Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР
Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова

Руководство

Методы испытаний бетона и бетонной смеси при подборе состава и контроле качества бетона при строительстве гидромелиоративных сооружений

gost.e-ecolog.ru

Москва 1981

Руководство разработано в развитие раздела "Контроль качества бетонных работ при возведении монолитных и сборномонолитных сооружений" главы СНиП III-45-76.

Руководство предназначено для строительных лабораторий организаций, осуществляющих строительство противофильтрационных и защитных конструкций каналов, плотин, дамб, водохранилищ и других гидротехнических и мелиоративных сооружений, и ставит своей целью повышение роли лабораторий в обеспечении заданного уровня качества противофильтрационного бетона в процессе подготовки производства и выполнения строительных работ. Оно может быть использовано также проектными и организационно-технологическими институтами при подборе составов бетона, проведении технологических исследований, составлении схем операционного контроля, разработке процессов контроля в проектах организации строительства.

Руководство содержит описание методов ускоренных испытаний бетона и бетонной смеси, которые могут быть реализованы на месте выполнения бетонных работ без стационарного оборудования, требующего специального обслуживания, и дают полную информацию о качественных показателях бетона и ходе технологического процесса его приготовления, укладки и твердения.

Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР
Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова

РУКОВОДСТВО

Методы испытаний бетона и бетонной смеси при подборе состава и контроле качества бетона при строительстве гидромелиоративных сооружений

Одобрено научно-техническим
Советом Минводхоза СССР,
протокол № 340 от 6 мая 1980 г.

Москва 1981

В разработке руководства принимали участие: к.т.н. Павлов Л.С., к.т.н.Синяков В.К. (ВНИИГиМ, Минводхоз СССР), инж.Саидов Ш.Г., (САНИИРИ, Минводхоз СССР), к.т.н.Аверин Д.А. (ЦНИИПромзданий, Госстрой СССР), инж.Хомутченко С.Я.(Донецкий Промстройниипроект, Госстрой СССР), к.т.н.Дворкин Л.И., инж.Шушпанов В.А. (УкрНИИВХ, Минводхоз УССР), к.т.н. Самченко В.С. (Укрводстрой, Минводхоз УССР), инж.Лисов Н.Д., инж.Кузьмин Б.Н. (ОКБ ВНИИГиМ), инж.Антонкин О.М. (трест Оргтехстрой "Мелиорация", Минводхоз УзССР), инж.Усколовский А.Л. (ВНИИЖелезобетон, Минстроймaтериалов СССР).

Отзывы и предложения просьба направлять по адресу:
127550,Москва,ул.Б.Академическая,44, ВНИИГиМ

© Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н.Костякова (ВНИИГиМ), 1981 г.

В В Е Д Е Н И Е

Современные темпы производства бетонных работ с применением высокопроизводительных бетоноукладочных комплексов требуют организации эффективной системы оперативного контроля качества бетона. По мере интенсификации бетонных работ возрастает степень участия строительных лабораторий в производственном процессе и их роль в обеспечении заданного качества бетона в бетонных и железобетонных конструкциях и сооружениях.

Вся система контроля качества бетона и бетонных работ, осуществляемая строительной лабораторией с целью обеспечения заданных свойств бетона в сооружении, может быть разбита на технический контроль (контроль выдерживания заданных проектом марок), прогнозирующий качество будущего бетона в сооружении, и технологический контроль (контроль параметров бетона-полуфабриката и выдерживания заданных режимов отдельных операций его обработки), характеризующий стабильность технологического процесса. При положительных данных технического контроля по результатам испытаний контрольных образцов, поддержание необходимого качества бетона готовой конструкции может быть гарантировано правильным выполнением всей последовательности операций производства бетонных работ, обеспечиваемых технологическим контролем.

Технологический и в т.ч. операционный контроль должен осуществляться приобъектными лабораториями (лабораториями строительных трестов, СМУ, ПМК и контрольными постами) по номенклатуре оперативных характеристик, оптимальным их значениям и границам регулирования, назначенным центральной лабораторией при подборе состава бетона и отработке технологического процесса бетонирования. В условиях существенной неоднородности свойств применяемых в бетоне материалов и влияния неучитываемых при проектировании и отработке технологии факторов требуется, наряду с качественным выполнением отдельных операций, постоянная оптимизация всего технологического процесса в целом. Это обеспечивается достаточно оперативной регулировкой параметров технологического процесса, выполняемой по результатам технологического контроля и осущест-

влением активной связи лаборатории с непосредственными производителями работ. Такой контроль должен осуществляться на месте производства работ ускоренными методами с применением простых в обслуживании средств контроля. Приведенные в руководстве методы контроля как раз отвечают этим требованиям и могут быть реализованы в условиях полевых, передвижных и временных стационарных лабораторий. На все описанные в руководстве средства контроля имеется конструкторская и техническая документация, которую можно получить в ОКБ ВНИИГИМ по адресу: 141800, г.Дмитров,Моск.обл., 2-я Левонабережная, 12.

I. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА БЕТОНА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

I.I. Бетон противофильтрационных одежд каналов характеризуется следующими качественными показателями:

I) назначения - водопроницаемость, прочность на сжатие и растяжение, деформативность;

II) стойкости - трещиностойкость, морозостойкость, водостойкость, коррозионная стойкость;

III) экономической эффективности - приведенные затраты, отнесенные к единице марки бетона, затраты на обеспечение технологического запаса на нестабильность производства.

Состав бетона подбирают, исходя из данных показателей назначения и стойкости при минимизации приведенных затрат в зависимости от функциональных особенностей конструкции, способа возведения и условий ее эксплуатации.

При этом один из показателей назначения, как правило - прочность на сжатие, является оптимизируемым при подборе состава бетона и выполнении бетонных работ, значения же других должны находиться в заданных пределах.

Одновременно с подбором состава бетона, исходя из условий и принятой технологии бетонирования, задают оптимальные значения и допустимые отклонения:

- параметров технологического процесса - норм дозирования компонентов, длительности перемешивания, времени транспортирования, интенсивности и длительности уплотнения, режима ухода за твердеющим бетоном;

– технологических свойств бетонной смеси – воздухововлечения, связности, степени уплотнения, интенсивности удельных влагопотерь или набора прочности при твердении бетона.

