а также дробленого бетона и некондиционных железобетонных изделий, при соблюдении требований ГОСТ 10268–80.

Из отходов промышленности в качестве заполнителей для бетона допускается применение щебня из доменного шлака по ГОСТ 5578–76, щебня и песка из шлаков тепловых электростанций по ГОСТ 25592–83.

Не допускается применение для любых видов бетонов природной гравийно-песчаной смеси без ее рассева на песок и гравий.

Перед проведением опытных замесов все указанные заполнители должны быть заранее приготовлены и рассеяны раздельно на песок и крупный заполнитель, а последний, в случае, если он состоит из нескольких фракций, необходимо использовать в виде отдельных фракций, раздельно дозируемых при приготовлении бетона.

Содержание различных фракций в крупном заполнителе должно соответствовать указанному в табл. 2, чтобы обеспечивать получение плотной смеси.

Таблица 2

Наибольшая крупность заполнителя, мм	Содержание фракций в крупном заполнителе, %				
	от 5 до 10 мм	св. 10 до 20 мм	св. 20 до 40 мм	св. 40 до 70 мм	св. 70 до 120 мм
20	25–40	60–75	–	–	–
40	15–25	20–35	40–65	–	–
70	10–20	15–25	20–35	35–55	–
120	5–10	10–20	15–25	20–30	30–40

Наибольшая крупность заполнителя подбираемого состава бетона, как правило, должна соответствовать крупности заполнителя бетона конструкций, для которых устанавливают этот состав. При этом наибольший размер зерен крупного заполнителя должен быть не более 3/4 расстояния между арматурными стержнями и 1/3 толщины изделия и конструкции.

3.3. Минеральные добавки

Для снижения расхода цемента и заполнителей, улучшения качества бетонной смеси и бетона, а также для утилизации отходов промышленности при приготовлении бетонов следует использовать минеральные добавки природного и техногенного происхождения. К природным добавкам относятся следующие виды: осадочные (диатомит, трепел, опоки, глиежи), отвечающие требованиям ОСТ 21-9–74, вулканические (шлаки, туфы, пеплы, трассы) – ОСТ 21-9–74, ТУ 110-34-20-2–86.

К добавкам техногенного происхождения относятся следующие виды: доменные и электротермофосфорные гранулированные шламы (ГОСТ 3476–74), топливные граншлаки (ОСТ 21-9–74), зола-унос (ГОСТ 25818–83), золошлаковые смеси (отвальные) (ГОСТ 25592–83).

Золы-унос и золошлаковые смеси следует использовать в бетоне с учетом Рекомендаций по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций (М.: Стройиздат, 1986).

3.4. Химические добавки

Для регулирования и улучшения свойств бетонной смеси и бетона, снижения расхода цемента и энергетических затрат необходимо применять химические добавки по ГОСТ 24211–80, удовлетворяющие требованиям действующих стандартов и технических условий.

Выбор добавок необходимо производить в зависимости от технологии производства и проектных характеристик бетона с учетом требований СНиП 3.09.01-85 и Пособия по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий (М.: Стройиздат, 1989), а также Руководства по применению химических добавок в бетоне (М.: Стройиздат, 1980) и Рекомендаций по применению добавок суперпластификаторов в производстве сборного и монолитного железобетона (М.:НИИЖБ, ЦНИИОМТП Госстроя СССР, 1987).

3.5. Вода

Вода затворения бетонной смеси должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732–79.

4. ПОДБОР СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА, ТВЕРДЕЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ

4.1. Выбор и определение характеристик исходных материалов для бетона производят по рекомендациям разд. 3.

4.2. Расчет и подбор номинального состава бетона.

4.2.1. Цементно-водное $(Ц/В)_1$ отношение в начальном номинальном составе бетона, обеспечивающее получение заданного среднего уровня отпускной прочности, рассчитывают по формуле 1 или по черт. 1:

$$(Ц/В)_1 = \frac{R_б^{пр} + 0{,}37R_ц^{пр} + 3{,}22}{0{,}43R_ц^{пр} + 5{,}6}, \qquad (1)$$

где $R_б^{пр}$ – прочность бетона после тепловой обработки (ТО), МПа;

$R_ц^{пр}$ – активность цемента при пропаривании, МПа.

Прочность бетона по формуле (1) и на черт. 1 соответствует прочности бетона ($R_б^{пр}$), пропаренного по стандартному режиму (2+3+6+2) при температуре изотермического процесса 85°С, испытанного через 4 ч после окончания тепловой обработки, при этом активность цемента определяют по ГОСТ 310.4–86 или принимают по данным завода–изготовителя цемента.

4.2.2. По формуле (2) или черт. 2 определяют отношение $(Ц/В)_2$, обеспечивающее заданный уровень прочности пропаренного бетона в проектном возрасте:

$$(Ц/В)_2 = \frac{R_б^{28} - 0{,}06R_ц^{28} + 10{,}0}{0{,}24R_ц^{28} + 10{,}0}, \qquad (2)$$

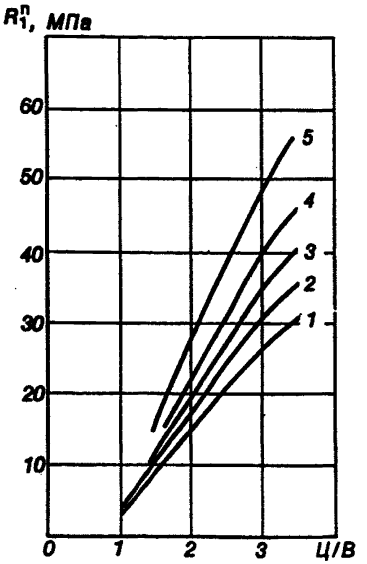
где $(Ц/В)_2$ – цементно-водное отношение, обеспечивающее проектную прочность бетона после тепловой обработки;

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

$R_ц^{28}$ – активность цемента после тепловой обработки в возрасте 28 сут., МПа.

Активность цемента после тепловой обработки $R_ц^{28}$ определяют по результатам испытания образцов, пропаренных по методике ГОСТ 310.4–81 и испытанных в возрасте 28 сут, или принимают равной гарантированной марке цемента.

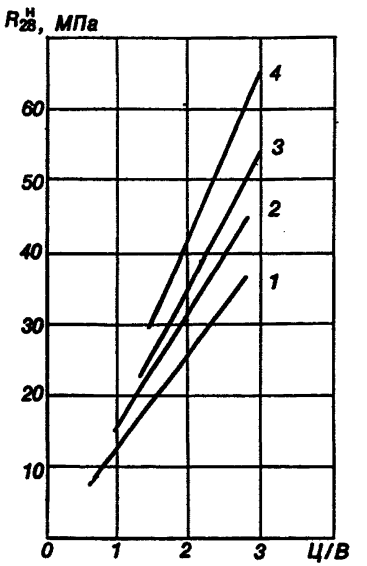
Зависимость прочности бетона после тепловой обработки от отношения *Ц/В* и активности цемента при пропаривании



1–5 – активность цемента при пропаривании, соответственно равная 15, 20, 25, 30, 40 МПа

Черт. 1

Зависимость прочности бетона в возрасте 28 сут от отношения *Ц/В* и марки цемента



1–4–марка цемента соответственно 300, 400, 500, 600

Черт. 2

4.2.3. Для промежуточных значений активности цемента по черт. 1 и 2 значения отношения *Ц/В* принимают по линейной интерполяции.

4.2.4. Из значений отношения *Ц/В*, определенных по пп. 4.2.1 и 4.2.2, выбирают большее и принимают его для подбора начального состава бетона.

4.2.5. Расход воды для начального состава бетона принимают по табл. 3 в зависимости от заданной удобоукладываемости бетонной смеси, вида и максимальной крупности заполнителя.

Таблица 3

Определение расхода воды

Удобоукладываемость по показателям		Расход воды на 1 м³ бетонной смеси, л, при максимальной крупности заполнителя, мм					
подвижности, *ОК*, см	жесткости, *Ж*, с	щебня			гравия		
		10	20	40	10	20	40
5–9	–	215	205	190	200	185	170
1–4	–	200	185	175	190	175	160
–	5–10	180	170	155	170	155	140
–	11 20	165	155	140	155	140	125

Примечания: 1. Расход воды в таблице приведен для $Ц/В = 1{,}25–2{,}5$, при $Ц/В < 1{,}25$ и $Ц/В > 2{,}5$ расход воды соответственно уменьшают или увеличивают.

2. Расход воды в таблице приведен для цементов с нормальной густотой (НГ), равной 25–30 %. При увеличении или уменьшении нормальной густоты на 1 % объем воды увеличивают или уменьшают на 2 %.

3. При увеличении подвижности бетонной смеси ($ОК > 10$ см) следует применять пластифицирующие добавки (разд. 8).

4.2.6. Расход цемента *Ц*, кг, на 1 м³ в начальном составе бетона рассчитывают по формуле

$$Ц = Ц/В \cdot В, \tag{3}$$

где $Ц/В$ – цементно-водное отношение, определенное по п. 4.2.4;

$В$ – расход воды, л, принятый по п. 4.2.5.

4.2.7. Абсолютный объем заполнителей, $V_з$, л, рассчитывается по формуле

$$V_з = 1000 - В/\rho_в - Ц/\rho_ц, \tag{4}$$

где $\rho_ц$ – плотность цемента, кг/л:

$\rho_в$ – плотность 1 кг/л воды.

4.2.8. Количество мелкого заполнителя (песка) рассчитывают по формуле

$$П = V_з r \rho_п, \tag{5}$$

где $П$ – расход песка в бетоне, кг;

r – доля песка в смеси заполнителей по абсолютному объему, равная

$$r = \frac{П/\rho_п}{П/\rho_п + Щ/\rho_щ}, \tag{6}$$

где $\rho_п$ – плотность зерен песка, кг/л;

$\rho_щ$ – плотность зерен щебня, кг/л.

Долю песка в начальном составе в зависимости от расхода цемента и наибольшей крупности заполнителя принимают по табл. 4 с учетом удобоукладываемости бетонной смеси и крупности песка.

Таблица 4

Определение доли песка в смеси заполнителей на 1 м³ бетонной смеси (при удобоукладываемости бетонной смеси от *Ж* = 20 с до *ОК* = 10 см)

Расход цемента, кг/м³	Наибольшая крупность щебня, мм		
	10	20	40
200	0,45	0,42	0,39
300	0,42	0,39	0,36
400	0,39	0,36	0,33
500	0,36	0,33	0,30
600	0,33	0,30	0,27

Примечания: 1. Табл. 4 составлена для песка $M_К = 2$ и щебня. При увеличении или уменьшении $M_К$ на ± 0,5 доля песка *r* увеличивается или уменьшается на 0,03.

2. При использовании гравия доля песка *r* уменьшается на 0,05.

3. Для жестких бетонных смесей *Ж* > 20 с доля песка уменьшается на 0,04; при подвижных бетонных смесях с *ОК* ≥ 10 см доля песка увеличивается на 0,04.

4.2.9. Количество крупного заполнителя рассчитывают по формуле

$$Щ = V_з\ (1 - r)\ \rho_щ, \qquad (7)$$

где *Щ* – расход крупного заполнителя, кг.

4.2.10. При изменениях режимов тепловой обработки бетонов, времени определения отпускной и проектной прочности бетона, методики определения активности цемента при пропаривании начальный состав бетона следует уточнять по базовым зависимостям "прочность бетона – *Ц/В* отношение", построенным на основании анализа статистических данных прочности бетона, изготовленного на конкретных материалах и по режимам, принятым на данном производстве.

4.2.11. Начальный состав бетона, рассчитанный по пп. 4.2.1–4.2.9 (*Ц, В, П, Щ*), проверяют на опытном замесе с целью уточнения удобоукладываемости бетонной смеси. Для этого изготавливают замес и определяют удобоукладываемость по ГОСТ 10181.1–81. Если удобоукладываемость опытного замеса не соответствует заданной, то производят корректировку начального состава бетона. При этом повышение осадки конуса или снижение жесткости бетонной смеси достигают за счет добавления в пробный за-

мес воды и цемента (в заданном соотношении, равном принятому $Ц/В$), а снижение осадки конуса или повышение жесткости достигают за счет добавления в пробный замес заполнителей (в данном соотношении, равном r).

Удобоукладываемость бетонной смеси соответствует заданной, если осадка конуса имеет отклонение не более ± 1 см, а жесткость – не более ± 3 с.

4.2.12. В подобранном по удобоукладываемости начальном составе бетона фиксируют фактический расход материалов на замес ($g_ц$, $g_п$, $g_щ$, $g_в$) и их общую сумму ($\Sigma g = g_ц + g_п + g_щ + g_в$) по ГОСТ 27006–86 и определяют плотность бетонной смеси $\rho_{см}$ по ГОСТ 10181.2–81.

4.2.13. Фактический расход материалов в подобранном начальном составе бетонной смеси определяют по формулам:

$$Ц_1 = \frac{\rho_{см}}{\Sigma g} g_ц; \qquad (8)$$

$$П_1 = \frac{\rho_{см}}{\Sigma g} g_п; \qquad (9)$$

$$Щ_1 = \frac{\rho_{см}}{\Sigma g} g_щ; \qquad (10)$$

$$В_1 = \frac{\rho_{см}}{\Sigma g} g_в. \qquad (11)$$

4.2.14. Оптимизацию состава по критерию минимального расхода цемента производят определением водопотребности бетонной смеси заданной удобоукладываемости при различных значениях r. Значение r, принятое по табл. 4, изменяют на $\pm(0{,}03 - 0{,}05)$. Значения $Ц_1$ и $В_1$ принимают по п. 4.2.13, а затем по формулам (5) и (7) рассчитывают два вспомогательных состава бетона $r_1 = r + (0{,}03 - 0{,}05)$ и $r_2 = r - (0{,}03 - 0{,}05)$.

Эти составы проверяют по удобоукладываемости. Если удобоукладываемость уменьшается, то из этой бетонной смеси не изготавливают контрольные образцы, а если удобоукладываемость увеличивается и отсутствует заметное водоотделение, то корректируют состав бетона по принятому r, доводя до заданной подвижности, и по формуле (8) определяют фактический расход цемента. Сравнением расхода цемента в начальном и вспомогательном составах устанавливают оптимальное значение доли песка, соответствующее минимальному расходу цемента, необходимого для получения бетонной смеси заданной удобоукладываемости на данных материалах, при значении $Ц/В$ по п. 4.2.4. При необходимости число вспомогательных составов может быть увеличено до четырех.

