МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет
им. К. И. Сатпаева

К. А. Акмалаев

ЛАБОРАТОРНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА

Рекомендовано Научно-методическим советом
университета в качестве учебного пособия

Алматы 2015

УДК 691.32 (075.8)
ББК 38.33 я 73
А 40

Рецензенты:
Жугинисов М. Т., проф. каф. «Технология строительных материалов, изделий и конструкций» КазНТУ им. К. И. Сатпаева, д-р техн. наук, проф.
Мусаев Т.С., проф. кафедры «Мосты и сооружения» КазАТК им. М.Тынышпаева, д-р техн. наук, проф.
Махамбетова У. К., проф. каф. «Строительные материалы» КазГАСА, д-р. техн. наук, проф.

Акмалаев К. А.
А 40 Лабораторное определение свойств бетона: Учеб. пособие. – Алматы: КазНТУ им. К. И. Сатпаева, 2015. – 129 с. Ил. 27. Табл. 31. Библиогр. – 17 назв.
ISBN 978-601-228-788-2

В пособии описаны испытания и методы определения свойства основных компонентов бетона, а также свойства и расчета состава композиции для изготовления бетона. Излагается перечень необходимого оборудования, приборов и приспособлений, методы исследования основных свойств бетонной смеси и бетона.

Учебное пособие предназначено для студентов строительных специальностей высших учебных заведений, инженеров-строителей и работников строительных лабораторий.

УДК 691.32 (075.8)
ББК 38.33 я 73

Печатается по плану издания Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2015 год.

ISBN 978-601-228-788-2

© Акмалаев К. А., 2015
© КазНТУ, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающий размах строительства в Казахстане требует огромного количества строительных материалов. Поэтому одним из важнейших мероприятий в деле улучшения строительства является умелый подбор и использование материалов, поступающих на стройплощадку, потому что используемые материалы составляют значительную часть стоимости строительства.

Требования к повышению качества строительства делают особо важной роль лаборатории на стройплощадке. Лаборатория должна принимать участие во всем процессе прохождения материалов на строительство. В задачи лаборатории входят: качественная оценка материалов при приемке, надзор за условиями хранения материалов, подбор составов материалов, изготовляемых непосредственно на стройплощадке, контроль за использованием материалов в дело и т. д., т. е. своевременное проведение необходимых для этой цели исследовательских работ.

Чтобы успешно решить эти задачи, лаборатория на стройплощадке должна иметь необходимое оборудование, инвентарь и пособия.

Имеющаяся учебная и производственно-техническая литература по бетонам дает, в основном, лишь описание технологических процессов производства бетонов и их свойств, что же касается методики испытания бетонов, то в этом отношения в большинстве случаев обычно ограничиваются действующими методическими указаниями, ГОСТ, ТУ и иными нормативными документами. Поэтому настоящее методическое пособие имеет целью оказать практическую помощь непосредственно работникам лаборатории и производственникам в строительстве проводить испытания в полном объеме.

К бетонам, используемым для строительных конструкций, предъявляются высокие требования по прочности, плотности,

водонепроницаемости и другим механическим свойствам. Соблюдение этих требований во многом зависит от правильного расчета и приготовления бетона, поэтому освоение методики определения состава бетона можно считать одним из основных условий обеспечения качества продукции.

Данное пособие будет способствовать приобретению знаний основных требований нормативных документов по бетонам и исходным материалам для их получения, приобретению навыков по выбору составляющих для бетонов и проектированию их состава, освоению методики испытаний строительных материалов и определения механических свойств бетонов.

В большинстве случаев показатели необходимого качества материалов приводятся в настоящем пособии исходя из полного объема требований, предусматриваемых стандартах.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О БЕТОНЕ

Бетонами называют искусственные каменные материалы, получаемые в результате формования и затвердевания рационально подобранной смеси вяжущего вещества с водой, мелким и крупным заполнителями. Смесь этих материалов до затвердевания называют *бетонной смесью*. Бетон во всех областях строительства является основным строительным материалом.

В соответствии с требованием бетоны классифицируют по основному назначению, виду вяжущего, виду заполнителя, структуре.

В зависимости от основного назначения бетоны подразделяют на конструкционные и специальные (жаростойкие, химически стойкие, декоративные, радиационно-защитные, теплоизоляционные и др.).

Виды вяжущего для бетонов – цементное, известковое, гипсовое, специальное.

Виды заполнителей – плотные, пористые и специальные.

Структура бетонов бывает плотной, поризованной, ячеистой и крупнопористой.

По показателям прочности устанавливаются их гарантированные значения – классы, которые принимаются по следующим контролируемым характеристикам: прочность на сжатие, прочность на растяжение, морозостойкость, водонепроницаемость.

Класс (марка) бетона по прочности определяется прочностью базовых образцов бетона в установленном проектном возрасте. Марку по морозостойкости устанавливают по количеству циклов попеременного замораживания и оттаивания в воде, которое выдерживают контрольные образцы.

Марка бетона по водонепроницаемости принимается по максимальному значению давления воды, при котором не наблюдается ее просачивания через контрольные образцы.

Марка бетона по средней плотности определяется фактическим значением показателя массы в единице объема (кг/м^3) образцов.

Основным является класс бетона по прочности на сжатие. Класс бетона определяется значением гарантированной прочности на сжатие. Бетоны подразделяют на классы: В1; В1,5; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30; В35; В40; В50; В55; В60. Прочность бетона зависит от вида и активности цемента, значения цементно-водного отношения, прочности заполнителя, степени уплотнения бетонной смеси, условий и сроков ее твердения.

По средней плотности (кг/м^3) бетоны подразделяют на особо тяжелые – более 2500, тяжелые – 1800–2500, легкие 500–1800, особо легкие – менее 500. Плотность бетона зависит от вида заполнителей, технологии его изготовления и состава.

По крупности заполнителей бетоны классифицируют на крупнозернистые (с заполнителем максимальной крупности зерен более 10 мм, песчаные – менее 5 мм).

Вяжущим для тяжелых бетонов служат портландцемент, шлакопортландцемент и их разновидности, а также сульфатостойкие и пуццолановые цементы.

В качестве крупных и мелких заполнителей применяют щебень из природного камня, гравий, щебень из гравия и песок, удовлетворяющие требованиям.

Для улучшения свойств бетонной смеси и бетона применяют химические добавки, которые выбирают в зависимости от технологии производства и проектных характеристик бетона. Бетоны с морозостойкостью 200 циклов и выше из подвижных смесей изготовляют с воздухововлекающими или пластифицирующе-воздухововлекающими добавками; бетонные смеси подвижностью 10–15 см и более – с пластифицирующими добавками, в том числе с суперпластификаторами, без увеличения расхода цемента.

Усадка и набухание бетона связаны с изменениями объема цементного камня в результате высыхания и увлажнения. Усадка тем больше, чем выше расход цемента и начальное содержание воды. Она происходит неравномерно по слоям изделия, вызывая усадочные напряжения, способствующие образованию трещин. Конечная усадка тяжелых бетонов 0,3–0,6 мм/м. Уменьшает усадку армирование бетона.

Морозостойкость бетона определяется стойкостью всех его составляющих, прежде всего цементного камня, и увеличивается с уменьшением в бетоне объема капиллярных пор. Марка по морозостойкости 100, 200, 300.

Химическая стойкость тяжелого бетона достигается высокой плотностью бетона и видом цемента: сульфатостойкого при сульфатной коррозии, пуццоланового или цемента с малым выделением свободной извести – при выщелачивании.

Общие требования ко всем бетонам и бетонным смесям следующие: до затвердевания бетонные смеси должны легко перемешиваться, транспортироваться, укладываться (обладать подвижностью и удобоукладываемостью, не расслаиваться); бетоны должны иметь определенную скорость твердения в соответствии с заданными сроками распалубки и ввода конструкции или сооружения в эксплуатацию; расход цемента и стоимость бетона должны быть минимальными.

Получить бетон, удовлетворяющий всем установленным требованиям, можно при правильном проектировании состава бетона, надлежащих приготовлении, укладки и уплотнения бетонной смеси, а также при правильном выдерживании бетона в начальный период его твердения.

Бетоны применяют для различных видов конструкций, изготовляемых на заводах и возводимых непосредственно на месте их будущей эксплуатации – монолитный бетон.

2. ПОЛОЖЕНИЕ О СТРОИТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

2.1. Общие положения

В строительной лаборатории, выпускающей бетонные изделия, организована система контроля производства продукции, исключающая возможность выпуска недоброкачественных бетонов, не отвечающих проектным требованиям и техническим условиям.

Строительная лаборатория в своей деятельности руководствуется законами Республики Казахстан, СНиП, стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами.

Строительная лаборатория организована для испытания материалов, разработки рациональных составов бетонов, разработки технологических режимов и осуществления контроля за качеством применяемых материалов.

Строительная лаборатория оснащена оборудованием, необходимым для выполнения возложенных на неё задач, а также нормативно-технической документацией.

Штаты лаборатории устанавливаются в зависимости от характера работ и объёма выпускаемой продукции.

Начальник строительной лаборатории должен иметь высшее техническое профильное образование и быть квалифицированным специалистом.

На работников лаборатории распространяются все положения, регламентирующие условия труда, оплаты и премирования за достигнутые производственные показатели, относящиеся к производственно-техническому персоналу.

Руководители компании обеспечивают все необходимые условия для успешной работы строительной лаборатории. Лаборатории предоставляется соответствующее помещение, необходимое оборудование, инвентарь, приборы и материалы по мотивированному и обоснованному заявлению начальника лаборатории.

2.2. Обязанности строительной лаборатории

Проводить испытания заполнителей для бетона, цементов, добавок в бетоны, используемых при производстве изделий.

Проектировать составы бетонов на основе экспериментального подбора составов бетонных смесей на цементе и заполнителях, предназначенных для изготовления конструкций.

Выдавать на производство утверждённые составы бетонных смесей и давать указания техническому персоналу по приготовлению бетонных смесей.

Проверять соответствие поступающих материалов их паспортам и сертификатам путём контрольных испытаний, докладывать руководству о случаях несоответствия качества материалов требованиям стандартов, техническим условиям проекта, передавать работникам снабжения результаты испытаний для предъявления поставщикам рекламаций в тех случаях, когда поступившие материалы не удовлетворяют требованиям стандарта или иных стандартов, действующих у поставщика.

Определять качество бетона в готовых изделиях путём испытания контрольных образцов физическими и механическими методами.

Осуществлять контроль за дозировкой и приготовлением бетонов, растворов, подбор их составов и выдачу разрешений на их применение.

Проводить отбор проб цемента, заполнителя, бетонных и растворных смесей, изготовление образцов и их испытания, контроль за состоянием бетона в основаниях (промерзание, оттаивание).

Участвовать в разработке и проведении мероприятий по освоению новых изделий, внедрению новых материалов, освоению технологических операций.

Оказывать помощь техническому персоналу в повышении квалификации и участвовать в проверке квалификации.

Строительная лаборатория обязана вести журналы регистрации осуществлённого контроля испытаний, в том числе отбора проб, испытаний строительных материалов и изделий,

подбора различных бетонных составов, растворов и контроля за соблюдением технологических режимов при производстве работ, регистрации температуры наружного воздуха.

Строительная лаборатория обязана своевременно вносить руководству предложения о приостановлении производства строительно-монтажных работ, осуществляемых с нарушением нормативных требований, снижающих прочность и устойчивость конструкций.

Вести контроль работы склада строительных материалов для бетона, обеспечить условия хранения и отбраковку материалов.

2.3. Права и ответственность строительной лаборатории

Строительная лаборатория имеет право:

– контролировать все производственные операции на предприятиях, а также проверять первичную техническую документацию и отчётность;

– давать техническому персоналу устные и письменные указания о принятии необходимых мер по устранению обнаруженных недостатков и дефектов в работе;

– запрещать проведение работ в случаях применения недоброкачественных метериалов или несоблюдения технологических правил при изготовлении.

Строительная лаборатория по вопросам, входящим в её компетенцию, даёт указания, обязательные для производственного линейного персонала.

Распоряжения о запрещении проведения работ даются начальником лаборатории техническому персоналу и являются обязательными для исполнения. О запрещении работ лаборатория немедленно сообщает руководителям фирм и подразделений для принятия необходимых мер.

За невыполнение указаний лаборатории по устранению обнаруженных недостатков и дефектов в работе и распоряжений о запрещении работ технический персонал несёт ответственность в установленном порядке.

Распоряжения строительной лаборатории о запрещении работ могут быть отменены только распоряжениями руководителя компании.

Сотрудники строительной лаборатории несут ответственность в установленном действующим законодательством порядке:

– за выполнение своих функций и обязанностей, изложенных в настоящем «Положении»;

– за состояние лабораторного оборудования и инвентаря, а также своевременную поверку лабораторных приборов;

– за соблюдение ГОСТов, технических условий и других нормативных документов при проведении испытаний материалов и контроле качества изготовления бетонных изделий.

Начальник строительной лаборатории несёт ответственность за выпуск и отгрузку продукции, изготовленной с нарушениями стандарта технических условий, технологических правил, не удовлетворяющей требованиям проектов.

3. ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОСТАВЛЯЮЩИХ БЕТОНА

3.1. Отбор проб цемента

Отбор проб для производственного контроля осуществляют в соответствии с технологической документацией изготовителя.

Результаты испытаний пробы, отобранной в соответствии с требованиями настоящего стандарта, распространяются только на ту партию цемента, из которой отобрана проба. Не допускается составлять объединенную пробу из цемента разных партий.

Из контейнеров или другой тары пробу берут с глубины не менее 15 см. Массу точечных проб определяют таким образом, чтобы масса объединенной пробы, составленной из них, была не менее 20 кг. Для приготовления объединенной пробы все точечные пробы, отобранные из одной партии, соединяют и тщательно перемешивают вручную или механическим способом. Объединенную пробу высыпают на ровную, сухую и чистую поверхность.

Партия цемента может быть принята, если результаты испытаний по всем показателям соответствуют требованиям нормативного документа, если иное в части рекомендуемых показателей не предусмотрено контрактом на поставку цемента. Каждая партия цемента, поставляемая в один адрес, должна сопровождаться документом о качестве, в котором указывают:

- наименование изготовителя, его товарный знак и адрес;
- наименование и условное обозначение цемента по нормативному документу;
- номер партии и дату отгрузки;
- вид и количество минеральной добавки в цементе;
- класс по прочности (марку) цемента;
- нормальную густоту цементного теста;
- гарантийный срок соответствия цемента требованиям нормативного документа.

Если цемент обладает признаками ложного схватывания, то это должно быть указано в документе о качестве. Перечень показателей, приводимых в документе о качестве, может быть

дополнен или изменен в соответствии с требованиями нормативного документа на цемент конкретного вида.

При контроле качества цемента потребителем, в случае предъявления претензий, контрольные испытания следует проводить в испытательных лабораториях, аккредитованных для проведения сертификационных испытаний цемента, уполномоченных для этих целей органом государственного управления строительством. С согласия представителей органов надзора, проверяющих качество цемента, контрольные испытания могут быть проведены в лаборатории изготовителя.

При контроле качества цемента потребителем результаты контрольных испытаний данной партии считают удовлетворительными, если они по всем показателям качества соответствуют требованиям нормативного документа для цемента данного вида, класса прочности (марки), если иное в части рекомендуемых показателей не предусмотрено контрактом на поставку цемента.

Цемент должен храниться раздельно по типам и классам прочности (маркам). Смешивание цементов различных типов и классов прочности (марок), а также загрязнение его посторонними примесями и увлажнение не допускаются. Пробы цемента до испытания хранят в сухом помещении. Перед испытанием каждую пробу просеивают через сито с сеткой № 09. Остаток на сите взвешивают и отбрасывают. Массу остатка в процентах, а также его характеристику (наличие комков, кусков дерева, металла и пр.) заносят в рабочий журнал. После просеивания пробу цемента перемешивают.

Испытания следует проводить в помещениях с температурой воздуха 20 ^{o}C и относительной влажностью не менее 50 %. Перед испытанием цемент, песок и воду выдерживают до принятия ими температуры помещения. Для приготовления и хранения образцов применяют обычную питьевую воду. Сосуд для отвешивания или отмеривания воды тарируют в смоченном состоянии. Температура помещения влажного хранения образцов и воды в ваннах должна быть 20 ^{o}C. Цемент и песок отвешивают с точностью до 1 г, воду отвешивают или отмеривают с точностью до 0,5 г или 0,5 мл.

3.2. Определение плотности цемента

Для производства сборных бетонных и железобетонных изделий в качестве вяжущих веществ могут быть использованы различные виды портландцементов. В зависимости от состава их разделяют на портландцемент, быстротвердеющий портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент, сульфатостойкий портландцемент, сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками, сульфатостойкий шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент.

Как правильный выбор, так и физико-механические характеристики цемента (плотность, насыпная плотность и плотность в уплотненном состоянии, нормальная густота цементного теста, активность и марка цемента) имеют большое значение в технологии бетона.

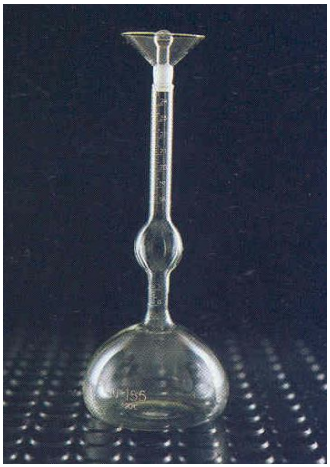


Рис. 3.1. Прибор Ле-Шателье

Определение плотности цемента необходимо проводить в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 310.2–76, п. 2. Для этого используют стеклянный объемомер – прибор Ле-Шателье (рис. 3.1). Объемомер закрепляют на штативе и

помещают в стеклянный сосуд с водой, имеющей температуру, при которой проводилась тарировка прибора. Уровень воды в сосуде должен быть выше градуированной части прибора.

Объемомер наполняют обезвоженным керосином до нижней нулевой черты по нижнему мениску, после чего верхнюю его часть, расположенную выше нулевой черты, тщательно протирают тампоном из фильтровальной бумаги.

От пробы цемента, предварительно высушенной в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С в течение 2 ч и охлажденной в эксикаторе, берут навеску цемента массой 65 г, высыпают его в прибор ложечкой через воронку небольшими порциями так, чтобы не вовлекать пузырьки воздуха. Прибор наполняют до тех пор, пока уровень жидкости в нем не поднимется до одного из делений в пределах верхней градуированной части. Для удаления пузырьков воздуха, вовлеченных частицами цемента, прибор с содержимым вынимают из сосуда с водой и поворачивают его в наклонном положении в течение 10 мин на гладком резиновом коврике. После этого прибор снова помещают в сосуд с водой не менее чем на 10 мин и затем проводят отсчет уровня жидкости в приборе. Если в прибор всыпана не вся навеска цемента, проводят взвешивание остатка и вычисляют навеску цемента, помещенную в прибор.

Плотность цемента ρ (г/см^3) вычисляют по формуле

$$\rho = m / V,$$

где m – навеска цемента, г; V – объем жидкости, вытесненной цементом, см^3.

Плотность цемента вычисляют с точностью до 0,01 г/см^3 как среднее арифметическое значение результатов двух определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,02 г/см^3.

Стандарт также допускает использование других методов определения плотности с точностью не менее ±0,01 г/см^3. При достаточном опыте исполнителя определение плотности цемента можно производить, пользуясь мерным цилиндром вместимостью 10 мл и с ценой деления 0,1 мл.

Насыпная плотность цемента используется при технологических расчетах загрузки бетоносмесителей, вместимости бункеров и складских помещений. Определение производят посредством мерного цилиндра вместимостью 1000 $см^3$ и больше и воронки в виде усеченного конуса, переходящего внизу в трубку с задвижкой.

Для определения насыпной плотности цемента мерный цилиндр ставят на стол, размещая над ним воронку с закрытой задвижкой. Расстояние от выходного отверстия в воронке до верхней грани цилиндра должно составлять 50 мм. В воронку помещают около 2 кг цемента и открывают задвижку для высыпания цемента в цилиндр. Все операции по заполнению цилиндра цементом должны совершаться без встряхиваний. Цилиндр заполняют цементом до образования конуса над его поверхностью, задвижку закрывают и ножом или линейкой осторожно срезают излишек цемента вровень с краями цилиндра. После этого цилиндр с цементом взвешивают. Насыпную плотность $\rho_н$ вычисляют с точностью до 10 $кг/м^3$ по формуле

$$\rho_н = (m_1 – m_2) / V,$$

где m – масса мерного цилиндра, кг; m – масса мерного цилиндра с цементом, кг; V – объем мерного цилиндра, $м^3$.

Насыпную плотность вычисляют как среднее арифметическое значений.

Насыпную плотность можно определять без стандартной воронки. В этом случае цемент без встряхиваний насыпают в цилиндр с совка, расположенного на расстоянии 50 мм от верхнего края цилиндра. Все остальные операции производят в вышеописанном порядке.

3.3. Определение тонкости помола

Сито с сеткой № 008 должно быть хорошо натянуто и плотно зажато в цилиндрической обойме. Сетку сита периодически осматривают в лупу. При обнаружении каких-либо дефектов (дырки, отход ткани от обоймы и т.д.) сетку заменяют новой. Подготовленную пробу цемента высушивают в сушильном шкафу при температуре 105 – 110 ^oC в течение 2 ч и охлаждают в эксикаторе.

При использовании прибора для механического просеивания отвешивают 50 г цемента с точностью до 0,05 г и высыпают его на сито. Закрыв сито крышкой, устанавливают его в прибор для механического просеивания. Через 5–7 мин от начала просеивания останавливают прибор, осторожно снимают донышко и высыпают из него прошедший через сито цемент, прочищают сетку с нижней стороны мягкой кистью, вставляют донышко и продолжают просеивание. Операцию просеивания считают законченной, если при контрольном просеивании сквозь сито проходит не более 0,05 г цемента. Контрольное просеивание выполняют вручную при снятом донышке на бумагу в течение 1 мин.

При отсутствии в лаборатории приборов для механического просеивания цемента допускается производить ручное просеивание. Тонкость помола цемента определяют как остаток на сите с сеткой № 008 в процентах к первоначальной массе просеиваемой пробы с точностью до 0,1 %.

3.4. Определение нормальной густоты цементного теста

Нормальная густота цементного теста характеризуется процентным содержанием воды, требующейся для получения его стандартной консистенции, при которой пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5–7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Прибор Вика

Масса передвижного металлического стержня прибора с пестиком должна быть в пределах (300±2) г. Кольцо к прибору Вика и пластинка, на которую устанавливают кольцо во время испытания, должны быть изготовлены из нержавеющей стали, пластмассы или стекла. Приготовление цементного теста предусматривается либо механическим способом в специальной мешалке, либо вручную в чашке сферической формы посредством специальной лопатки, изготовленной из нержавеющей стали (рис. 3.3). Перед началом испытания проверяют свободное перемещение подвижного стержня прибора, чистоту пестика, положение стрелки, которая должна стоять на нуле при соприкосновении пестика с пластинкой, а также смазывают кольцо прибора и пластинку тонким слоем машинного масла.

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 г цемента и всыпают его в чашку, предварительно протертую влажной тканью, делают в цементе углубление, в которое одним приемом вливают воду в количестве, необходимом (ориентировочно) для получения цементного теста нормальной густоты. Объем воды для первого пробного затворения цемента принимают равным 100 $см^3$ или 25 % от массы цемента. Углубление, в которое была влита вода, лопаткой заполняют цементом от краев чашки и через 30 с после этого осторожно перемешивают, а затем интенсивно растирают тесто. С момента затворения цемента водой должно быть 5 мин.