I.2. Вся система контроля качества бетонных работ подразделяется на контроль технический, заключающийся в испытаниях контрольных образцов из проб приготовленной бетонной смеси по полной или сокращенной программе подбора состава бетона, и контроль, технологический, т.е. контроль технологических свойств бетона и бетонной смеси, а также параметров технологического процесса, обеспечивающих качественное выполнение операций дозирования, перемешивания, транспортирования, укладки, уплотнения бетонной смеси и ухода за твердеющим бетоном.

Технический контроль необходим для определения качества приготовления бетонной смеси на стадиях подбора состава бетона, его приготовления и транспортирования и позволяет характеризовать качество компонентов бетона, а также выполнение всех технологических операций, предшествующих отбору проб бетона. Контроль по стандартным образцам позволяет также прогнозировать качество бетона готовой конструкции при условии правильного выполнения последующих (за отбором проб бетона) технологических операций.

Технологический контроль параметров бетонной смеси и твердеющего бетона позволяет следить за ходом технологического процесса и осуществлять необходимую подстройку в случае отмеченных существенных отклонений.

I.3. По стадии осуществления контроль подразделяется на входной, операционный и приемочный. Задачей входного контроля является оценка и обеспечение заданных свойств поступающих компонентов бетона.

Задачей операционного контроля является поддержание достигнутого при подготовке производства уровня качества бетона в процессе строительства путем предупреждения и выявления нарушений нормального хода технологического процесса, обнаружения и ликвидации причин выявленных нарушений. При этом регулирование технологического процесса рекомендуется производить по двум законченным циклам: I – обеспечение заданного качества бетонной смеси, II – обеспечение оптимальных параметров последующей ее обработки.

Задачей приемочного контроля качества является достоверная оценка качественных показателей бетона в сооружении по

результатам технического (прогнозирующего) контроля и натурных испытаний сооружений, количественная оценка достигнутого уровня качества бетона и надежности сооружения.

I.4. Для применения в приобъектных строительных лабораториях рекомендуются следующие методы испытаний бетона в образцах:

- оценка прочности на сжатие методом отрыва со скалыванием с ограничением зоны вырыва;
- определение водопроницаемости по результатам измерения коэффициента фильтрации и размера фильтрующих пор;
- прогнозирование морозостойкости по соотношению открытых и условно замкнутых пор, находимых методом кипячения с вакуумированием;
- оценка коррозионной стойкости по снижению поверхностной твердости (диффузионный режим) или по повышению проницаемости (фильтрационный режим);
- методы испытаний проб бетонной смеси:
- контроль жесткости на вискозиметре Вебе или упрощенным способом с помощью перфорированной насадки;
- контроль технологической вязкости бетонной смеси, укладываемой бетоноотделочной машиной по скорости истечения смеси из контрольной емкости при рабочих параметрах вибрирования;
- контроль воздухововлечения объемным методом с помощью рабочей меры вместимости с конической крышкой;
- контроль воздухосодержания уложенной бетонной смеси по результатам испытания натурной пробы, отобранной с помощью закладной формы, устанавливаемой на месте будущей конструкции перед бетонированием;
- оценка качества ухода за твердеющим бетоном по интенсивности удельных влагопотерь в первые часы твердения, контролируемых с помощью закладных весовых стаканчиков;
- методы испытаний бетона в готовой конструкции:
- испытания на прочность методом отрыва со скалыванием (с ограничением или без ограничения зоны вырыва);
- испытания на водопроницаемость по интенсивности направленной фильтрации с компенсацией бокового расплыва.

I.5. При строительстве протяженных и разбросанных гидромелиоративных сооружений с большим объемом бетонных работ целесообразно организовать следующий порядок контроля качества бетона.

а) На стадии подготовки производства:

- оптимизируется состав бетонной смеси и технология производства бетонных работ с учетом свойств компонентов бетона, особенностей сооружения, применяемого способа строительства, местных условий (климатических, географических и пр....) и наличий технических средств;

- одновременно с подбором и оптимизацией состава бетона и технологических режимов производства строятся все возможные зависимости типа "показатель качества - регулируемый параметр", которые в ходе производства будут использованы для регулирования режимов производства, разрабатывается алгоритм принятия мер при выходе того или иного показателя качества за допустимые пределы;

- исходя из номенклатуры заданных показателей качества, назначаются контролируемые параметры бетонной смеси и бетона-полуфабриката, которые необходимо контролировать в ходе производства работ для поддержания установленного уровня качества бетона, определяются методы и средства контроля, порядок осуществления и использования результатов.

б) При укладке первых партий бетона:

- производится анализ достигнутых показателей качества, определяются статистические показатели производства (однородность и стабильность, достигнутый уровень качества, устанавливается технически и экономически обоснованный уровень показателей и контролируемых параметров, предупредительные и контрольные границы их допустимого изменения, разрабатывается программа текущего контроля;

- строятся необходимые для осуществления текущего контроля зависимости типа "качественный показатель - контролируемый параметр", уточняются значения переводных коэффициентов, выполняется анализ точностных характеристик применяемых методов контроля.

в) В процессе производства работ:

- по установленной программе осуществляют текущий контроль выбранных на предварительном этапе параметров бетонной смеси и бетона-полуфабриката и производят необходимую подстройку режимов производства, обеспечивающую поддержание качества бетона на заданном уровне.

г) При приемке сооружения:

– производят выборочное натурное обследование сооружения по основным показателям, дают оценку надежности сооружения и балльную оценку качества выполненных работ.

2. ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ БЕТОНА ПО СТАНДАРТНЫМ ОБРАЗЦАМ

2.1. Общие положения

2.1.1. Целями технического контроля по стандартным образцам являются:

– проверка достижения (при подборе состава) и выдерживания (при производстве работ) заданной марки бетона;

– интегральная оценка качества компонентов бетона и выполнение всех операций с бетонной смесью вплоть до ее укладки в сооружение.

По степени оперативности технический контроль может быть констатирующим (когда стандартные образцы выдерживают 28 суток в нормальных влажностных условиях) и ускоренным (когда стандартные образцы проходят специальную ускоряющую твердение обработку).

По стадии осуществления прогнозирующий контроль разделяется на определительный, осуществляемый при подборе состава бетона и отработке технологического процесса с целью выявления оптимальных значений и пределов изменения параметров бетона, и текущий, осуществляемый периодически в ходе выполнения бетонных работ с целью оценки нахождения свойств укладываемого бетона в заданных при определительном контроле пределах.