4.2.15. Из выбранного оптимального начального состава с минимальным расходом цемента и заданной удобоукладываемостью бетонной смеси изго-

тавливают контрольные образцы для определения прочности бетона после его тепловой обработки по принятому режиму и в проектном возрасте.

4.2.16. Дополнительные составы бетона рассчитывают, изменяя значение *Ц/В*, принятое в начальном составе [по п. 4.2.4 на ±(0,3 – 0,5)], и принимая значение *В* и *Щ* по оптимальному составу, значение *П* увеличивают или уменьшают на величину уменьшения или увеличения значения *Ц*. В двух дополнительных составах определяют удобоукладываемость, плотность, фактические расходы материалов и изготавливают из них контрольные образцы.

4.2.17. По результатам определения прочности бетона в начальном и дополнительном составах строят базовые зависимости прочности бетона после тепловой обработки и в проектном возрасте в зависимости от отношения *Ц/В*. По этим зависимостям определяют значение *Ц/В*, обеспечивающее получение бетона с заданной отпускной и проектной прочностью.

4.2.18. На основании определенного *Ц/В* отношения, средней фактической плотности бетонных смесей, расхода воды и крупного заполнителя рассчитывают количество цемента и мелкого заполнителя для номинального состава бетона.

Пример. Требуется подобрать состав бетона с прочностью в возрасте 28 сут. после тепловой обработки 30 МПа, имеющего отпускную прочность 21 МПа.

Заданная удобоукладываемость бетонной смеси *ОК* = 3 см. Портландцемент гарантированной марки 400, с активностью при пропаривании 29,5 МПа. Нормальная густота цемента 26 %, $\rho_ц$ = 3,1 кг/л, песок $M_к$ = 2, $\rho_п$ = 2,65 кг/л, щебень из гравия фракции 5–20 мм, $\rho_щ$ = 2,61 кг/л. Режим тепловой обработки 13 ч при температуре изотермического прогрева 80–85° С. Определение отпускной прочности через 4 ч после тепловой обработки.

Расчет и подбор номинального состава производят в следующем порядке.

Цементно-водное отношение, обеспечивающее отпускную прочность, определяют по черт. 1. На основании данных по цементу (активность при пропаривании 29,5 МПа) и бетону ($R_{отп}$ = 21 МПа) определяют, что $Ц/В_1$ = 1,95.

$Ц/В_2$, обеспечивающее заданную прочность бетона в возрасте 28 сут после тепловой обработки, определяют по черт. 2.

По гарантированной марке цемента 400 и прочности бетона $R_{28сут}$ = = 30 МПа – *Ц/В* = 1,9. Из двух значений отношения *Ц/В* назначают *Ц/В* = = 1,95, которое обеспечит требуемую отпускную прочность, 70 % марки бетона и фактическую прочность бетона в возрасте 28 сут с завышением прочности до 10 % (ГОСТ 18105–86, прил. 4).

Расход воды определяют по табл. 3. При подвижности бетонной смеси *ОК* = 3 см и фракции щебня 5–20 мм, *В* = 185 л/м³.

Расход цемента на 1 м^3 бетона рассчитывают по формуле (3):

$$Ц = 185 \cdot 1{,}95 = 361 \text{ кг}.$$

Объем заполнителей рассчитывают по формуле (4):

$$V_з = 1000 - (185 + \frac{361}{3{,}1}) = 699 \text{ л}.$$

Количество песка рассчитывают по формуле (5), долю песка в объеме заполнителей определяют по табл. 4, при расходе цемента 361 кг/м^3:

$$r = 0{,}37,$$

$$П = 699 \cdot 0{,}37 \cdot 2{,}65 = 685 \text{ кг}.$$

Количество щебня рассчитывают по формуле (7):

$$Щ = 699 \cdot (1 - 0{,}37) \cdot 2{,}61 = 1149 \text{ кг}.$$

Расчетная плотность бетонной смеси:

$$361 + 185 + 685 + 1149 = 2380 \text{ кг/м}^3.$$

Корректировку удобоукладываемости бетонной смеси в опытном замесе производят в следующем порядке:

из расчетного состава бетона изготавливают опытный замес, например, объемом 10 л, и определяют осадку конуса *ОК* = 6 см. Для понижения подвижности бетонной смеси в замес добавляют 0,11 кг песка и 0,19 кг щебня при принятом соотношении $r = 0{,}37$, перемешивают и определяют осадку конуса *ОК* = 2 см. Откорректированный по подвижности состав принимают за начальный состав бетона. После корректировки состава бетона производят определение плотности бетонной смеси и расчет фактического начального состава бетона. Плотность бетонной смеси $\rho_{см} = 2370$ кг/м^3.

I состав бетона при $r = 0{,}37$:

$$Ц = \frac{2370}{3{,}61+6{,}85+0{,}11+11{,}49+0{,}19+1{,}85} 3{,}61 = \frac{2370}{24{,}1} \cdot 3{,}61 = 355 \text{ кг};$$

$$П = \frac{2370}{24{,}1} (6{,}85+0{,}11) = 684 \text{ кг};$$

$$Щ = \frac{2370}{24{,}1} (11{,}49+0{,}19) = 1149 \text{ кг};$$

$$В = \frac{2370}{24{,}1} 1{,}85 = 182 \text{ л}.$$

Для определения возможности снижения водопотребности бетонной смеси рассчитывают дополнительные составы бетона.

II состав бетона при $r_2 = 0{,}34$ на 1 м^3

$Ц = 355$ кг, $П = 623$ кг, $Щ = 1210$ кг, $В = 182$ л.

III состав бетона при $r_1 = 0{,}40$ на 1 м^3

$Ц = 355$ кг, $П = 733$ кг, $Щ = 1100$ кг, $В = 182$ л.

Пересчитывают составы бетона на опытный замес 10 л.

II состав:

$Ц = 3{,}55$ кг, $П = 6{,}23$ кг, $Щ = 12{,}1$ кг, $В = 1{,}82$ л, $r_2 = 0{,}34$, $Ц/В = 1{,}95$.

III состав:

$Ц = 3{,}55$ кг, $П = 7{,}33$ кг, $Щ = 11$ кг, $В = 1{,}82$ л, $r = 0{,}40$, $Ц/В = 1{,}95$.

Определяют осадку конуса II состава: $ОК = 1$ см, при этом наблюдается небольшое водоотделение. Далее определяют осадку конуса III состава: $ОК = 3$ см, при этом водоотделение не наблюдается. При дальнейшем увеличении доли песка в смеси заполнителей $r = 0{,}43$ осадка конуса $ОК = 1$ см. На основании полученных данных по водопотребности и по подвижности бетонной смеси за оптимальный начальный состав следует принять состав с $r = 0{,}40$ (III состав) при фактической плотности $\rho_{см} = 2380$ кг/м^3.

По формулам (8)–(11) пересчитывают фактический состав бетонной смеси, принятый за оптимальный начальный состав:

$$Ц = \frac{2380}{3{,}55+7{,}33+11+1{,}82} \cdot 3{,}55 = \frac{2380}{23{,}7} = 356 \text{ кг};$$

$$П = \frac{2380}{23{,}7} \cdot 7{,}33 = 736 \text{ кг};$$

$$Щ = \frac{2380}{23{,}7} \cdot 11{,}0 = 1105 \text{ кг};$$

$$В = \frac{2380}{23{,}7} \cdot 1{,}82 = 183 \text{ л}.$$

Из бетонной смеси оптимального начального состава изготавливают контрольные образцы для определения отпускной и марочной прочности. Испытания показывают, что $R_{4ч} = 23{,}5$ МПа; $R_{28} = 33{,}0$ МПа (1 состав).

Для определения номинального состава бетона строят базовые зависимости по отпускной и марочной прочности. Для этого рассчитывают два дополнительных состава бетона с $Ц/В = 2{,}3$ и $1{,}7$ $\rho_{см} = 2380$ кг/м^3 (расчетная), взятая из фактического оптимального начального состава.

2-й состав с $Ц/В = 2{,}3$:

$$Ц = 4{,}20 \text{ кг}, П = 6{,}77 \text{ кг}, Щ = 11{,}0 \text{ кг}, В = 1{,}83 \text{ л}.$$

3-й состав с $Ц/В = 1{,}7$:

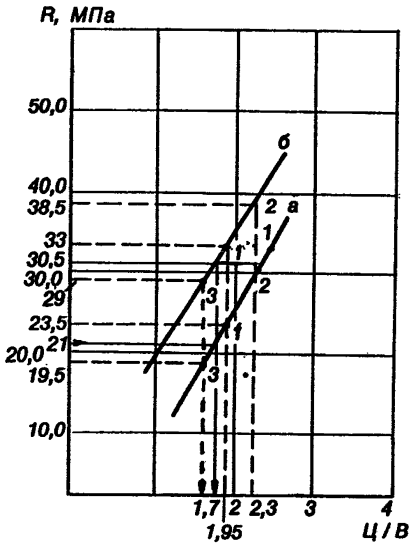
$$Ц = 3{,}11 \text{ кг}, П = 8{,}20 \text{ кг}, Щ = 11{,}00 \text{ кг}, В = 1{,}83 \text{ л}.$$

В этих составах расход воды и щебня принимают по оптимальному начальному составу, а расход песка уменьшается или увеличивается соответственно при увеличении или уменьшении расхода цемента.

По рассчитанным дополнительным двум составам изготавливают бетон, определяют подвижность, плотность и фактический расход материалов, а также формуют контрольные образцы для определения отпускной и марочной прочности. Подвижность бетонной смеси в двух данных составах может несколько отличаться от подвижности оптимального начального состава бетона, однако это не окажет влияния на прочность бетона. Получена прочность бетона: 2-го состава – $R_{4ч} = 30{,}5$ МПа, $R_{28сут} = 38{,}5$ МПа; 3-го состава – $R_{4ч} = 19{,}5$ МПа, $R_{28сут} = 29{,}0$ МПа.

По данным испытаний начального оптимального состава и двух дополнительных составов и определенного $Ц/В$ этих составов строят базовую зависимость (черт. 3).

Определение отношения $Ц/В$, обеспечивающего прочность бетона через 4 ч и 28 сут после тепловой обработки



а – прочность бетона через 4 ч после тепловой обработки;
б – прочность бетона через 28 сут после тепловой обработки;
1 – оптимальный начальный состав;
2 и 3 – дополнительные составы

Черт. 3

На основании данных черт. 3 определяют, что для обеспечения отпускной прочности $R_{отп}$ = 21,0 МПа и марочной прочности $R_{28\,сут}$ = 30 МПа следует назначить $Ц/В$ = 1,8, а номинальный состав бетона следующий:

Состав бетона на 1 м³

$Ц$ = 329 кг, $П$ = 768 кг, $Щ$ = 1100 кг, $В$ = 183 л.

Данные построенных базовых зависимостей могут быть использованы при определении состава бетона марок 200–400 с отпускной прочностью 70 % при подвижности бетонной смеси $ОК$ = 1+4 см и на тех же материалах.

5. ПОДБОР СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

5.1. Дисперсные минеральные добавки рекомендуется вводить в бетонные смеси и бетоны для достижения следующих основных целей:

обеспечения экономии цемента в бетоне;

повышения однородности, связности, удобоукладываемости и сохраняемости бетонных смесей, а также обеспечения их специальных свойств (например, перекачиваемости);

обеспечения специальных свойств бетонов (сульфатостойкости, жаростойкости, водостойкости, сопротивляемости щелочной коррозии, уменьшения тепловыделения и др.);

снижения стоимости бетона;

утилизации отходов промышленности.

5.2. Эффективность действия минеральных добавок зависит от их водопотребности и активности, состава бетона, наличия в бетоне пластификаторов и других химических добавок, вида используемых заполнителей, условий выдерживания бетона, режима тепловлажностной обработки и других факторов.

5.3. Эффективность добавок возрастает со снижением класса (марки) бетона по прочности, а также при переходе от подвижных к жестким смесям и к использованию песков с повышенной пустотностью.

5.4. Эффективность применения конкретных видов минеральных добавок ($МД$) и их оптимальное содержание в бетоне следует устанавливать опытным путем в процессе подбора состава бетона, осуществляемого по общей схеме разд. 4 и табл. 5 и 6.

Таблица 5

Перечень основных минеральных добавок к бетонам

Происхождение добавок	Группы и виды добавок	Стандарты или технические условия на добавки
Техногенные	Доменные и электротермофосфорные гранулированные шлаки	ГОСТ 3476–74 ТУ 66.19-248–87
	Топливные гранулированные шлаки	ОСТ 21-9–81
	Золы-унос	ГОСТ 25818–83
	Золошлаковые смеси отвальные	ГОСТ 25592–83
	Белитовый шлам	ОСТ 21-9–81; ТУ 48-0114-39–87
Природные	Вулканические (шлаки, туфы, пеплы, трассы, цеолитовые породы)	ТУ 110-34-20-2–86; ОСТ 21-9–81
	Осадочные (диатомиты, трепелы, опоки, глиежи)	ОСТ 21-9–81

Таблица 6

Рекомендуемое содержание дисперсных минеральных добавок в бетонах различной прочности

Добавки	Содержание добавки, кг/м³, при классе (марке) бетона по прочности на сжатие					
	B10 (150)	B15 (200)	B20 (250)	B22,5 (300)	B25 (350)	> B30 (400)
Гранулированные доменные и электротермофосфорные шлаки	250–300	200–250	150–200	100–150	50–100	25–50
Топливные золы и гранулированные шлаки	150–250	75–225	50–150	25–100	0–50	–
Вулканические горные породы	150–250	100–200	50–150	25–100	–	–
Осадочные горные породы	50–100	25–50	–	–	–	–

Продолжение табл. 6

Примечания: 1. Данные табл. 6 приведены для смесей марок П1, Ж1 по ГОСТ 7473–85, приготовленных на основе песков средней крупности ($M_к = 2$), при дисперсности добавок 3000–3500 см²/г (гранулированные доменные, электротермофосфорные, топливные шлаки, топливные золы), 8000–10 000 см²/г (осадочные горные породы).