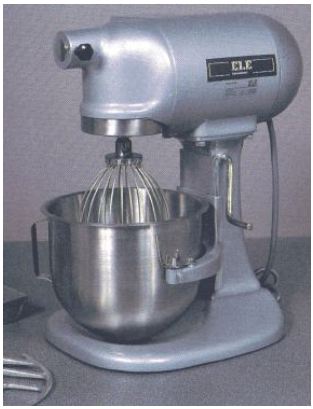


Рис. 3.3. Прибор для затворения цементного теста

Затем тесто укладывают одним приемом в кольцо прибора и 5–6 раз встряхивают, постукивая пластинкой с прижатым к ней кольцом. Избыток цементного теста срезают ножом, предварительно протертым влажной тканью. Кольцо на стеклянной пластинке ставят под пестик прибора Вика, который приводят в соприкосновение с поверхностью теста и закрепляют стопорным устройством. Затем быстро отпускают стопорное устройство, и стержень вместе с пестиком свободно погружается в тесто. Через 30 с с момента освобождения стержня фиксируют глубину его погружения по шкале. Все операции должны выполняться без толчков и встряхиваний цементного теста и прибора. Густота цементного теста считается нормальной, когда пестик не доходит до пластинки на 5–7 мм. Если пестик, погружаясь в цементное тесто, остановится выше, то опыт повторяют с большим объемом воды, а если ниже – с меньшим объемом воды, добиваясь погружения пестика на глубину, соответствующую нормальной густоте теста. Объем воды, необходимой для получения теста нормальной густоты, определяют с точностью до 0,25 %.

3.5. Определение сроков схватывания цемента

Перед началом испытания проверяют свободность опускания стержня прибора Вика (рис. 3.2), а также нулевое отклонение прибора. Кроме того, проверяют чистоту поверхности и отсутствие искривлений иглы. Иглу прибора доводят до соприкосновения с поверхностью цементного теста нормальной густоты, приготовленного и уложенного в кольцо. В этом положении закрепляют стержень стопором, затем освобождают стержень, давая игле свободно погружаться в тесто. В начале испытания, пока тесто находится в пластичном состоянии, во избежание сильного удара о пластинку иглу допускается слегка задерживать при погружении в тесто. Как только тесто загустеет настолько, что опасность повреждения иглы будет исключена, игле дают свободно опускаться. Момент начала схватывания определяют при свободном опускании иглы.

Иглу погружают в тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после каждого погружения для того, чтобы игла не

попадала в прежнее место. После каждого погружения иглу вытирают. Во время испытания прибор должен находиться в затемненном месте, где нет сквозняков, и не должен подвергаться сотрясениям.

Началом схватывания цементного теста считают время, прошедшее от начала затворения (момента приливания воды), до того момента, когда игла не доходит до пластинки на 2–4 мм. Концом схватывания цементного теста считают время от начала затворения до момента, когда игла опускается в тесто не более чем на 1–2 мм.

3.6. Определение равномерности изменения объема цемента

Для испытания на равномерность изменения объема цемента готовят тесто нормальной густоты. Две навески теста массой 75 г каждая, приготовленные в виде шариков, помещают на стеклянную пластинку, предварительно протертую машинным маслом. Постукивают ею в твердое основание до образования из шариков лепешек диаметром 7–8 см и толщиной в середине около 1 см. Лепешки заглаживают смоченным водой ножом от наружных краев к центру до образования острых краев и гладкой закругленной поверхности.

Приготовленные лепешки хранят в течение 24 ч с момента изготовления в ванне с гидравлическим затвором, а затем подвергают испытанию кипячением (рис. 3.4). По истечении времени хранения цементные лепешки вынимают из ванны, снимают с пластинок и помещают в бачок с водой на решетку. Воду в бачке доводят до кипения, которое поддерживают в течение 3 ч, после чего лепешки в бачке охлаждают и проводят их внешний осмотр немедленно после извлечения из воды.

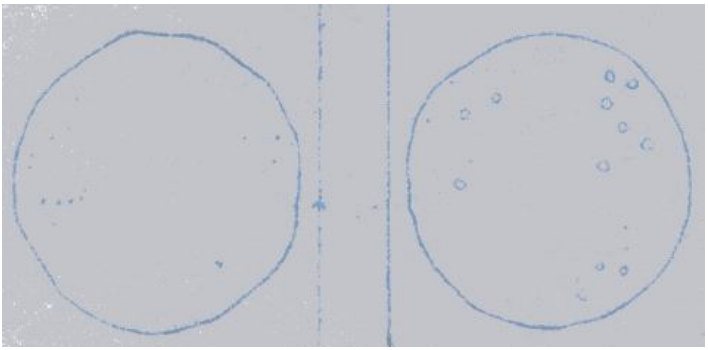
Цемент соответствует требованиям стандарта в отношении равномерности изменения объема, если на лицевой стороне лепешек не обнаружено радиальных, доходящих до краев трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу, а также каких-либо искривлений и увеличения объема лепешек.



Рис. 3.4. Ванна с гидравлическим затвором

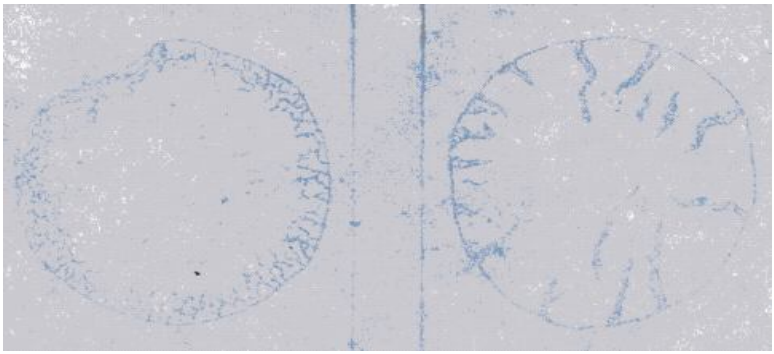
Искривления обнаруживают при помощи линейки, прикладываемой к плоской поверхности лепешки, при этом обнаруживаемые искривления не должны превышать 2 мм на краю или в середине лепешки. Допускается в первые сутки после испытаний появление трещин усыхания, не доходящих до краев лепешек, при условии сохранения звонкого звука при постукивании лепешек одна о другую. Образцы лепешек, выдержавших и не выдержавших испытание на равномерность изменения объема, приведены на рис. 3.5.

Лепешки, выдержавшие испытания на равномерность изменения объема



Лепешки, не выдержавшие испытания на равномерность изменения объема

Разрушения Радиальные трещины



Лепешки, не выдержавшие испытания на равномерность изменения объема

Лепешки, выдержавшие испытания на равнмерность изменения объема

Искривление Трещины усыхания

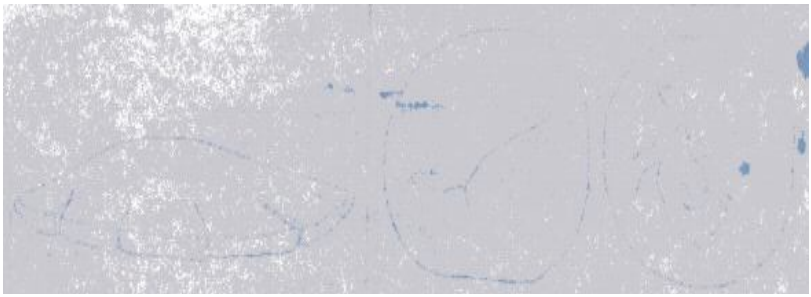


Рис. 3.5

3.7. Определение консистенции цементного раствора

Для определения консистенции цементного раствора отвешивают 1500 г стандартного песка, 500 г цемента и 200 г воды (В/Ц = 0,40). Компоненты загружают в предварительно

протертую влажной тканью чашу лопастной мешалки в следующей последовательности: песок, вода, цемент. Чашу устанавливают на мешалку и производят перемешивание в течение 120 с.

Форму-конус с центрирующим устройством устанавливают на диск встряхивающего столика. Внутреннюю поверхность конуса и диск столика перед испытанием протирают влажной тканью (рис. 3.6).

По окончании перемешивания форму-конус заполняют раствором на половину высоты и уплотняют 15 штыкованиями металлической штыковкой. Затем наполняют конус раствором с небольшим избытком и штыкуют 10 раз. После уплотнения верхнего слоя избыток раствора удаляют ножом, расположенным под небольшим углом к торцевой поверхности конуса, снимают в вертикальном направлении. Нож предварительно протирают влажной тканью.



Рис. 3.6. Встряхивающий столик и форма-конус

Раствор встряхивают на столике 30 раз за 30±5 с, после чего штангенциркулем измеряют диаметр конуса по нижнему основанию в двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднее значение. Расплыв конуса с В/Ц = 0,40 должен быть в пределах 106 – 115 мм. Если расплыв конуса более 115 мм, количество воды уменьшают, если расплыв конуса 113–115 мм,

количество воды увеличивают. Водоцементное отношение, полученное при достижении расплыва конуса 106–115 мм, принимают для проведения дальнейших испытаний.

3.8. Определение предела прочности цемента

Непосредственно перед изготовлением образцов внутреннюю поверхность стенок форм и поддона слегка смазывают машинным маслом. Стыки наружных стенок друг с другом и с поддоном формы промазывают тонким слоем солидола или другой густой смазки. На собранную форму устанавливают насадку и промазывают снаружи густой смазкой стык между формой и насадкой.

Для определения прочностных характеристик цемента изготавливают образцы-балочки из цементного раствора, приготовленного с В/Ц=0,40 и консистенцией, характеризуемой расплывом конуса 106–115 мм. Для каждого установленного срока испытаний изготовливают по три образца.

Форму по высоте наполняют раствором приблизительно на 1 см и включают вибрационную площадку. В течение первых 2 мин вибрации все три гнезда формы равномерно небольшими порциями заполняют раствором. По истечении 3 мин от начала вибрации виброплощадку отключают. Форму снимают с виброплощадки, и избыток раствора удаляют ножом, расположенным под небольшим углом к поверхности укладки, заглаживая с нажимом раствор вровень с краями формы. Образцы маркируют. Нож предварительно должен быть протерт влажной тканью.

После изготовления образцы в формах хранят (24±1) ч в ванне с гидравлическим затвором или в шкафу, обеспечивающем относительную влажность воздуха не менее 90 %. По истечении времени хранения образцы осторожно расформовывают и укладывают в ванну с питьевой водой в горизонтальном положении так, чтобы они не соприкасались друг с другом. Вода должна покрывать образцы не менее чем на 2 см. Воду меняют через каждые 14 сут. Температура ее при замене должна быть (20±2) ^{o}C, как и при хранении образцов.

Образцы, имеющие через (24±1) ч прочность, недостаточную для расформовки их без повреждения, допускается вынимать из формы через (48±2) ч, указывая этот срок в рабочем журнале. По истечении срока хранения образцы вынимают из воды и не позднее чем через 30 мин подвергают испытанию. Непосредственно перед испытанием образцы должны быть вытерты.

Образцы испытывают в соответствии с инструкцией, приложенной к прибору. Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое значение двух наибольших результатов испытания трех образцов. Предел прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое значение четырех наибольших результатов испытания 6 образцов.

Мелкие заполнители

3.9. Отбор проб песка

Пригодность песков для бетона определяется контрольной проверкой их качества. Для контрольной проверки качества песок берут от каждой партии. Для испытаний песка отбирают частичные пробы, из которых путем их объединения получают среднюю пробу. На открытом складе пробы отбирают в точках, находящихся на различной высоте от вершины до основания конуса. Для отбора точечной пробы выкапывают лунку глубиной 0,2–0,4 м. Из лунки пробу песка отбирают совком, перемещая его снизу вверх вдоль стенки лунки. Частичные пробы тщательно смешивают и перед испытанием уменьшают методом квартования.

Отобранную пробу в лаборатории взвешивают с точностью до 0,1 г и высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре (110±5) ^{o}C (разница в массе при двух последовательных взвешиваниях должна быть не более 0,1 %). Время между последовательными взвешиваниями – не менее 3 ч.

3.10. Определение зернового состава и модуля крупности

Для определения зернового состава песка применяют ситовой анализ. Для этого пробу песка 2 кг высушивают, просеивают на ситах с отверстиями диаметром 5 и 10 мм и полученные остатки взвешивают с точностью до 0,1 %. Далее определяют содержание в песке зерен крупностью 5–10 мм и более по формуле

$$\alpha_i = m_i \cdot 100/m,$$

где α_i – частный остаток на сите, %; m_i – масса остатка на сите, г; m – масса просеиваемой навески, г.

Из части пробы песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отбирают навеску массой не менее 1000 г для определения зернового состава песка и просеивают на комплекте сит, последовательно расположенных по мере уменьшения размера отверстий в них (2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 мм) (рис. 3.7).

Просеивание проводят механическим способом. Продолжительность механического просеивания для применяемого прибора устанавливают опытным путем. Остатки песка на каждом сите взвешивают и вычисляют частные остатки с точностью до 0,1 %

$$\alpha_i = m_i \cdot 100/m,$$

где α_i – частный остаток на сите, %; m_i – масса остатка на сите, г; m – масса просеиваемой навески, г.

По частным остаткам определяют полные остатки. Полный остаток вычисляют как сумму частных остатков на всех ситах в процентах по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \ldots + a_i,$$

где $a_{2,5}$, $a_{1,25}$, $a_{i\ldots}$ – частные остатки на соответствующих ситах, %;

По результатам просеивания по полным остаткам строится график пригодности песка для бетонов (рис. 3.8). По горизонтальной оси откладывают диаметры отверстий на ситах с сеткой 0,14; 0,315; 0,63; 1,25;

5,0 мм, а по вертикальной – значение полных остатков на соответствующих ситах. Полученные точки соединяют отрезками, образующими ломаную линию, близкую к кривой. Если кривая, характеризующая зерновой состав песка, располагается в рекомендуемой части графика, то его используют для приготовления бетонов. Если кривая располагается выше рекомендуемой части, то песок считается мелким, а если ниже – чрезмерно крупным.

В песке для бетонов и растворов количество мелких частиц, прошедших сквозь сито с отверстием 0,14 мм, не должно превышать 10 %, а содержание зерен размером от 5 до 10 мм не должно быть более 5 % по массе. В песке не допускается наличие зерен размером более 10 мм.



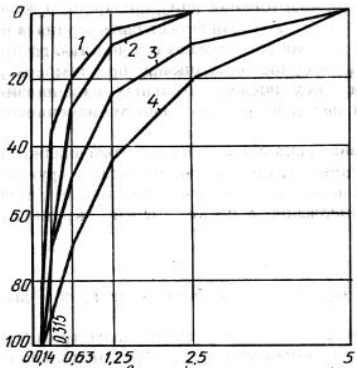
Рис. 3.7. Набор сит с сетками

Качество зернового состава песка характеризуется также модулем крупности, который вычисляют с точностью до 0,1 по формуле

$$M_к = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}) / 100,$$

где $A_{2,5}$, $A_{1,25}$,$A_{0,63}$, $A_{0,315}$, $A_{0,14}$ – полные остатки на соответствующих ситах, %.

Пески для строительных работ в зависимости от зернового состава подразделяют на следующие группы: крупные, средние, мелкие и очень мелкие. Для каждой группы песка значения модуля крупности и полный остаток на сите № 063 должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 3.1.



Размеры отверстий котрольных сит, мм

Рис. 3.8. График пригодности песка для бетона:
1 – допускаемая нижняя граница песка (Мк – 1,5); 2 – рекомендуемая нижняя граница крупности песка (Мк – 2,0); 3 – рекомендуемая нижняя граница крупности песка (Мк – 2,5); 4 – допускаемая верхняя граница крупности песка (Мк – 3,25)

Таблица 3.1

Классификация песков по зерновому составу

Группа песка	Модуль крупности	Полный остаток на сите № 063, % по массе
Крупный	свыше 2,5	свыше 45
Средний	2,0–2,5	30–45
Мелкий	1,5–2,0	10–30
Очень мелкий	1,0–1,5	до 10

3.11. Определение истинной плотности песка

Из аналитической пробы песка берут навеску около 30 г, просеивают ее через сито с отверстиями диаметром 5 мм, высушивают до постоянной массы и охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над концентрированной серной кислотой или безводным хлоридом кальция. Высушенный песок перемешивают и делят на две части.

Каждую часть навески всыпают в чистый высушенный и предварительно взвешенный пикнометр, после чего взвешивают его вместе с песком. Затем наливают в пикнометр дистиллированную воду в таком количестве, чтобы пикнометр был заполнен примерно на $^2/_3$ его объема, перемешивают содержимое и ставят его в слегка наклонном положении на песчаную ванну или водяную баню. Содержимое пикнометра кипятят в течение 15–20 мин для удаления пузырьков воздуха; пузырьки воздуха могут быть удалены также путем выдерживания пикнометра под вакуумом в эксикаторе.

После удаления воздуха пикнометр обтирают, охлаждают, до температуры помещения, доливают до метки дистиллированной водой и взвешивают. После этого пикнометр освобождают от содержимого, промывают, наполняют до метки дистиллированной водой и снова взвешивают. Все взвешивания производят с погрешностью до 0,01 г.

Истинную плотность песка (ρ), г/см^3, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{(m - m_1)p_в}{m - m_1 + m_2 - m_3},$$

где m – масса пикнометра с песком, г; m_1 – масса пустого пикнометра, г;

m_2 – масса пикнометра с дистиллированной водой, г; m_3 – масса пикнометра с песком и дистиллированной водой после удаления пузырьков воздуха, г; $\rho_в$ – плотность воды, равная 1 г/см^3.

Расхождение между результатами двух определений истинной плотности не должно быть более 0,02 г/см^3. В случаях больших расхождений проводят третье определение и вычисляют среднее арифметическое двух ближайших значений.

3.12. Ускоренное определение истинной плотности песка

Определение плотности зерен песка допускается проводить ускоренным методом при помощи прибора Ле-Шателье. Для этого из средней пробы берут около 200 г песка, просеивают его через сито с размером отверстий 5 мм, насыпают в стаканчик для взвешивания или в фарфоровую чашку, высушивают до постоянной массы и охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над концентрированной серной кислотой или над безводным хлоридом кальция. После этого отвешивают две навески массой по 75 г каждая.

Прибор Ле-Шателье наполняют водой до нижней нулевой риски, причем уровень воды определяют по нижнему мениску. Каждую навеску песка всыпают через воронку прибора небольшими равномерными порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе, определенный по нижнему мениску, не поднимется до риски с делением 20 мл (или другим делением в пределах верхней градуированной части прибора). Для удаления пузырьков воздуха прибор поворачивают несколько раз вокруг его вертикальной оси. Остаток песка, не вошедший в прибор, взвешивают. Все взвешивания при испытании производят с точностью до 0,01 г.

Плотность зерен песка (г/см^3) вычисляют по формуле

$$\rho = (m - m_1) / V,$$

где m – масса навески песка, г; m_1 – масса остатка песка, г; V – объем воды, вытесненной песком, мл.

Расхождение между результатами двух определений истинной плотности не должно быть более 0,02 г/см^3. В случаях больших расхождений проводят третье определение и вычисляют среднее арифметическое двух ближайших значений.

3.13. Определение насыпной плотности песка

Насыпную плотность определяют путем взвешивания песка в мерных сосудах. При определении насыпной плотности в

стандартном неуплотненном состоянии при входном контроле испытания проводят в мерном цилиндрическом сосуде вместимостью 1 л, используя около 5 кг песка, высушенного до постоянной массы и просеянного через сито с круглыми отверстиями диамертом 5 мм.

При определении насыпной плотности песка в партии для перевода количества поставляемого песка из единиц массы в объемные единицы при приемочном контроле испытания проводят в мерном цилиндрическом сосуде вместимостью 10 л. Песок испытывают в состоянии естественной влажности без просеивания через сито с отверстиями диаметром 5 мм.

При определении насыпной плотности песка в стандартном неуплотненном состоянии песок насыпают совком в предварительно взвешенный мерный цилиндр с высоты 10 см от верхнего края до образования над верхом цилиндра конуса. Конус без уплотнения песка снимают вровень с краями сосуда металлической линейкой, после чего сосуд с песком взвешивают.

При определении насыпной плотности песка в партии для перевода количества поставляемого песка из единиц массы в объемные единицы песок насыпают совком в предварительно взвешенный мерный цилиндр с высоты 100 см от верхнего края цилиндра до образования над верхом цилиндра конуса. Конус без уплотнения песка снимают вровень с краями сосуда металлической линейкой, после чего сосуд с песком взвешивают.

Насыпную плотность песка ($\rho_н$), кг/м^3, вычисляют по формуле

$$\rho_н = m_1 – m / V,$$

где m – масса мерного сосуда, кг;

m_1 – масса мерного сосуда с песком, кг;

V – объем сосуда, м^3.

Определение насыпной плотности песка производят два раза, при этом каждый раз берут новую порцию песка.

3.14. Определение влажности песка

Для определения влажности от средней пробы песка берут одну навеску массой 1000 г, которую взвешивают с точностью до 1 г, помещают в отдельный плоский сосуд и высушивают в сушильном шкафу при температуре (110±5) ^{o}C до постоянной массы. В процессе высушивания песок рекомендуется перемешивать металлическим совком через каждые 30 мин. По достижении при сушке постоянной массы песок охлаждают и взвешивают.

Влажность песка (% по массе) вычисляют по формуле

$$W_{п} = (m_1 – m_2) \cdot 100 / m_2,$$

где m_1 – масса пробы влажного песка, кг; m_2 – масса пробы сухого песка, кг.

Влажность песка вычисляют как среднее арифметическое испытаний двух проб.

Крупные заполнители

3.15. Отбор проб щебня

Для испытания крупного заполнителя из каждой поступившей партии массой не более 500 т (350 м^3) берут среднюю пробу, перемешивая 10–15 частичных проб, взятых из различных мест. На открытом складе пробы отбирают в точках, находящихся на различной высоте от вершины до основания штабеля или конуса. Масса проб, отбираемых для контрольной проверки, должна превышать суммарную массу пробы для испытаний. Отобранные частичные пробы тщательно перемешивают и уменьшают посредством квартования или желобчатого делителя до размера пробы средней массы, которая должна превышать не менее чем в два раза минимальную массу пробы, необходимой для проведения всех испытаний. Перед испытанием пробу выдерживают в помещении с температурой (20±5) ^{o}C с целью устранения возможной разницы в температуре крупного заполнителя и оборудования, приборов, воды для

испытаний. Навески определяют с точностью до 0,1 % от их массы и высушивают в сушильном шкафу при температуре (105±5) ^{o}C до постоянной массы. Для изготовления сборных бетонных и железобетонных изделий используют лишь фракции крупностью до 20 мм. Каждая фракция крупного заполнителя должна характеризоваться непрерывной гранулометрией.

3.16. Определение зернового состава

Зерновой состав крупного заполнителя в значительной мере влияет на качество приготовления бетона. При выборе зернового состава крупного заполнителя для бетона необходимо исходить из основного требования – получить наименьший объем пустот в крупном заполнителе, а следовательно, наименьший расход цемента в бетоне заданной марки. В зависимости от размера зерен щебень подразделяют на следующие фракции: 5–10, 10–20, 20–40 и 40–70 мм. В каждой фракции заполнителя должны быть зерна всех размеров от наибольшего до наименьшего для данной фракции. Зерновой состав загрязненного нефракционированного заполнителя определяют просеиванием с одновременной промывкой водой пробы заполнителя.

Берут пробу испытываемого заполнителя в размере, указанном в табл. 3.2, при этом следят за тем, чтобы в состав пробы были включены и самые мелкие фракции, имеющиеся в заполнителе.

Таблица 3.2

Наибольшая крупность зерен заполнителя, мм	Масса пробы, кг, не менее
до 10	5
до 20	10
до 40	20
до 70	30
св. 70	50

Пробу заполнителя одновременно или частями просеивают через стандартный набор сит, собранных в колонку (рис. 3.9).