2.1.2. Стандартные образцы, по которым контролируется бетон, различаются степенью приближенности к реальным условиям формования и твердения бетона конструкции. Контрольные стандартные образцы формуют на лабораторном вибростоле из смесей поступивших на склад компонентов бетона или из проб товарной бетонной смеси, приготовленной бетоносмесителем, и твердеют в нормальных температурно-влажностных условиях.

Натурные стандартные образцы формуют на стройплощадке из укладываемой в конструкцию бетонной смеси, моделируя реальное вибрационное воздействие на нее с помощью табельных вибраторов или путем размещения форм на вибрирующей части вибропривода бетоно-

укладчика или установкой специальных форм непосредственно в заполняемую бетоном зону. При этом бетон в формах твердеет в непосредственной близости от конструкции или в ячейках, образованных в конструкции закладной частью формы, и за ним осуществляют принятый на практике уход[x].

2.I.3. Определительный контроль включает испытание стандартных образцов и определение средних значений и вариаций нормируемых показателей, приведенных в проекте. Обязательными являются определения: прочности на осевое сжатие и осевое растяжение по ГОСТ I0I80-78 и ГОСТ I30I5-75, водонепроницаемость по ГОСТ I2730.4-78 или ГОСТ I9426-74 с учетом таблицы 2 приложения I СНиП П-2I-75 и морозостойкость по ГОСТ I0060-76 (основной метод).

Дополнительно при соответствующих указаниях в проекте проводят определения сопротивляемости бетона воздействию водных растворов солей, замораживанию в агрессивной среде, трещинообразованию от влажностной усадки, контроль деформативных характеристик[xx] (модуля деформации, предельной растяжимости, показателя ползучести).

Определительный контроль следует проводить отдельно для каждого технологического комплекса по ГОСТ I8I05-72[xxx] при подготовке строительного производства, а также при существенном нарушении или изменении свойств поступаемых компонентов бетона или технологического процесса производства.

Одновременно в подготовительный период определяют номенклатуру контролируемых в процессе производства параметров бетона, все необходимые для оценки показателей качества корреляционные зависимости и переводные коэффициенты, характеристики разброса показателей и допустимые границы их изменения.

2.I.4. Текущий контроль может включать определение качественных показателей по п.2.I.3 в сокращенном объеме или определение

---

x) Необходимо помнить, что свойства бетона в стандартных образцах лишь с некоторой степенью приближения отражают реальные свойства бетона в конструкции и могут служить лишь для контроля выдерживания марки приготовленного и укладываемого бетона, а их изменение – свидетельствовать о нарушении нормального хода технологического процесса или качества компонентов бетона.

xx) Для конструкций типа оболочек и облицовок контроль деформативных характеристик является обязательным.

xxx) В технологическом комплексе объединяют бетон одного состава, из одних и тех же компонентов, приготовленный и уложенный по единой технологии и твердевший в одинаковых условиях.

установленных в подготовительный период контролируемых параметров, позволяющих оценить все качественные показатели.

Номенклатура контролируемых показателей и параметров выбирается в зависимости от конструктивных и эксплуатационных особенностей сооружения, применяемой технологии строительства, технических возможностей и численности контролируемых служб. При строительстве гидротехнических и мелиоративных сооружений рекомендуется определение следующих параметров:

- усилие отрыва замоноличенного в бетонный образец анкера по ГОСТ 21243-75 с ограничением зоны вырыва;
- коэффициент радиальной фильтрации и эффективный размер фильтрующих пор;
- объемы открытых и условно замкнутых (не заполняемых при нормальных условиях эксплуатации водой) пор.

Дополнительно при наличии соответствующих требований проекта к стойкости бетона рекомендуется определять:

- снижение поверхностной твердости бетона при длительном контакте конструкции с агрессивной средой;
- увеличение проницаемости бетона при фильтрации через конструкцию агрессивной среды.

При больших объемах (более 5000 $м^3$ в сооружении)и интенсивности (более 300 $м^3$ в смену) укладки бетона, рекомендуется вести контроль прочности по образцам ускоренного твердения по ГОСТ 22783-77 или ведомственным методическим указаниям. При этом результаты испытаний не могут использоваться для оценки качества бетона, а лишь служат для его обеспечения в процессе производства.

2.I.5. Для формования образцов применяют жесткие легко собираемые и разбираемые формы, отвечающие требованиям ГОСТ 22685-75.

Натурные образцы формуют с помощью рабочих вибраторов бетоноукладочной машины или табельных вибраторов (вибробулав, виброгладилок и т.п.) при режимах, близких к рабочим.

Твердеют образцы в формах с обязательной гидроизоляцией мест соединений элементов форм и кромки открытой поверхности. Во время твердения они должны находиться в непосредственной близости от места, где была отобрана проба бетонной смеси; за открытой поверхностью образца осуществляют принятый на практике уход. При размещении образца рядом с конструкцией должен быть выдержан идентичным конструкции модуль открытой поверхности путем термоизоляции боковых (закрытых) поверхностей.

2.I.6. При устройстве противофильтрационных одежд из монолитного бетона натурные образцы рекомендуется изготавливать с помощью специальных закладных форм с двойными стенками, закрепляемых заранее в месте укладки бетона на I-0,5 см ниже уровня поверхности будущей конструкции, при этом форма заполняется бетоном одновременно с бетонированием конструкции.

Закладная форма должна обеспечивать:

- заполнение бетоном при тех же режимах вибрирования, что и бетона монолита конструкции;
- легкое извлечение и отделение образца от формы после его выдерживания в конструкции;
- свободный температурно-влажностный обмен с окружающим монолитом конструкции.

Одна из возможных конструкций закладной формы для изготовления бетонного образца, в противофильтрационной одежде каналов показана на рис.I, форма состоит из несущей обоймы с острой кромкой для забивания в грунтовое основание и формообразующего стакана, собранного из четырех стянутых кольцами секторов и днища. Стенки стакана перфорированы в шахматном порядке, а стенки обоймы имеют продольные щелевые вырезы, на верхнем фланце обоймы закреплены маяки из стальной проволоки. Перед закладкой формы внутренняя полость формообразующего стакана и внешняя поверхность обоймы обкладываются листами проницаемого картона толщиной 0,2-0,6 мм.