2. В бетонных смесях марок Ж2 и Ж3 содержание добавок увеличивают, а в смесях марки П2 уменьшают на 25 % среднего значения диапазона, указанного в таблице.

3. При увеличении или уменьшении дисперсности добавок на 30 % их содержание соответственно увеличивают или уменьшают на 30 % среднего значения диапазона, указанного в таблице.

5.5. Расчет и подбор номинального состава бетона

5.5.1. Расчет и подбор номинального состава бетона с минеральной добавкой при наличии данных о составе бетона без добавки или известных для него базовых зависимостей $R_б = f(Ц/В)$, $R_б = f(Ц)$.

5.5.1.1. На первом этапе по табл. 6 принимают средний расход добавки $Д_1$ из рекомендованного диапазона в зависимости от класса (марки) бетона и вида применяемой добавки.

5.5.1.2. Расход воды в составе с добавкой B_1 принимают с учетом повышенной водопотребности бетонных смесей с минеральными добавками

$$B_1 = B_0 + \Delta B, \qquad (12)$$

где B_0 – расход воды в бетонной смеси без добавки, л (см. табл. 3);

ΔB – увеличение водопотребности смеси за счет введения добавки, л (табл. 7).

Таблица 7

Увеличение водопотребности бетонных смесей при введении различных минеральных добавок

Добавки	Расход добавки, кг/м³	Увеличение водопотребности смеси, л/м³, при расходе цемента, кг/м³		
		менее 200	200–300	более 300
Доменные и электротермофосфорные гранулированные шлаки	Менее 100	0	0–5	5–10
	100–200	0– 5	5–10	10–20
	200–300	5–10	10–20	20–35
Топливные золы и гранулированные топливные шлаки	Менее 100	0	0–5	5–15
	100–200	0–10	5–20	10–30
	200–300	5–20	15–40	–
Вулканические горные породы	Менее 100	0	0–5	0–10
	100–200	0–10	5–15	10–25
	200–300	5–20	15–35	–

Продолжение табл. 7

Добавки	Расход добавки, кг/м³	Увеличение водопотребности смеси, л/м³, при расходе цемента, кг/м³		
		менее 200	200–300	более 300
Осадочные горные породы	Менее 50	15–25	25–45	–
	50–100	25–45	–	–

Примечание. Данные таблицы приведены для смесей марок по удобоукладываемости П1, Ж1. При переходе к смесям марок П2 и Ж2 значения, приведенные в таблице, следует соответственно увеличивать или уменьшать на 30 %.

Для добавки низкой водопотребности (гранулированные доменные, электротермофосфорные и топливные шлаки, вулканические шлаки, топливные золы при дисперсности $\leqslant 3000$ см^2/г) и при умеренном расходе цемента ($Ц < 300$ кг/м^3) допускается принимать расход воды в начальном составе бетона с добавкой таким же, как в бездобавочном составе бетона ($B_1 = B_0$).

5.5.1.3. Расход цемента $Ц_1$ рассчитывают по формуле

$$Ц_1 = \frac{П_0/\rho_п + Ц_0/\rho_ц - \frac{Д_1}{\rho_д} - \Delta B}{1/\rho_ц + П_0/Ц_0 \cdot \rho_п}, \qquad (13)$$

где $Ц_0, П_0$ – расходы цемента и песка в составе без добавки, кг;

$Ц_1, Д_1$ – расходы цемента и добавки в составе с добавкой, кг;

$\rho_ц, \rho_д, \rho_п$ – плотности цемента, добавки и песка, кг/л.

5.5.1.4. Расход крупного заполнителя в составе с добавкой принимают таким же, как и в бездобавочном составе бетона:

$$Щ_1 = Щ_0. \qquad (14)$$

5.5.1.5. Расход мелкого заполнителя песка в составе с добавкой $П_1$ определяют по формуле

$$П_1 = Ц_1 \cdot \frac{П_0}{Ц_0}. \qquad (15)$$

5.5.1.6. Цементно-водное отношение рассчитывают в составе по формуле

$$(Ц/В)_1 = \frac{Ц_1}{B_1}. \qquad (16)$$

5.5.1.7. Рассчитанный в пп. 5.5.1.2–5.5.1.6 начальный состав бетона

с добавкой проверяют на опытном замесе для уточнения и корректировки удобоукладываемости бетонной смеси (по п. 4.2.11).

5.5.1.8. Дополнительные составы бетона с добавкой определяют, назначая расходы добавки, равные границам диапазонов, приведенных в табл. 6, рассчитывая и корректируя составы бетона в соответствии с пп. 5.5.1.2–5.5.1.7.

Всего принимают не менее девяти составов бетона (не менее трех основных и шести дополнительных), различающихся значениями отношения *Ц/В* на ± 0,3–0,5, расхода добавки, для каждого из которых определяют удобоукладываемость, плотность бетонной смеси и фактические расходы материалов и изготавливают контрольные образцы.

5.5.1.9. Фактические расходы материалов на замес устанавливают по формулам (8)–(11), а расход добавки *Д* определяют по формуле

$$Д = \frac{\rho_{см}}{\Sigma g} g_д, \qquad (17)$$

где Σg – суммарная масса всех материалов в замесе, кг;

$g_д$ – расход минеральной добавки, кг.

5.5.1.10. Из скорректированных составов бетонной смеси изготавливают контрольные образцы по технологии, указанной в проектно-технологической документации.

5.5.1.11. По результатам испытаний бетонов строят базовые зависимости $R_б = f(Ц/В)$ и $R_б = f(Ц)$, по которым определяют требуемые значения *Ц/В*, расхода цемента и добавки, обеспечивающие заданные показатели качества бетона.

5.5.1.12. На основании фактической плотности бетонной смеси, расхода цемента, воды, добавки и крупного заполнителя рассчитывают количество мелкого заполнителя номинального состава бетона с добавкой.

5.5.2. Расчет и подбор номинального состава бетона с минеральной добавкой при отсутствии данных о составе бетона без добавок.

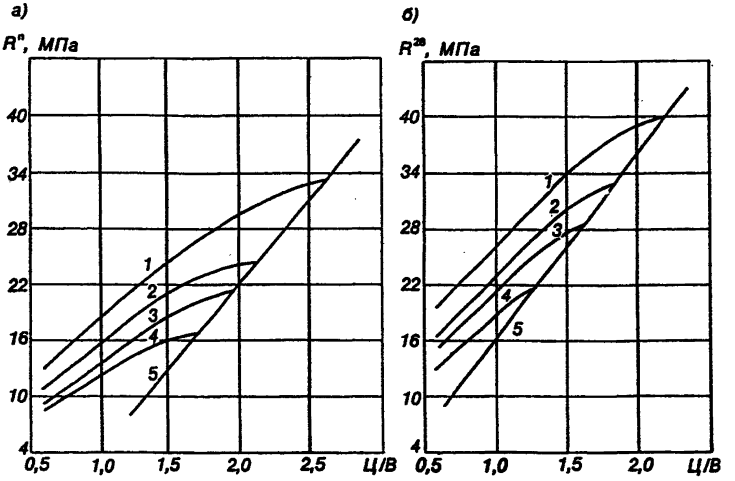
5.5.2.1. Расход минеральной добавки принимают в соответствии с п. 5.5.1.1.

5.5.2.2. Цементно-водное отношение в начальном составе назначают по черт. 4. При использовании цементов других марок и групп по активности при пропаривании вводят следующие поправки:

для отпускной прочности бетона при активности цементов I и III групп назначенное *Ц/В* соответственно уменьшают или увеличивают на 0,1 – 0,2;

для прочности бетона в возрасте 28 сут, при применении цементов марок 500 и 300, назначенное *Ц/В* соответственно уменьшают или увеличивают на 0,2 – 0,3.

Зависимость прочности бетона с рекомендуемым оптимальным содержанием различных минеральных добавок на портландцементах М400 II группы по активности при пропаривании от отношения *Ц/В* через 4 ч после пропаривания (*а*) и 28 сут последующего нормального твердения (*б*)



1 – доменные гранулированные шлаки;
2 – топливные золы;
3 – вулканические породы (шлаки, туфы);
4 – осадочные породы (диатомит, трепел);
5 – без добавок

Черт. 4

5.5.2.3. Расход воды в начальном составе принимают по п. 5.5.1.2.

5.5.2.4. Расход цемента определяют по формуле (3) при значении водопотребности бетонной смеси B_1.

5.5.2.5. Абсолютный объем заполнителей, л, рассчитывают по формуле

$$V_з = 1000 - B - Ц/\rho_ц - Д/\rho_д, \qquad (18)$$

где $\rho_ц$ — плотность цемента, кг/л;
$\rho_д$ — плотность добавки, кг/л.

5.5.2.6. Расход песка определяют по формуле (5) при доле песка r, принятой по табл. 4, в зависимости от суммарного расхода цемента и добавки, а расход крупного заполнителя – по формуле (7).

5.5.2.7. Дальнейшие расчеты основных начальных и дополнительных составов бетона и их корректировку осуществляют в соответствии с пп. 5.5.1.7–5.5.1.10.

5.5.2.8. Номинальный состав бетона с добавкой определяют и рассчитывают по пп. 5.5.1.11 и 5.5.1.12.

Пример. Подобрать состав бетона с добавкой пылевидной золы-унос для изготовления пустотных плит перекрытий. Проектная прочность бетона 20 МПа, отпускная прочность 14 МПа, жесткость бетонной смеси 5 с.

Используется шлакопортландцемент М300 с активностью при пропаривании 18 МПа, нормальной густотой 27 % и плотностью 3,1 кг/л. Заполнитель–речной песок с $M_к = 1{,}8$; $\rho_п = 2{,}65$ кг/л и гранитный щебень фракции 5–20 мм, $\rho_щ = 2{,}61$ кг/л. Зола характеризуется плотностью 2,3 кг/л и удельной поверхностью 3000 см^2/г.

Применяемый режим пропаривания изделий – 13 ч (2+3+6+2) при температуре 90° С.

Исходный состав бетона без добавки, применяемый на производстве, характеризуется следующими расходами материалов:

$Ц_0 = 320$ кг/м^3; $В_0 = 160$ л/м^3; $П_0 = 680$ кг/м^3; $Щ_0 = 1210$ кг/м^3.

Содержание воздуха в бетонной смеси – 17 л/м^3.

Подбор состава бетона с добавкой осуществляем в следующем порядке. В соответствии с табл. 6 принимаем среднее значение расхода добавки из рекомендованного диапазона: $Д = 150$ кг.

Расход воды в начальном составе принимаем в соответствии с табл. 7 на 5 л больше, чем в составе без добавки: $В_1 = 165$ л.

Рассчитываем расход цемента по формуле (13).

$$Ц_1 = \frac{\frac{680}{2{,}65} + \frac{320}{3{,}1} \quad \frac{150}{2{,}3}}{\frac{1}{3{,}1} + \frac{680}{2{,}65 \cdot 320}} \cong 258 \text{ кг}.$$

Расход щебня принимаем таким же, как в исходном составе, по формуле (14):

$$Щ_1 = Щ_0 = 1210 \text{ кг}.$$

Расход песка определяем по формуле (15):

$$П_1 = \frac{680}{320} \cdot 258 \cong 548 \text{ кг}.$$

Цементно-водное отношение в бетоне с добавкой равно

$$(Ц/В)_1 = \frac{258}{165} \cong 1{,}56.$$

Таким образом, для опытного замеса используется следующий состав (состав № 2–по табл. 8):

$Ц_1 = 258$ кг; $В_1 = 165$ л; $П_1 = 548$ кг; $Д_1 = 150$ кг; $Щ_1 = 1210$ кг.

В соответствии с п. 5.5.1.8 принимаем еще два расхода добавки – 75 кг и 225 кг, аналогичным путем рассчитываем начальные составы бетонов (составы №1 и №3 – по табл. 8) и осуществляем их корректировку.

Таблица 8

Составы и свойства бетонов

Номер состава	Расходы компонентов, кг					Жесткость смеси, с	Ц/В	Плотность смеси, кг/м³	Прочность бетона после пропаривания, МПа, через	
	Ц	В	Д	П	Щ				4 ч	28 сут
0	320	160	–	680	1210	5	2,0	2370	14,0	21,0
1	291	160	75	618	1210	5	1,82	2354	14,5	20,8
2	260	166	151	551	1217	5	1,56	2345	14,4	20,3
3	224	170	225	476	1210	5	1,32	2305	11,9	18,0
4	366	165	75	540	1210	5	2,22	2356	18,0	24,2
5	338	173	150	479	1210	5	1,96	2350	17,6	23,1
6	308	179	225	417	1210	5	1,72	2339	15,0	20,9
7	227	160	75	672	1210	5	1,42	2344	11,2	17,3
8	187	161	150	615	1210	5	1,16	2323	11,4	17,5
9	149	162	225	561	1210	5	0,92	2307	8,8	14,8

Для этого приготовляем опытный замес из бетонной смеси состава №2 объемом 10 л и проверяем жесткость бетонной смеси. Жесткость составляет 5 с и соответствует заданному значению. Корректировка состава смесей по удобоукладываемости не требуется.

Определяем плотность смеси. Ее величина составляет 2345 кг/м³ и превышает расчетную (2331 кг/м³). Корректируем расходы компонентов с учетом фактической плотности бетонной смеси и фактических расходов материалов на замес:

$Ц_1 = 2{,}58$ кг; $В_1 = 1{,}65$ л; $Д = 1{,}5$ кг; $П_1 = 5{,}48$ кг, $Щ_1 = 12{,}10$ кг.

Фактические расходы материалов в расчете на 1 м^3 бетона составляют:

$$Ц = \frac{2345}{23{,}31} \cdot 2{,}58 \cong 260 \text{ кг};$$

$$В = \frac{2345}{23{,}31} \cdot 1{,}65 = 166 \text{ л};$$

$$Д = \frac{2345}{23{,}31} \cdot 1{,}5 = 151 \text{ кг};$$

$$П = \frac{2345}{23{,}31} \cdot 5{,}48 = 551 \text{ кг};$$

$$Щ = \frac{2345}{23{,}31} \cdot 12{,}1 \cong 1217 \text{ кг}.$$

Рассчитываем дополнительные составы (№ 4–9), принимая для них значения $Ц/В$, отличающиеся на ± 0,4 от исходного расчетного значения соответствующих начальных составов.