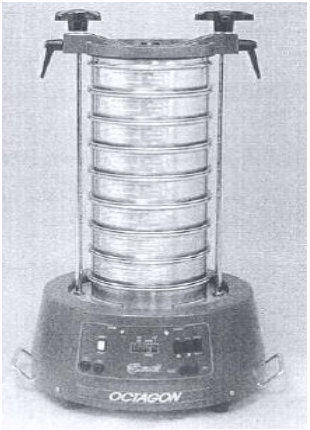


Рис. 3.9. Стандартный набор сит

Остатки на каждом сите (% от суммарной массы просеянной пробы) вычисляют по формуле

$$\alpha_i = m_i \cdot 100 / m,$$

где m_i – масса остатка на данном сите, кг; m – масса пробы, г.

По известным значениям частных остатков рассчитывают полные остатки, % на каждом сите, по формуле

$$A_i = a_{70} + \ldots + a_i,$$

где $a_{70} + \ldots + a_i$ – частные остатки на всех ситах с большими размерами отверстий, %.

Далее устанавливают наибольшую $Д_{наиб}$ и наименьшую $Д_{наим}$ крупность зерен заполнителя. За наибольшую крупность зерен принимают размер отверстия того верхнего сита, на котором полный остаток не превышает 5 %, за наименьшую крупность – размер отверстия нижнего, полный остаток на котором составляет не менее 95 %. Кроме того, вычисляют значения 0,5 ($Д_{наиб} + Д_{наим}$) и 1,25 $Д_{наиб}$. Зерновой состав каждой фракции или смеси фракции должен находиться в пределах, указанных в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Размер контрольных сит	Д наименьший	0,5 ($Д_{наиб}$ + $Д_{наим}$)		Д наибольший	1,25Д наибольший
		для каждой фракции	для смеси фракции		
Полный остаток на ситах, % по массе	90–100	30–80	40–70	0–10	0–0,5

Качество зернового состава заполнителя оценивают значением полных остатков в процентах на ситах с контрольными отверстиями $Д_{наим}$; 0,5 ($Д_{наим}$ + $Д_{наиб}$); $Д_{наиб}$ и 1,25$Д_{наиб}$. Откладывая на графике по оси ординат эти значения, получают четыре точки, которые соединяются ломаной линией (рис. 3.10). Заполнитель признают годным по зерновому составу для приготовления бетона, если кривая его зернового состава располагается в заштрихованной части графика.

Плотность зерен крупного заполнителя определяют гидростатическим взвешиванием. С этой целью берут среднюю пробу крупного заполнителя массой 2,5 кг при крупности зерен до 40 мм и 5 кг – при крупности зерен более 40 мм. Полученную пробу высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы, просеивают сквозь сито с размерами отверстий, соответствующими наименьшему размеру зерен данной фракции заполнителя, и из остатка на сите отвешивают две навески по 1000 г каждая.

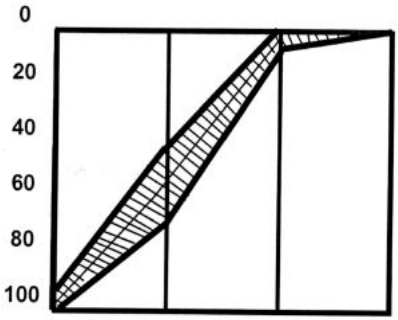


Рис. 3.10

3.17. Определение плотности заполнителя

Затем заполнитель погружают на два часа в воду комнатной температуры так, чтобы уровень воды в сосуде был выше поверхности крупного заполнителя на 20 мм. Насыщенный водой крупный заполнитель извлекают из воды, промокают мягкой влажной тканью и взвешивают вначале на технических, затем на гидростатических весах, помещая его в сетчатый стакан, погруженный в воду.

Разность масс навески крупного, насыщенного водой заполнителя, взвешенного на воздухе и в воде, показывает объем навески. Плотность зерен вычисляют с точностью до 0,01 кг/м^3

$$\rho_к = m\rho_в / (m_1 - m_2),$$

где m – масса навески в сухом состоянии, кг; $\rho_в$ – плотность воды, принимаемая равной 1000 кг/м^3; m_1 – масса навески на воздухе, кг; m_2 – масса навески в воде, кг.

Плотность зерен крупного заполнителя вычисляют как среднее арифметическое двух определений, расхождение между которыми не превышает 20 кг/м^3. При большем расхождении результатов производят третье определение и вычисляют среднее арифметическое двух ближайших значений.

3.18. Определение насыпной плотности заполнителя

Насыпную плотность крупного заполнителя определяют на двух отдельных порциях материала и вычисляют среднее арифметическое значение с помощью мерного цилиндра, вместимость которого при наибольшей крупности зерен заполнителя 10 мм должна быть 5 л, 20 мм – 10 л, 40мм – 20 л и свыше 40 мм – 50 л.

Крупный заполнитель перед испытанием высушивают до постоянной массы и охлаждают, затем насыпают совком с высоты 10 см от верха цилиндра в предварительно взвешенный мерный цилиндр до образования конуса над краями цилиндра. Излишек заполнителя срезают стальной линейкой вровень с

краями и цилиндр взвешивают. Насыпную плотность вычисляют с точностью до 10 кг/м^3

$$\rho_{к.н.} = (m_1 - m_2) / V,$$

где m_1 – масса цилиндра с заполнителем, кг; m_2 – масса цилиндра, кг;

V – вместимость цилиндра, м^3.

3.19. Определение пустотности заполнителя

Пустотность крупного заполнителя определяют расчетом по полученным значениям плотности зерен и насыпной плотности крупного заполнителя. Пустотность по объему вычисляют с точностью до 0,1

$$П_к = 1 - \frac{\rho_{к.н}}{\rho_к},$$

где $\rho_{к.н}$ – насыпная плотность крупного заполнителя, кг/м^3; $\rho_к$ – плотность зерен крупного заполнителя, кг/м^3.

3.20. Влажность

Влажность крупного заполнителя (%) вычисляют по формуле

$$W_k = (m_1 - m_2) \cdot \frac{100}{m_2},$$

где m_1 – масса пробы в состоянии естественной влажности, кг; m_2 – масса пробы в сухом состоянии, кг.

Влажность крупного заполнителя вычисляют как среднее арифметическое влажности двух проб.

3.21. Водопоглощение крупного заполнителя

Для определения водопоглощения берут навеску заполнителя при наибольшей крупности зерен до 10, 20 и 40 мм соответственно массой 0,5; 1 и 2,5 кг. Зерна заполнителей очищают щеткой от рыхлых частиц и пыли, промывают водой и высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы, затем помещают в сосуд с водой комнатной температуры на 48 ч так, чтобы уровень воды в сосуде был выше поверхности заполнителя на 20 мм. Далее заполнитель извлекают, промокают мягкой влажной тканью и взвешивают. При этом массу воды, вытекающей из заполнителя, помещенного на чашу весов, включают в массу пробы.

Водопоглощение крупного заполнителя (%) вычисляют с точностью до 0,1 %

$$B_к = (m_2 – m_1) \cdot 100 / m_1,$$

где m_2 – масса пробы в насыщенном водой состоянии, кг; m_1 – масса пробы в сухом состоянии, кг.

Водопоглощение крупного заполнителя вычисляют как среднее арифметическое определения водопоглощения двух проб.

3.22. Определение содержания в щебне пластинчатых и игловатых зерен

Пластинчатыми (лещадными) считают такие зерна, которые по толщине имеют размер меньше любого наименьшего размера зерна более чем в 3 раза, игловатыми считают такие зерна, которые по вытянутой оси имеют размер, превышающий любой наибольший размер зерна более чем в 3 раза.

Для определения содержания в крупном заполнителе пластинчатых и игловатых зерен рекомендуется использовать остатки на ситах, полученные при определении зернового состава щебня. При этом от фракции 5–10 мм берут 0,25 кг, от фракции 10–20 мм – 1 кг, от фракции 20–40 мм – 5 кг и свыше 40–70 мм – 10 кг. Рассыпав отобранный заполнитель на листе чистой

бумаги или фанере, выбирают визуально из общей массы зерна пластинчатой и игловатой формы. В сомнительных случаях зерна измеряют шаблоном или штангенциркулем (рис. 3.11).

Сначала взвешивают все пластинчатые и игловатые зерна, а затем все остальные. Содержание в каждой фракции пластинчатых (лещадных) и игловатых зерен П, %, вычисляют с точностью до 1 % по формуле

$$П = [m_1 / (m_1 + m_2)] 100,$$

где m_1 – масса зерен пластинчатой и игловатой формы, г; m_2 – масса аналитической пробы, г.

Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы определяют как среднее арифметическое результатов испытаний каждой фракции.

Щебень в зависимости от содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы подразделяется на три группы: кубовидная форма с содержанием указанных зерен до 15 %, улучшенная – 25 % и обычная – 35 %.

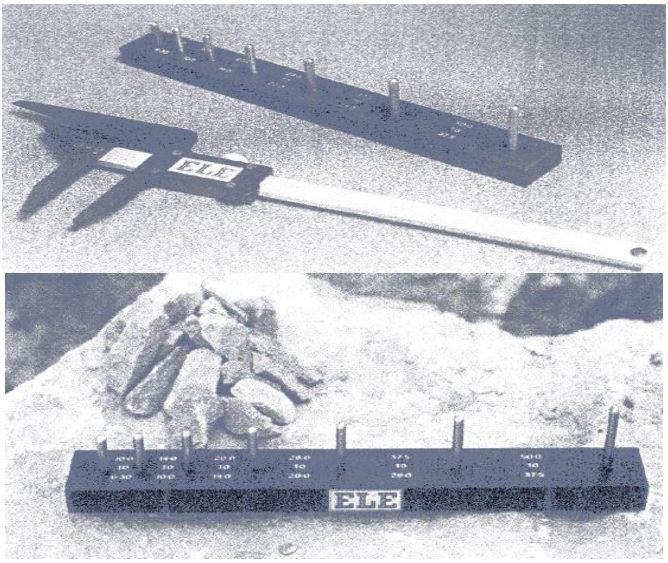


Рис. 3.11. Измеритель

3.23. Определение дробимости щебня при сжатии в цилиндре

Прочность щебня оценивают косвенным показателем дробимости при сжатии в цилиндре. Это испытание крупного заполнителя выполняют следующим образом.

Щебень фракций 5–10, 10–20 или 20–40 мм просеивают через сита с отверстиями размерами, соответствующими наибольшей ($Д_{наиб}$) и наименьшей ($Д_{наим}$) крупности испытываемой фракции. Из остатка на сите с отверстиями размером, равным $Д_{наим}$, отбирают две пробы массой не менее 0,5 кг каждая для испытания в цилиндре диаметром 75 мм и не менее 4 кг для испытания в цилиндре диаметром 150 мм. При испытании щебня, состоящего из смеси двух или более смежных фракций, пробы готовят рассеиванием исходного материала на стандартные фракции и каждую фракцию испытывают отдельно. Щебень крупнее 40 мм предварительно дробят и испытывают фракции 10–20 или 20–40 мм.

При одинаковом петрографическом составе щебня фракций 20–40 и 40–70 мм прочность последнего разрешается характеризовать результатами испытания фракции 20–40 мм. Испытание щебня разрешается проводить как в сухом, так и в насыщенном водой состояниях. Пробы щебня для испытания в сухом состоянии высушивают до постоянной массы, а для испытания в насыщенном водой состоянии погружают в воду на 2 часа. После насыщения водой с поверхности зерен щебня удаляют влагу мягкой влажной тканью. Для определения марки щебня применяют цилиндр диаметром 150 мм. Для текущего контроля качества щебня фракций 5–10 и 10–20 мм разрешается применять, кроме цилиндра диаметром 150 мм, цилиндр диаметром 75 мм.

Стальной цилиндр заполняют щебнем каждой испытываемой пробы, свободно засыпая с высоты 50 мм так, чтобы после разравнивания верний уровень материала примерно на 15 мм не доходил до вернего края цилиндра. Затем в цилиндр вставляют пуансон. При этом плита на пуансоне должна быть на уровне верхнего края цилиндра. В случае, если верх плиты пуансона не совпадает с краем цилиндра, удаляют или добавляют несколько зерен щебня. После этого цилиндр помещают на нижнюю плиту пресса.

Повышая давление пресса на 1–2 кН в секунду, доводят его при испытании щебня в цилиндре диаметром 75 мм до 50 кН, а при испытании в цилиндре диаметром 150 мм – до 200 кН. После сжатия испытываемую пробу высыпают из цилиндра и взвешивают. Затем ее просеивают в зависимости от размера испытываемой фракции через сито, размеры отверстий которого указаны в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Размер фракции, мм	Размер отверстий сит, мм
5–10	1,25
10–20	2,5
20–40	5,0

При испытании щебня в насыщенном водой состоянии пробу на сите тщательно промывают водой и удаляют поверхностную влагу с зерен щебня при помощи мягкой влажной ткани. Остаток щебня на сите после сухого или мокрого просеивания взвешивают и определяют показатель дробимости $Д_р$ с точностью до 1 % по формуле

$$Д_р = m – m_1 / m \cdot 100,$$

где m – испытываемая навеска щебня, г; m_1 – масса остатка на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня, г.

Испытание повторяют два раза, используя две подготовленные пробы. При испытании щебня, состоящего из смеси двух или более смежных фракций, показатель дробимости $Д_р$ вычисляют как средневзвешенное результатов испытания отдельных составляющих фракций.

4. БЕТОН

4.1. Отбор проб бетона

Пробы бетонной смеси при изготовлении сборных и монолитных изделий и конструкций следует отбирать на месте укладки бетонной смеси. При производстве товарной смеси пробы отбирают на месте приготовления бетонной смеси и на месте ее укладки.

Пробу бетонной смеси для испытаний отбирают из средней части замеса или доставленной к месту укладки порции смеси. При непрерывной подаче бетонной смеси (ленточными транспортерами, бетононасосами, смесителями непрерывного действия) пробы отбирают в три приема через одинаковые промежутки времени в течение не более 10 мин.

Объем отобранной пробы должен обеспечивать не менее двух определений свойств бетонной смеси. Отобранная проба перед проведением испытания должна быть дополнительно перемешана. Бетонные смеси, содержащие воздухововлекающие добавки, а также предварительно разогретые смеси перед испытанием дополнительно не перемешивают. Температура помещения, в котором проводят испытание, должна быть (20±5) ^{0}C. В районах с жарким климатом максимальная температура воздуха в помещении не должна превышать 29 ^{0}C.

Результаты испытаний проб смесей заносят в журнал испытаний, на основании которого показатели свойств бетонных смесей включают в паспорт или другой документ, характеризующий качество бетонной смеси.

4.2. Определение подвижности бетонной смеси

Подвижность бетонной смеси характеризуется измеряемой в сантиметрах величиной осадки конуса ОК, отформованного из бетонной смеси. Подвижность бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей крупности до 40 мм включительно определяют на обычном конусе. Для определения подвижности бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей крупности свыше 40 мм следует использовать увеличенный конус.

Допускается использование обычного конуса для бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей крупности (свыше 40 мм), если смесь предварительно просеяна через сито с ячейками размером 40 мм.

Определение осадки конуса бетонной смеси проводят в последовательности, приведеннной ниже. Для подготовки конуса и приспособлений к испытаниям все соприкасающиеся с бетонной смесью поверхности следует очистить и протереть влажной тканью (рис. 4.1). Конус устанавливают на гладкий металлический лист и заполняют его бетонной смесью через воронку в три слоя одинаковой высоты.

Каждый слой уплотняют штыкованием металлическим стержнем: в обычном конусе – 25 раз, в увеличенном конусе – 56. Конус во время наполнения и штыкования должен быть плотно прижат к листу. После уплотнения бетонной смеси в конусе воронку снимают и избыток смеси срезают кельмой вровень с верхними краями конуса. Конус плавно снимают с отформованной бетонной смеси и устанавливают рядом с ней. Время, затраченное на съем конуса, должно составлять 3–7 с. Осадку конуса бетонной смеси определяют, укладывая металлическую линейку ребром на верх конуса и измеряя расстояние от нижней грани линейки до верха бетонной смеси с погрешностью до 0,5 см (рис. 4.2).

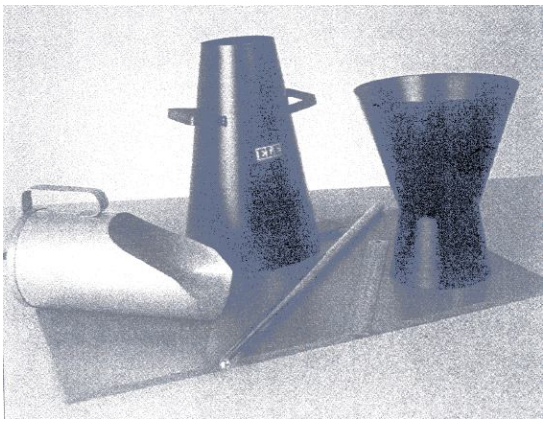


Рис. 4.1. Прибор для определения осадки конуса

Если после снятия конуса бетонная смесь разваливается и приобретает форму, затрудняющую определение ее осадки, измерение не выполняют и испытание повторяют на новой пробе бетонной смеси.

Величину осадки конуса бетонной смеси, определенную в увеличенном конусе, приводят к величине осадки обычного конуса умножением величины осадки бетона увеличенного конуса на переводной коэффициент 0,67.

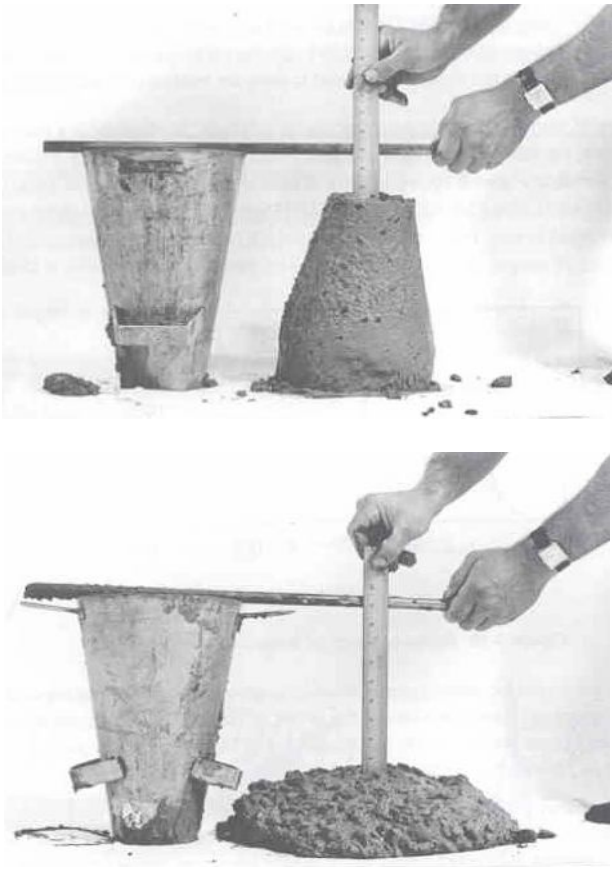


Рис. 4.2. Определение консистенции бетона

Осадку конуса бетонной смеси определяют дважды. Общее время испытания с начала наполнения конуса бетонной смесью при первом определении и до момента измерения осадки конуса при втором определении не должно превышать 10 мин.

Осадку конуса бетонной смеси вычисляют с округлением до 1,0 см как среднее арифметическое результатов двух определений осадки конуса из одной пробы, отличающихся между собой не более чем:

1 см при ОК ≥ 9 см;

2 см при ОК =10–15 см;

3 см при ОК ≥ 16 см.

При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе.

Результаты испытания должны быть занесены в журнал, в котором указывают: дату и время; место отбора пробы; марку и вид бетона, изготовляемого из испытуемой смеси; результаты испытаний.

4.3. Определение содержания воздуха в бетоне

Этот метод испытания позволяет определить содержание воздуха в свежей смеси бетона увеличением давления на объем бетона. Стандартный метод испытания позволяет использовать измеритель давления типа Б. Измеритель Б определяет содержание воздуха методом уравнивания известного объема воздуха в герметичной камере определенным уровнем давления, чтобы получить неизвестное количество содержания воздуха в представленнной пробе бетона. В этом случае манометр на измерителе калибруется, если достигается уравнивание давления, и в пробе регистрируется процент содержания воздуха. Коэффициент, определяющий содержание воздуха в порах агрегата при давлении на пробе бетона, выводится из видимого содержания воздуха в бетоне. Агрегат, используемый для определения корректирования коэффициента, должен включать мелкий и крупный заполнитель в одинаковой

пропорции и содержании влажности, такой, как используется в бетонной смеси и испытываемый для определения содержания воздуха. Если не учитывается корректирующий коэффициент, то результаты содержания водуха в пробе бетона могут быть преувеличены.

Измеритель Б, указанный на рис. 4.3, состоит из измерительной чаши и покрытия, который доступно закрывает пробу бетона и так, чтобы можно было добавить небольшое количество воды. Воздушная камера, присоединенная к покрытию, поддерживает повышенное давление, где установленное давление позволяет стабильно различать температурную разницу воздуха. Затем открывается воздушный клапан и соединяет с воздушной камерой, что позволяет выравнивать давление в камере и чаше. Содержание видимого воздуха может быть определено напрямую из манометра. Фактическое содержание воздуха – это содержание видимого воздуха минус корректирующий коэффициент агрегата. Если не учитывать корректирующий коэффициент, то выдаваемый результат пробы бетона будет преувеличен. Этот измеритель не подвергается изменениям в барометрических давлениях и/или высотных отметок.

Измеритель должен калиброваться в соответствии с инструкциями изготовителя.

Предварительно увлажненная чаша должна быть заполнена в 3 равных уровнях. Бетон с осадкой не более чем 3 слоя уплотняют штыкованием каждый слой 25 раз, распределяя удары параллельно поперечному сечению слоя, не задевая стенки чаши. Если осадка бетона меньше чем на 1, каждый из двух слоев должен застывать посредством механического вибратора, воздействующего на каждый слой, при этом вибратор не должен касаться стенок или дна чаши. Для бетона с осадкой от 1–3 также применим метод застывания. Стенки чаши должны пробиваться деревянным молотком от 10 до 15 раз после твердения каждого слоя, чтобы закрыть пустоту и выпустить большие воздушные пузыри. Последний слой должен находиться так, чтобы избежать чрезмерного переполнения чаши.

Излишнее количество бетона должно быть снято специальным бруском с распиливающим свойством. Края и ободки должны быть очищены, на крышке увлажняется и устанавливается резиновая печать в соответствии с инструкциями изготовителя.



Рис. 4.3. Воздухомер, тип Б

Измеритель Б

- Закройте главный воздушный клапан между измерительной чашей и воздушной камерой и откройте оба воздуховыпускных крана крышки;
- Используя резиновый шприц, вливайте воду в один воздуховыпускной кран, пока она не достигнет другого. Встряхните немного измеритель, чтобы выпустить воздух;
- Закройте предохранительный воздушный клапан и создайте первоначальное давление. Подождите, пока прессованный воздух охладится, стабилизируйте первоначальное давление выкачиванием и спуском воздуха. Закройте воздуховыпускные краны на чаше и откройте главный воздушный клапан. Пробейте остро стенки чаши и установите манометр.
- Запишите данные манометра и вычтите корректирующий коэффициент агрегата, чтобы получить фактическое содержание воздуха.

4.4. Изготовление образцов бетона

Для испытания бетона на сжатие обычно изготовляют образцы – кубики размерами 150 х 150 х 150 и 200 х 200 х 200 мм. Одновременно изготовляют не менее трех образцов.

Для изготовления кубиков желательно применение разборных форм – чугунных или стальных (рис. 4.4). Внутренние поверхности форм предварительно смазывают машинным маслом.



Рис. 4.4. Формы

Укладку бетона в формы проводят в 3 слоя. Наполнив сначала форму приблизительно 50 мм ее высоты, слой бетона штыкуют стержнем. Число штыкований одного слоя должно равняться 35. Уложив и проштыковав третий слой на все его глубину, сглаживают поверхность бетона и сравнивают ее вровень с краями формы. Затем образцы маркируют, после этого оставляют на месте изготовления на 24 ч под покрытием влажной тканью.