Сразу после бетонирования конструкции до схватывания бетона необходимо снять скребком покрывающий форму слой бетона, извлечь формообразующий стакан, выровнять поверхность образца и заложить его снова для твердения в обойму, проложив под фланцем стакана гидроизоляцию. После выдерживания заданное время в конструкции образец извлекают из обоймы и освобождают от стакана, а обойму разбирают прямо в конструкции и извлекают из нее по частям.

2.I.7. Для изготовления образцов ускоренного твердения по форсированному режиму рекомендуются цилиндрические формы размером Ø I5xI5 см с пресс-крышкой, обеспечивающей статическое обжатие бетонной смеси в начальный период твердения до 5 кг/см^2.

На рис.2. показан набор универсальных цилиндрических форм, разработанных в ОКБ ВНИИГиМ. Такие формы позволяют осуществлять любой ускоряющий твердение режим обработки, включая обжатие, а также формовать бетонные образцы для испытаний на водопроницаемость и на осевое сжатие.

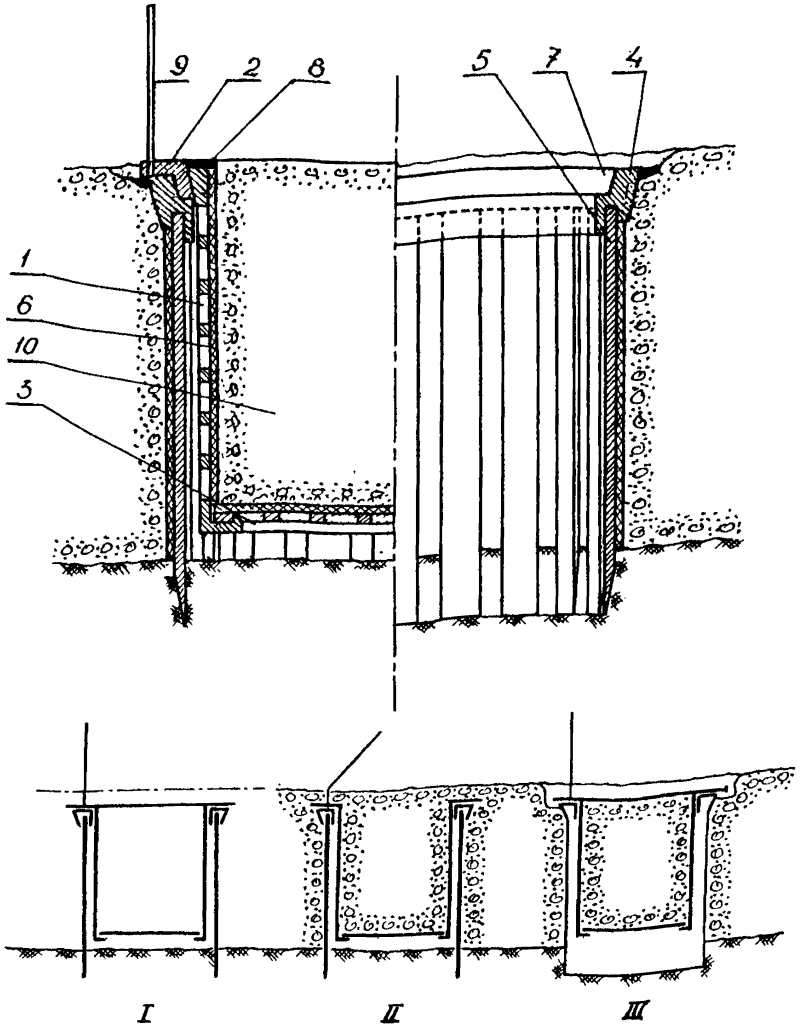


Рис.I. Закладная форма для получения натурных бетонных образцов: I – формообразующий стакан; 2 – обжимные кольца; 3 – днище стакана; 4 – несущая обойма; 5 – закладная гильза; 6 – картонные вкладыши; 7 – картонная гильза; 8 – гидроизоляция; 9 – маяк; 10 – бетонный образец.

Внизу показан порядок работы с формой: I – закладка в основание II – заполнение бетоном, III – извлечение и обратная закладка образца

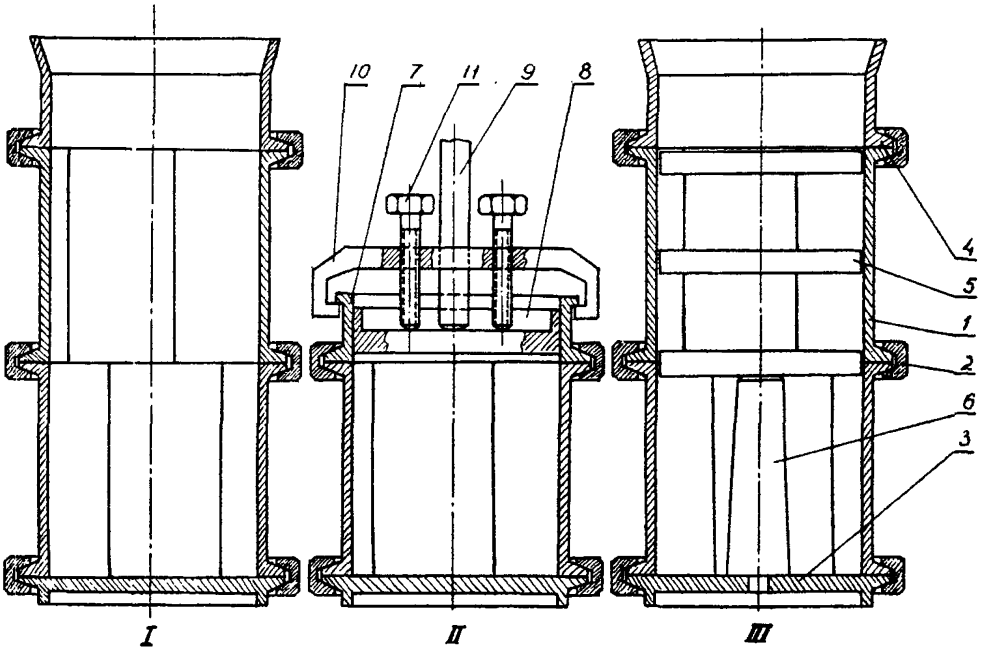


Рис.2. Сборные формы цилиндра: I – формообразующие сегменты; 2 – пояски крепления; 3 – днище; 4 – загрузочная воронка; 5 – перегородки; 6 – формователь осевого канала; 7 – силовая насадка; 8 – пресс-крышка; 9 – силовой шток; I0 – силовая скоба; II – прижимные болты. I – сборка для цилиндрических образцов размером Ø I5x30 см; II – сборка для цилиндрических образцов ускоренного твердения размером Ø I5xI5 см; III – сборка для набора дисков размером Ø I5x7 см и цилиндров с осевым каналом.