При определении водопотребности в этих составах пользуемся уточненными данными, полученными при приготовлении смесей составов №1–3. Например, для состава №4 принимаем расход воды 160 л при $Ц/В = 2{,}22$.

$$Ц = 2{,}22 \cdot 160 = 355 \text{ кг}; \; Д = 75 \text{ кг}; \; Щ = 1210 \text{ кг}.$$

Расход песка подсчитываем, пользуясь соотношением абсолютных объемов компонентов бетонной смеси:

$$П = 1000 - \left(17 + \frac{355}{3{,}1} + 160 + \frac{75}{2{,}3} + \frac{1210}{2{,}61}\right) \cdot 2{,}65 = 563 \text{ кг}.$$

Фактические расходы материалов в дополнительных составах после корректировки по удобоукладываемости и плотности приведены в табл. 8.

Из бетонной смеси II состава формуем опытные образцы, после этого подвергаем их пропариванию по заданному режиму. Результаты испытаний образцов через 4 ч и 28 сут нормального твердения после пропаривания сведены в табл. 8 и представлены на черт. 5.

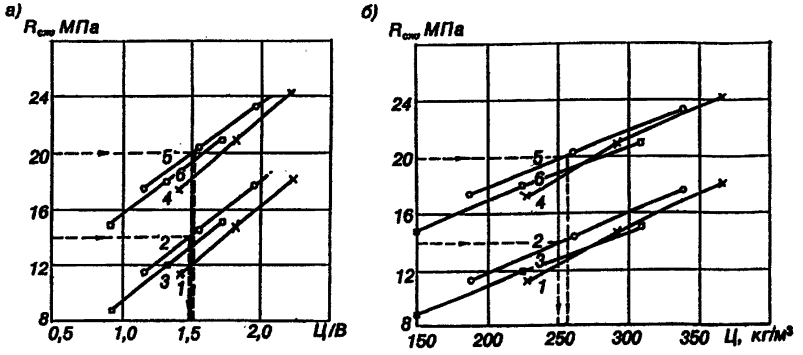
По результатам испытаний определяем требуемые значения $Ц/В$ и расход цемента, обеспечивающие прочность бетона 14 МПа после пропаривания и 20 МПа – в возрасте 28 сут.

По критерию минимального расхода цемента принимаем состав с расходом добавки 150 кг, $Ц/В = 1{,}52$, расходом цемента 256 кг и расходом воды 166 кг.

Плотность бетонной смеси и расход крупного заполнителя определяем линейной интерполяцией данных для составов №2 и №3:

$$\rho_{см} = 2343 \text{ кг/м}^3, Щ \approx 1216 \text{ кг}.$$

Базовые зависимости для определения требуемых значений *Ц/В (а)* и *Ц (б)* для бетонов с различным содержанием минеральной добавки: *1, 4* – 75 кг/м³; *2,5* – 150 кг/м³; *3,6* – 225 кг/м³



1,2,3 – 4 ч после пропаривания; *4,5,6* – 28 сут после пропаривания

Черт. 5

Расход песка: $П = 2343 - (256 + 166 + 150 + 1216) = 555$ кг.

Номинальный состав бетона с добавкой золы характеризуется следующими расходами компонентов:

$Ц = 256$ кг; $В = 166$ л; $Д = 150$ кг; $П = 553$ кг; $Щ = 1216$ кг.

6. ПОДБОР СОСТАВА МОНОЛИТНОГО ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА, ТВЕРДЕЮЩЕГО ПРИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

6.1. Выбор и определение характеристик исходных материалов для бетона производят по рекомендациям разд. 3.

6.2. Расчет и подбор номинального состава бетона, твердеющего при температуре 20°С.

6.2.1. Цементно-водное отношение в начальном составе бетона определяют по черт. 2 в зависимости от гарантированной марки цемента и заданного уровня прочности бетона в возрасте 28 сут нормального твердения.

Данные черт. 2 соответствуют прочности бетонов на цементах общестроительного назначения с активностью, равной гарантированной марке по ГОСТ 10178–85.

6.2.2. Для промежуточных значений активности цемента по черт. 2 значение *Ц/В* определяют линейной интерполяцией.

6.2.3. Расход воды для начального состава бетона принимают по п. 4.2.5.

6.2.4. Расход цемента в начальном составе рассчитывают по п. 4.2.6.

6.2.5. Расход заполнителей (мелкого и крупного и их соотношение) рассчитывают по пп. 4.2.7–4.2.9.

При применении крупного заполнителя (до 70 мм) расход воды следует снизить на 10–12 л.

6.2.6. При требовании к распалубочной прочности бетона, при изменении проектного возраста бетона, изменении режимов твердения бетона начальный состав бетона следует уточнять по базовой зависимости "прочность бетона – *Ц/В* отношение", построенной на основании анализа статистических данных прочности бетона, изготовленного на конкретных материалах и по режимам, принятым при производстве конструкций зданий и сооружений из монолитного бетона.

6.2.7. Начальный рассчитанный состав бетона проверяют на опытном замесе в лаборатории для уточнения удобоукладываемости в соответствии с п. 4.2.11.

6.2.8. В подобранном по удобоукладываемости составе бетонной смеси определяют фактические расходы материалов в соответствии с пп. 4.2.12, 4.2.13.

6.2.9. Оптимизацию состава бетона по минимальному расходу цемента производят в соответствии с п. 4 2.14.

6.2.10. Из оптимального начального состава бетона в лаборатории изготавливают контрольные образцы и испытывают их в проектном возрасте, а если он не указан, то через 28 сут нормального твердения, и определяют проектную прочность бетона.

6.2.11. Дополнительные составы бетона рассчитывают по п. 4.2.16 с изменением *Ц/В* на $\pm(0{,}3–0{,}5)$.

6.2.12. По прочности бетона нормального твердения подобранного оптимального начального и двух дополнительных составов строят базовую зависимость прочности бетона в проектном возрасте и отношения *Ц/В*. По этой зависимости определяют *Ц/В*, обеспечивающее бетон с заданной проектной прочностью.

6.2.13. По средней фактической плотности бетонных смесей, расхода цемента, воды и принятого оптимального соотношения заполнителей рассчитывают номинальный состав бетона.

Пример. Требуется рассчитать и подобрать состав бетона прочностью 30,0 МПа в возрасте 28 сут нормального твердения. Заданная удобоукладываемость бетонной смеси *ОК* = 7 см. Портландцемент гарантированной марки 400; нормальная густота цемента 26 %, $\rho_ц$ = 3,1 кг/л; песок $M_к$ = 2,

$\rho_п$ = 2,65 кг/л; щебень из гравия фракции 5–20 мм, $\rho_щ$ = 2,61 кг/л. Режим твердения нормальный.

Расчет и подбор номинального состава производят в следующем порядке:

цементно-водное отношение, обеспечивающее заданную прочность бетона в возрасте 28 сут нормального твердения, определяют по черт. 2. При гарантированной марке цемента 400 и прочности бетона R = 30 МПа $Ц/В$ = 1,9.

Расход воды определяют по табл. 3.

При подвижности бетонной смеси $ОК$ = 7 см и фракции щебня 5–20 мм $В$ = 205 л.

Расход цемента на 1 м^3 бетона рассчитывают по формуле (3):

$$Ц = 205 \cdot 1{,}9 = 390 \text{ кг}.$$

Объем заполнителей рассчитывают по формуле (4):

$$V_з = 1000 - 205 - \frac{390}{3{,}1} = 669{,}2 \text{ л}.$$

Количество песка рассчитывают по формуле (5), доля песка в заполнителе определяется по табл. 4. При расходе цемента 390 кг

$$r = 0{,}37, \rho_п = 2{,}65 \text{ кг/л}.$$

$$П = 669{,}2 \cdot 0{,}37 \cdot 2{,}65 = 656 \text{ кг}.$$

Количество щебня рассчитывают по формуле (7):

$$Щ = 669{,}2 \cdot (1 - 0{,}37) \cdot 2{,}61 = 1100 \text{ кг}, \ \rho_щ = 2{,}61 \text{ кг/л}.$$

Расчетная плотность бетонной смеси

$$390 + 656 + 1100 + 205 = 2351 \text{ кг/м}^3.$$

Из расчетного начального состава изготавливают опытный замес на 10 л. На бетонной смеси данного замеса определяют подвижность бетонной смеси ($ОК$ = 7 см) и фактическую плотность ($\rho_{см}$ = 2370 кг/м^3). Если подвижность, как в данном случае, равна требуемой, то корректировка состава по подвижности не производится. Если фактическая плотность бетонной смеси отличается от расчетной плотности, то производят расчет фактического начального состава бетона

I состав бетона при r = 0,37:

$$Ц = \frac{2370}{3{,}9 + 2{,}05 + 6{,}56 + 11{,}0} \cdot 3{,}9 = 393 \text{ кг};$$

$$П = \frac{2370}{23{,}51} \cdot 6{,}56 = 662 \text{ кг};$$

$$Щ = \frac{2370}{23{,}51} \cdot 11{,}0 = 1108 \text{ кг};$$

$$В = \frac{2370}{23{,}51} \cdot 2{,}05 = 207 \text{ кг};$$

$$Ц/В = 1{,}9.$$

Для определения возможности снижения водопотребности бетонной смеси рассчитывают дополнительные составы бетона с уменьшением и увеличением доли песка в составе бетона при постоянном $Ц/В$.

II состав бетона с $r_1 = 0{,}33$.

$Ц = 393$ кг, $П = 584$ кг, $Щ = 1186$ кг, $В = 207$ л.

III состав бетона с $r_2 = 0{,}41$:

$Ц = 393$ кг, $П = 725$ кг, $Щ = 1045$ кг, $В = 207$ л.

Пересчитывают составы бетона на опытный замес – 10 л.

II состав:

$Ц = 3{,}93$ кг, $П = 5{,}84$ кг, $Щ = 11{,}86$ кг, $В = 2{,}07$ л, $r_1 = 0{,}33$, $Ц/В = 1{,}9$.

III состав:

$Ц = 3{,}93$ кг, $П = 7{,}25$ кг, $Щ = 10{,}45$ кг, $В = 2{,}07$ л, $r_2 = 0{,}41$; $Ц/В = 1{,}9$.

Определяют осадку конуса II состава, которая равна 8 см. Осадка конуса показывает, что уменьшение количества песка в бетонной смеси не повлияло на подвижность, но наблюдается сильное водоотделение. При определении подвижности бетонной смеси III состава осадка конуса равна 9 см, т. е. дальнейшее увеличение доли песка в бетоне привело к некоторому увеличению подвижности бетонной смеси. Для получения заданной подвижности в бетонную смесь добавляют песок и щебень при принятом $r = 0{,}41$.
Например, на замес 10 л добавляют 0,12 кг песка и 0,18 кг щебня и проверяют подвижность бетонной смеси $ОК = 6$ см, далее определяют фактическую плотность бетонной смеси $\rho_{см} = 2360$ кг/м^3 и производят расчет фактического состава бетона по формулам (8)–(11):

$$Ц = \frac{2360}{3{,}93+(7{,}25+0{,}12)+(10{,}45+0{,}18)+2{,}07} \cdot 3{,}93 = \frac{2360}{24} \cdot 3{,}93 = 386 \text{ кг};$$

$$Ц = \frac{2360}{24} \cdot 7{,}37 = 725;$$

$$Щ = \frac{2360}{24} \cdot 10{,}63 = 1045 \text{ кг};$$

$$В = \frac{2360}{24} \cdot 2{,}07 = 203 \text{ л}.$$

Из бетонной смеси оптимального начального состава с $r = 0{,}41$ изготавливают контрольные образцы для определения марочной прочности через 28 сут нормального твердения. Испытания показывают, что $R_{28\,сут} = 32$ МПа. Для определения номинального состава бетона строят базовую зависимость по марочной прочности. Для этого рассчитывают два дополнительных состава с $Ц/В = 2{,}2$ и 1,6 и при этом расход воды и щебня принимают по оптимальному составу, а расход песка с увеличением или уменьшением цемента соответственно уменьшают или увеличивают.

По двум дополнительным составам также изготавливают бетонную смесь и бетон, определяют подвижность и плотность бетонной смеси, фактический расход материалов и формуют контрольные образцы для определения марочной прочности через 28 сут нормального твердения.

Состав бетона с $Ц/В = 2{,}2$ на замес 10 л:

$Ц = 4{,}46$ кг, $П = 6{,}80$ кг, $Щ = 10{,}45$ кг, $В = 2{,}03$ л, $R_{28} = 33{,}5$ МПа.

Состав бетона с $Ц/В = 1{,}6$ на замес 10 л:

$Ц = 3{,}25$ кг, $П = 7{,}88$ кг, $Щ = 10{,}45$ кг, $В = 2{,}03$ л, $R_{28} = 25{,}5$ МПа.

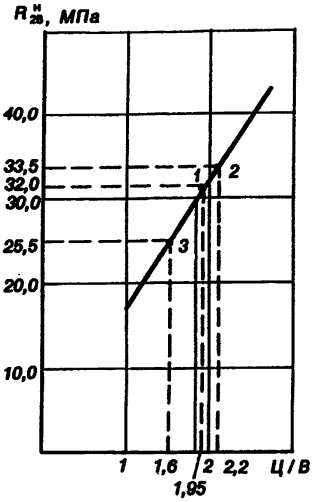
По данным испытаний оптимального начального состава и двух дополнительных составов, а также по $Ц/В$ отношениям этих составов строят базовую зависимость (черт. 6).

На основании полученных данных определяют, что для обеспечения марочной прочности 30 МПа $Ц/В = 1{,}8$, а номинальный состав бетона следующий:

$$Ц = 363 \text{ кг}, П = 749 \text{ кг}, Щ = 1045 \text{ кг}, В = 203 \text{ л}.$$

При определении состава бетона нормального твердения марок 200–400 при $ОК = 5$–9 см на тех же материалах следует пользоваться зависимостью $R_б = f(Ц/В)$(см. черт. 6).