Через 24 ч образцы освобождают из формы и переносят в водяную ванну, где хранят при постоянной температуре 20 ± 2 ^{o}C до испытания (рис. 4.5).

Плотность бетонной смеси, характеризуемая отношением массы уплотненной бетонной смеси к ее объему, определяется в цилиндрическом сосуде, емкость которого в зависимости от наибольшей крупности зерен заполнителя должна соответствовать указанной в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Наибольшая крупность заполнителя, мм	Емкость сосуда, $дм^3$	Внутренние размеры сосуда, мм	
		диаметр	высота
40	5	185	185
свыше 70	10	234	234



Рис. 4.5.

На каждом образце должна быть краской сделана метка, указывающая номер образца и дату изготовления.



Рис. 4.6. Пресс для испытания бетона на сжатие

4.5. Метод определения плотности

Перед испытанием мерный сосуд (рис. 4.7), выбранный в зависимости от крупности заполнителя, предварительно взвешивают с погрешностью не более 1 г. Укладку и уплотнение бетонной смеси в сосуде или форме производят в зависимости от удобоукладываемости смеси. После уплотнения избыток смеси срезают стальной линейкой, и поверхность тщательно выравнивают вровень с краями мерного сосуда. Затем сосуд с бетонной смесью взвешивают с погрешностью не более 1 г.

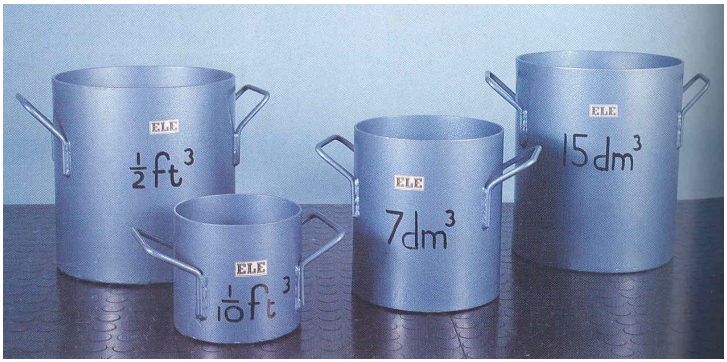


Рис. 4.7. Мерный сосуд

Плотность бетонной смеси ρ в кг/м^3 вычисляют по формуле

$$\rho = m - m_1 / V,$$

где m – масса мерного сосуда с бетонной смесью, г; m – масса мерного сосуда, г; V – объем мерного сосуда, дм^3.

Плотность бетонной смеси определяют дважды для каждой пробы бетонной смеси и вычисляют с округлением до 10 кг/м^3 как среднее арифметическое значение результатов двух определений плотности смеси из одной пробы, отличающихся между собой не более чем на 5 % от меньшего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе бетонной смеси.

Результаты испытания должны быть занесены в журнал, в котором указывают: дату и время испытания; место отбора пробы; марку и вид бетона, изготовляемого из испытуемой смеси; результаты определений.

4.6. Метод определения водопоглощения

Испытание образцов проводят в состоянии естественной влажности или высушенных до постоянной массы. Поверхность образцов очищают от пыли, грязи и следов смазки с помощью проволочной щетки.

Образцы помещают в емкость, наполненную водой с таким расчетом, чтобы уровень воды в емкости был выше верхнего уровня уложенных образцов примерно на 50 мм. Образцы укладывают на прокладки так, чтобы высота образца была минимальной (призмы и цилиндры укладывают на бок). Температура воды в емкости должна быть $20 \pm 2\ ^{o}C$.

Образцы взвешивают через каждые 24 ч водопоглощения на обычных или гидростатических весах с погрешностью не более 0,1 %. При взвешивании на обычных весах образцы, вынутые из воды, предварительно вытирают отжатой влажной тканью. Массу воды, вытекшей из пор образца на чашку весов, следует включать в массу насыщенного образца. Испытание проводят до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний будут отличаться не более чем на 0,1 %. Образцы, испытываемые в состоянии естественной влажности, после окончания процесса водонасыщения высушивают до постоянной массы.

Водопоглощение бетона отдельного образца по массе $W_м$ в процентах определяют с погрешностью до 0,1 % по формуле

$$W_м = m_в – m_с / m_с \cdot 100,$$

где $m_с$ – масса высушенного образца, г; $m_в$ – масса водонасыщенного образца, г.

Водопоглощение бетона отдельного образца по объему W_o в процентах определяют с погрешностью до 0,1 % по формуле

$$W_о = W_м \cdot \rho_о / \rho_в,$$

где $\rho_о$ – плотность сухого бетона, г/см^3; $\rho_в$ – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см^3.

Водопоглощение бетона серий образцов определяют как среднее арифметическое значение результатов испытаний отдельных образцов в серии.

Результаты испытания должны быть занесены в журнал, в котором указывают маркировку образцов, водопоглощение образцов бетона.

5. ВОДА ДЛЯ БЕТОНА

5.1. Контроль качества воды

Для приготовления бетонной смеси, промывки заполнителей и поливки твердеющего бетона должна использоваться вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732–79 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия». Содержание в воде органических поверхностно-активных веществ, сахаров или фенолов, не должно быть более 10 мг/л каждого. Вода не должна содержать пленки нефтепродуктов, жиров, масел. Окисляемость воды – не выше 15 мг/л. Содержание в воде растворимых солей, ионов SO_4^{-2}, Cl^{-1} и взвешенных частиц не должно превышать величин, указанных в таблице 5.1. Водородный показатель воды (pH) не должен быть менее 4 и более 12,5. Ограничение показателя pH воды затворения бетона обусловлено тем, что при pH, равном 4 и менее, активно проявляется кислотная коррозия бетона, арматуры и железобетонных конструкций, а при pH воды более 12,5 – щелочная коррозия бетона.

Таблица 5.1

Допустимое содержание растворенных веществ и взвешенных частиц в воде

Назначение воды	Максимально допустимое содержание, мг/л			
	растворимых солей	ионов SO_4^{-2}	ионов Cl^{-1}	взвешенных частиц
1	2	3	4	5
1 Вода для затворения бетонной смеси при изготовлении напряженных железобетонных конструкций	2000	600	350	200
2 Вода для затворения бетонной смеси при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой, в т. ч. для водосбросных сооружений и зоны переменного горизонта воды массивных сооружений	5 000	2700	1200	200

Продолжение табл. 5.1

Назначение воды	Максимально допустимое содержание, мг/л			
	растворимых солей	ионов SO_4^{-2}	ионов Cl^{-1}	взвешенных частиц
1	2	3	4	5
3 Вода для затворения бетонной смеси при изготовлении бетонных неармированных конструкций, к которым не предъявляются требования по ограничению образования высолов, а также бетона, бетонных и железобетонных конструкций подводной и внутренней зон массивных сооружений	10 000	2700	3500	300
4 Вода для промывки заполнителей, включая мокрую контрольную сортировку и охлаждение заполнителей	5 000	2700	1200	500
5 Вода для поливки рабочих швов при перерывах в бетонировании, поверхностей стыков, подлежащих омоноличиванию, и поверхностей водосбросных конструкций, а также вода для трубного охлаждения массива бетона	1000	500	350	200
6 Вода для поливки законченных наружных поверхностей бетонных и железобетонных конструкций	5 000	2700	1200	500
7 Вода для поливки наружных поверхностей бетонных конструкций (включая поверхности водосбросных сооружений), если на поверхности может быть допущено появление выцветов, высолов	35 000	2700	20 000	500

Вода не должна содержать примесей в количествах, нарушающих сроки схватывания и твердения цементного теста и бетона, снижающих прочность и морозостойкость бетона. Для бетонов и растворов наиболее пригодна питьевая вода (ГОСТ 2874–82). При использовании питьевой воды проверка качества не требуется.

Стандартом (ГОСТ 23732–79) допускается применение технических и природных вод, загрязненных стоками, содержащими примеси в количествах, превышающих установленные в табл. 5.1, кроме примесей ионов Cl^{-1}, при условии обязательного соответствия качества бетона

показателям, заданным проектом. Контроль качества такой воды осуществляют сравнительными испытаниями цементного теста и бетона, приготовленных на испытываемой и питьевой воде. Испытание воды, кроме питьевой, на пригодность для бетонов проводят при создании предприятия по производству бетонных и железобетонных изделий и при изменениях источника получения воды или содержания примесей в ней.

5.2. Испытание воды

Испытание воды для бетонов и растворов на содержание растворенных веществ выполняют в соответствии с требованиями следующих нормативных документов: для растворимых солей – ГОСТ 18164–72; ионов SO_4^{2-} – ГОСТ 4389–72; ионов Cl^- – ГОСТ 4245-72. Величину pH воды определяют потенциометрическим методом с помощью pH-метров любых марок – 340; ЛП-5; ЛП-58; ЛПУ-01 и др. Определение pH воды не требует специальной подготовки пробы. Для определения берут 10–50 мл воды в химическом стакане емкостью 50–100 мл. Регламент испытаний устанавливается инструкцией к измерительному прибору. Наличие содержания пленки нефтепродуктов, жиров и масел определяют визуально.

Для определения содержания взвешенных частиц хорошо взбалтывают 0,5 – 1 л воды и фильтруют ее через взвешенный тигель с пористым дном. Тигель с осадком высушивают при температуре 105 °С до постоянной массы. Разница в массе дает количество взвешенных частиц во взятом для определения объеме воды.

Содержание взвешенных частиц P, мг/л, вычисляют по формуле

$$P= (P_1 - P_0)\ 10^6 / V,$$

где P_o – масса тигля, г; P_1 – масса тигля с высушенным осадком, г;

V – объем воды, отобранной на анализ, мл.

Содержание в воде для приготовления бетона примесей, на определение которых отсутствуют стандартные методы испытаний, может оцениваться по данным санитарных органов, контролирующих качество воды в водостоках санитарно-бытового водопользования.

6. ДОБАВКИ К БЕТОНУ

Добавки к бетонам разделяют на химические, активные минеральные и тонкомолотые наполнители.

Наполнители вводят с целью замены части цемента и уменьшения его расхода. Особенностью их является снижение активности цемента примерно на один процент на каждый процент введенной тонкомолотой добавки.

Активные минеральные добавки вводятся с целью повышения коррозионной стойкости цементного камня и бетона, особенно при агрессии проточной воды малой жесткости, которая, выщелачивая гидрат оксида кальция из цементного камня, способствует разложению гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, разрушая структуру бетона.

Химические добавки к бетонам вводятся для улучшения технологических свойств бетонных смесей, ускорения твердения бетона или улучшения строительно-технических свойств бетонов: морозостойкости, водонепроницаемости, коррозионной стойкости и др.

Приготовление бетонной смеси с добавками отличается от приготовления обычной бетонной смеси тем, что в бетоносмеситель вместе с водой затворения подается добавка в количестве, необходимом на замес. Заранее приготавливают их водные растворы повышенной концентрации:

1–5 % – для воздухововлекающих добавок и 5–10 % – для пластифицирующих, пластифицирующевоздухововлекающих и уплотняющих добавок, суперпластификаторов, а также для замедлителей твердения; 10 % – ускорителей твердения и ингибиторов коррозии стали; 10–20 % – для противоморозных добавок.

Водные растворы добавок повышенной концентрации разбавляют в дозаторе для воды до получения рабочих растворов. Основные виды добавок приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Основные добавки для бетонов

Вид добавки	Наименование	Условная марка	Нормативный документ
1	2	3	4
Пластифицирующие	Разжижитель	С–3	ТУ 6–36–0204229–25 ТУ 6–05–1926
	Меламиноформальдегидная анионактивная смола	МФ–АР (б. МФАС–Р–100п)	
	Дофен	ДФ	ТУ 6–188
	Водорастворимый препарат	ВРП–1	ТУ 64.11.02
	Лигносульфонаты технические	ЛСТ	ТУ 13–0281036–05
	Лигносульфонаты технические модифицированные	ЛСТМ–2	ОСТ 13–287 ТУ 69–350
	Монолит–1	М–1	ТУ 6–02–696
	Этилсиликонат натрия	ГКЖ–10	ТУ 6–02–696
	Метилсиликонат натрия	ГКЖ–11	
	Sikament	FFN,NP,FF	ASTM C494 F–G
	Plastiment	BV–40, BV–240	ASTM C494A
Стабилизирующая	Гипан	ГПН	ТУ 6–01–166
Водоудерживающие	Метилцеллюлоза	МЦ	ТУ 6–05–1857
	Бентонитовая глина	БГ	ТУ 39–01–08–658
Воздухововлекающие	Смола древесная омыленная	СДО	ТУ 13–05–02
	Клей талловый пековый	КТП	ОСТ 13–145
	Сульфонол	С	ТУ 6–01–1001
	Sika	AER	ASTM C260
Газообразующая	Полигидросилоксаны	136-157М	ТУ 6–02–694
Уплотняющая	Сульфат алюминия	СА	ГОСТ 12966
Замедляющая схватывание	Кормовая сахарная патока (меласса)	КП	ТУ 18–409
Ускоряющие твердение	Хлорид кальция	ХК	ГОСТ 450
	Нитрит кальция	НК	ТУ 113–03–367
	Нитрит-нитрат-хлорид кальция	ННХК	ТУ 6–18–194
Противоморозная	Нитрит натрия	НН	ГОСТ 19906
Гидрофобизирующие	Фенилэтоксилосан	1113–6–3 (ФЭС–52)	ТУ 6–02–995
	Алюмометилсиликонат натрия	АМСР	ТУ 6–02–700
Ингибитор	Тетраборат натрия	ТБН	ГОСТ 8429

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

7.1. Основные положения определения состава бетона

В результате проектирования состава бетона должно быть определено такое соотношение между используемыми материалами, при котором будет гарантирована прочность бетона в конструкции с учетом технологии ее изготовления, необходимая подвижность бетонной смеси и экономичность бетона.

Проектирование состава бетона включает: назначение требований к бетону исходя из вида и особенностей службы и изготовления конструкций; выбор материалов для бетона и получение необходимых данных, характеризующих их свойства; определение предварительного состава бетона; проверку состава в пробных замесах; контроль за бетонированием; корректировку состава в процессе производства при колебаниях свойств заполнителя и других факторов.

Определение предварительного состава бетона производят на основе зависимости прочности бетона от активности цемента, цементно-водного фактора и качества используемых материалов и зависимости подвижности бетонной смеси от расхода воды и других факторов.

Для получения уточненных зависимости свойств бетон и бетонной смеси от его состава, если имеется возможность, проводят предварительные испытания. При этом желательно использовать математические методы планирования эксперимента и обработки его результатов.

Требования к прочности бетона указывают в рабочих чертежах. Подвижность бетонной смеси назначают в зависимости от размеров конструкции, густоты армирования, способов укладки и уплотнения (табл. 7.1). В табл. 7.1 указана жесткость бетонной смеси по стандарту и техническому вискозиметрам. При перекачивании бетонной смеси насосом осадка конуса должна быть 6–8 см.

Таблица 7.1

Требование к подвижности и жесткости бетонной смеси

Конструкции и способ уплотнения	Жесткость, с	Подвижность, см
Сборные железобетонные с немедленной распалубкой, формуемые на виброплощадках или вибронасадком	30–10	–
Перекрытия с пустотами, стеновые панели, формуемые в горизонтальном положении на виброплощадках	10–5	1–4
Густоармированные элементы (колонны, ригели, плиты), изготовляемые с применением наружного или внутреннего вибрирования	5–3	5–9
Формируемых на ударно-вибрационных установках	30–20	–
Формируемых в кассетах	10–5	7–14
Центрифугированные	–	5–10
Гидропрессованные	10 – 5	–

Бетонная смесь обладает необходимой удобоукладываемостью только при содержании в ней достаточного количества цемента. Уменьшение количества цемента ниже определенных величин повышает опасность расслоения бетонной смеси и может привести к появлению в смеси микропустот и снижению прочности и долговечности бетона. Минимальный расход цемента зависит от консистенции бетонной смеси и крупности заполнителя (табл. 7.2). Если при определении состава бетона окажется, что расход цемента, требуемый из условия получения заданной прочности, ниже указанных значений, то в расчет принимают минимальный расход цемента. Материалы для бетона выбирают в соответствии с рекомендациями.

Для экономичного расходования цемента необходимо, чтобы его марка превышала заданную марку бетона (табл. 7.3).

При использовании для бетона более низких марок цемента требуется слишком большой его расход. Наоборот, что расход цемента будет меньше минимальных значений, требуемых

техническими условиями для получения бетона необходимой плотности. В этом случае для экономии цемента в бетон целесообразно вводить тонкомолотую добавку – активную кремнеземистую или инертную (золу, молотый кварцевый песок, известняковую муку и др.).

В качестве заполнителей бетона стремятся использовать, как правило, местные материалы или материалы из близко расположенных карьеров, но отбирают из них те, которые позволяют получать бетон с заданными свойствами при минимальных расходах цемента. Заданную подвижность бетонной смеси обеспечивают правильным назначением расхода воды, а прочность бетона – правильным назначением водоцементного отношения и расхода цемента.

Таблица 7.2

Минимальный расход цемента для получения нерасслаиваемой плотной бетонной смеси

Смесь	Минимальный расход цемента, кг/м^3, при предельной крупности заполнителя, мм			
	10	20	40	70
Особая жесткая (Ж > 20 с)	160	150	140	130
Жесткая (Ж = 10–20 с)	180	160	150	140
Малоподвижная (Ж = 5–10 с)	200	180	160	150
Подвижная (ОК = 1–10 см)	220	200	180	160
Очень подвижная (ОК = 10–16 см)	240	220	210	180
Литая (ОК > 16 см)	250	230	200	190

Примечание: Жесткость указана по стандартному вискозиметру.

Таблица 7.3

Рекомендуемые для бетона марки цемента

Марка бетона	Марка цемента	Марка бетона	Марка цемента
М 100	300	М 300	500
М 150	400	М 450	600
М 200	400	М 500	600

Минимального расхода цемента добиваются правильным выбором содержания крупного и мелкого заполнителя. При определении их содержания раньше применяли ориентировочные рекомендации по выбору оптимального соотношения между песком и щебнем *r*. В современных способах расчета обычно используют коэффициент раздвижки зерен щебня (гравия) раствором α, который показывает, насколько объем раствора превышает объем пустот в щебне. Введение коэффициента α позволило упростить определение состава бетона и сделать его более надежным, так как оптимальные значения α, обусловливающие получение при прочих равных условиях бетона с минимальным расходом цемента, выбираются на основе зависимостей, вытекающих из физических основ структурообразования бетона. В этом случае расходы песка и щебня в тяжелом бетоне определяют по формулам, которые выводятся при решении системы двух уравнений:

$$(Ц/\rho_ц) + В + (П/\rho_п) + (Щ/\rho_щ) = 1000,$$

$$(Ц/\rho_ц) + В + (П/\rho_п) = П_щ + \alpha(Щ/\gamma_щ),$$

где Ц, В, П, Щ – соответственно расходы цемента, воды, песка и щебня, кг/м^3; $\rho_ц$, $\rho_п$, $\rho_щ$ – истинные плотности цемента, песка и щебня, кг/л; $П_щ$ – пустотность щебня (относительная величина); α – коэффициент раздвижки зерен щебня раствором; $\gamma_щ$ – плотность щебня, кг/л.

Первое уравнение выведено из условия, что сумма абсолютных объемов компонентов бетона равна 1 м^3 (1000 л) готового плотного бетона, если в бетоне нет вовлеченного воздуха, а второе уравнение – из условия, что цементно-песчаный раствор должен заполнить все пустоты между щебнем (в стандартно-рыхлом состоянии) с некоторой раздвижкой его зерен, что необходимо для получения удобообрабатываемой бетонной смеси и хорошего связывания зерен заполнителя в единый прочный монолит.

В этой системе уравнений два неизвестных – расход песка и щебня, так как расходы цемента и воды определяются в зависимости от прочности бетона и подвижности бетонной

смеси, а коэффициент α назначается в соответствии с полученными экспериментальным путем рекомендациями, обеспечивающими наиболее разумное соотношение между песком и щебнем, при котором расход цемента оказывается минимальным.

Решением приведенной системы уравнений получаем

$$Щ = \frac{1000}{\alpha\,(П_{щ}/\gamma_{щ}) + (1/\rho_{щ})}.$$

$$П = [1000 - (Ц/\,\rho_{ц} + В + Щ/\,\rho_{щ})]\,\rho_{п}$$

Для легких бетонов применяют другую систему уравнений, в которой второе уравнение выводится из условия получения бетона с заданной плотностью. При использовании в бетоне воздухововлекающих добавок в уравнение добавляют дополнительный член, учитывающий объем вовлеченного воздуха. Таким образом, окончательное определение расходов материалов в рассматриваемой методике проводится с учетом абсолютных объемов, занимаемых материалами, и с учетом дополнительных требований, обеспечивающих экономичность бетона, или его плотность, или другие свойства.

При улучшении свойств бетона химическими добавками их влияние учитывают при определении расходов материалов путем введения соответствующих поправок в расчетные зависимости.

7.2. Выбора соотношения между мелким и крупным заполнителями

Одним из основных факторов, определяющих экономичность состава бетона (по расходу цемента), а также его высокое качество, является правильный выбор соотношения между мелким и крупным заполнителями.

Подвижность или удобоукдадываемость бетонной смеси зависит от многих факторов, главным из которых при данных материалах можно считать консистенцию цементного теста, соотношение между цементным тестом и заполнителем, между песком и щебнем (гравием).

При определенной консистенции цементного теста его влияние на внутреннее трение бетонной смеси и, следовательно, на его подвижность будет определться толщиной прослоек цементного теста между зернами заполнителя. Наибольшим внутренним трением или минимальной подвижностью при прочих равных условиях обладает бетонная смесь, в которой цементное тесто лишь заполняет пустоты заполнителя. С дальнейшим увеличением содержания цементного теста подвижность бетонной смеси возрастает.

Толщину δ, м, слоя цементного теста между зернами заполнителя определяют по формуле

$$\delta = (ЦТ - V_з)/S_{см},$$

где ЦТ – содержание цементного теста, л; $V_з$ – объем пустот в заполнителе, л; $S_{см}$ – удельная поверхность смеси заполнителей, $м^2/л$.

При увеличении удельной поверхности заполнителя подвижность бетонной смеси уменьшается даже при одинаковой толщине прослоек цементного теста. Подвижность бетонной смеси зависит от критерия

$$N=\delta/ S_{см}, \text{ или } N=(ЦТ - V_з)/S_{см}^2.$$

Чем больше критерий N, тем выше подвижность бетонной смеси при определенной консистенции цементного теста. Критерий N можно определить, зная пустотность и удельную поверхность смеси заполнителя и вычисляя изменение этих характеристик для разных значений r.

При определении r объем пустот заполнителя вычисляют по формулам после предварительного определения

$$V_п = r\, V_з/(1+r) \text{ и } V_щ = V_з - V_п.$$

Удельную поверхность смеси заполнителей находят по формуле

$$S_{см} = (r_п S_п + S_щ)/(1+r),$$

где $S_щ$ вычисляют по формуле.

Вычисления проще производить, пользуясь абсолютными объемами материалов, применяя коэффициент $П_а$ и считая вначале $V_з = 1$. Тогда объем пустот и удельная поверхность заполнителя при равном содержании цементного теста составят:

$$V_{п.х} = V_{п1} \cdot V_{з.х};$$

$$S_х = S_{см} \cdot V_{з.х},$$

где $V_{з.х}=1 – ЦТ$.