Для получения образцов-дисков и цилиндров с осевым каналом для фильтрационных испытаний применяются кассетные формы-цилиндры с дисковыми полыми перегородками, позволяющими удалять с поверхности образцов выжимаемые из бетона воздух и воду; каждая форма расчитана на получение до 4-х образцов-дисков толщиной 7 см и двух образцов-цилиндров высотой I5 см.

Для получения образцов-цилиндров, предназначенных для испытаний на осевое сжатие, рекомендуются цилиндрические формы, высотой вдвое превышающей диаметр, а также формы размером ØI5xI5 см с укрепленными на нижней (донной) и верхней (пригружающей) стенках анкерами типа I, предназначенные для испытаний методом отрыва со скалыванием (с ограничением зоны вырыва).

2.I.8. Режим формования и твердения стандартных контрольных образцов по ГОСТ I0I80-78.

Режим формования и твердения образцов ускоренного твердения выбирается на этапе подготовки производства, исходя из требований:

- получения оперативной информации о качестве компонентов в течение 2-3-х смен;
- реализуемости в условиях приобъектных лабораторий, воспроизводимости основных параметров с необходимым технологическим запасом;
- неизменность качественной структуры бетона (вида и характера пор и новообразований);
- набора прочности не менее 70% от прочности бетона в образцах, твердевших 28 суток в нормальных условиях;
- превышения естественной вариации показателя не более чем в I,5 раза вариации в образцах нормального твердения;
- некритичности к возможным изменениям условий и замене средств подготовки образцов.

Этим условиям удовлетворяют методы, проведенные в ГОСТ 22783-77, а также рекомендуемые в руководстве ВНИИГиМ [I3]:

а) прогрев в воде при температуре до +80°С в течение 6-I2 часов по установленному режиму с предварительной выдержкой в нормальных условиях;

б) прогрев в воде с предварительной выдержкой в нормальных условиях и повторным вибрированием (для жестких бетонных смесей с нулевой осадкой конуса).

в) прогрев в воде со статическим постоянным обжатием во все время прогрева, с усилием до 5 кг/см^2 на крышку формы.

В период подготовки производства устанавливают значения переводных коэффициентов "ускоренное твердение – нормальное твердение" по прочности и вариации прочности с требуемой достоверностью, а выбранный режим сохраняют неизменным для данного технологического комплекса в течение всего времени строительства.

2.I.9. Натурные образцы выдерживают в конструкции время, эквивалентное 28 суткам нормально-влажностного твердения, рассчитываемое по формуле

$$\tau_{пр} = \sum_{j=1}^{\kappa} \tau_j \cdot \kappa_T(t),$$

где $\tau_{пр}$ – приведенное время твердения в 4; $\kappa_T(t)$ – температурный коэффициент приведения к +20°С, находимый по таблице 2 приложения № 3; τ_i – длительность i-го интервала твердения при температуре t.

Для этого во все время твердения записывают температуру воздуха и выделяют на температурной диаграмме интервалы с относительно постоянной среднесуточной температурой (где размах температуры не превышает 5°С). Для каждого интервала находят свой температурный коэффициент $\kappa_T(t)$, затем произведения $\kappa_T(t) \cdot \tau_i$ суммируют по всем κ выделенным интервалам.

2.I.IO. Контрольные образцы готовят к испытаниям и производят испытания согласно соответствующих стандартов и нижеприведенных методик.

2.2. Определение предела прочности бетона на сжатие

2.2.I. Определение прочности бетона на сжатие в стандартных образцах осуществляется по предельной нагрузке выдерживаемой образцом при его осевом сжатии со скоростью не более 8 кг/см^2 в секунду между двумя плоскопараллельными плитами пресса сжатия, отвечающего требованиям ГОСТ 8905–73.

Допускается при текущем контроле производить оценку прочности бетона методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 2I243–75 при замоноличивании в образец анкера типа I с ограничением зоны вырыва кругом, вписываемым в грань образца.

Для испытаний образцов необходимо применять анкера типа I (см.рис.3) длиной 48 мм для бетона марки не более 300 и длиной 35 мм - выше 300.

При ограничении крупного заполнителя фракцией 40, 25 и 5 мм, например, были получены следующие значения переводных коэффициентов (числитель) и методической составляющей среднеквадратической погрешности определения прочности (знаменатель) для пресса с кольцевым упором с внутренним диаметром 120 мм.

Анкер типоразм.	Круп.зап.40	Круп.зап.25	Круп.зап.05	Среднекв. погрешн.
I-48	0,065/6	0,075/5	0,088/4	$\pm$0,005
I-35	0,19/7	0,21/5	0,22/4	$\pm$ 0,01

(получены на образцах монолитного бетона марок 300 и 400 четырех составов).

Значения переводного коэффициента и среднеквадратическую погрешность испытаний необходимо определять для каждого вида устройства испытаний.

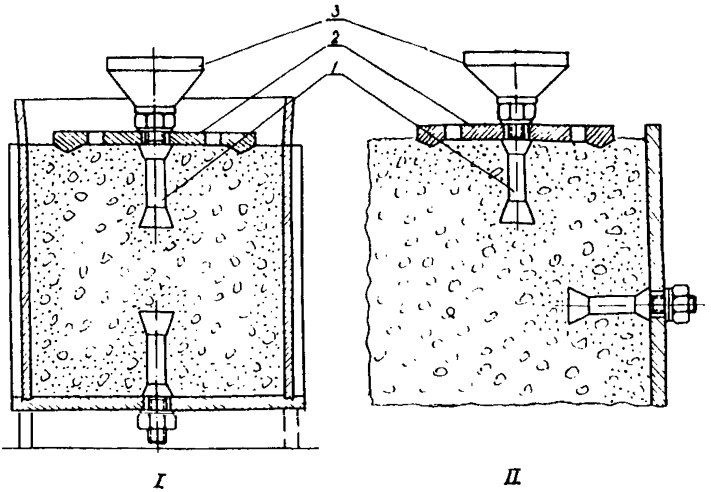


Рис.3.Схемы замоноличивания закладного анкера типа I в бетонный образец I и конструкцию II: I - анкер типа I,2 - перфорированный кружек-держатель; 3 - рукоятка-пригруз

2.2.2. Для вырыва анкера необходимо применять пресс со втягивающимся захватом и обеспечивающим приложение постепенно возрастающей нагрузки по оси анкера до 4 т и отсчет усилия вырыва с точностью не менее 2%.