Прочность бетона через 28 сут нормального твердения



1 – оптимальный состав;
2 и *3* – дополнительные составы

Черт. 6

7. ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ СОСТАВЫ МОНОЛИТНОГО ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

7.1. При изготовлении малого объема монолитного бетона классов В7,5–В25 (марок 100–300), предназначенного для изготовления единичных конструкций, определение и назначение номинального состава бетона допускается принимать на основании прилагаемых таблиц.

7.2. Номинальный состав бетона определяют в зависимости от класса (марки) бетона (средняя прочность бетона в возрасте 28 сут нормального твердения) и гарантированной марки цемента.

7.3. Ориентировочные составы бетона даны в табл. 7–9 при следующих характеристиках исходных материалов: плотность бетонной смеси $\rho_{см}$ = = 2370–2420 кг/м^3, подвижность *ОК* = 5–9 см. Если фактическая плотность бетонной смеси отличается от табличной, то фактический расход материалов следует пересчитать по формулам (1)–(4) ГОСТ 27006–86.

Модуль крупности песка $M_к = 2$, $\rho_п = 2{,}65$ г/см^3, щебень крупностью до 70 мм, $\rho_щ = 2{,}65$ г/см^3.

При увеличении или уменьшении $M_к$ на 0,5 доля песка в смеси заполнителей увеличивается или уменьшается на 0,03.

При переходе на гравий расход воды по сравнению с табличными данными уменьшается на 10–15 л.

7.4. В ориентировочных таблицах даны номинальные составы бетонов на сухих заполнителях. После определения расхода материалов по табл. 9–11 состав пересчитывают на фактическую влажность заполнителей по формулам (5)–(8) ГОСТ 27006–86.

Таблица 9

Ориентировочные составы тяжелого бетона на щебне фракций до 20 мм при $ОК = 5–9$ см

Средняя прочность бетона в возрасте 28 сут нормального твердения	Расход материалов, кг/м^3, при марке цемента							
	300				400			
	Ц	*П*	*Щ*	*В*	*Ц*	*П*	*Щ*	*В*
100	210	885	1080	195	200	875	1080	195
150	260	820	1080	205	230	865	1080	195
200	310	740	1115	205	275	810	1080	205
250	350	700	1115	205	315	750	1100	205
300	390	660	1115	205	355	710	1100	205

Таблица 10

Ориентировочные составы тяжелого бетона на щебне фракций до 40 мм при $ОК = 5–9$ см

Средняя прочность бетона в возрасте 28 сут нормального твердения	Расход материалов, кг/м^3, при марке цемента							
	300				400			
	Ц	*П*	*Щ*	*В*	*Ц*	*П*	*Щ*	*В*
100	200	820	1200	180	200	800	1200	180
150	240	770	1200	190	210	800	1200	180
200	290	700	1200	190	255	755	1200	190
250	330	660	1200	190	290	720	1200	190
300	360	630	1220	190	330	680	1200	190

Таблица 11

Ориентировочные составы бетона на щебне фракций до 70 мм при $ОК = 5–9$ см

Средняя прочность бетона в возрасте 28 сут нормального твердения	Расход материалов, кг/м³, при марке цемента							
	300				400			
	Ц	*П*	*Щ*	*В*	*Ц*	*П*	*Щ*	*В*
100	200	785	1270	165	200	785	1270	165
150	230	745	1270	175	200	785	1270	165
200	280	695	1270	175	250	725	1270	175
250	320	655	1270	175	280	695	1270	175
300	350	625	1270	175	320	655	1270	175

Примечание к табл. 9–11. Составы бетона с расходом цемента менее 220 кг/м³ приведены для неармированных бетонов.

7.5. При изготовлении бетонной смеси определенного состава производится корректировка смеси по подвижности. В случае, если подвижность бетонной смеси не удовлетворяет требованиям задания, корректируют подвижность уменьшением или увеличением воды затворения в опытном замесе.

7.6. При возможности использования в бетоне зол ТЭС и молотых добавок осадочного происхождения подбор состава бетона следует проводить по рекомендациям разд. 5.

7.7. При применении в бетоне пластифицирующих добавок подбор состава бетона следует проводить по рекомендациям разд. 8.

8. ПОДБОР СОСТАВА БЕТОНА С ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИМИ И КОМПЛЕКСНЫМИ ДОБАВКАМИ

8.1. Подбор состава бетона с химическими добавками следует проводить с учетом положений ГОСТ 27006–86.

8.2. Рекомендуемые пределы содержания химических добавок для бетонных смесей сборных изделий и для товарного бетона принимают в соответствии с рекомендациями по применению данного вида добавки (см. Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий. М.: Стройиздат, 1989).

8.3. Состав бетона рассчитывают в соответствии с разд. 4 настоящих Рекомендаций.

8.4. Расчет состава для изготовления 1 м³ уплотненной бетонной смеси производят по следующей методике.

Величину *Ц/В*, расход воды *В*, цемента *(Ц = В · Ц/В)* и долю песка в смеси заполнителей *r* назначают, используя данные о составе бетона без добавок с учетом рекомендаций по корректировке параметров состава бетона с добавкой, приведенных в п. 8.5.

Расходы заполнителей рассчитывают по формулам (4), (5), (7).

8.5. Подбор состава бетона с пластифицирующими добавками производят экспериментальным путем в следующем порядке.

8.5.1. Определяют оптимальное содержание добавки при заданном значении удобоукладываемости бетонной смеси и из условия достижения наименьшего значения коэффициента расходования цемента $K_ц$:

$$K_ц = \frac{Ц}{10R_б}. \qquad (19)$$

Для этого рассчитывают и подбирают три-четыре состава бетона с разным количеством добавки в пределах рекомендуемых, например, в Пособии по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий.

В этих составах *Ц/В* принимают по рекомендациям разд. 4 или по имеющемуся номинальному составу без добавки.

Расход воды при применении пластифицирующих добавок назначают по табл. 12 с учетом рекомендаций п. 4.2.5 и табл. 3. Нижний предел водосодержания по табл. 12 принимают для максимально принятой дозировки добавки.

При использовании добавок, не снижающих водопотребность, расход воды принимают по табл. 3.

Таблица 12

Водопотребность подвижных и литых бетонных смесей с различными видами пластифицирующих добавок

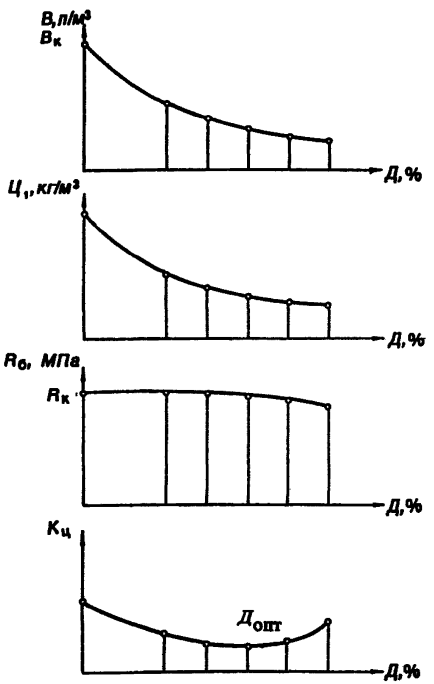
Осадка конуса бетонной смеси, см	Водопотребность бетонной смеси, л/м³				
	без добавок	с суперпластификатором	с сильнопластифицирующей добавкой	со среднепластифицирующей добавкой	со слабопластифицирующей добавкой
1–4	185	–	–	–	–
5–9	205	140–155	155–170	170–185	185–190
10–15	215	155–170	170–185	185–200	200–210
16–20	230	170–185	185–200	200–210	210–225
21–25	240	185–200	200–210	210–225	225–235

Расчет количества крупного и мелкого заполнителя рассчитывают по пп. 4.2.7–4.2.9 с повышением доли песка, рекомендуемой табл. 4 или принятой в составе без добавки на 0,03.

Составы, полученные по расчету, корректируют с целью получения заданной удобоукладываемости при постоянном отношении *Ц/В*.

По результатам испытаний образцов бетона рассчитывают значение коэффициента $K_ц$ при разных дозировках добавки и по полученным данным, сводимым в графической (черт. 7) или табличной форме, устанавливают для изготовления бетона на производстве содержание добавки, при котором достигается минимальное значение $K_ц$.

Выбор дозировки пластификатора *Д*
***(Ц/В, ОК* – const)**



Черт. 7

В тех случаях, когда минимум этой величины отчетливо не выявляется, назначают дозировку в зоне наименьших значений количества добавки.

8.5.2. В тех случаях, когда для производства разных бетонных смесей используют один и тот же цемент, дозировку добавки, установленную в п. 8.5.1, можно распространить на бетоны, изготовляемые из бетонных смесей, отличающихся по подвижности на одну марку (по ГОСТ 7473–85), с прочностью, отличающейся в меньшую или большую сторону на класс (марку), и подвергаемые тепловой обработке по режимам, различающимся: по продолжительности предварительной выдержки не более чем на 1 ч, по скорости подъема температуры не более чем на ± 5°С/ч и по температуре изотермического прогрева не более чем на ± 5°С.

Дозировку добавки следует уточнить при изменении поставщика цемента, его вида и марки.

8.5.3. Подбор состава бетона с целью получения базовой зависимости производят по следующей методике.

Подбирают бетонные смеси заданной удобоукладываемости трех составов с содержанием добавки, установленным п. 8.5.1:

I состав – с *Ц/В*, как в составе с оптимальным количеством добавки и расходами цемента и воды, назначаемыми по результатам предыдущих опытов:

II и III составы с расходом воды и щебня первого состава, изменяя значение *Ц/В* на ± (0,3–0,5) I состава.

Из подобранных смесей изготавливают контрольные образцы бетона, которые пропаривают по заданному режиму.

По результатам испытаний образцов бетона с добавкой строят базовые зависимости прочности бетона (отпускной и марочной) от цементно-водного отношения.

По базовым зависимостям определяют *Ц/В*, обеспечивающее заданные отпускную и марочную прочности бетона (п. 4.2.4) и рассчитывают состав бетона согласно п. 4.2.18.

8.6. При использовании комплексных химических добавок, включающих пластификатор и ускоритель твердения, подбор состава бетона при заданном режиме твердения проводят так же, как рекомендовано п. 8.5.

Пример. Требуется подобрать состав бетона с добавкой ЛСТМ-2. Заданный уровень прочности: после тепловой обработки – 21,0 МПа и в возрасте 28 сут – 30,0 МПа. Заданная удобоукладываемость бетонной смеси *ОК* = 2–4 см.

Материалы: цемент *ПЦ* 500–*Д*20; песок $M_к$ = 2,0 плотностью зерен 2,65 кг/л; щебень гранитный с предельной крупностью зерен 20 мм и плотностью 2,63 кг/л.

Без добавки применялся номинальный состав бетона с расходом материалов на 1 м³: цемент – 315 кг, вода – 185 л, щебень – 1115 кг, песок – 745 кг.

Для определения оптимальной дозировки пластификатора рассчитывают и подбирают четыре состава бетонной смеси с добавкой ЛСТМ-2 (в пределах 0,10–0,25 % массы цемента в расчете на сухое вещество) при значении $Ц/В = 1,7$ и расходе щебня 1115 кг, как в контрольном номинальном составе. Составы подобранных смесей указаны в табл. 13.

Таблица 13

Составы и прочность бетона при различной дозировке ЛСТМ-2

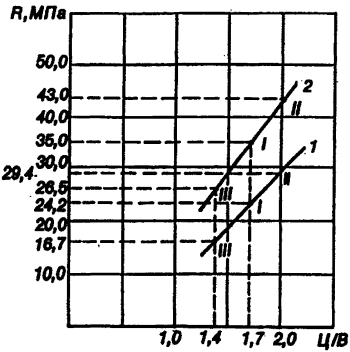
Расход материалов на 1 м³ бетона	Содержание добавки в массе, %				
	0	0,1	0,15	0,2	0,25
Цемент, кг	315	289	280	275	272
Вода, л	185	170	165	162	160
Щебень, кг	1115	1115	1115	1115	1115
Песок, кг	745	796	800	812	813
Добавка ЛСТМ-2 в расчете на сухое вещество, кг	–	0,29	0,42	0,55	0,68
Осадка конуса бетонной смеси, см	2,5	3	4	4	3,5
Плотность бетонной смеси, кг/м³	2360	2370	2360	2365	2360
Прочность при сжатии бетона после пропаривания, МПа	23,2	23,8	24,7	23,9	21,0
Значение $K_ц$	1,36	1,21	1,13	1,15	1,29

В этой таблице указана прочность бетона после пропаривания и установленные значения коэффициента $K_ц$. По полученным данным дозировку добавки следует назначать при минимальном значении $K_ц$ в пределах 0,15–0,20 % массы цемента.

Для подбора номинального состава бетона с пластификатором принимаем дозировку добавки 0,15 % массы цемента. Состав бетона с $Ц/В = 1,7$ принимают за начальный и подбирают еще два равноподвижных состава бетонной смеси с $Ц/В = 1,4$ и $Ц/В = 2,0$ с принятым содержанием добавки 0,15 % массы цемента. Расход воды и щебня в этих составах назначают таким же, как в начальном составе ($В = 165$ л, $Щ = 1115$ кг). Прочность бетонов с добавкой при $Ц/В = 1.4$; $Ц/В = 1,7$; $Ц/В = 2,0$ при соответствующих расходах цемента 230, 280 и 330 кг составила $R_{4ч} = 16,7$; 24,2 и 29,4 МПа. $R_{28сут} = 26,5$; 35; 43 МПа.

Строим зависимость $R_б = f(Ц/В)$ (черт. 8) и определяем $Ц/В$, обеспечивающее отпускную и марочную прочность: $Ц/В = 1{,}65$. Расход материалов в номинальном составе бетона с добавкой составляет, кг: цемент – 265, вода – 165, щебень – 1115, песок – 810, пластификатор ЛСТМ-2 – 0,4 (в расчете на сухое вещество).

Определение отношения $Ц/В$, обеспечивающего прочность бетона с добавкой ЛСТМ-2 через 4 ч и 28 сут после тепловой обработки



1 – прочность бетона через 4 ч после тепловой обработки; *2* – прочность бетона через 28 сут после тепловой обработки; I – оптимальный начальный состав; II и III – дополнительные составы

Черт. 8

9. ПОДБОР СОСТАВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

9.1. Выбор и определение характеристик исходных материалов для бетона производят по рекомендациям разд. 3.