Таким образом, расчетом можно определить ориентировочные оптимальные значения r на основе критерия N. Это определение заключается в нахождении такого r, которому соответствует максимальное значение N или наибольшая подвижность бетонной смеси при данной консистенции цементного теста. Однако следует учитывать, что в действительности критерий r подчиняется несколько более сложной зависимости: с увеличением ЦТ уменьшается роль $S_{см}$ и возрастает роль δ, поэтому фактически оптимальные значения r при высоких значениях ЦТ (ЦТ > 320 л/м^3)получаются несколько более высокими, чем по расчету.

На рис. 7.1 представлены результаты теоретического и опытного определения оптимального соотношения r для бетона на гранитном щебне и песке средней крупности. Опыт подтверждает результаты расчета. Как видно, соотношение r в бетоне непостоянно: с увеличением содержания цементного теста оптимальное значение r уменьшается, т. е. сокращается доля песка в смеси заполнителей.

Для бетонов низких и средних марок, для которых объем цементного теста не превышает 300 л/м^3, наиболее пригодна смесь песка и щебня с минимальной пустотностью. В этом случае достигается наибольшая толщина прослойки цементного теста и наивысшая подвижность бетонной смеси.

В высокопрочных бетонах при высоких расходах цемента желательно использовать смеси с меньшим содержанием песка. При применении в этом случае смесей с минимальной пустотностью в бетоне оказывается избыточное количество песка. В результате снижается подвижность бетонной смеси, и для получения заданной подвижности требуется перерасход цемента.

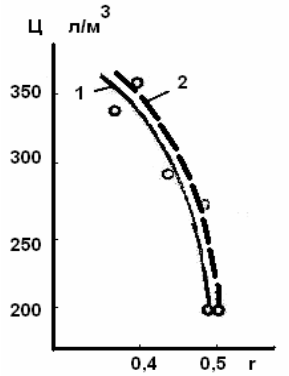


Рис. 7.1. Зависимость оптимального соотношения *r* между песком и щебнем (гравием) от расхода цементного теста на 1 м^3 бетона:
1 – опытная кривая; 2 – расчетная кривая

В рассматриваемом методе определения состава бетона соотношении между песком и щебнем устанавливают с учетом коэффициента раздвижки α. Зная r, можно определить по формуле α:

$$\alpha = [ЦТ(\rho_п/\rho_щ)\gamma_щ + 1000\ r\ \gamma_щ] / [(1000 – ЦТ)\ П_щ\ \rho_щ],$$

если $\rho_п = \rho_щ$, то эта формула имеет вид

$$\alpha = [(ЦТ + 1000\ r\ )\gamma_щ] / [(1000 – ЦТ)\ П_щ\ \rho_щ].$$

По этим формулам и по результатам опытов были определены ориентировочные значения α в бетоне на среднем и мелком песке (табл. 7.4).

Таблица 7.4

Расчетные и опытные значения коэффициента α

Бетон на мелком песке			Бетон на среднем песке		
Содержание цементного теста, л/м^3	Значение α		Содержание цементного теста, л/м^3	Значение α	
	расчетные	действительные		расчетные	действительные
220	1,12	1,1	220	1,24	1,23
280	1,32	1,28	280	1,43	1,39
350	1,54	–	350	1,54	1,51

По данным табл. 7.4 видно, что оптимальные значения коэффициента α в пластичной бетонной смеси зависят от содержания в бетоне цементного теста и от крупности песка: они возрастают с увеличением ЦТ и крупности песка. По другим опытам было установлено, что оптимальный коэффициент α для жесткой бетонной смеси при расходе цемента 200–400 кг/м^3 равен 1,05–1,15.

Физический смысл изменения коэффициента α в зависимости от состава бетона и консистенции бетонной смеси заключается в следующем. В жесткой бетонной смеси содержится относительно небольшое количество цементного теста высокой вязкости, поэтому опасность водоотделения и расслоения отсутствует. В этих условиях наилучшей удобоукладываемости бетонной смеси и прочности бетона достигают при минимальной раздвижке зерен щебня (гравия), так как при этом расход песка и суммарная площадь поверхности заполнителей являются также минимальными. В результате зерна заполнителей укладываются наиболее плотно, обеспечивая хорошее качество бетона. С увеличением количества воды для придания бетонной смеси большей подвижности абсолютный объем цементного теста возрастает, а его вязкость понижается. Чтобы избежать водоотделения и расслоения бетонной смеси и обеспечить ее связанность, необходимо увеличить коэффициент α, сохраняя тем самым, а иногда даже увеличивая (при высоких значениях В/Ц) соотношение между песком и щебнем (гравием).

Необходимая величина изменений коэффициента α в зависимости от различных факторов была выявлена опытным путем. Было установлено, что наиболее достоверной является зависимость коэффициента α от объема цементного теста в пластичной бетонной смеси α = f (ЦТ). Зависимость коэффициента α от расхода цемента наблюдается только при сравнении бетонов с определенным водоцементным отношением, так как в этом случае увеличение расхода цемента наблюдается при сравнении бетонов с определенным водоцементным отношением, так как в этом случае увеличение расхода цемента приводит и к повышению содержания цементного теста в бетоне. Однако для приближенного

определения состава бетона, если принять в расчет лишь его наиболее употребительные составы, то можно установить увеличение коэффициента α с повышением расхода цемента (см. пунктирную линию на рис. 7.2).

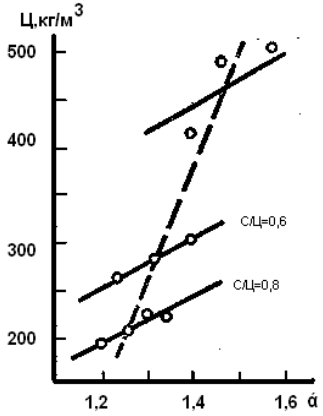


Рис. 7.2. Зависимость коэффициента раздвижки зерен α от расхода цемента Ц

При постоянном расходе цемента увеличение водоцементного отношения ведет к увеличению расхода воды и объема цементного теста и соответственно к повышению оптимальных значений коэффициента α. Вид и нормальная густота цемента практически не влияют на оптимальные значения коэффициента α.

Подвижность пластичной бетонной смеси также практически не влияет на коэффициент α, если абсолютный объем цементного теста при этом сохраняется постоянным.

Уменьшение крупности песка при прочих равных условиях вызывает уменьшение оптимальных значений α. Это объясняется тем, что более мелкие пески с повышенной удельной поверхностью обладают более высокой водоудерживающей способностью и позволяют получать связанную и нерасслаиваемую бетонную смесь при меньшем расходе песка.

Крупность щебня влияет на коэффициент α незначительно, что позволяет не учитывать этот фактор при выборе оптимальных значений коэффициента α. Однако даже при постоянном α расход щебня в бетоне будет зависеть от его крупности: с увеличением предельной крупности он будет возрастать, так как будет, как правило, повышаться плотность щебня. Соответственно будут уменьшаться значение r и расход песка в бетоне.

Форма зерен крупного заполнителя практически не влияет на оптимальные значения α. Повышение содержания песка в смеси заполнителей при применении щебня объясняется тем, что при той же предельной крупности гравий, как правило, имеет меньшую пустотность, чем щебень. В результате при равных коэффициентах α в бетоне на гравии содержится меньше песка, чем в бетоне на щебне.

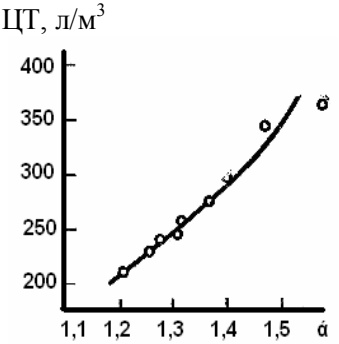


Рис. 7.3. Зависимость коэффициента раздвижки зерен α от расхода цементного теста на 1 м^3 бетона (на щебне). При уменьшении модуля крупности песка $М_{кр}$ на 1 коэффициент α уменьшается на 0,1–0,15, однако он не должен быть менее 1,1

Введение в бетонную смесь химических добавок практически не изменяет оптимальных значений коэффициента α, если водоудерживающая способность бетонной смеси достаточна. Если же при введении пластификаторов и суперпластификаторов получаются литые бетонные смеси и возникает опасность их расслоения, то коэффициент α

повышают, чтобы увеличить содержание песка и улучшить водоудерживающие свойства смеси. При введении воздухововлекающих добавок как бы увеличивается объем цементного теста за счет мельчайших пор вовлеченного воздуха, что необходимо учитывать, несколько увеличивая оптимальные значения α или назначая α исходя из суммарного объема, занимаемого цементным тестом и вовлеченным воздухом.

Приведенные результаты исследований, установившие влияние различных факторов на коэффициент α, показывают, что для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее 400 кг/м^3 α следует принимать 1,05–1,15 (в среднем 1,1). Меньшее значение – 1,05 принимается в случае использования мелких песков. Для жирных составов жестких смесей (Ц > 400 кг/м^3) коэффициент α назначают по графику (рис. 7.3), при этом уменьшают его значение на 0,05–0,1.

Для пластичных бетонных смесей оптимальные значения коэффициента α наиболее точно могут быть установлены на основе зависимости α = f (ЦТ), которая приведена на рис. 7.3. Для расчетов более удобно использовать данные таблицы, при определении которых заисимость α = f (ЦТ) была преобразована в зависимость α = f (Ц, В/Ц), более удобную для использования в расчетах. В таблице приведены также рекомендации по введению поправок, учитывающих крупность песка.

Таблица 7.5

Оптимальные значения коэффициент α для пластичных бетонных смесей ($В_п$ = 7 %)

Расход цемента, кг/м^3	Оптимальные значения коэффициент α при В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	–	–	1,26	1,32	1,38
300	–	1,3	1,36	1,42	–
350	1,32	1,38	1,44	–	–
400	1,4	1,46	–	–	–
500	1,5	1,56	–	–	–

Примечания: 1. При других значениях Ц и В/Ц коэффициент α находят интерполяцией.

2. При использовании мелкого песка с водопотребностью более 7 % коэффициент α уменьшают на 0,03 на каждый процент увеличения водопотребности песка. Если применяется крупный песок с $В_п$ = 7 %, коэффициент α увеличивают на 0,03 на каждый процент уменьшения $В_п$.

Незначительные отклонения коэффициента α от оптимального значения практически не сказываются на свойствах бетона и бетонной смеси, поэтому его отклонения на ±0,05 при определении состава бетона вполне допустимы.

В некоторых особых случаях коэффициент α определяют исходя не только из условий получения определенной прочности бетона и подвижности бетонной смеси, но с учетом дополнительных требований. В этих случаях возможна определенная корректировка коэффициента α.

Например, для бетона тонкостенных конструкций или для декоративных бетонов несколько увеличивают коэффициент α, чтобы гарантировать хороший внешний вид лицевых поверхностей бетона.

При необходимости оптимальные значения коэффициент α можно устанавливать по результатам определения подвижности бетонной смеси, которая наиболее показательно откликается на изменения коэффициента α.

7.3. Порядок расчета состава бетона

Состав бетонной смеси выражают двумя способами:

1. Соотношение по массе (реже по объему, так как это менее точно) между цементом, песком и гравием (или щебнем) с обязательным указанием водоцементного отношения и активности цемента. Количество цемента принимают за 1, поэтому соотношение между составными частями бетона записывают в виде: 1: х: у с указанием В/Ц (например, 1: 2:4 по массе при В/Ц = 0,6).

2. Расходом материалов по массе (кг) на 1м? уложенной и уплотненной бетонной смеси, например:

Цемента……280
Песка…..……700
Щебня…….1250
Воды……170
Итого…….2400

Различают нормальный (лабораторный) состав бетона, устанавливаемой для сухих материалов, и сухих материалов, и производственный (полевой) – для материалов в естественно-влажном состоянии. Лабораторный состав бетона определяют расчетно-экспериментальным путем. Состав объемов предварительно рассчитывают по абсолютным объемам, используя формулы для определения расходов воды, цемента, песка и щебня (гравия), выделенные на основании рассмотренных выше зависимостей, а затем уточняют пробными затворениями.

Порядок расчета состава бетона следующий:

1. Определяют В/Ц (или Ц/В) в зависимости от требуемой прочности, сроки и условия твердения бетона. Водоцементное или цементноводное отношение находят путем предварительных опытов, устанавливающих зависимость прочности бетона от этого фактора и активности цемента (с применением местных заполнителей) или ориентировочно по формулам:

а) для обычного бетона при В/Ц > 0,4

$$В/Ц = AR_ц/(R_б+A\cdot 0,5R_ц);$$

б) для высокопрочного бетона при В/Ц<0,4

$$В/Ц = A_1R_ц/(R_б-A_1\cdot 0,5\ R_ц).$$

Значение коэффициентов А и A_1 берут из табл. 7.6 либо находят Ц/В по графикам (рис. 7.4). Формулу (а) следует применять, если $R_б>2AR_ц$, в других случаях надо пользоваться формулой (б).

Таблица 7.6

Значения коэффициентов А и A_1

Материалы для бетона	А	A_1
Высококачественный	0,65	0,43
Рядовой	0,6	0,4
Пониженного качества	0,55	0,37

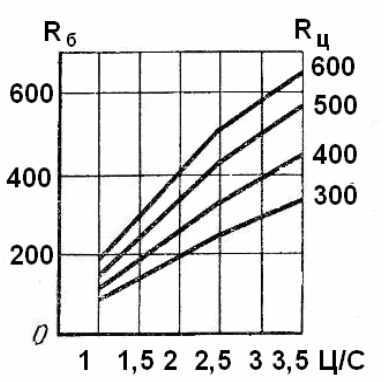


Рис. 7.4. График для назначения Ц/В в зависимости от требуемой прочности бетона $R_б$ и марки применяемого цемента $R_ц$

При расчете состава бетона иногда необходимо учитывать требования к нему по морозостойкости, водонепроницаемости, прочности на изгиб и прочее. В этом случае для назначения В/Ц используют соответствующие зависимости, примеры которых приведены далее, но способ определения состава бетона в принципе сохраняется.

2. Определяют расход воды в зависимости от требуемой подвижности бетонной смеси на основании результатов предварительных испытаний или ориентировочно по графикам. При этом необходимо учитывать водопоглощение крупного заполнителя, если оно более 0,5 % по массе. График составлен для расхода цемента до 400 кг/м^3 с применением гравия и песка средней крупности с водопоглащением 7 %. В случае использования других заполнителей необходимо вносить поправки, указанные в примечании к графикам.

3. Определяют расход цемента:

$$Ц = В:В/Ц.$$

Если расход цемента на 1 м^3 бетона окажется ниже допускаемого по СНиП (см. табл. 7.2), то следует увеличить его до требуемой нормы или ввести тонкомолотую добавку. Последнюю обычно применяют в случае, если активности цемента слишком высока для бетона данной марки.

4. Устанавливают коэффициент раздвижки α для пластичных бетонных смесей по графику (см. рис. 7.3) в зависимости от количества цементного теста и крупности песка или выбирают его значение по табл. 7.5.

5. Определяют расход щебня или гравия по формуле.

6. Определяют расход песка по формуле.

7. Проверяют на пробных замесах подвижность (осадку конуса или жесткости) бетонной смеси, при необходимости вносят поправки в расчет состава бетона. Если применяют воздухововлекающие добавки, количество вовлеченного воздуха учитывают при подсчете расхода песка.

Современная технология отличается большим разнообразием требований к бетону; материалов для бетона и технологических приемов приготовления и укладки бетонной смеси. Однако нет необходимости создавать для каждого случая свой метод расчета.

Расчет состава обычного тяжелого бетона должен выполняться по рассмотренной методике. Специфические требования к бетону и материалам для него надо учитывать путем введения соответствующих поправок.

7.4. Экспериментальная проверка состава бетона

Для экспериментальной проверки состава бетона готовят пробную порцию бетонной смеси и определяют ее подвижность. Вследствие особенностей свойств, применяемого цемента и местного заполнителя осадка конуса или жесткость бетонной смеси может отличаться от заданной. Предположим, что в примере 8.1 осадка конуса оказалась равной 0, т. е. бетонная смесь недостаточно подвижна. Для увеличения подвижности повышают расход воды примерно на 5–10 %. Одновременно прибавляют 5–10 % цемента для того, чтобы не изменилось водоцементное отношение. Снова перемешивают бетонную смесь, измеряют осадку конуса и так до тех пор, пока не получат требуемых показателей.

Если при первом измерении подвижность бетонной смеси превышает заданную (например, ОК = 8 см вместо 4–5 см), добавляют небольшое количество песка и щебня (по 5–10 %).

Затем уточняют состав бетона, так как первоначальный объем порций бетонной смеси увеличивается. Для этого определяют фактическую плотность бетонной смеси при способе уплотнения, принятом в производственных условиях. Испытание проводят следующим образом: пустую форму взвешивают, проверяют ее внутренние размеры, заполняют смесью, уплотняют и вновь взвешивают.

Плотность уплотненной бетонной смеси (кг/л) вычисляют по формуле

$$\gamma_{б.см}= (G_2-G_1)/V_ф,$$

где G_1 и G_2 – масса пустой формы и формы с бетоном, кг;

$V_ф$ – внутренний объем формы, л.

Полученное значение плотности бетонной смеси должно совпадать с расчетным (допускаемое отклонение ±2 %). Далее устанавливают фактический объем полученной бетонной смеси в пробном замесе:

$$V_ф=\Sigma G/\gamma_ф,$$

где ΣG – сумма масс материалов, израсходованных на пробный замес, кг; $\gamma_ф$ – фактическая плотность уплотненной бетонной смеси, кг/л.

Зная объем полученной бетонной смеси и расход материалов на пробный замес, определяют фактический объем материалов на 1 м^3 бетона.

Объем пробного замеса зависит от числа требуемых образцов. Если для определения марки бетона готовят по три образца, то принимают следующий минимальный объем замеса:

Размер ребра образца, см……	10	15	20	30
Объем пробного замеса, л……	6	12	25	85

Применительно к условиям примера 8.1 необходимо принять размер контрольных образцов 15 х 15 х 15 см (более 3 $D_{пр}$ щебня), следовательно, объем замеса будет 12 л. Расход материалов на один замес составит:

Цемент…….3,96 кг (330х0,012)
Песок…….....7,2 кг (600х0,012)
Щебень……15,25 кг (1770х0,012)
Вода …….. 2,14 л (178х0,012)

При использовании щебня нескольких фракций следует определить расход каждой фракции исходя из оптимального соотношения между ними. Если для получения требуемой подвижности пришлось увеличить количество цемента и воды на 10 %, то окончательный расход материалов на замес составит:

Цемент……..…4,36 кг (3,96+0,4)
Песок……...…….7,2 кг
Щебень……15,25 кг
Вода…….2,35 л (2,14+0,21)
Всего……..…….29,16 кг

Предположим, что действительная плотность бетонной смеси оказалась 2350 кг/м^3 или 2,35 кг/л, тогда объем замеса $V_ф$= 29,16/2,35 = 12,4 л.

Фактический расход материалов на 1 м^3 бетон будет: Ц = 4,36:0,0124 = 350 кг; В = 190 л; П = 580 кг; Щ = 1230 кг.

Из откорректированной бетонной смеси готовят контрольные образцы и затем их испытывают. На каждый срок испытания изготовляют не менее трех образцов. Образцы формуют в разборных чугунных или стальных (строганных) формах. Размер их необходимо строго выдерживать, не допуская отклонения более ±1 % по граням. Углы между гранями должны составлять 90±2°. Приемы укладки и уплотнения образцов должны соответствовать принятым на производстве. Укладку бетонной смеси в формы следует заканчивать не позднее чем через 30 мин после ее приготовления.

При уплотнении бетонной смеси вибрированием форму заполняют с некоторым избытком, после чего ее вибрируют на лабораторной площадке (частота колебаний 50 Гц, амплитуда колебаний вибратора под нагрузкой 0,5 мм). Лабораторную виброплощадку можно заменить поверхностным вибратором.

Продолжительность вибрования t должна определяться в соответствии с показателем жесткости t = (1,5 + 2) Ж, но не менее Ж + 30 с.

Образцы в течение двух суток хранят в формах в помещении с температурой 16–20 °С, затем освобождают из форм, маркируют и до момента испытания хранят в специальной камере с влажностью около 100 % или в периодически смачиваемых песке, опилках и т. д. Перед испытанием тщательно осматривают образцы, измеряют грани (с точностью до 1 мм), взвешивают.

При испытании прочности образец укладывают на нижнюю опорную плиту боковыми граня. Предел прочности при сжатии бетона вычисляют с точностью до 0,1 МПа как среднее арифметическое результатов испытания трех образцов при условии, что наименьший результат отличается на 20 % от ближайшего показателя. При превышении этой разницы более чем на 20 % вычисление производят по двум наибольшим результатам.

Если действительная прочность бетона при сжатии отличается от заданной более чем на ±15 %, следует внести коррективы в состав бетона: для повышения прочности увеличивают расход цемент (т. е Ц/В), для снижения прочности – уменьшают его.

7.5. Определение производственного состава бетона

На производстве при приготовлении бетона часто применяют влажные заполнители. Количество влаги, содержащейся в заполнителях, должно учитываться при определении действительного расхода воды. В этом случае проводят корректировку состава.

Вначале определяют содержание воды в заполнителях по формулам:

$$В_п = ПW_п,$$

$$В_{пщ} = ЩW_щ,$$

где $W_п$, $W_щ$ – влажность песка и щебня (гравия).

Затем устанавливают действительный расход воды: $В_д = В - В_п – В_щ$. Поскольку часть массы влажных заполнителей составляет вода, то необходимо увеличивать их массу, чтобы обеспечить поступление в бетон полученной расчетом массы твердого материала. Расход песка и щебня увеличивают на массу воды, которая в них содержится, т. е. их расход в производственном составе будет соответственно равен:

$$П_д = П + В_п \text{ и } Щ_д = Щ + В_щ.$$

Расход цемента при данной корректировке состава сохраняется неизменным.

Если для условий примера принять, что влажность песка 3 % и щебня 1 %, то

содержание воды в песке – $В_п = 600 \times 0{,}03 = 18$ л,

то же в щебне – $В_щ = 127 \times 0{,}01 = 12{,}7$ л

Всего 30,7 ~ 31 л.

Для сохранения В/Ц и заданной прочности бетона расход воды, полученный при расчете, для сухих заполнителей в примере 8.1 уменьшается, а сухой песок и гравий соответственно заменяются влажным. Тогда расход материалов в производственном составе бетонной смеси следующий:

Цемент……..…..330 кг

Песок…….……600 + 18 = 618 кг

Щебень…….……..……1270 + 13 = 1283 кг

Вода……..……..177 – 31 = 146 л.

Всего…….……2377 кг

Плотность бетонной смеси не изменяется.

При загрузке цемента и заполнителя в бетоносмеситель их первоначальный объем больше объема получаемой бетонной смеси, так как при перемещении происходит как бы уплотнение массы зерна песка между зернами щебня. Для оценки объема получаемой бетонной смеси используют так называемой коэффициент выхода бетона $\beta_б$, определяемой по формуле

$$\beta_б = 1000/(Ц/\gamma_ц + П/ \gamma_п + Щ/ \gamma_щ),$$

где $\gamma_ц$, $\gamma_п$, $\gamma_щ$ – плотность цемента, песка и щебня.

Влияния воды при определении коэффициента выхода бетона не учитывают, так как вода сразу же проливается в пустоты твердых материалов и на их первоначальный объем не влияет. Однако при определении коэффициент $\beta_б$ для производственного состава используют плотность влажных заполнителей, так как последняя может заметно отличаться, особенно для песка, от плотности сухих заполнителей. Коэффициент выхода бетона зависит от состава бетона и свойств используемых материалов и колеблется в пределах 0,55–0,75.

При расчете расхода материалов на один замес бетоносмесителя принимают, что сумма объемов цемента, песка и щебня (в рыхлом состоянии) соответствует емкости барабана бетоносмесителя. Тогда объем бетона $V_з$, получаемый из одного замеса, составил

$$V_з = \beta_б V_{бс},$$

где $V_{бс}$ – емкость бетоносмесителя.