Пресс должен иметь соосно тяге кольцевой упор с внутренним диаметром на 3-4 см меньше поперечного размера грани образца (диаметра цилиндра или ребра куба).

Этим условиям удовлетворяет гидравлический переносной пресс-насос типа ГПНС-4 конструкции Донецкого ПромстройНИИпроект с опорной рамой, оборудованной кольцевым упором, как показано на рис.4 Внутренний диаметр упора для испытаний образцов с поперечником I5 см равен I2 см.

2.2.3. Для испытаний применяют образцы-кубы или цилиндры с замоноличенными по одной или двум противоположным граням анкерами типа I по ГОСТ 2I243-75. Для этого анкера закрепляют, как показано на рис.3, на двух противоположных стенках или днище и специальной кружке (строго по центру).

Для испытаний можно применять призмы размером I5xI5x60 см на одной призме может быть закреплено до 8-ми анкеров с шагом I5 см и выполнено от 6 до 8 испытаний. За результат испытаний при этом следует брать среднее усилие вырыва из получившейся серии с исключением по одному максимальному и минимальному значений (после исключения аномальных отклонений).

Из бетонной смеси, идущей на изготовление образцов, предварительно должен быть удален крупный заполнитель размером, превышающим треть внутреннего диаметра упора пресса.

Режим формования и твердения образцов нормального твердения по ГОСТ I0I80-78. Режим формования и твердения образцов ускоренного твердения по ГОСТ 22783-77.

2.2.4. Подготовленные образцы располагают на подставке с углублением для нижнего анкера. На образце устанавливают пресс, следя за строгой соосностью анкера и тяги пресса (если соосность

---

x) При ограничении зоны вырыва повышается роль сопротивляемости бетона на срез, а значит и влияние крупного заполнителя.

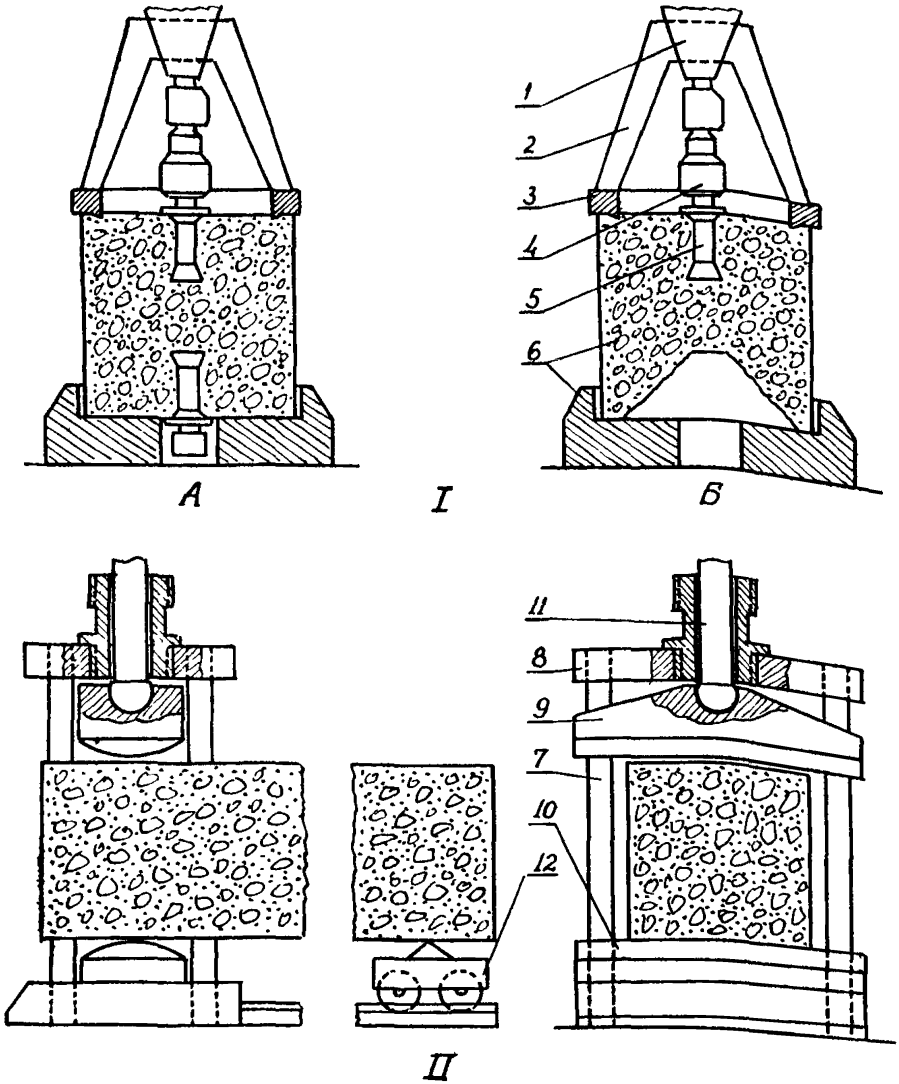


Рис.4. Переносной гидравлический пресс на базе пресс-насоса ГПНС-4 с ограничением вырываемого конуса по радиусу.
I - рабочий цилиндр; 2 - цилиндр привода; 3 - ручка привода; 4 - манометр; 5 - опорная рама; 6 - кольцевой упор; 7 - режущая кромка; 8 - рукоятка; 9 - тяга пресса; I0 - захват анкера; II - заглушка; I2 - силовой шток; I3 - анкерное устройство

не выполняется, ее необходимо достичь, притирая кольцевой упор путем его вращения вокруг предварительно ослабленной тяги, не высвобождая анкер), затем давая постепенно возрастающую нагрузку (со скоростью 80–300 кг/с) вырывают анкер, фиксируя усилие вырыва.

После испытания необходимо осмотреть зону вырыва. Испытание не засчитывается, если не произошло вырыва (а произошло взламывание), если разрушился образец, если зона вырыва распространилась за ограничительное упорное кольцо, если в зоне вырыва обнаружены участки размером в поперечнике более 15 мм, не имеющие признаков отрыва (раковины, загрязнения и т.п.).