9.2. Расчет и подбор номинального состава мелкозернистого бетона.

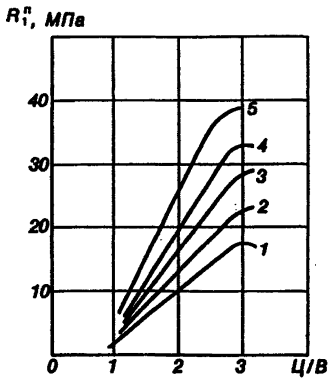
9.2.1. Цементно-водное отношение в начальном номинальном составе бетона определяют по черт. 9 в зависимости от среднего уровня отпускной

прочности бетона, которую необходимо обеспечить по заданию на подбор состава бетона, и от активности цемента при пропаривании, которую принимают по данным завода–изготовителя цемента.

Данные черт. 9 соответствуют стандартному режиму тепловой обработки мелкозернистого бетона (2+4+6+2) при температуре изотермического прогрева 80 ± 5°С с испытанием образцов через 4 ч после ее окончания. Активность цемента при пропаривании–по методике ГОСТ 310.4–81.

9.2.2. По черт. 10 определяют цементно-водное отношение, обеспечивающее получение проектной прочности в возрасте 28 сут после тепловой обработки, а по черт. 11 – для монолитного бетона, твердеющего при положительной температуре, в зависимости от заданного уровня прочности бетона и фактической активности цемента (если она неизвестна, – то по гарантированной марке цемента).

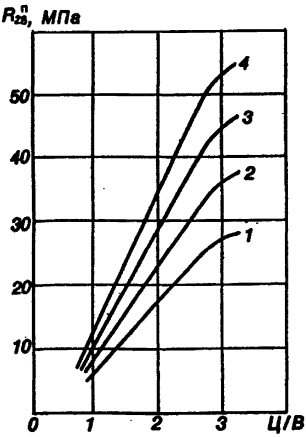
Зависимость прочности мелкозернистого бетона после тепловой обработки от отношения *Ц/В* и активности цемента при пропаривании



1–5 – активность цемента при пропаривании соответственно 15, 20, 25, 30, 40 МПа

Черт. 9

Зависимость прочности мелкозернистого бетона в возрасте 28 сут после пропаривания от отношения *Ц/В* и марки цемента

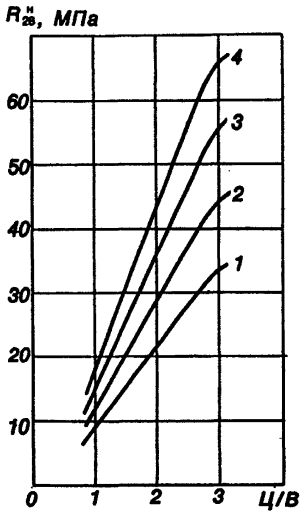


1–4 – марка цемента соответственно 300, 400, 500 и 600

Черт. 10

Данные черт. 11 соответствуют средним значениям для цементов общестроительного назначения по ГОСТ 10178–85.

Прочность мелкозернистого бетона в возрасте 28 сут нормального твердения



1–4 – соответственно марки цемента 300, 400, 500 и 600

Черт. 11

9.2.3. Для промежуточных значений активности цемента по черт. 9–11 значения отношения *Ц/В* определяют линейной интерполяцией.

9.2.4. Для подбора начального состава мелкозернистого бетона, твердеющего при тепловой обработке, из значений *Ц/В*, определенных по пп. 9.2.1, 9.2.2, принимают большее.

При нормируемой отпускной прочности 50–60 %, цементно-водное отношение в большинстве случаев назначают в зависимости от прочности бетона в возрасте 28 сут.

9.2.5. Соотношение между песком и цементом *П/Ц* начального состава бетона принимают по табл. 14 в зависимости от заданной удобоукладывае-

мости бетонной смеси и водоцементного отношения (в дальнейших расчетах используется не *Ц/В*, а *В/Ц* отношение).

Для монолитного мелкозернистого бетона, твердеющего при положительной температуре, значения *Ц/В* для подбора начального состава определяют только по п. 9.2.2.

Таблица 14

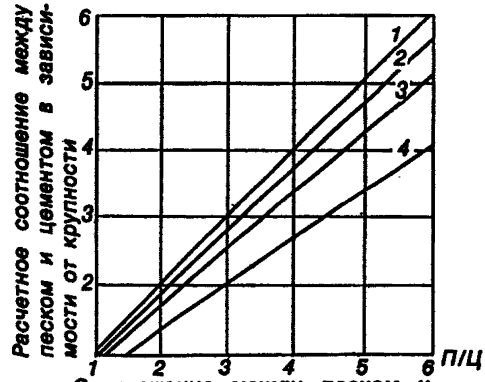
Определение соотношения между песком и цементом

Удобоукладываемость бетонной смеси		Соотношение между песком и цементом по массе при водоцементном отношении				
ОК, см	*Ж*, с	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
5 9	–	1,6	2,7	3,8	4,9	5,7
1–4	–	1,8	2,9	4,0	5,1	6,0
–	5–10	2,2	3,3	4,4	5,4	6,3
–	11–20	2,7	3,7	4,8	6,0	–

Примечания: 1. Значения *П/Ц* в таблице приведены для цементов с нормальной густотой 26–28 %. При увеличении или уменьшении нормальной густоты на 2 % величина *П/Ц* уменьшается или увеличивается на 0,05.

2. Значения *П/Ц* в таблице приведены для песка с модулем крупности 2,5. При применении песка с другим модулем крупности величина *П/Ц* корректируется по графику черт. 12.

График для корректировки пескоцементного отношения, обеспечивающего заданную удобоукладываемость мелкозернистой бетонной смеси в зависимости от крупности песка



Модуль крупности песка:
1 – 2,5; *2* – 2,0;
3 – 1,5; *4* – 1,0

Черт. 12

9.2.6. Рассчитывают расход цемента на 1 м^3 начального состава бетона по формуле

$$Ц = \frac{\rho^0_{см}}{1 + П/Ц + В/Ц}, \qquad (20)$$

где $П/Ц$ –соотношение между песком и цементом, определенное по п. 9.2.5;

$В/Ц$ –водоцементное отношение, определенное по п. 9.2.4;

$\rho^0_{см}$ –средняя плотность бетонной смеси, кг/м^3, принимаемая ориентировочно по табл. 15.

Таблица 15

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 $В/Ц \geq 0,5$
5–9	–	2200	2170
1–4	–	2190	2150
–	5–10	2180	2140
–	11–20	2160	2130

Примечание. Значения средней плотности бетонной смеси в таблице приведены для кварцевого песка с модулем крупности 1,5–2,0, для песка с модулем крупности более 2,0 $\rho^0_{см}$ увеличивают на 30 кг/м^3, для песка с модулем крупности от 1,0 до 1,5 $\rho^0_{см}$ уменьшают на 70 кг/м^3.

9.2.7. Рассчитывают расход песка и воды на 1 м^3 начального состава бетона:

$$П = Ц \cdot П/Ц, \qquad (21)$$

$$В = Ц \cdot В/Ц, \qquad (22)$$

где $Ц$ – расход цемента, кг, определенный в п. 9.2.6.

9.2.8. При изменении режимов тепловой обработки бетонов, времени определения прочности бетона в отпускном и проектном возрасте, методики определения активности цемента при пропаривании начальный состав следует уточнять по базовым зависимостям "прочность– $Ц/В$", построенным на основании анализа статистических данных прочности бетона, изготовленного на конкретных материалах и по режимам, принятым на данном производстве.

9.2.9. Начальный состав бетона, рассчитанный по пп. 9.2.1–9.2.7 *(Ц,П,В)*, проверяют на опытном замесе с целью уточнения и корректировки удобо-

укладываемости бетонной смеси. Для этого изготавливают замес необходимого объема и определяют удобоукладываемость по ГОСТ 10181.1–81. Если оказывается, что удобоукладываемость опытного замеса не соответствует заданной, то производят корректировку начального состава бетона. При этом повышение осадки конуса или снижение жесткости бетонной смеси достигают за счет добавления в пробный замес воды и цемента (в заданном соотношении, равном принятому *В/Ц*), а снижение осадки конуса или повышение жесткости достигают за счет добавления в пробный замес песка.

При корректировке удобоукладываемости начального состава допускается только разовое введение в пробный замес воды и цемента 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 имеет отклонение не более ± 1 см, а жесткость не более ± 3 с.

9.2.10. В подобранном по удобоукладываемости начальном составе бетона определяют фактическую среднюю плотность бетонной смеси $\rho_{см}^{ф}$ по ГОСТ 10181.2–81 и рассчитывают фактическое соотношение между песком и цементом по формулам:

$$П/Ц^{ф} = \frac{П_1}{Ц_1 + \Delta Ц} \quad \text{или} \qquad (23)$$

$$П/Ц^{ф} = \frac{П_1 + \Delta П}{Ц_1}, \qquad (24)$$

где $П_1, Ц_1$ — расходы песка и цемента на пробный замес начального состава бетона, кг;

$\Delta П, \Delta Ц$ — расходы песка и цемента, идущие на корректировку удобоукладываемости бетонной смеси начального состава, кг.

Рассчитывают фактический начальный состав бетона по формулам (20)–(22), подставляя фактические значения средней плотности бетонной смеси и соотношения между песком и цементом.

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

9.2.12. Дополнительные составы бетона рассчитывают, изменяя *Ц/В*, принятое в начальном составе по п. 9.2.4,на ±0,3–0,5 и, принимая значения *В* равными расходу воды в подобранном и откорректированном начальном составе, величину средней плотности бетонной смеси увеличивают на 20–30 кг/м^3 для состава с бо́льшим *Ц/В* и уменьшают на 10–20 кг/м^3 для

состава с меньшим *Ц/В*. С учетом этого, используя формулы (20)–(22), рассчитывают *Ц* и *П* дополнительных составов.

Из замесов двух дополнительных составов изготавливают контрольные образцы для определения прочности бетона после его твердения по принятому режиму, а также определяют фактические средние плотности и удобоукладываемость бетонной смеси.

9.2.13. По результатам определения прочности бетона в начальном и дополнительных составах строят базовые зависимости прочности бетона после тепловой обработки в проектном возрасте и фактической средней плотности в зависимости от *Ц/В*. По этим зависимостям определяют значение *Ц/В*, обеспечивающее получение бетона с заданной отпускной и проектной прочностью, и соответствующее ему значение средней плотности бетонной смеси.

9.2.14. На основании определенного *Ц/В* и средней плотности по пп. 9.2.6, 9.2.7 рассчитывают номинальный состав бетона.

9.3. Расчет и подбор номинального состава мелкозернистого бетона с пластифицирующими добавками.

9.3.1. При применении пластифицирующих добавок определение их оптимальных дозировок проводят по п. 8.5.1.

9.3.2. Расход воды с пластифицирующими добавками снижается при добавке суперпластификатора на 15–25 %, с сильнопластифицирующей добавкой – на 15–20 %, со среднепластифицирующей добавкой – на 5–10 %, со слабопластифицирующей добавкой – на 3–7 %.

Наибольшее снижение водопотребности бетонной смеси соответствует наибольшему количеству введенной добавки.

9.3.3. По водоцементному отношению начального состава и сниженному расходу воды определяют расход цемента

$$Ц_1 = \frac{B_1}{В/Ц}, \qquad (25)$$

где $Ц_1$ – расход цемента, кг, при введении пластифицирующей добавки;

B_1 – расход воды, л, при введении пластифицирующей добавки.

9.3.4. Далее определяют расход песка в бетоне с добавкой:

$$П = (\rho^0_{см} \cdot 1) - B_1 - Ц_1. \qquad (26)$$

9.3.5. Начальный состав бетона с добавкой, рассчитанный по пп. 9.3.1 – 9.3.4, в опытном замесе корректируют по заданной удобоукладываемости бетонной смеси по п. 9.2.9.

9.3.6. В подобранном по удобоукладываемости начальном составе бетона определяют среднюю фактическую плотность бетона и фактическое соотношение между песком и цементом по п. 9.2.10.

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

9.3.8. Дополнительные составы бетона рассчитывают и корректируют по п. 9.2.12.

9.3.9. По результатам прочности бетона начального и двух дополнительных составов строят базовые зависимости по п. 9.2.13.

9.3.10. На основании определенного *Ц/В* отношения, средней плотности по пп. 9.2.6 и 9.2.7 рассчитывают номинальный состав бетона с добавкой.

Пример. По заданию необходимо подобрать состав бетона с требуемой отпускной прочностью 14 МПа и прочностью в возрасте 28 сут после тепловлажностной обработки 20 МПа. Заданная удобоукладываемость бетонной смеси *ОК*=3 см. Портландцемент гарантированной марки 400, с активностью при пропаривании 31 МПа. Нормальная густота цемента 26 %. Песок с модулем крупности 1,65. Режим тепловой обработки 2+4+6+2 ч при температуре изотермического прогрева 80 °С.

Расчет и подбор номинального состава производят в следующем порядке.

Цементно-водное отношение *Ц/В*, обеспечивающее отпускную прочность, определяют по черт. 9. На основании данных по цементу (активность при пропаривании 31 МПа) и бетону ($R_{4ч}$ = 14 МПа) определяют, что *Ц/В* = 1,65.

Цементно-водное отношение, обеспечивающее заданную прочность бетона в возрасте 28 сут после тепловой обработки, определяют по черт. 10. При гарантированной марке цемента 400 и прочности бетона $R^{п}_{28сут}$ = 20 МПа *Ц/В* = 1,80. Из двух *Ц/В* назначают большее *Ц/В* = 1,80 (*В/Ц* = 0,56).

Определяют соотношение между песком и цементом по табл. 14 интерполяцией между *В/Ц* = 0,5 и 0,6 и получают *П/Ц* = 3,4. Полученное значение *П/Ц* необходимо откорректировать для используемого песка с модулем крупности 1,65 по черт. 12. Получают *П/Ц* = 3,0.