Расход материалов на замес бетоносмесителя определяют с учетом получаемого объема бетона ($Ц_з$= ЦхV$_з$ и т. д.).

Для рассмотренного выше примера, если $\gamma_{в.п}$=1,б5 и $\gamma_{в\cdot щ}$=1,48 кг/дм^3, получим

$$В_б = \frac{1000}{330/1{,}3 + 618/1{,}65 + 1283/1{,}48} = 0{,}67.$$

Для бетоносмесителя с емкостью барабана 500 л выход бетона из одного замеса составит 500×0,67 = 335 л или 0,335 м^3.

Расход материалов на один замес составит:

цемент .....330 х 0,335 = 111 кг
песок…….618х 0,335 = 207 кг
щебень..... 1283х 0,335 = 430 кг
вода……...136 х 0,335 = 45кг

Состав бетона можно выразить также в виде соотношения 1 : *x* : *y*, т. е.

(330/330) : (618/330) : (1283/330) = 1:1,87:3,89.

Для уточнения расчетных формул, особенно при больших

объемах бетонных работ, рекомендуется предварительно испытать бетон и бетонную смесь, приготовленную на предназначенных к применению материалах, выдерживая образцы в условиях, соответствующих производственным. При использовании уточненных зависимостей для прочности бетона и подвижности бетонной смеси можно назначать состав бетона без экспериментальной проверки с последующей его корректировкой, если это потребуется, по результатам испытания контрольных образцов, приготовленных при бетонировании конструкции или сооружения.

Если ожидается/применение одной–двух марок бетона, достаточно изготовить три пробных замеса с тремя значениями $В/Ц$, например 0,4; 0,55 и 0,7. Необходимо, чтобы диапазон значений $В/Ц$ предполагал получение бетона прочностью на 15–20 % ниже и выше заданной марки. Подвижность бетонной смеси подбирают в соответствии с заданием. Состав бетона для пробных затворений рассчитывают обычными методами.

По результатам испытаний, проведенных в заданные сроки, строят график зависимости прочности бетона от $Ц/В$ при данном цементе или уточняют коэффициенты.

7.6. Определение состава бетона с химическими добавками

С каждым годом расширяется номенклатура добавок, используемых для улучшения свойств бетонной смеси и бетона. Однако это не требует применения для каждого вида добавок особых методов проектирования его состава. Состав бетона в этом случае определяют на основе единой методики, рассмотренной выше, с учетом влияния добавок на основные зависимости «состав – свойство», используемые в расчетах.

При этом учитывают, что добавки не изменяют характера зависимостей, в частности, зависимостей подвижности бетонной смеси от расхода воды и прочности бетона, от активности цемента и цементно-водного отношения, а только изменяют количественное соотношение между разными факторами. Величина подобных изменений зависит от дозировки добавки и может быть учтена на основе рекомендаций, содержащихся в

технических условиях, или инструкции по применению данной добавки или установлена по результатам предварительных опытов.

Введение добавок способствует повышению подвижности смеси и уменьшает расход воды, необходимый для получения равноподвижных смесей, однако основная зависимость ОК = f (В) имеет одинаковый характер и в обычном бетоне, и в бетоне с добавками. Изменяются только положение кривой и, соответственно, получаемые по ней количественные результаты. Если известно, что добавка уменьшает водпотребность бетонной смеси на 10 или 20 %, то можно построить соответствующие кривые и по ним определять расход воды, требуемый для получения заданной подвижности смеси.

При введении комплексных добавок влияние их на водопотребность бетонной смеси можно оценивать по виду и дозировке пластифицирующего компонента. При введении ускорителей твердения ориентировочно можно считать, что зависимость подвижности смеси от расхода воды в этом случае не изменяется и определить расход воды по рекомендациям для обычного бетона без добавки.

В бетонной смеси при расходе цемента от 200 до 450 кг изменение содержания цемента практически так мало сказывается на изменении водопотребности, что этим влиянием пренебрегают. В этом случае говорят о законе постоянства водопотребности бетонной смеси. Введение пластификаторов и суперпластификаторов не нарушает этой закономерности, но изменяет количественное значение водопотребности и пределы, в которых проявляется эта зависимость. Введение этих добавок не только уменьшает водопотребность бетонной смеси, но и смещает верхний предел в сторону больших расходов цемента, т. е. закон постоянства водопотребности бетонных смесей сохраняется при введении пластификаторов до расхода цемента 500–550 кг/м^3, а при введении суперпластификатора до 550–600 кг/м^3, поэтому при высоких расходах цемента в этом случае не надо вводить дополнительную дозу цемента, которая рекомендована для бетонов без добавок.

Эффект воздействия суперпластификатора на бетонную смесь зависит от количества введенной добавки и минералогического состава цемента (табл. 8.7). Однако влияние

второго фактора невелико и может быть учтено соответствующей корректировкой содержания добавки: при применении алюминатных цементов дозировка добавки увеличивается на 0,1–0,2 % массы цемента.

Таблица 7.7

Влияние содержания суперпластификатора и минералогического состава цемента на эффективность его действия

Условная группа цемента	Содержание в цементе, %		Средняя величина уменьшения расхода воды в равноподвижных смесях при дозировке супер пластификатора, %			
	C_3S	C_3A	0,5	0,75	1	1,25
1	49	6	18	23	28	33
2	40	7-8	17	22	27	32
3	33	10	15	19	24	29

Сравнение пластифицирующего действия на бетонную смесь различных суперпластификаторов показало, что оно приблизительно одинаково. Например, при содержании добавки 1 % массы цемента и расходе цемента 500 кг/м^3 снижение водопотребности (величина редуцирования воды ΔB) для разных добавок колебалась от 23 до 25 %.

При определении состава для пробных замесов можно принимать средние значения ΔB, которые зависят от дозировки суперпластификатора: при дозировке 0,5 % массы цемента расход можно уменьшить на 15 %, а каждое последующее увеличение дозировки на 0,25 % снижает расход воды еще на 4–5 %.

При введении в бетонную смесь СДБ или добавок подобного класса, т. е. близких по эффекту воздействия, для расчета ориентировочно можно применять условное среднее значение $\Delta B = 10$ % с последующим уточнением этой величины опытным путем. При улучшении пластифицирующих свойств

СДБ посредством модификации ее щелочами или полимерными добавками (добавки ХДСК или ЛСТМ) значение ΔВ повышается до 12–15 %. Для воздухововлекающих добавок значение ΔВ составляет 3–7 %.

Влияние добавок на водопотребность бетонной смеси можно учесть соответствующим коэффициентом K_1, который показывает, насколько уменьшается в бетонной смеси с добавкой расход воды B_1, требуемый для получения заданной подвижности, по сравнению с обычной бетонной смесью. Расход воды $B_1 = K_1B$. Если известна величина снижения водопотребности бетонной смеси с добавкой ΔВ, % , то $K_1 = (100 - \Delta B)/100$, например, если при введении в бетонную смесь добавки СДБ принять $\Delta B \approx 10$ %, то $K_1 = 0{,}9$.

Приведенные выше данные по влиянию добавок пластификаторов и суперпластификаторов на снижение водопотребности бетонной смеси относятся к тем случаям, когда в бетонную смесь вводится оптимальная дозировка добавки. При уменьшении содержания добавки эффективность ее воздействия на бетонную смесь уменьшается, при повышении содержания добавки по сравнению с оптимальными значениями заметно замедляется твердение бетонной смеси, что требует либо одновременного введения в бетонную смесь ускорителей твердения, либо применения других мероприятий, ускоряющих твердение бетона. В результате может снизиться технико-экономическая эффективность использования добавки в бетонной смеси.

Оптимальные дозировки пластифицирующих и воздухововлекающих добавок приведены в табл. 7.8 и 7.9. При дозировке пластифицирующих добавок учитывается вид цемента, а при выборе дозировки воздухововлекающих добавок – расход цемента.

Оптимальная дозировка суперпластификатора зависит от ожидаемого технико-экономического эффекта: вводится ли добавка для повышения подвижности бетонной смеси, либо сокращения расхода цемента, либо для повышения прочности бетона, либо для совершенствования формования бетонных и железобетонных изделий.

Таблица 7.8

Рекомендуемое количество пластифицирующих и пластифицирующе-воздухововлекающих добавок

Вид цемента	Добавки с расчетом на сухое вещество, % массы цемента		
	СДБ, УПБ	М, ВЛХК ГКЖ–10 ГКЖ–11	ВПР–1
Протландцемент, быстротвердеющий портландцемент	0,15–0,25	0,1–0,2	0,005–0,02
Сульфатостойкий протландцемент	0,1–0,2	0,05–0,15	0,01–0,02
Шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент	0,2–0,3	0,1–0,2	0,01–0,03

Таблица 7.9

Рекомендуемое количество воздухововлекающих и газообразующих добавок

Добавки	Количество с расчетом на сухое вещество, % массы цемента, при расходе его , кг/м^3		
	до 300	300–450	Более 450
СНВ, СПД, ЦНИПС–1, СДО, С, ОП	0,005–0,015	0,01–0,02	0,015–0,035
ГКЖ ГКЖ–94	0,06–0,08	0,05–0,07	0,03–0,05

Эффект применения постепенно повышается с увеличением содержания добавки, но при расходе добавки более 1,2 % массы цемента может также наступать замедление твердения бетона, что нежелательно при изготовлении сборных железобетонных конструкций. Оптимальную дозировку суперпластификаторов на практике находят опытным путем. Для расчета состава пробных замесов можно ориентировочно

принимать, что для обычных бетонов оптимальная дозировка добавки составляет 0,5–0,7 %, а для высокопрочных бетонов 0,7–1,2 % массы цемента.

При применении комплексных добавок учитывается суммарный эффект влияния добавки на бетонную смесь, а дозировки компонентов принимаются для каждой добавки самостоятельно (табл. 7.10). Оптимальное решение по оптимальной дозировке добавки принимается после проведения контрольных испытаний. В этом случае стремятся достигнуть поставленных целей при минимально возможном расходе добавки.

Таблица 7.10

Рекомендуемые составы комплексных добавок

Вид добавок	Количество добавок в расчете сухое вещество, % массы цемента
СДБ+(СНВ, СПД)*	(0,1 - 0,3) + (0,003 - 0,03)
СДБ+(ГКЖ–94, ПГЭН)	(0,1 - 0,3) + (0,05 - 0,1)
СДБ+(СН,ХК,НК,ННХК)	(01 - 0,3) + (0,3 - 1,5)
УПБ+СН	(0,1 - 0,3) + (0,5 - 1,5)
ПАЩ – 1 + (СНВ,СПД)	(0,1 - 0,3) + (0,005 - 0,02)
СДБ + (СНВ, СПД) + ННК	(0,1 - 0,15) + (0,001 - 0,03) + (0,5 - 1,5)

Характер зависимости прочности бетона от цементноводного отношения при применении химических добавок также не изменяется. Введение пластификатора и суперпластификатора может несколько изменить положение кривой $R_б = f$ (Ц/В) по сравнению с кривой для бетона без добавки. Если добавка приводит к дополнительному воздухововлечению в бетонную смесь, то прочность при одном и том же Ц/В несколько понижается. Если же добавка способствует получению более плотного цементного камня, то прочность несколько повышается, а соответственно кривая $R_б = f$ (Ц/В) располагается выше кривой для обычного бетона. Положение кривой или значение коэффициентов в формулах прочности бетона может быть установлено в результате предварительных испытаний.

Введение пластификаторов и суперпластификаторов расширяет область, в которой наблюдается прямолинейная

зависимость прочности бетона от цементноводного отношения. Для бетона с пластификаторами изменение прямолинейной зависимости наступает при Ц/В > 3,3, а для бетонов с суперпластификатором при В/Ц > 4. Это влияние добавок на свойства бетона при высоких значениях Ц/В позволяет использовать при расчете высокопрочных бетонов формулу $R_б = AR_ц/(Ц/В - C)$, т. е. производить расчет обычного и высокопрочного бетона по единой формуле прочности.

Если расход цемента при приготовлении бетона остается неизменным, то суммарное влияние добавок пластификатора и суперпластификатора на свойства бетона складывается из влияния их на плотность цементного камня и тем самым на повышение прочности бетона (при постоянном $В/Ц$), что учитывается коэффициентом $К_2$, и из эффекта, достигаемого за счет снижения расхода воды и повышения вследствие этого $Ц/В$. На рис. 8.12 подобное изменение прочности показано как величины ΔR_1 и ΔR_2.

Можно оценить суммарное влияние добавок с помощью суммарного коэффициента R_3, который представляет собой отношение прочности бетона с добавкой и пониженным $В/Ц$ (для равноподвижной бетонной смеси) $R_{доб.}$ до о к прочности бетона без добавки $R_{б.}$ Поскольку $R_{доб} = К_2AR_ц(Ц/К_1В – 0,5)$, то

$$К_3 = К_2 \frac{1 – К_2 0{,}5 К_1 В/Ц}{1 – 0{,}5 К_1 В/Ц}.$$

Приведенные соображения для добавок пластификаторов и суперпластификаторов можно распространить и на случай применения добавок-ускорителей твердения, Эти добавки, заметно изменяя твердение бетона в раннем возрасте, практически мало влияют на его прочность в возрасте 28 сут. В отдельных случаях повышение прочности составляет не более 10–15 %, поэтому и в этом случае можно полагать, что добавки-ускорители твердения не меняют зависимости прочности бетона от цементно-водного фактора в возрасте 28 сут, а возможное влияние их на изменение прочности можно учитывать как при случае с пластификаторами коэффициентом $К_2$.

Добавки-ускорители твердения существенно изменяют прочность бетона в раннем возрасте, однако влияние их на кинетику твердения бетона зависит от вида цемента, состава бетона, условий твердения и ряда других факторов. Возможное повышение прочности бетона вследствие применения добавок в возрасте 1 сут приведено в табл. 7.11. Наилучшие результаты достигаются, когда твердение бетона с добавками происходит при несколько повышенной температуре. Это позволяет в раннем возрасте получить достаточно высокую относительную прочность бетона и в некоторых случаях отказаться от тепловой обработки железобетонных изделий.

Таблица 7.11

Относительная прочность бетона с добавками в раннем возрасте

Добавка	$\frac{В}{Ц}$	Относительная прочность бетона в возрасте 1 сут на цементе марки		
		400	500	600
Ускорители твердения ($CaCl_2$)	0,4	0,3	0,4	0,45
	0,6	0,2	0,3	0,35
Комплексная добавка	0,4	0,4	0,5	0,55
(ускоритель твердения,	0,6	0,3	0,4	0,45
суперпластификатор,				
антивоздухововлекающий				
компонент	0,4	0,55	0,65	0,7
То же, твердение при 40 ^{0}C	0,6	0,45	0,55	0,6
	0,4	0,25	0,25	0,35
Без добавки (для сравнения)	0,6	0,1	0,15	0,25

Добавки-ускорители твердения должны вводиться в бетонную смесь в оптимальных количествах. Обычно оптимальная дозировка добавок устанавливается из условия, что добавка оказывает еще достаточно эффективное воздействие на бетон, но при этом не вызывает побочных отрицательных явлений.

Таблица 7.12

Оптимальное содержание добавок-ускорителей твердения и ингибиторов коррозии стали

Вид цемента	В/Ц	Содержание добавок в расчете на сухое вещество, % массы цемента		
		СН, ХК	НК, ННХК	ИНК, НИ
Портландцемент, БТЦ, сульфатостойкий портландцемент	0,35–0,55 0,55–0,75	1–1,5 0,5–1	1,5–2,5 1–2	2,5 2
Шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент, пластифицированный или гидрофобный портландцемент	0,35–0,55 0,55–0,75	1,5–2 1–1,5	2–3 1,5–2,5	2,5 3

При меньшей дозировке добавки падает ее эффективность, при большей дозировке, с одной стороны, значительно понижается эффект от воздействия каждого дополнительного количества добавки, вводимого в бетон сверх оптимального, что снижает общий технико-экономический эффект, а с другой – могут наступить нежелательные явления, например, добавка $CaC1_2$ в повышенных количествах может способствовать коррозии арматуры. Оптимальные дозировки добавок обычно устанавливают опытным путем. Для определения состава бетона для пробных замесов можно принимать оптимальные дозировки добавок по табл. 8.12.

Используя коэффициенты эффективности добавок в бетонной смеси и бетона $К_1$ и $К_2$ можно существенно упростить определение состава бетона. В этом случае используют методику для обычных бетонов.

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Бетонная смесь представляет собой сложную многокомпонентную систему, состоящую из частичек вяжущего, новообразований, возникающих при взаимодействии вяжущего с водой, зерен заполнителя, воды, вводимых в ряде случаев специальных добавок, вовлеченного воздуха. Из-за проявления сил взаимодействия между перечисленными компонентами эта система приобретает связность и может рассматриваться как единое физическое тело с определенными физическими свойствами.

Таблица 8.1

Классификация бетонных смесей по удобоукладываемости

Группы смесей	Марка по удобоукладываемости	Подвижность, см	Жесткость, с
Сверхжесткая	СЖ3	–	более 100
	СЖ2	–	51–100
	СЖ1	–	50 и менее
Жесткая	Ж4	–	31–60
	Ж3	–	21–30
	Ж2	–	11–20
	Ж1	–	5–10
Подвижная	П1	1–4	3 и менее
	П2	5–9	–
	П3	10–15	–
	П4	16–20	–
	П5	21 и более	–

Для проведения работ и обеспечения высокого качества бетона в конструкциях и изделиях необходимо, чтобы бетонная смесь имела консистенцию, сооветствующую условиям ее укладки и уплотнения, т. е. определенную удобоукладываемость. Это основное свойство бетонной смеси оценивают показателями подвижности и жесткости. По этим показателям бетонные смеси подразделяют на следующие группы и марки (табл. 8.1).

Помимо удобоукладываемости бетонные смеси характеризуются также средней плотностью, объемом вовлеченного воздуха, расслаиваемостью, сохраняемого во время свойств: удобоукладывамости, расслаиваемости, объема вовлеченного воздуха.

Свойства бетонной смеси зависят от ее состава, вида и свойства отдельных компонентов. Так, при увеличении содержания цементного теста и, соответственно, уменьшении содержания заполнителей смесь становится более подвижной. Аналогично влияет увеличение содержания в смеси воды, но это может вызвать расслоение смеси, а прочность бетона падает.

8.1. Определение подвижности бетонной смеси

В качестве показателя подвижности используют осадку бетонного конуса под собственной массой. С этой целью используют стандартный прибор в форме усеченного конуса, изготовленного из листовой стали (рис. 8.1). Конус с размерами, приведенными на рис. 8.1, предназначается для определения подвижности бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей круности до 40 мм.

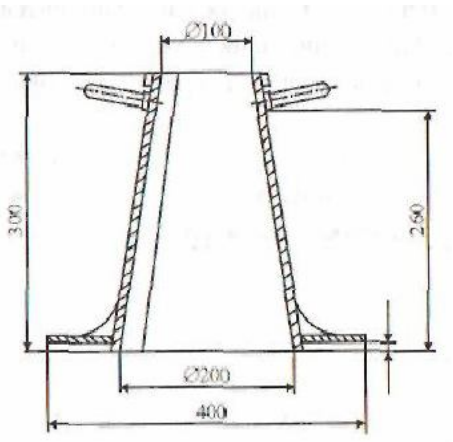


Рис. 8.1. Конус для определения подвижности бетонной смеси

Сначала внутреннюю поверхность конуса вытирают влажной тканью и устанавливают на ровную поверхность. На конус надевают воронку, заполняют бетонной смесью до 1/3 высоты и штыкуют металлическим стержнем 25 раз. Затем конус заполняют до 2/3 высоты, штыкуют 25 раз, далее заполняют с избытком и штыкуют опять 25 раз. Штыкование проводят равномерно от стенок к центру конуса. После уплотнения третьего слоя воронку снимают, кельмой срезают излишек смеси и заглаживают поверхность. Металлический конус поднимают вертикально и устанавливают рядом с отформованным бетонным конусом.

Разность в высотах металлического и бетонного конуса, измеряемая с округлением до 0,5 см, означает подвижность бетонной смеси. Измерение проводят два раза и по двум результатам вычисляют среднеарифметическое значение подвижности с округлением до 1 см. При этом разница между двумя результатами не должна превышать 1 см при ОК $\leq$ 4 см, 2 см при ОК = 5 - 9 см и 3 см при ОК $\geq$ 10 см. В противном случае готовят новый замес, и опыт повторяют до получения необходимых результатов.

При размере зерен заполнителя более 40 мм используют увеличенный конус с размерами, мм: внутренний диаметр нижнего основания – 300, верхнего основания – 150, высота – 450. Метод определения подвижности с применением этого конуса аналогичен стандартному, но при этом полученный результат умножают на поправочный коэффициент 0,67 для приведения к величине осадки обычного конуса.

Если в результате испытания бетонной смеси осадка конуса будет равна нулю, это означает, что смесь не обладает подвижностью, и поэтому в качестве показателя удобоукладываемости используют жесткость смеси.

Результаты опытов заносят в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Результаты определения подвижности бетонной смеси

Марка и вид бетона, изготовляемого из смеси	Результаты частных испытаний, см	Среднеарифметический результат, см

8.2. Определение жесткости бетонной смеси

Показатель жесткости бетонной смеси определяют на специальном приборе, который состоит из цилиндрического сосуда 1 высотой 200 мм внутренним диаметром 240 мм с закрепленным на нем устройством 9 для измерения осадки бетонной смеси в виде направляющего штатива 8, штанги 5 и металлического диска 6 толщиной 4 мм с шестью отверстиями 7 (рис. 8.2).

Прибор устанавливают на стандартную лабораторную виброплощадку и плотно прикрепляют к ней. Затем в сосуд помещают металлическую форму-конус 3 с насадкой 4 для заполнения бетонной смесью.

Размеры формы-конуса такие же, как и при определении подвижности бетонной смеси, т. е. высота – 300 мм, нижний диаметр – 200 мм, верхний – 100 мм. Форму-конус с помощью специального кольца-держателя 2 закрепляют в приборе и заполняют тремя слоями бетонной смеси, уплотняя ее штыкованием (25 раз каждый слой). Затем удаляют форму-конус, поворачивают штатив, устанавливают на поверхности бетонной смеси диск и включают виброплощадку. Вибрирование при частоте (2900 ± 100) кол./мин и амплитуде (0,50 ± 0,01) мм продолжают до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из двух отверстий диска. Полученное время вибрирования – показатель жесткости бетонной смеси.

Жесткость бетонной смеси определяют дважды. Общее время испытания от начала первого определения до окончания второго не должно превышать 15 мин. Жескость бетонной смеси вычисляют с округлением до 1 с как среднее арифметическое значение результатов двух определений, отличающихся не более чем на 20 %. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе.

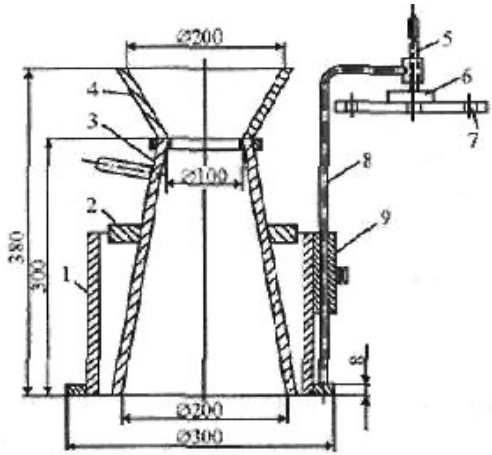


Рис. 8.2. Стандартный прибор для определения жесткости бетонной смеси

В лабораторих иногда используют упрощенный способ определения жесткости бетонной смеси, предложенный Б. Г. Скрамтаевым. По этому способу испытание проводят следующим образом. В обычную металлическую форму для приготовления кубов размером 200 х 200 х 200 мм вставляют стандартный конус. Предварительно с него снимают упоры и немного уменьшают нижний диаметр, чтобы конус вошел внутрь куба (рис. 8.3).