Если после первого испытания не обнаружено видимых трещин и не оголился второй анкер, производят аналогичным образом вырыв второго анкера, перевернув образец как показано на рис.5.Второй вырыв засчитывается, если усилие его отличается от усилия первого вырыва не более чем на 20%.

За результат испытаний берется среднее значение двух полученных усилий вырыва или усилие вырыва первого анкера, если второй вырыв не засчитан. Прочность образца на сжатие находится по установленному заранее значению переводного коэффициента $\alpha_к$ от усилия вырыва $P_в$ к прочности R_c .

$$R_c = \alpha_к \cdot P_в .$$

При отсутствии дополнительных данных значения переводного коэффициента $\alpha_к$ и методической составляющей среднеквадратического отклонения для кольцевого упора принимают по таблице п.2.2.1.

2.2.5. Значение переводного коэффициента $\alpha_к$ находят по результатам сравнительных испытаний не менее 15 серий из шести образцов в каждой, три из которых испытывают на прессе сжатия по ГОСТ 10180-78 и три – методом отрыва со скалыванием. Обработку результатов испытаний, построение и анализ корреляционной зависимости выполняют согласно приложению № 1 рекомендаций ВНИИГиМ [20].

Значение $\alpha_к$ равно тангенсу угла наклона прямой регрессии проведенной через начало координат

$$\alpha_к = \sum_{i=1}^{n_к} R_{ci} \Big/ \sum_{i=1}^{n_к} P_{в_i}, \qquad (1)$$

где $n_к$ – число серий градуировочных образцов.

Среднеквадратичная погрешность градуировочной зависимости равна

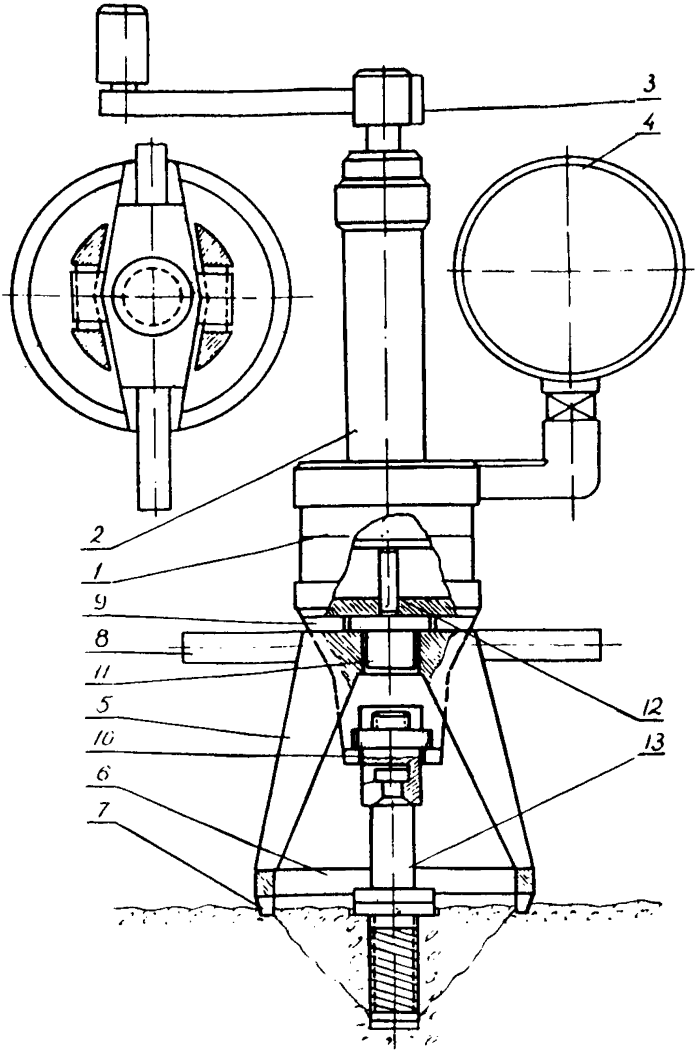


Рис.5. Схемы испытаний бетонных образцов на прочность методами отрыва со скалыванием I и раскалывания призмы II с нагружением прессом ГПКС-4: I – цилиндр пресса; 2 – опора-преобразователь тяги, 3 – кольцевой упор; 4 – захват пресса; 5 – анкер закладной; 6 – подставка образца; 7 – силовая рама, 8 – верхняя плита; 9 – полуцилиндрический штамп; 10 – нижняя плита с полуцилиндрической опорой; 11 – силовой шток.

$$\Delta_r(R_o) = \frac{s_r}{\sqrt{2n_к}}\left[1 + \frac{(R_o - \bar{R}_c/2)^2}{(\bar{R}_c/2)^2}\right]^{\frac{1}{2}}; \qquad (2)$$

где

$$s_r = \left[\frac{1}{n_к - 1}\sum_{i=1}^{n_к}\left(R_{c_i}^{п} - R_{c_i}^{к}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}, \qquad (3)$$

$R_{c_i}^{п}, R_{c_i}^{к}$ – средняя прочность в i-й серии, определенная на прессе сжатия и отрывом анкера с использованием найденного переводного коэффициента $d_к$;

$\bar{R}_c$ – среднее значение прочности по всем сериям.

Из формулы следует, что с увеличением прочности градуировочных образцов и их количества уменьшается погрешность определения градуировочной зависимости и при $\bar{R}_c \approx 2R_o$

$$\Delta_r(R_o) \approx s_r/\sqrt{2n_к}. \qquad (4)$$

Если градуировочные образцы изготовлены из m_r-однородных партий бетона[x] по n_r серий в каждой партии, то оценка среднеквадратического отклонения результатов испытаний бетона на прочность (случайная составляющая погрешности метода испытаний) находится по формуле

$$s_u^2 = \frac{1}{m_r(n_r - 1)}\sum_{j=1}^{m_r}\sum_{i=1}^{n_r}\left(\bar{R}_{c_j} - R_{c_i}\right)^2 \qquad (5)$$

с верхней границей при доверительной вероятности γ (при $n_r > 30$):

$$\hat{s}_u = \left\{\frac{s_u^2 \cdot [M_r - 1]}{\chi^2_{1-\gamma}(M_r - 1)}\right\}^{\frac{1}{2}} \approx \frac{s_u\sqrt{2M_r - 2}}{\sqrt{2M_r - 3} + u_{1-\gamma}}, \qquad (6)$$

где $M_r = m_r \cdot n_r$ – общее количество серий градуировочных образцов; $\chi_{1-\gamma}(M_r - 1)$ – квантиль распределения Пирсона.