Рассчитывают расход цемента, песка и воды на 1 м³ начального состава бетона по формулам (20)–(22), принимая значение средней плотности бетонной смеси по табл. 15 равное 2150 кг/м³:

$$Ц = \frac{2150}{1 + 3{,}0 + 0{,}56} = 471 \text{ кг};$$

$$П = 471 \cdot 3{,}0 = 1415 \text{ кг};$$

$$В = 471 \cdot 0{,}56 = 264 \text{ л}.$$

Корректировку удобоукладываемости бетонной смеси в опытном замесе производят в следующем порядке.

Из расчетного состава бетона изготавливают опытный замес объемом 10 л. Расход материалов на замес: $Ц = 4{,}71$ кг, $П = 14{,}15$ кг, $В = 2{,}64$ л. Определяют осадку конуса $ОК = 1$ см. Для увеличения подвижности бетонной смеси в замес добавляют 0,5 кг цемента и 0,28 л воды, сохраняя $В/Ц = 0{,}56$; перемешивают и определяют осадку конуса $ОК = 3$ см, среднюю плотность бетонной смеси $\rho_{см} = 2170$ кг/м^3 и на основании фактической плотности бетонной смеси пересчитывают фактический состав бетона.

Откорректированный по подвижности и рассчитанный по фактической плотности состав принимают за начальный состав бетона по формулам:

$$П/Ц = \frac{14{,}15}{4{,}71 + 0{,}5} = 2{,}72,$$

$$Ц = \frac{2170}{1 + 2{,}72 + 0{,}56} = 507 \text{ кг},$$

$$П = 507 \cdot 2{,}72 = 1379 \text{ кг},$$

$$В = 507 \cdot 0{,}56 = 284 \text{ л}.$$

Из полученного замеса изготавливают контрольные образцы для определения отпускной и марочной прочности. Испытания показали, что $R^{п}_{4ч} = 15{,}4$ МПа, $R^{п}_{28} = 23{,}4$ МПа.

Для определения номинального состава бетона строят базовые зависимости по отпускной и марочной прочности. Для этого рассчитывают два дополнительных состава бетона с $Ц/В = 2{,}2$ и 1,4 при расчетном значении средней плотности: $\rho_{см} = 2170 + 30 = 2200$ кг/м^3 и $2170 - 20 = 2150$ кг/м^3 соответственно.

Расход воды принимают равным начальному составу $В = 284$ л и рассчитывают расходы цемента и песка:

для $Ц/В = 2{,}2$:

$$Ц = 284 \cdot 2{,}2 = 625 \text{ кг};$$

$$П = \rho_{см} \cdot 1 - Ц - В = 2200 - 625 - 284 = 1291 \text{ кг};$$

для $Ц/В = 1{,}4$:

$$Ц = 284 \cdot 1{,}4 = 398 \text{ кг};$$

$$П = 2150 \cdot 1 - 398 - 284 = 1468 \text{ кг}.$$

По двум расчетным дополнительным составам изготавливают бетон, определяют подвижность, фактическую плотность $\rho_{см2} = 2205$ кг/м^3 и

$\rho_{см3}$ = 2153 кг/м^3 соответственно для $Ц/В$ = 2,2 и 1,4, а также формуют контрольные образцы для определения отпускной и марочной прочности. Подвижность бетонной смеси в двух данных составах может несколько отличаться от подвижности начального состава бетона. Если это отличие превышает пределы, указанные в п. 9.2.9, то необходимо провести корректировку удобоукладываемости дополнительных составов в соответствии с пп. 9.2.9 и 9.2.10.

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

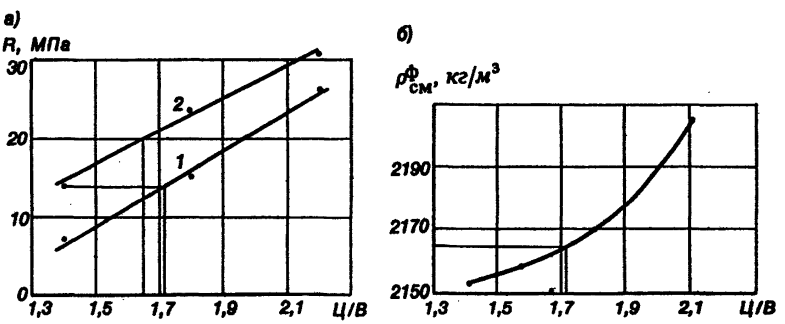
На основании данных черт. 13 определяют, что для обеспечения отпускной прочности 14 МПа $Ц/В$ = 1,72, при этом $R_{28сут}$ = 21,5 МПа, а $\rho_{см}$ = 2160 кг/м^3. Номинальный состав бетона, пересчитанный по формулам, следующий (на 1 м^3):

$$Ц = В \cdot Ц/В = 284 \cdot 1{,}72 = 488 \text{ кг};$$

$$П = 2160 \cdot 1 - 488 - 284 = 1388 \text{ кг};$$

$$В = 284 \text{ л}.$$

Базовые зависимости



а – прочности бетона от $Ц/В$: *1* – отпускная прочность; *2* – нормативная прочность; *б* – средней плотности бетонной смеси от $Ц/В$

Черт. 13

Данные построенных базовых зависимостей могут быть использованы при определении $Ц/В$ отношения для составов мелкозернистого бетона марок 150–300 при использовании тех же материалов.

10. ПОДБОР СОСТАВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

10.1. Настоящий подбор состава относится к случаю использования минеральных добавок *МД* в качестве самостоятельного компонента бетона, а не в составе вяжущего.

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

Исходным составом является производственный или лабораторный состав мелкозернистого бетона без минеральных добавок, обеспечивающий требуемую отпускную и марочную прочность при заданной удобоукладываемости бетонной смеси. При отсутствии этого состава его рассчитывают в соответствии с разд. 9.

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

10.4. Определение коэффициента цементирующей эффективности минеральной добавки.

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

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

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. 16;

$МД/Ц$ – отношение массы добавки к массе цемента определяют по табл. 17 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 16

Ориентировочные значения коэффициента цементирующей эффективности минеральных добавок

Минеральные добавки	Коэффициент цементирующей эффективности для обеспечения прочности бетона $K^{р}_{ц.э}$	
	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 17

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	1,5	1,0	0,67

10.4.2. Приготавливают два вспомогательных состава бетона с *Ц/В*, отличающихся от полученных в п. 10.4.1 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. 9.2.9.

10.4.3. Из трех составов бетона (по пп. 10.4.1, 10.4.2) изготавливают контрольные образцы для определения прочности через 4 ч после окончания тепловой обработки, а для монолитного бетона, твердеющего при положительной температуре, – через 28 сут твердения в нормальных условиях.

10.4.4. По результатам определения прочности составов бетона в соответствии с п. 10.4.3 строят зависимость прочности от *Ц/В*. По этой зависимо-

сти определяют цементно-водное отношение $Ц/В$, обеспечивающее получение прочности бетона с добавкой, равной прочности исходного состава.

10.4.5. Рассчитывают фактическое значение коэффициента цементирующей эффективности $К_{ц.э}$ по формуле

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

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

10.5. Определение оптимальной дозировки минеральной добавки.

10.5.1. 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

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

Соотношение между песком и цементом в каждом дополнительном составе подбирают опытом, регулируя удобоукладываемость в соответствии с п. 10.4.2.

10.5.2. В подобранных по удобоукладываемости дополнительных составах бетона фиксируют фактическую среднюю плотность бетонной смеси и изготавливают контрольные образцы для определения прочности бетона в отпускном и проектном возрасте.

10.5.3. 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:

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

$$МД = Ц \cdot МД/Ц. \qquad (31)$$

Расход воды и песка рассчитывают по формулам (21) и (22).

10.5.4. Приготавливают два состава бетона с найденным в п. 10.5.2 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 бо́льшим *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. 10.5.3.

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.

10.5.5. 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.

10.5.6. На основании определенного по базовой зависимости *Ц/В* и средней плотности бетонной смеси по п. 10.5.3 рассчитывают номинальный состав бетона.

Пример. Требуется подобрать состав мелкозернистого бетона с минеральной добавкой (кислой) – золой-уноса Ступинской ТЭС. Прочность бетона в возрасте 28 сут после тепловой обработки 20 МПа, отпускная прочность 14 МПа (70 %). Заданная удобоукладываемость бетонной смеси *ОК* = 3 см. Материалы и условия твердения те же, что в примере разд. 9.

Расчет и подбор номинального состава бетона производят в следующем порядке.

В качестве исходного состава бетона принимают номинальный состав из примера разд. 9 с расходом материалов на 1 м^3:

$$Ц = 488 \text{ кг}, П = 1388 \text{ кг}, В = 284 \text{ л при } Ц/В = 1{,}72.$$

1. Определение цементирующей эффективности золы

Рассчитывают ориентировочное отношение *Ц/В* бетона с золой по формуле (27), принимая по табл. 16

$$К Р_{ц.з} = 1{,}2\ \%;$$

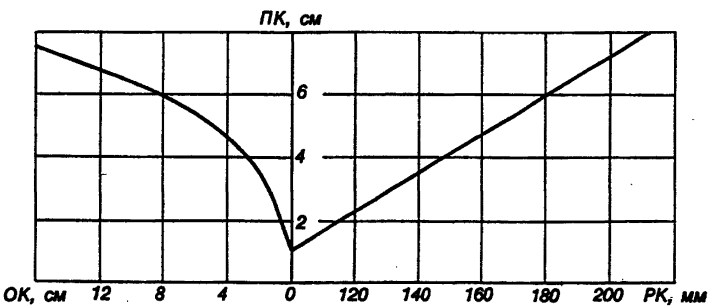
$$Ц/В = \frac{1{,}72}{1 + 1{,}2 \cdot 0{,}67} = 0{,}95.$$

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 объемом не 7–8 л, который необходим для определения осадки стандартного конуса, а меньшие, подвижность рекомендуется оценивать величиной погружения конуса СтройЦНИИЛ по ГОСТ 5802–86 или расплывом конуса на встряхивающем столике по ГОСТ 310.4–81. Объем замеса при использовании этих приборов равен соответственно 0,5 л, а связь с осадкой стандартного конуса для мелкозернистого бетона приведена на черт. 14.

Связь показателей осадки конуса *ОК*, погружения конуса *ПК* СтройЦНИИЛ и расплыва конуса *РК* на встряхивающем столике для мелкозернистой бетонной смеси (без пластифицирующих добавок)



Черт. 14

После корректировки удобоукладываемости и определения фактической средней плотности бетонных смесей получают два вспомогательных состава с расходом материалов, рассчитанных по формулам п. 10.5.3:

1. При $Ц/В = 1{,}15$ $Ц = 430$ кг, $МД = 288$ кг, $П = 920$ кг, $В = 374$ л.
2. При $Ц/В = 0{,}75$ $Ц = 320$ кг, $МД = 214$ кг, $П = 1015$ кг, $В = 427$ л.

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

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

Строят зависимость прочности от *Ц/В* (черт. 15). 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):

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

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 м³ (табл. 18).

Таблица 18

Дополнительные составы и прочность через 4 ч после окончания тепловой обработки

Доля золы в смеси с цементом, %	*Ц*, кг/м³	*МД*, кг/м³	*П*, кг/м³	*В*, кг/м³	$R^{п}_{4ч}$, 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 окончания тепловой обработки (см. табл. 18), 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 кг/м³.

Приготавливают два откорректированных состава бетона с найденной оптимальной долей золы в смеси с цементом – 30 % и с *Ц/В*, отличающи-

мися 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 м³ $В$ = 313 л, а для большего $Ц/В$ $\rho_{см}$ = 2130 + 30 = 2160 кг/м³, для меньшего 2130 – 20 = 2110 кг/м³.

По формулам п. 10.5.3 рассчитывают расход материалов на 1 м³:

для $Ц/В$ = 1,45:

$Ц$ = 313 · 1,45 = 454 кг; зола = 454 · 0,44 = 200 кг;

$П$ = 2160 – 454 – 200 – 313 = 1193 кг.

для $Ц/В$ = 1,05:

$Ц$ = 313 · 1,05 = 329 кг; зола = 329 · 0,44 = 145 кг;

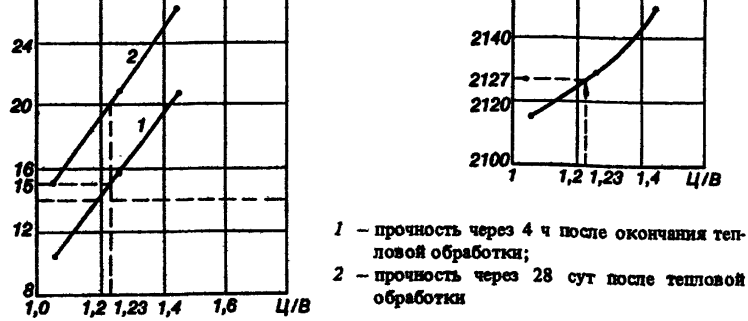
$П$ = 2110 – 329 – 145 – 313 = 1323 кг.

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 (черт. 15, 16) определяют минимальное $Ц/В$, обеспечивающее получение бетона с отпускной прочностью 14 МПа и марочной 20 МПа, которое равно 1,23. При этом $Ц/В$ получают марочную прочность 20 МПа при отпускной прочности 15 МПа. Фактическая средняя плотность бетонной смеси $\rho_{см}^{ф}$ = 2127 кг/м³.

Базовые зависимости прочности *(а)* и средней плотности *(б)* от отношения $Ц/В$

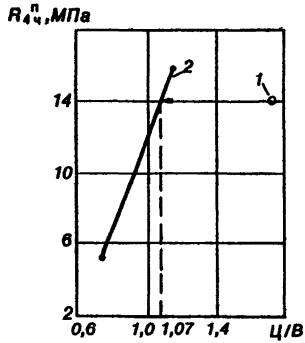


1 – прочность через 4 ч после окончания тепловой обработки;

2 – прочность через 28 сут после тепловой обработки

Черт. 15

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

Черт. 16

По формулам п. 10.5.3 рассчитывают номинальный состав бетона на 1 м^3:

$Ц = 313 \cdot 1{,}23 = 385$ кг; зола $= 385 \cdot 0{,}44 = 169$ кг;
$П = 2127 - 385 - 169 - 313 = 1260$ кг.