Наполняют конус так же в три слоя. После снятия металлического конуса бетонную смесь подвергают вибрации на лабораторной площадке. Вибрация длится до тех пор, пока бетонная смесь не заполнит всех углов куба и ее поверхность не станет горизонтальной.

Как показали опыты, показатель жесткости, определенный на стандартном приборе, приблизительно в 1,5 - 2 раза меньше показателя, полученного по способу Б. Г. Скрамтаева.

Результаты опытов заносят в таблицу, аналогичную табл. 8.2.

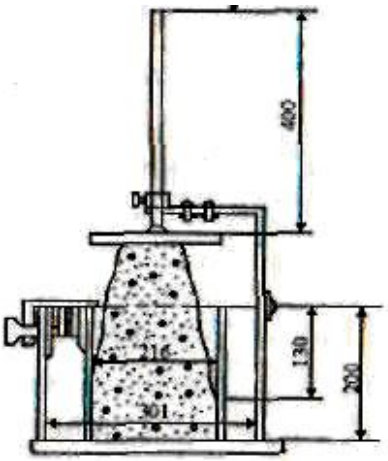


Рис. 8.3. Определение жескости бетонной смеси упрощенным способом

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Качество тяжелого бетона характеризуют классами и марками по прочности при сжатии и изгибе, марками по морозостойкости и водонепрницаемости. Класс бетона по прочности на сжатие определяют величиной гарантированного предела прочности на сжатие в МПа с обеспеченностью 0,95 образцов бетона базового размера (кубов с ребром 15х15х15) с возрасте 28 суток. Бетоны подразделяют на классы: В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60; В65; В70; В75; В80.

На производстве контролирует среднюю прочность бетона на сжатие или марку бетона по прочности на сжатие. Соотношение между классами бетона по прочности на сжатие, средней прочностью на сжатие и марками по прочности на сжатие приведены в табл. 9.1.

Для тяжелых бетонов, применяемых в строительстве дорог и аэродромов, устанавливаются классы и марки бетона по прочности при изгибе.

Для бетонов конструкций, потвергающихся в процессе эксплутации по переменному замораживанию и оттаиванию, назначают следующие марки по морозостойкости: F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800, F1000

Для бетонов конструкций, к которым предъявляются требования ограничения проницаемости или повышенной плотности и коррозионной стойкости, назначают марки по водонепроницаемости. Марки тяжелого бетона по водонепроницаемости. Марки тяжелого бетона по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W10, W12, W16, W18, W20.

Таблица 9.1

Классы, марки и средняя прочность бетона на сжатие

Класс бетона по прочности на сжатие	Средняя прочность бетона данного класса,МПа	Ближайшая марка бетона по прочноти на сжатие
В3,5	4,6	М50
В5	6,5	М75
В7,5	9,8	М100
В10	13,1	М150
В12,5	16,4	М150
В15	19,6	М200
В20	26,2	М250
В25	37,7	М350
В30	39,3	М400
В35	45,8	М450
В40	52,4	М500
В45	58,9	М600
В50	65,5	М700
В55	72,0	М700
В60	78,6	М800

Определение объемной массы и объема бетона в замесе. Откорректированную бетонную смесь укладывают в сосуд объемом 5 *л*, вибрируют на стационарной виброплощадке до появления цементного молоко (время вибрирования 2 мин). После этого излишек бетонной смеси срезают и определяют объемную плотность (кг/л) и объема бетона $V_б$ (в л) в замесе по формулам:

$$\rho_{о.п.} = m/V; \quad V_б = m/\rho_{о.п,}$$

$$m_3 = m_2 - m_1,$$

где m_3 – масса бетона в сосуде, кг; m_1 – масса сосуда, кг; m_2 – масса сосуда с бетоном, кг; m – масса всех материалов, пошедших на изготовление замеса, кг; V – объем сосуда, л.

Изготовление и хранение образцов. Из откорректированной бетонной смеси (для одного состава) изготовливают три образца куба для определения марки бетона по пределу прочности при

сжатии. Размеры образцов зависят от наибольшей крупности зерен заполнителя: при крупности 30 мм. Размер ребра куба должен быть 10 мм; при 50 мм – 15; при 70 мм – 20 см и при 100 мм – 30 см. Бетон в форме укладывают вибрированием на стационарной виброплощадке со стандартным режимом: частота вертикально направленных колебаний 2800–3000 в 1 мин и с амплитудой под нагрузкой ± 0,35 мм.

Образцы хранят в течение 28 сут. в нормальных условиях при температуре 18^0 (±2) и относительной влажности воздуха не ниже 90 % (первые 1–2 суток в формах).

Определение расхода материалов на 1 м³ бетона. Этот показатель подсчитывают по весу и объему материалов:

по весу (в кг) $Ц = (m_ц / V_б) \cdot 1000;$

по объему $V_ц / \rho_{о.ц.},$

где $Ц$ – расход цемента на 1 м^3 бетона, кг; $V_ц$ – объем цемента на 1 м^3 бетона, л; $m_ц$ – количество цемента на пробный замес (m, л) и сумма всех корректирующих добавок ($m_1 + \ldots + m_п$) для установления заданной удобоукладываемости, кг; $V_б$ – объем бетонной смеси, л; $\rho_{о.ц.}$ – объемная (насыпная) плотность цемента, кг/л,

Таким же способом определяют расход песка, щебня и воды по весу и объему на 1 м^3 бетона.

Номинальные составы бетона:

по весу $\dfrac{Ц}{Ц} : \dfrac{П}{Ц} : \dfrac{Щ}{Ц};$

по весу $\dfrac{V_ц}{V_ц} : \dfrac{V_п}{V_ц} : \dfrac{V_щ}{V_ц};$

Определение производственного состава смеси. Рассчитав расход материалов на 1 м^3 бетона, переходят к определению производственного состава бетона, т. е. учитывают влажность заполнителей. Для этого подсчитывают количество воды, находящейся в заполнителе, умножая вес заполнителя на процент его влажности.

Таблица 9.2

Определение расхода материалов на 1 м^3 бетона

№ п.п.	В/Ц	Маркировки	$K_{об}$	β	Расход материалов на 1 м^3 бетона, кг											
					расчетный						уточненный					
					Ц	В	П	Щ	Д	Всего	Ц	В	П	Щ	Д	Всего

Определенную таким путем воду заполнителей вычитают из количества всей воды, найденной для лабораторного состава бетона. Уменьшенный вследствие этого полный вес состава бетона возмещают соответствующим количеством влажного заполнителя (песка и щебня). В итоге суммы весов лабораторного и производственного состава бетона должны быть равными. Результаты заносят в табл. 9.2 по прилагаемому образцу.

Испытание образцов бетона и установление его марки. Образцы перед испытанием осматривают. Грани, прилегающие при испытании к плитам пресса, должны быть параллельными и не иметь раковин. Обнаруженные дефекты на гранях образцов исправляют заливкой раковин густым цементным тестом непосредственно после снятия формы. Затем образцы взвешивают и измеряют для определения плотностью и площади сечение образца. Испытания ведут на прессе любой конструкции; нагрузка при испытании должна возрастать непрерывно и равномерно со скорстью 0,2–0,3 МПа в 1 секунду.

Предел прочности при сжатии отдельно образца вычисляют как частное от деления величины разрушающей нагрузки на величину рабочей площади образца.

Для определения предела прочности бетона при сжатии испытывают три образца и вычисляют среднее арифметическое из результатов испытаний этих образцов. Если наименьший результат испытания одного из трех образцов отличается более чем на 20 % от следующего показателя, вычисление предела

прочности ведут по двум наибольшим результатам. Предел прочности нужно привести (если испытание производилось на стандартных образцах) к пределу прочности при сжатии образца-куба с ребром 150 мм.

После окончания срока выдерживания образцы подвергают испытанию на прессе для определения предела прочности при сжатии. Результаты испытания записывают в табл. 9.3.

Дата изгтовления ……
Дата испытания ……..
Возраст …….
Маркировка ……

Таблица 9.3

№ п.п	Размеры образца, см			Площадь сечение, $см^2$	Объем, $см^3$	Масса, г	Разрушающая нагрузка	Плотность, $г/см^3$	Предель прочности при сжатии, МПа	
	высота	ширина	толщина						размер опытного образца-куба, см	образца 15 х 15 х 15 см

Определение коэффициента выхода бетона. Материалы для изготовления бетона ($V_ц$, $V_п$ и $V_щ$) до перемешивания занимают объем, равный сумме их объемом в отдельности. При перемешивании происходит уплотнение бетонной смеси, так как пустоты в щебне будут заполнены песком, а пустоты в песке – цементным тестом. Объем бетонной смеси $V_б$ будет всегда меньше суммы объемов составляющих его сухих материалов, что можно выразить неравенством

$$1000 \neq (V_ц, V_п \text{ и } V_щ).$$

Это неравенство можно заменить равенством путем введения коэффициентом β:

$$1000 = \beta\ (V_{ц,} + V_{п} + V_{щ}),$$

где β – коэффициент выхода бетона, колебляющийся в пределах 0,55–0,75 в зависимости от объема пустот в заполнителях; $V_{ц}$, $V_{п}$ и $V_{щ}$ – объем цемента, песка, щебня, л;

$$\beta = 1000 / (V_{ц,} + V_{п} + V_{щ}).$$

Коэффициент выхода бетона позволяет не только определить объем бетонной смеси, но и вести расчет материалов на заданную емкость бетоносмесителя.

Определение расхода материалов на замес бетоносмесителя. Составные части бетона на замес бетономешалки определенной емкости с учетом найденного коэффициента выхода бетона подсчитывают по формуле

$$Ц_{v} = (V\beta / 1000)Ц,$$

где $Ц_{v}$ – количество цемента, требуемое на замес бетоносмесителя, кг; V – объем бетоносмесителя, л; Ц – расход цемента на 1 $м^3$ бетона, кг.

Таблица 9.4

Сводная таблица

№ п.п.	В/Ц	Удобоукладываемость		Плотность, кг/$м^3$		Расход материалов										Коэффициент выхода	$R_{сж}$	Марка бетона
						на 1 $м^3$ бетона					на замес бетоносмесителя							
		см	с	смеси	бетона	Ц	В	П	Щ	Всего	Ц	В	П	Щ	Всего			

Таким образом определяют расход воды, песка, щебня на один замес бетоносмесителя. Все результаты заносят в табл. 9.4 по прилагаемому образцу.

Выводы и рекомендации. Результаты всех испытаний сводят в табл. 9.3. Выбирают оптимальный состав бетона по максимальному пределу прочности при сжатии и минимальному

расходу цемента и коэффициента выхода бетона. Рассчитывают расход материалов на замес бетоносмесителя. Строят графики зависимости R_c, β, Ц от В/Ц или $К_{изб}$ и делают выводы.

9.1. Определение предела прочности тяжелого бетона на сжатие

Предел прочности бетона на сжатие обычно определяют на образцах кубической формы с размерами грани 70, 100, 150, 200, 300 мм; а также на образцах цилиндрической формы диаметром 70,100,150,200 мм и высотой h = d или 2d. Размеры образцов выбирают в зависимости от максимального размера зерен заполнителя. Максимальный размер зерен заполнителя должен быть не более 1/4 размера грани куба или диаметра цилиндра. Образцы испытывают сериями по три образца.

Перед формованием внутреннюю поверхность металлических форм смазывают тонким слоем машинного масла. Уплотнение бетонной смеси при изготовлении образцов осуществляют способом, принятым в технологии производства изделий. При невозможности выполнения этого условия образцы формуют следующим образом. Укладку бетонной смеси и ее уплотнение проводят штыкованием с помощью металлического стержня диаметром 16 мм. Количество штыкований определяется из расчета 10 штыкований на каждое 100 $см^2$ площади образца.

При уплотнении бетонной смеси с подвижностью менее 10 см или жесткостью до 11 с форму закрепляют на лабораторном вибростоле с помощью металлических зажимов. Форму заполняют бетонной смесью с избытком и включают вибростол. Вибрирование продолжают до тех пор, пока смесь полностью не заполнит форму с образованием на поверхности цементного молока.

При изготовлении образцов из бетонной смеси жесткостью 11 с и более на форме закрепляют насадку. Форму с насадкой жестко закрепляют на виброплощадке и устанавливают на поверхность смеси пригруз, обеспичивающий давление (4,0±0,5) кПа, и вибрируют до прекращения оседания пригруза, плюс дополнительно 5–10 с.

Затем излишек бетонной смеси срезают металлической линейкой, и поверхность образца сглаживают кельмой. При определении пределов прочности на сжатие товарного бетона поверхность образцов закрывают влажной тканью, выдерживают в комнате при температуре воздуха (20±3) не менее 24 ч, а затем распалубливают и помещают в камеру нормального твердения. Если предусмотрено тепловлажностное ускоренное твердение бетона, то образцы в формах помещают в пропарочную камеру и подвергают тепловлажностной обработке по заданному режиму. Чаще всего образцы подвергают твердению вместе с изделиями в идентичных условиях.

Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру (дефектные образцы испытанием не подлежат), взвешивают, определяют среднюю плотность. Среднее значение средней плотности бетона округляют до десяти кг/м^3. Испытуемый образец устанавливают на нижнюю плиту гидравлического пресса так, чтобы направление разрушающей силы было параллельно слоям бетонной смеси при ее уплотнении. Нарастание нагрузки на образец должно быть постепенным. Скорость нарастания нагрузки на образец должно быть постепенным. Скорость нарастания нагрузки должна быть в пределах (0,6 ±0,4) МПа в секунду.

Таблица 9.5

Значения масштабных коэффициентов для приведения прочности тяжелого бетона к прочности в образцах базового размера

Длина ребра куба,мм	Значение коэффициента,α
70	0,85
100	0,95
150	1,00
200	1,05
300	1,10

Таблица 9.6

Результаты определения предела прочности бетона на сжатие

Дата изготовления образцов	Маркировка серии образцов	Проектный класс (марка), МПа	Удобоукладываемость бетонной смеси ОК, см	Дата испытания	Масса образца, г	Размеры образца, см	Средняя плотность образца в момент испытания, кг/м^3	Тип испытательной машины, шкала	Показания силоизмерителя испытательной машины	Разрушающая нагрузка, кН	Прочность бетона, приведенная к базовому	Средняя прочность, МПа

Предел прочности бетона в МПа (кгс/см^2) вычисляют по формуле

$$R = \alpha \cdot \frac{P}{F},$$

где P – разрушающая сила, Н (кгс); F – площадь поперечного сечения образца,мм^2 (см^2); α – масштабный коэффициент.

Значения масштабных коэффициентов выбирают из табл. 9.5 в зависимости от размеров испытуемых образцов.

После вычисления предела прочности отдельных образцов рассчитывают среднее арифметическое значение предела прочности в данной серии образцов: из двух образцов – по двум образцам; из трех образцов-по двум наибольшим по прочности образцам.

Результаты опытов заносят в табл. 9.6.

9.2. Определение прочности бетона неразрушающими методами

Для более полного контроля бетона в изжелиях недостаточно обычных стандартных испытаний контрольных образуов. Образцы имеют другие размеры, что сказывается на условиях их формования и твердения, и поэтому они оценивают прочность бетона в изделии лишь с некоторой степенью приближения.

В настоящее время широко используют неразрушающие методы контроля прочности бетона, которые позволяют ориентировочно определить прочность в любой конструкции или изделия без их разрушения. Неразрушающие методы можно разделить на две группы: механические или поврехностные (методы упрогого отскока, ударного импульса, пластических деформаций, отрыва участка конструкции, скалывания ребра конструкции и т. д.) и физических (ультразвуковые, резонансные методы, метод свободных колебаний). При использовании неразрушающих методов прочность бетона определяют по градуировочной зависимости, связывающей косвенный показатель прочности бетона (величина отскока бойка, диаметр отпечатка на бетоне, скорость прохождения через него ультразвукового импульса и т. п.) с прочностью бетона. Градуировочная зависимость устанавливается на основании параллельных испытаний под прессом и неразрушающим методом не менее чем пятнадцати серий контрольных образцов-кубов. Контрольные образцы отбираются из произвольно выбранных замесов. Если отобранные таким образом образцы не обеспечат разброса значений прочности бетона в диапазоне, дающем возможность построить градуировочную зависимость, допускается изготавливать до 40 % образцов с отклонениями по цементно-водному отношению до ±0,4.

Среди механических неразрушающих методов на практике наиболее распространены: метод пластических деформаций, основанный на принципе заглубления в бетон бойка (шарика) при ударе и получения отпечатка (лунки) на бетоне определенного диаметра, и метод упрогого отскока, в котором косвенной характеристикой прочности является величина отскока бойка от поверхности бетона (или прижатого к ней ударника).

Первый метод испытания бетона реализуется с помощью пружинных приборов с определенной энергией удара, а также молотка Кашкарова с произвольный энергией удара. С целью уменьшения влияния этого параметра на результаты измерений, при использовании последнего прибора косвенной характеристикой прочности бетона является соотношение диаметров отпечатков на бетоне и эталонном стержне.

Эталонный молоток конструкции К. П. Кашкаров представлен на рис. 9.1. Метод определения прочности бетона заключается в том, что при ударе молотком по поверхности бетонной конструкции одновременно образуются два отпечатка: первый диаметром $d_Б$ – на бетоне, второй диаметром $d_Э$ – на введенном в молоток эталонном стержне. За косвенную характеристику прочности бетона принимают отношение $d_Б$:$d_Э$, по которому определяют прочность бетона в данном месте конструкции. Эталонный стержень длиной 150 и диаметром 10 мм изготовлен из стали Ст3, конец стержня заострен.

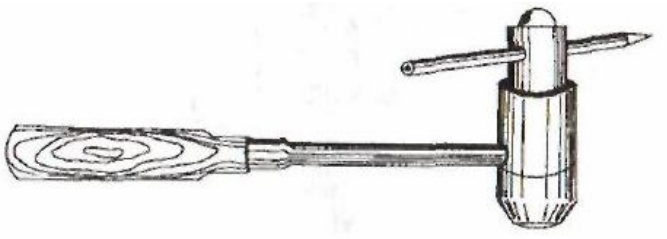


Рис. 9.1. Эталонный молоток конструкции К. П. Кашкарова

Эталонным молотком наносят не менее 5 ударов в различных точках по длине или площади конструкции. Во время испытания необходимо следить за тем, чтобы ось головки молотка была перпендикулярна поверхности испытуемой конструкции. После каждого удара эталонный стержень передвигают таким образом, чтобы расстояние между центрами соседних отпечатков было не менее 10 мм. Удары по поверхности испытуемой конструкции наносят так, чтобы расстояние между местами испытаний было не менее 30 мм.

Диаметр лунок на бетонной поверхности и эталонном стержне измеряют с погрешностью до 0,1 мм угловым масштабом, состоящим из двух стальных измерительных линеек, склепанных под углом. Для облегчения измерения диаметров отпечатков на бетоне удары можно производить через листы копировальной и белой бумаги.

Прочность бетона в конструкции устанавливают с помощью градиуровочной зависимости по среднеарифметическому значению косвенной характеристики. Полученные таким образом значения прочности справедливы для бетона с влажностью 2–6 %. В случае повышенной влажности значения предела прочности бетона необходимо умножить на поправочный коэффициент влажности, принимаемый равным при влажности 8 % $К_в$ –1,1; при влажности 12 % $К_в$ –1,2.

Метод упрогого отскока позволяет получать более достоверные данные о прочности бетона, так как на величину упрогого отскока в большой степени влияют внутренние слои конструкции. Этот метод осуществляется с помощью молотков Шмидта, часто называемых склерометрами. Склерометр ОМШ–1 (рис. 9.2) предназначен для определения прочности бетона на сжатие в диапазоне 5...40 МПа в бетонных и железобетонных конструкциях.

Перед выполнением удара нажатием ладони на сферический конец индентора приводят склерометр в рабочее положение. При этом стрелка на шкале прибора должна занять нулевое положение. Затем устанавливают склерометр в выбранную точку испытуемой поверхности перпендикулярно к ней. Удерживая склерометр за корпус 1 двумя руками так, чтобы один палец находился у стопора, прижимают индентор к поверхности бетона и плавно сдвигают к ней корпус прибора до щелчка (удара). Не отводя склерометр от поверхности бетона, нажимают пальцем на кнопку-стопор 2, фиксируя положение бегунка со стрелкой 3 после удара. Высоту отскока определяют по шкале с точностью до единицы (0,5 деления шкалы). Испытание выполняют в не менее чем в пяти точках изделия.

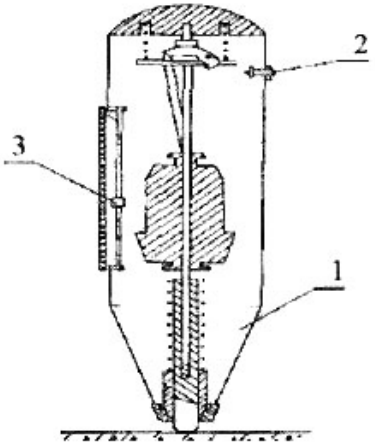


Рис. 9.2. Склерометр ОМШ–1

Затем вычисляют среднее значение величины упрогого отскока и определяют прочность бетона по градуировочной зависимости, заранее установленной путем параллельных испытаний контрольных кубов бетона склерометром и на прессе. При испытании контрольных кубов склерометром они должны быть зажаты в прессе усилием (30±5) кН. Положение склерометра относительно испытуемой поверхности должно быть таким же, как и при установлении градуировочной зависимости, т. е. горизонтально. При необходимости испытания горизонтальных или наклонных поверхностей следует учесть угол наклона между продольной осью прибора и горизонтальной плоскостью для введения поправки при обработке результатов.

Результаты опытов заносят в табл. 9.7.

Таблица 9.7

Результаты определения прочности бетона неразрушающим методом

Вид контролируемой прочности и ее требуемое значение	Наименование неразрушающего метода, тип прибора	Среднее значение косвенной характеристики прочности	Значение прочности бетона по градуировочной зависимости, МПа	Поправочный коэффициент	Значение прочности бетона с учетом поправочного коэффициента, МПа	Среднее значение прочности бетона, МПа

9.3. Определение морозостойкости бетона

Морозостойкость – способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без видимых признаков разрушения,без определенного снижения прочности, а в ряде случаев- без определенной потери массы.

Морозостойкость материала количественно оценивается маркой по морозостойкости. За марку по морозостойкости принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания,которое выдерживают образцы материала без видимых признаков разрушения и определенного снижения прочности и потери массы.

Существуют следующие методы определения морозостойкости бетона:

1. Базовый для всех видов бетона, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий.
2. Базовый для бетонов дорожных и аэродромных покрытий и ускоренный для других видов тяжелого бетона.
3. Ускоренный для бетонов дорожных и аэродромных покрытий и других видов тяжелого бетона.
4. Ускоренный при однократном замораживании – дилатометрический.
5. Ускоренный при однократном заморживании – структурно-механический.

Четвертый и пятый методы применяются для всех бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, при этом последний метод предназначен для оценки морозостойкости бетона при подборе и корректировке его состава и не применяется для контроля этого показателя качества бетона.

В данной работе рассматриваются первые три метода определения морозостойкости бетона как наиболее часто применяемые на пркатике.

Размеры и количество образцов, а также среда для их испытаний в каждом из этих методов приведены в табл. 9.8.

Контрольными называют образцы, которые испытывают на сжатие через 2–4 ч после первоначального насыщения водой или водным раствором соли.

Основными называют образцы, которые испытавают на сжатие через 2–4 ч после проведения заданного количества циклов попеременного замораживания в морозильной камере и оттаивания в ванне с водой или водным раствором соли. Первоначальное насыщение образцов бетона водой или водным раствором соли проводится при температуре (18±2) °С путем погружения в ванну с водой или водным раствором соли на 1/3 их высоты с последующим выдерживанием в течение 24 ч, затем погружением на 2/3 высоты с выдержванием 24 ч, и наконец, полным погруженим (образцы должны быть окружены водой со всех сторон слоем не менее 20 мм) с выдержанием в течение 48 часов.

Таблица 9.8

Размеры и количество образцов, среда для их испытаний

Метод определения морозостойкости	Размеры образцов кубов, мм	Среда			Число образцов	
		насыщения	Замораживания	оттаивания	контрольных	основных
1	100 x 100 x 100 или 150 x 150 x 150	Вода	Воздух	Вода	6	12
2	100 x 100 x 100 или 150 x 150 x 150	5 %-й раствор NaCl	Воздух	5 %-й раствор NaCl	6	12
3	100 x 100 x 100 или 70 x 70 x 70	5 %-й раствор NaCl	5 %-й раствор NaCl	5 %-й раствор NaCl	6	6

Режимы замораживания и оттаивания образцов в первом и втором методах приведены в табл. 9.9.

В третьем методе замораживание ведут так: понижают температуру до минус 50–55 в течение (2,5±0,5) ч, затем выдерживают при этой температуре еще (2,5±0,5) ч, затем повышают температуру до минус 10 в течение (1,5±0,5) ч и после этого выгружают из морозильной камеры. Оттаивание ведут в течение (2,5±0,5) ч при температуре + (18±2). При этом замораживании кубов с ребром 70 мм время понижения и выдерживания температуры, а также оттаивания образцов уменьшают на 1 час.

В первом и втором методах воду или водной раствор соли в ванне для оттаивания меняют на свежий через каждые 50 циклов, а в третьем – через каждые 5 циклов.

Таблица 9.9

Режимы замораживания и оттаивания образцов в первом и втором методах

Размеры образцов	Режимы			
	замораживания		оттаивания	
	время, не менее, ч	температура, °С	время,ч	температура, °С
100 х 100 х100 150 х 150 х 50	2,5 3,5	-(18 ±2)	2,0± 0,5 3,0± 0,5	+(18± 2)

После определение количество циклов замораживания и оттаивания, должно проводиться испытание образцов на сжатие, а также определяется потеря массы образца.

Марку бетона по морозостойкости считают соответствующей требуемой, если снижение средней прочности основных образцов после установленного числа циклов замораживания и оттаивания по сравнению со средней прочностью контрольных образцов будет не более чем на 5 %, а для бетона дорожных и аэродромных покрытий, кроме того, не должно быть потери массы более чем на 3 %. В первом и втором методах устанавливается промежуточное число циклов, после которых должно проводиться испытание основных образцов на сжатие.

Если среднее значение прочности образцов после промежуточных циклов будет меньше средней прочности контрольных образцов более чем на 5 % или для бетонов дорожных и аэродромных покрытий потеря массы будет больше чем на 3 %, то дальнейшее испытание следует прекратить и марку бетона по морозостойкости считать не соответствующей требуемой.

Результаты опытов заносят в табл. 9.10.

Испытание бетона на морозостойкость классическим (базовыми) методами имеет особенность, связанную с поведением цементной составляющей в процессе испытаний. В бетоне даже после набора им марочной прочности остается заметное количество зерен цемента, не полностью прореагировавших с водой, т. е. способных к твердению. Гидратация этой части при испытании на морозостойкость может происходить в период оттаивания образцов в воде. Таким образом, в процессе испытаний одновременно протекают два конкурирующих процесса: деструктивный – разрушение цементного камня при замораживании, и конструктивный – рост прочности цементного камня во время нахождения образцов в воде, в начале испытаний суммарный эффект может быть положительным, т. е. прочность бетона даже увеличивается. Затем начинает превалировать процесс деструкции, и прочность снижается. Поэтому при испытании бетона на морозостойкость по базовым методам нормативная потеря прочности, указывающа на окончание испытаний, составляет всего 5 % от начальной прочности бетона, в то время как при испытании кирпича нормативная потеря прочности составляет 15 %.

Таблица 9.10

Результаты определение морозостойкости бетона

№ образцов		Масса образцов в водонасыщенном, г состоянии, г	Размеры образцов, мм	Количество циклов замораживания и оттаивания	Масса образцов после испытания	Предел прочности на сжатие контрольных образцов, МПа	Предел прочности на сжатие контрольных образцов, МПа	Потеря в массе, %	Потеря в прочности, %	Морозостойкость
основных	контрольных									

10. Общие положения и требования по технике безопасности

Законодательство Республики Казахстан обязывает всех сотрудников производственных организаций пройти соответствующую подготовку и проверку знаний для безопасного выполнения должностных обязанностей. Происшествие – это незапланированное событие с возможными нежелательными последствиями. Соблюдение всех правил и требований техники безопасности является обязанностью каждого работающего в лаборатории. Все работающие в лаборатории должны знать приемы безопасной работы по всем видам лабораторных работ, проводимых в лаборатории. Ответственность за соблюдение техники безопасности на своем рабочем месте несет каждый работающий.

К лабораторной работе допускаются сотрудники, ознакомленные с инструкцией и прошедшие инструктаж по технике безопасности. Ознакомление с правилами техники безопасности должно подтверждаться личной подписью каждого сотрудника. Необходимо знать правила и требования по применению средств индивидуальной защиты, а также обеспечивать их выполнение для создания безопасных условий труда.

Все работающие в лаборатории должны уметь оказывать первую медицинскую помощь при ожогах и поражении электрическим током. Сотрудники, работающие в лаборатории, должны знать, где расположены первичные средства пожаротушения, и уметь пользоваться ими, знать порядок вызова скорой медицинской помощи и пожарной команды.

Необходимо строго соблюдать инструкцию по эксплуатации прибора или механизма. При обнаружении неисправности прибора или механизма нужно немедленно выключить рубильник, питающий прибор электротоком. Следует содержать оборудование и механизмы в безопасном рабочем состоянии и проводить регулярную проверку на предмет их безопасности, надежности. Категорически запрещается протирать ветошью любые вращающиеся и движущиеся детали оборудования. Все движущиеся части и детали оборудования должны протираться только после полной

остановки оборудования. Использование средств защиты органов слуха является обязательным на участках, где уровень шума составляет 80 дБ и выше.

Защитные перчатки необходимо использовать во время проведения работ, при которых руки подвержены воздействию опасных химикатов, острых предметов, а также очень высоких или очень низких температур. Тип защитных перчаток должен выбираться в зависимости от опасных факторов, характерных для проводимых работ, соответствия материала, из которого изготовлены перчатки, вида потенциальной химической опасности, а также с учетом обеспечения свободы движения для проведения работ.

Пешеходные дорожки, входы, аварийные выходы, пожарное оборудование, жидкость для промывки глаз, а также электрощиты с выключателями должны быть всегда свободными для доступа и не должны быть загромождены материалами. В зданиях должно быть достаточно выходов, через которые персонал сможет быстро покинуть помещение в случае аварийной ситуации. Данные выходы должны открывать доступ к улице или другой открытой территории, откуда можно пройти в безопасное место.

На все химические вещества, используемые или хранящиеся на каждом объекте, должны иметься паспорта безопасности химических веществ, которые должны храниться в доступных для персонала местах. Эти краткие характеристики материалов содержат информацию о воздействии на организм и способах защиты от воздействия, а также особые меры предосторожности при работе с данными химикатами. При работе с химическими веществами необходимо использовать, как минимум, средства индивидуальной защиты.

11. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

$$$ Основные факторы, влияющие на свойства бетонной смеси

$$ В/Ц, зерновой состав и качество заполнителей, вид цемента и химической добавки, метод уплотнения

$ В/Ц и зерновой состав

$ качество мелкого и крупного заполнителей

$ вид химической добавки и цемента

$ вид химической добавки и метод уплотнения

$$$ Повышение подвижности или снижение водопотребности бетонной смеси можно достигнуть применением

$$ пластификаторов

$ солей неорганических кислот

$ пластических масс

$ золы

$ минеральных, активных добавок

$$$ Химическим свойствам бетона относятся

$$ щелочестойкость и растворимость

$ атмосферостойкость и дисперсность

$ морозостойкость и прочность

$ теплопроводность и подвижность

$ пластичность и плотность

$$$ Как влияет увеличение крупности заполнителя на подвижность бетонной смеси

$$ подвижность бетонной смеси возрастает

$ уменьшается

$ не изменяется

$ изменяется

$ вначале возрастает, а затем уменьшается

$$$ Тип структуры бетонной смеси обеспечивающий наибольшую прочность бетона

$$ бетонная смесь с плотной упаковкой заполнителя

$с недостатком цементного теста

$ с плавающим заполнителем

$ крупнозернистая

$ мелкозернистая

$$$ Свойства бетона, характеризующие его долговечность

$$ водостойкость, морозостойкость, атмосферостойкость и сульфатостойкость

$ водопоглощение и динамическая прочность

$ прочность и пористость

$ твердость и жаростойкость

$ плотность и твердость

$$$ Способы ускорения твердения бетона

$$ механический, химический, тепловой, механо-химический

$ воздействием отрицательных температур

$ увеличением продолжительности вибрирования

$ добавками

$ твердением бетонной смеси в воде

$$$ Основные пути улучшения структуры бетона

$$ применение химических добавок, уплотнение бетонной смеси, уход за твердеющим

бетоном

$ применение тепловой обработки

$ обработка бетона рентгеновскими лучами

$ применение минеральной посыпки поверхности бетона

$ обработка (полив) поверхности бетона горячей водой

$$$ Называется бетоном

$$ искусственные каменные материалы, получаемые в результате затвердевания тщательно перемешанной и уплотненной смеси из вяжущего, мелкого и крупного

заполнителей, воды и химических добавок, взятых в определенных пропорциях

$ материалы, получаемые перемешиванием смеси из цемента, щебня и гравия

$ материалы, получаемые в результате перемешивания тщательно подобранной смеси

$ смесь цемента и крупных заполнителей, взятых в определенных пропорциях

$с тщательно подобранные ингредиенты из вяжущего с водой и крупного заполнителя

$$$ Прочность бетона – это

$$ свойство материала сопротивляться разрушению от действия внутренних напряжений, возникающих в результате действия нагрузки или других факторов

$ сопротивляться действию попеременного замораживания и оттаивания

$ мера движения электронов

$ свойство материала не разрушаться под действием тепла;

$ свойство материала не деформироваться под действием нагрузки

$$$ Водонепроницаемость бетона существенно повышается применением

$$ гидрофобно-пластифицирующих добавок

$ неорганических кислот

$ выдержки в воде

$ замораживания

$ пропаривания

$$$ Укажите размеры стандартных образцов, кубов-эталонов, см:

$$ 15 х 15 х 15

$ 3 х 3 х 3

$ 2 х 2 х 2

$ 1,0 х 1,0 х 1,0

$ 7,07 х 7,07 х 7,07

$$$ F50 означает
$$ морозостойкость бетона при 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания
$ фигура 50
$ предел прочности бетона на сжатие
$ форс-мажорные обстоятельства
$ 50 циклов замораживания бетона

$$$ М200 означает у бетона
$$ марку бетона по прочности
$ водонепроницаемость
$ усадку
$набухание
$ морозостойкость

$$$ Какие вяжущие материалы применяют при изготовлении тяжелых бетонов
$$ портландцемент и его разновидности
$ лаки, краски
$ гипс
$ битумы
$ известь

$$$ Цементы какой активности целесообразно применять для сокращения сроков твердения бетона
$$ марки 400, 500 и 600
$ марки 200
$ любой активности
$ не более 300
$ марки 100

$$$ Какая форма зерен обеспечивает наименьшую пустотность заполнителей
$$ кубовидная
$ октаэдры
$ шаровидная
$ игольчатая
$ лещадная

$$$ Какое влияние оказывают пылевидные, илистые и глинистые примеси в заполнителях на прочность бетона
$$ снижают прочность бетона
$ повышают
$ улучшают структуру
$ не влияют
$ стабилизируют

$$$ Какие размеры зерен заполнителя называют песком
$$ от 0,14 до 5 м.
$ до 0,14 мм
$ до 15 мм
$ до 20 мм
$ до 40 мм

$$$ Воздухововлекающие добавки в бетоне обеспечивают
$$ повышение морозостойкости бетона
$ снижение морозостойкости
$ увеличение плотности
$ снижение прочности
$ увеличение истираемости

$$$ На какой объем бетона назначается расход составляющих материалов
$$ 1000 л
$ один замес бетоносмесителя емкостью 12 л
$ объем 3-х кубиков размерами 10 х 10 х 10 см;
$ объем ведра
$ 10 л

$$$ Сумма абсолютных объемов компонентов бетонной смеси при проектировании состава бетона должна быть равна
$$ 1000 л
$ 3000 л
$ 1500 л
$ 250 л
$ 10 л

$$$ Как изменяется расход воды в бетонной смеси в зависимости от крупности щебня

$$ с увеличением фракции (Днаиб) щебня уменьшается расход воды

$ с увеличением фракции щебня

$ фракция щебня не оказывает влияния

$ расход воды не зависит от фракции щебня

$ расход воды зависит от качества перемешивания

$$$ Какие требования предъявляются к удобоукладываемости бетонной смеси для бетонирования густоармированных железобетонных конструкций без виброуплотнения

$$ ОК = 12–18см

$ОК = 15см

$ОК = 0 см

$ОК = 4 см

$Ж =15 с

$$$ Какие марки цемента можно рекомендовать для приготовления бетона марки М300

$$ 500, М600

$ 300

$ 100

$ 200

$ 250

$$$ Какое условие должно выполняться при изготовлении высокопрочного бетона в отношении крупного заполнителя

$$ предел прочности крупного заполнителя должен быть на 20 % выше заданной прочности бетона

$ крупный заполнитель должен быть мытым

$ крупный заполнитель следует подвергать нагреву

$ крупный заполнитель следует обработать HCI

$ предел прочности крупного заполнителя должен быть равен прочности бетона

$$$ Какая группа горных пород применяется в тяжелых бетонах в качестве заполнителя:

$$ гранит, диорит, габбро, базальт
$ гранит, пемза
$ диатомит, кварцит
$ гранит, керамзит
$ гранит, трепел

$$$ Удобоукладываемость смеси определяют конусом Абрамса и оценивают по

$$ подвижности или жесткости
$ вязкости
$ растекаемости
$ легкости формования
$ содержанию воды

$$$ В соответствии с известным законом, прочность бетона зависит от

$$ активности цемента, цементно-водного отношения, качества заполнителей
$ расхода цемента
$ расхода и вида заполнителя
$ наличия крупного заполнителя
$ наличия мелкого заполнителя

$$$ Ускорение твердения бетонов обеспечивается

$$ введением химических добавок, тепловлажностной обработкой
$ уплотнением
$ вибрированием
$ введением гидрофобизаторов
$ введением пластификаторов

$$$ Марки бетона по морозостойкости

$$ F25…1000
$ F0,5
$ F30
$ F100
$ F10

$$$ Крупный заполнитель для бетонов характеризуется размерами
$$ 5–70 мм
$ до 5 мм
$ до 50 мм
$ до 30 мм
$ до 0,7 мм

$$$ Прочность бетона означает
$$ свойство материала сопротивляться разрушению от действия внутренних напряжений возникающих в результате действия нагрузки или других факторов
$ сопротивляться действию попеременного замораживания и оттаивания
$ мера движения электронов
$ свойство материала не разрушаться под действием тепла
$ свойство материала не деформироваться под действием нагрузки

$$$ Вяжущие вещества применяемые при производстве тяжелых бетонов
$$ портландцемент и его разновидности
$ полимерные
$ гипс
$ битумы
$ известь

$$$ Размеры зерен песка
$$ от 0,14 до 5 мм.
$ до 0,14 мм;
$ до 15 мм;
$ до 20 мм;
$ до 40 мм;

$$$ Железобетоном называет бетон
$$ с арматурной сталью
$ с радиоактивными породами
$ с резиновыми жгутами
$ с каменными глыбами
$ с текстильными волокнами

$$$ Прочность тяжелого бетона зависит от
$$ активности цемента, цементно-водного отношения, качества заполнителей
$ расхода цемента
$ расхода и вида заполнителя
$ наличия крупного заполнителя
$ наличия мелкого заполнителя

$$$ Класс бетона – это численная характеристика
$$ его марочной прочности с гарантированной обеспеченностью 0,95
$ прочности
$ плотности
$ морозостойкости
$ сульфатостойкости

$$$ Марки тяжелых бетонов по прочности
$$ М50…800
$ М150
$ М300
$ М100
$ М1000

$$$ При испытании образцов размером 10 х 10 х 10 см применяется переходной коэффициент
$$ 0,95
$ 0,7–0,75
$ 0,7–0,8
$ 0,8–0,9
$ 1,0–1,05

$$$ Проектная прочность бетона определяется в возрасте, сут
$$ 28
$ 1
$ 3
$ 7
$ 9

$$$ Жесткость бетонной смеси марки СЖ 3, секундах
$$ более 100
$ 20–30
$ 10–20
$ 5–10
$ 0–5

$$$ Жесткость бетонной смеси марки СЖ 2, секундах
$$ 51–100
$ 30
$ 20
$ 10
$ 5

$$$ Жесткость бетонной смеси марки СЖ 1, секундах
$$ 50 и менее
$ 30
$ 20
$10
$ 5
$$$ Жесткость бетонной смеси марки Ж4, секундах
$$ 31–50
$ 30
$ 20
$ 10
$ 5

$$$ Жесткость бетонной смеси марки Ж3, секундах
$$ 21–30
$ 30
$ 20
$ 10
$ 5

$$$ Жесткость бетонной смеси марки Ж2, секунды
$$ 11–20
$ 30
$ 20
$ 10
$ 5

```
$$$ Жесткость бетонной смеси марки Ж1, секунды
$$ 5–10
$ 30
$ 20
$ 10
$ 5

$$$ Осадка конуса бетонной смеси марки П1, см
$$ 1–4
$ 5
$ 10
$ 15
$ 20

$$$ Осадка конуса бетонной смеси марки П2, см
$$ 5–9
$ 5
$ 10
$ 15
$ 20

$$$ Осадка конуса бетонной смеси марки П3, см
$$ 10–15
$ 5
$ 10
$ 15
$ 20

$$$ Осадка конуса бетонной смеси марки П4, см
$$ 16–20
$ 5
$ 10
$ 15
$ 20

$$$ Осадка конуса бетонной смеси марки П5, см
$$ 21 и более
$ 5
$ 10
$ 15
$ 20
```

$$$ В тяжелых бетонах заданную подвижность бетонной смеси обеспечивают

$$ правильным назначением расхода воды

$ добавками

$ заполнителями

$ песком

$ цементом

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Annual book of ASTM standards. Standard Test Method of Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method. 1993. – 846 p.

2. *Баженов Ю. М., Комар А. Г.* Технология бетонных и железобетонных изделий: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1984. – 672 с.

3. *Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С.* Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.

4. British Standard. 5328 part 1:1991. Concrete. Guide to specifying concrete.

5. British Standard. 12:1996. Cement.

6. British Standard. 882:1992. Aggregates from natural sources for concrete.

7. *Ицкович С. М.* Заполнители для бетона. – Минск, 1983. – 62 с.

8. Королев К.М. Производство бетонной смеси и раствора. – М.: Высшая школа, 1973. – 343 с.

9. *Лещинский М. Ю.* Испытание бетона. – М.: Стройиздат, 1980. – 360 с.

10. *Ратинов В. Б., Розенберг Т. И.* Добавки в бетон. – М.: Стройиздат, 1973. – 207 с.

11. Руководство по применению химических добавок в бетоне. – НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1980. – 55 с.

12. ГОСТ 8735–88 Песок для строительных работ. Методы испытаний.

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

14. ГОСТ 310.1–76 Цементы. Методы испытаний.

15. ГОСТ 10181.0–81 Смеси бетонные. Общие требования к методам испытаний.

16. ГОСТ 23732–79 Вода для бетонов и растворов.

17. *Шалимо М. А.* Лабораторный практикум по технологии бетонных и железобетонных изделий: Учеб. пособие. – Минск: Высшая школа, 1987. – 196 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	Предисловие…….. ..	3
1.	Основные сведения о бетоне…….....	5
2.	Положение о строительной лаборатории……..	8
2.1.	Общие положения……...	8
2.2.	Обязанности строительной лаборатории……..	9
2.3.	Права и ответственность строительной лаборатории……..…	10
3.	Вяжущие вещества……..…...	12
	Определение физико-механических свойств составляющих бетона……..…	12
3.1.	Отбор проб цемента……..……..	12
3.2.	Определение плотности цемента…….	14
3.3.	Определение тонкости помола.....	16
3.4.	Определение нормальной густоты цементного теста…….	17
3.5.	Определение сроков схватывания цемента…….	19
3.6.	Определение равномерности изменения объема цемента……	20
3.7.	Определение консистенции цементного раствора...	22
3.8.	Определение предела прочности цемента……	24
	Мелкие заполнители……...	25
3.9.	Отбор проб песка…….	25
3.10.	Определение зернового состава и модуля крупности…….	26
3.11.	Определение истинной плотности песка…….	29
3.12.	Ускоренное определение истинной плотности песка……..	30
3.13.	Определение насыпной плотности песка…….	30
3.14.	Определение влажности песка……...	32
	Крупные заполнители…….	32
3.15.	Отбор проб щебня……...	32
3.16.	Определение зернового состава…….	33
3.17.	Определение плотности заполнителя……	36
3.18.	Определение насыпной плотности заполнителя….	36
3.19.	Определение пустотности заполнителя……..	37
3.20.	Влажность…….….....	37
3.21.	Водопоглощение крупного заполнителя……..	38

3.22. Определение содержания в щебне пластинчатых и игловатых зерен……. 38
3.23. Определение дробимости щебня при сжатии в цилиндре…….. 40
4. Бетон……. 42
4.1. Отбор проб бетона…….…. 42
4.2. Определение подвижности бетонной смеси…..…... 42
4.3. Определение содержания воздуха в бетоне…..…… 45
4.4. Изготовление образцов бетона……. 48
4.5. Метод определения плотности…….…. 50
4.6. Метод определения водопоглощения……..... 51
5. Вода для бетона…….…... 53
5.1. Контроль качества воды…….…. 53
5.2. Испытание воды…….. 55
6. Добавки к бетону..... 56
7. Проектирование состава бетона……. 58
7.1. Основные положения определения состава бетона… 58
7.2. Выбора соотношения между мелким и крупным Заполнителями…..……... 62
7.3. Порядок расчета состава бетона……..……... 70
7.4. Экспериментальная проверка состава бетона... 73
7.5. Определение производственного состава бетона…. 76
7.6. Определение состава бетона с химическими добавками…….…… 79
8. Определение свойств бетонной смеси……..... 88
8.1. Определение подвижности бетонной смеси……..... 89
8.2. Определение жесткости бетонной смеси…….. 91
9. Определение свойств тяжелого бетона..... 94
9.1. Определение предела прочности тяжелого бетона на сжатие..... 100
9.2. Определение прочности бетона неразрушающими методами..... 103
9.3. Определение морозостойкости бетона..... 107
10. Общие положения и требования по технике безопасности……... 112
11. Тестовые задания для самоконтроля 114
Библиографический список..... 126

Учебное издание

Акмалаев Кенжебек Акмалаевич

ЛАБОРАТОРНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА

Учебное пособие

Нач. РО ИИЦ *З. Губайдулина*
Редактор *З. Губайдулина*
Компьютерная верстка *Д. Тажиева*

Подписано в печать 25.02. 2015 г.
Тираж 300 экз. Формат 60x84x 1/16. Бумага типографская № 1.
Уч.-изд.л. 8.0. Усл. п.л. 7,4. Заказ № 289. Цена договорная.

Издание Казахского национального технического университета
им. К. И. Сатпаева
Учебно-издательский центр КазНТУ,
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

ISBN 978-601-228-788-2