11. НАЗНАЧЕНИЕ И КОРРЕКТИРОВКА РАБОЧЕГО СОСТАВА БЕТОНА

11.1. Корректировка рабочего состава бетона проводится в случаях:
существенного изменения качества материалов;
устойчивого (неслучайного) отклонения удобоукладываемости бетонной смеси от заданного интервала;
устойчивого (неслучайного) отклонения прочности бетона от среднего уровня.

11.2. В соответствии с п. 4.1 ГОСТ 27006–86 существенным изменением качества материалов, требующим корректировки рабочего состава бетона, является изменение:

активности цемента на 2,5 МПа и более:

нормальной густоты цемента на 1,5 абс. % и более;

содержания илистых, глинистых и пылевидных частиц на 1,5 абс. % и более;

содержания песка в щебне и щебня в песке на 2 абс. % и более;

влажности заполнителей на 0,5 абс. % и более;

осадки конуса или жесткости бетонной смеси соответственно на 2 см или 5 с и более.

11.3. 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.

11.4. Отклонение прочности бетона от среднего уровня считают устойчивым, если:

средняя прочность бетона в партии по ГОСТ 18105–86 в двух партиях подряд ниже требуемой;

средняя прочность бетона в партии в трех партиях подряд выше верхней предупредительной границы по ГОСТ 18105–86;

в десяти партиях подряд средняя прочность бетона в партии выше (или ниже) среднего уровня прочности.

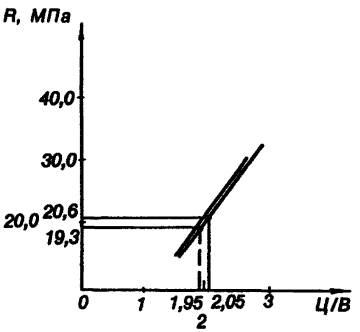
11.5. Регулирование удобоукладываемости бетонной смеси при изменении влажности заполнителей рабочего состава следует проводить корректировкой расхода воды. В других случаях следует пересматривать номинальный состав бетона.

11.6. Регулирование прочности бетона рекомендуется, как правило, проводить корректировкой расхода цемента в рабочем составе бетона. В отдельных случаях регулирование прочности бетона может производиться без изменения рабочего состава бетона, например, корректировкой режима твердения бетона.

11.7. Корректировку расходов воды и цемента следует проводить с использованием предварительно построенных базовых зависимостей (черт. 17). Для этого на график базовой зависимости наносят точку, характеризующую средний показатель прочности бетона или удобоукладываемости бетонной смеси. Число единичных результатов, использованных для вычисления среднего показателя прочности бетона или удобоукладываемости бетонной смеси, принимают по пп. 11.2 –11.4. Из указанной точ-

ки на графике проводят линию, параллельную линии базовой зависимости, до пересечения с необходимым средним уровнем (средним уровнем прочности бетона или серединой интервала удобоукладываемости бетонной смеси) и точку пересечения сносят на ось расхода материала (цемента, воды) или ось *Ц/В*.

Регулирование прочности бетона корректировкой расхода цемента



Черт. 17

11.8. При корректировке расхода воды в пределах 10 л или расхода цемента в пределах 30 кг на 1 м^3 бетона допускается не корректировать расход заполнителей. При корректировке номинальных расходов воды и цемента в бо́льших пределах следует скорректировать и номинальный расход песка и крупного заполнителя по формулам:

$$П_{нов} = K \cdot r \ (П+Щ); \qquad (32)$$

$$Щ_{нов} = K \ (1-r) \ (П+Щ), \qquad (33)$$

где $П$ и $Щ$ – расходы песка и крупного заполнителя до корректировки;
$П_{нов}$ и $Щ_{нов}$ – то же, после корректировки;
K – коэффициент изменения объема бетонной смеси;
r – доля песка в смеси заполнителей (по массе).

Коэффициент K рассчитывают по формуле

$$K = 1 - 0{,}001 \ (\Delta B + \Delta Ц/\rho_ц), \qquad (34)$$

где ΔB и $\Delta Ц$ – изменение расхода воды и цемента при корректировке;
$\rho_ц$ – плотность цемента.

Пример 1. Бетонная смесь имеет заданную подвижность $ОК = 3$ см. При влажности заполнителей $W_п = 2\ \%$ и $W_щ = 1\ \%$ был произведен расчет рабочего состава по формулам (5), (6) ГОСТ 27006–86.

Номинальный состав бетона:

$$Ц = 363 \text{ кг}, \ П = 590 \text{ кг}, \ Щ = 1231 \text{ кг}, \ В = 166 \text{ л}.$$

Рабочий состав бетона при влажности песка $W_п = 2\ \%$ и щебня $W_щ = 1\ \%$:

$$П = 590\ (1 + \frac{2}{100}) = 602 \text{ кг};$$

$$Щ = 1231\ (1 + \frac{1}{100}) = 1243 \text{ кг}.$$

При контроле подвижности бетонной смеси было зафиксировано ее увеличение до 7 см. В случае, если подвижность бетонной смеси изменилась в связи с изменением влажности заполнителей и снижение расхода воды в дозировочном отделении на 10 л/м^3 не снизило подвижность бетонной смеси, в лаборатории производят определение влажности заполнителей и корректировку рабочего состава. Например, влажность заполнителей песка и щебня следующая:

$$W_п = 4\ \% \text{ и } W_щ = 2\ \%;$$

$$П = 590\ (1 + \frac{4}{100}) = 614 \text{ кг};$$

$$Щ = 1231\ (1 + \frac{2}{100}) = 1255 \text{ кг};$$

$$В = 186 - 23{,}6 - 24{,}6 = 137{,}8 \text{ л}.$$

Рабочий состав бетона при изменившейся влажности:

$$Ц = 363 \text{ кг}, \ П = 614 \text{ кг}, \ Щ = 1255 \text{ кг}, \ В = 137{,}8 \text{ л},$$

$$W_п = 4\ \%, \ W_щ = 2\ \%.$$

Данный состав бетона передают на производство.

Пример 2. Бетон с тем же номинальным составом, что в примере 1, при контроле отпускной прочности сборных изделий имел в десяти последних партиях следующую среднюю прочность: 19,5; 19,2; 19,5; 19,0; 20,5; 18,7; 18; 20,3; 19,5; 19,3 МПа. Одно значение, 18 МПа, ниже требуемой прочности бетона $R_т = 19{,}3$ МПа, однако среди рассматриваемых 10 результатов все остальные выше требуемой прочности. Следовательно, по этому признаку корректировка состава бетона не требуется (см. п. 11.4). Так как все 10 результатов были ниже среднего уровня прочности

$R_{\text{у}}$ = 20,6 МПа, необходимо несколько увеличить расход цемента для достижения заданного среднего уровня прочности.

Средняя по всем 10 партиям прочность бетона равна $R_{\text{ср}}$ = 19,3 МПа. Нанесем на черт. 17 точку с координатами $Ц/В$ = 1,95 и $R_{\text{ср}}$ = 19,3 МПа. Из нее проведем прямую, параллельную базовой зависимости, до пересечения с уровнем прочности 20,6 МПа. Полученную точку пересечения снесем на ось абсцисс и найдем $Ц/В$ = 2,05. Поскольку расход воды корректировать не надо, то скорректированный расход цемента составит $Ц_{\text{ном}}$ = = 186 · 2,05 = 381 кг.

Коррекция расхода цемента составляет 381 – 363 = 18 кг/м^3, что менее 30 кг/м^3, следовательно расход песка и щебня можно не корректировать.

ПРИЛОЖЕНИЕ

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОХРАНЯЕМОСТИ УДОБООКЛАДЫВАЕМОСТИ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

1. Общее положение

Методика распространяется на бетонные смеси, приготовляемые на основе минеральных вяжущих, на плотных и пористых заполнителях.

2. Термины и определения

Сохраняемость удобоукладываемости бетонной смеси – это время, в течение которого смесь в процессе своего выдерживания после окончания перемешивания теряет удобоукладываемость в пределах диапазонов марок по удобоукладываемости, указанных в ГОСТ 7473–85.

3. Проведение опытов

3.1 Материалы.

Следует применять цементы, мелкие и крупные заполнители, а также воду и химические добавки, удовлетворяющие требованиям стандартов по разд. 3 настоящих Рекомендаций.

3.2. Методы определения удобоукладываемости – по ГОСТ 10181.1–81.

3.3. Оборудование.

Для проведения испытаний требуется следующее дополнительное оборудование:

сосуды с гладкими, не впитывающими воду стенками и влагонепроницаемыми крышками – по ГОСТ 23932–79Е, ГОСТ 1770–74Е;

термометр – по ГОСТ 13646–68Е;

секундомер – по ГОСТ 5072–79Е;

при необходимости термостат для выдерживания сосудов с бетонной смесью – по ТУ 16.681.032–84.

3.4. Состав бетона.

Состав бетона должен обеспечивать заданную удобоукладываемость бетонной смеси сразу после окончания перемешивания и все другие нормируемые показатели качества бетона.

3.5. Изготовление бетонной смеси.

Перемешивание бетонной смеси должно происходить в лабораторном или производственном смесителе.

Объем замеса должен быть достаточным для проведения измерений в принятом диапазоне изменения удобоукладываемости смесей (табл. 19) с учетом заданной периодичности испытаний (п. 3.7).

3.6. Условия опытов.

Температура в процессе испытаний должна составлять 20±3°С, если по условиям испытаний не предусмотрены другие условия выдерживания.

3.7. Периодичность испытаний.

Первое измерение удобоукладываемости следует производить непосредственно после окончания перемешивания смеси.

Последующие измерения должны проводиться не реже чем через 30 мин.

Перед проведением измерений бетонную смесь следует выгрузить на увлажненный металлический лист, разрыхлить и усреднить ее состав путем легкого перемешивания вручную в течение не более 30 с.

Испытания следует считать законченными, когда достигнута удобоукладываемость соседнего класса смесей по ГОСТ 7473–85 с учетом точности определения жесткости ± 3 с и подвижности ± 1 см (см. табл. 19).

Для каждого определения удобоукладываемости следует использовать отдельную пробу бетонной смеси, повторное определение удобоукладываемости на этой пробе не допускается.

Таблица 19

Рекомендуемые начальные и конечные показатели удобоукладываемости бетонных смесей

Осадка конуса *ОК*, см		Жесткость *Ж*, с	
начальная	конечная	начальная	конечная
4	1	25	34
5	2	21	30
8	4	17	26
9	5	14	23
10	6	11	20
13	8	8	17
15	10	7	12
17	12	5	10
		3	8

Примечание. Промежуточные показатели следует принимать по линейной интерполяции.

3.8. Число опытов

Необходимо проведение не менее двух параллельных опытов по определению сохраняемости.

4. Обработка результатов

По результатам испытаний следует определить диапазон времени с момента окончания перемешивания смеси до достижения указанного в табл. 18 конечного показателя удобоукладываемости.

При отклонении двух результатов определения сохраняемости менее чем на 25 % следует принимать среднее арифметическое из результатов двух определений. При отклонении более чем на 25 % необходимо провести дополнительные измерения и в качестве результата использовать среднее арифметическое двух определений отличающихся не более чем на 25 %.

Сохраняемость смесей следует указывать с точностью до 30±5 мин.

По полученным результатам необходимо составить протокол испытаний, в котором указываются:

название и адрес лаборатории;

дата и время испытаний;

место отбора пробы бетонной смеси;

вид и класс бетона;

марка по удобоукладываемости бетонной смеси;

вид и марка цемента;

температура смеси в процессе испытаний;

частные результаты определения сохраняемости по каждой пробе и средний арифметический результат.

КЛАССИФИКАЦИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПО СОХРАНЯЕМОСТИ

На основе результатов определения сохраняемости бетонную смесь относят к одному из классов по сохраняемости (табл. 20).

Таблица 20

Класс смеси		Сохраняемость, мин
Обозначение	Характеристика сохраняемости	
С-1	Низкая	Менее 20
С-2	Средняя	20–60
С-3	Высокая	Более 60

Продолжение табл. 20

Примечание.

Класс С-1 характерен для смесей на быстросхватывающихся цементах; смесей с повышенной температурой ; смесей, содержащих добавки-ускорители, а также для смесей с низкими значениями *В/Ц*.

Класс С-2 для нормально схватывающихся цементов и смесей со средними значениями указанных факторов.

Класс С-3 для медленно схватывающихся цементов, смесей с пониженной температурой, смесей с добавками–замедлителями схватывания, а также смесей с повышенным значением *В/Ц*.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3

1. Общие положения 4

2. Задание на подбор состава бетона 6

3. Требования к материалам для приготовления бетона 7

4. Подбор состава тяжелого бетона, твердеющего в условиях тепловой обработки 12

5. Подбор состава тяжелого бетона с минеральными добавками 21

6. Подбор состава монолитного тяжелого бетона, твердеющего при положительной температуре 30

7. Ориентировочные составы монолитного тяжелого бетона 35

8. Подбор состава бетона с пластифицирующими и комплексными добавками 37

9. Подбор состава мелкозернистого бетона 42

10. Подбор состава мелкозернистого бетона с минеральными добавками . . . 52

11. Назначение и корректировка рабочего состава бетона 59

Приложение. Методика определения сохраняемости удобоукладываемости бетонных смесей 64

Нормативно-производственное издание

ГОССТРОЙ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДБОРУ СОСТАВОВ ТЯЖЕЛЫХ И МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

(к ГОСТ 27006–86)

Подготовлены к изданию Центральным институтом типового проектирования (ЦИТП) Госстроя СССР

Ответственные за выпуск: *Л. Н. Шитова, Л. И. Месяцева*

Исполнители: *Е. Д. Рагулина, Г. Н. Каляпина, Н. Г. Новак*

Подписано в печать 30.05.90. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная № 1.
Печать офсетная. Набор машинописный.
Печ. л. 4,5. Усл. печ. л. 4,185. Усл. кр.-отт. 4,42. Уч.-изд. л. 3,78.
Тираж 1500 экз. Заказ № 1324. Цена 71 коп.

Набрано и отпечатано в Центральном институте типового проектирования (ЦИТП) Госстроя СССР

125878, ГСП, Москва, А-445, ул. Смольная, 22

ДЛЯ ЗАМЕТОК

gost.e-ecolog.ru