2.2.6. Прочность бетона в серии образцов, изготовленных из одной пробы бетонной смеси, определяется не менее чем по трем принятым результатам разовых испытаний. Параметры показателя прочности бетона в партии бетона, выпущенной за 10–20 смен в

---

x) Однородной называется партия бетона одного определенного состава изготовленная из одного и того же вида и качества заполнителя, вяжущего и добавок на одном бетонном узле (заводе) при неизменных технологических режимах дозирования и перемешивания.

одном технологическом комплексе, или уложенной в конструкцию (или ее часть) объемом 3–10 тыс.м^3, оценивается по результатам испытаний не менее 10 серий образцов, если заранее известна средняя вариация прочности бетона данного технологического комплекса, и не менее 15 серий, если вариация не известна.

Оценка средней прочности бетона в партии бетона, при неизвестной вариации определяемая по результатам испытаний N серий образцов, дается по формуле:

$$\tilde{R}_c^{\kappa} = \bar{R}_c^{\kappa} \pm \left\{ t_{\frac{1+\gamma}{2}}(N-1)\frac{s_\Sigma^2}{\sqrt{N}} + u_{\frac{1+\gamma}{2}} \cdot \Delta_r \right\},$$

$$s_\Sigma = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N} \left(R_{c_i}^{\kappa} - R_c^{\kappa} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

где γ – доверительная вероятность нахождения средней величины прочности в указанных пределах.

При известной и стабильной вариации $v_0 = \sigma_R / \bar{R}_c$, $t_{1+\gamma}(N-1)$ заменяют на $u_{\frac{1+\gamma}{2}}$, а s_R на σ_R.

2.2.7. Уровень качества бетона по прочности P_R – его нижняя доверительная граница с доверительной вероятностью γ при известном и стабильном коэффициенте вариации $\sigma_R / \bar{R}_c$ оценивают из соотношения

$$P_j = \Phi(u_{p_\gamma}), \quad u_{p_\gamma} = \frac{1}{\sigma_R}\left[R^{H} - \bar{R}_c^{\kappa} + u_\gamma \left(\sigma_\Sigma / \sqrt{N} + \Delta_r \right) \right], \qquad (1)$$

где $\sigma_\Sigma^2 = \sigma_R^2 + \sigma_u^2$,

$\Phi(u_{p_\gamma})$ – интегральная функция Лапласа.

При неизвестной вариации вместо σ_Σ в формулу вставляют оценку верхней границы доверительного интервала среднеквадратичного отклонения

$$s_\Sigma^2 = \left\{ \frac{s_\Sigma^2 [N-1]}{\chi^2_{1-\gamma}(N-1)} \right\}^{\frac{1}{2}} \approx \frac{s_\Sigma \sqrt{2N-2}}{\sqrt{N-3} + u_{1-\gamma}}. \qquad (2)$$

Или ориентировочно с заведомым занижением уровня качества

$$u_{p_\gamma} = \frac{R^{H} - \bar{R}_c^{\kappa}}{s_\Sigma} + u_\gamma \left\{ \left[\frac{1}{N} + \frac{(R^{H} - \bar{R}_c^{\kappa})^2 / s_\Sigma^2}{2(N-1)} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{\Delta_r}{s_\Sigma} \right\}. \qquad (3)$$

---

x) Из формулы следует, что точность испытаний методом отрыва со скалыванием может быть не хуже точности испытаний методом сжатия на прессе, если $\sigma_u^{\kappa} / \sqrt{N} + \Delta_r \approx \sigma_u^{n} / \sqrt{N}$.

2.3. Испытание бетона на растяжение

2.3.I. При отсутствии требований к деформативным характеристикам прочность бетона на растяжение целесообразно определять методом раскалывания образцом – кубов или призм между двумя полуцилиндрическими штампами, как указано в ГОСТ I0I80-78.

Устройство раскалывания может быть собрано, как показано на рис 5.П, из силовой рамы с верхней и нижней плитами и двух полуцилиндрических штампов. Верхний штамп должен иметь шарнирное соединение с прессом. Для нагружения может быть использован ручной пресс ГПНС-4 с усилителем нагрузки втрое. При нагружении до I2 Т (для образцов сечением I5xI5 см) рабочий ход штампа должен быть не менее 5 мм.

2.3.2. Для испытаний целесообразно использовать образцы-призмы основным размером I5xI5x60 см, на которых можно выполнить по семь испытаний сразу с шагом 7,5 см. Для этого устройство раскалывания должно быть снабжено центрирующим и подводящим приспособлением.

Нагрузка на образец подается со скоростью 200–300 кг/с, отсчет разрушающей нагрузки производится с точностью не менее 3%.

Прочность бетона на растяжение при раскалывании R_{pp} по известному усилию раскалывания P_p определяется по формуле

$$R_{pp} = \frac{2}{\pi} \frac{P_p}{b \cdot h},$$

где b, h – ширина и высота образца в см.

Для перехода к прочности на осевое растяжение $R_{p\sigma}$, а также к прочности образцов других размеров необходимо пользоваться переводными коэффициентами, определяемыми согласно ГОСТ I0I80-78, приложение II.

До накопления достаточных экспериментальных данных можно принимать $R_{p\sigma} = 0,85 R_{pp}$.

Коэффициент вариации, принимаемый как среднеквадратическая погрешность испытаний, для однородного бетона марок от 20 до 40 составляет при усреднении по пяти результатам (с исключением наибольшего и наименьшего) испытаний призмы:

для бетона с крупным заполнителем до 20 мм 6–8%

для бетона –"– до 40 мм 7–9%

Его величину необходимо, по-возможности, определять для каждого технологического комплекса по данным испытаний не менее 20 образцов однородной партии бетона.

Испытание бетона на осевое растяжение

2.3.3. При осевом растяжении бетона определяются следующие показатели:

- модуль упругости (или упругой деформации) E_y ;
- предельная относительная растяжимость при разрыве ε_{pp} ;
- предел прочности при осевом растяжении R_{po} ;
- нормальные напряжения, возникающие от усадочных деформаций σ'_{yn}, величина проявляющейся деформации усадки ε_{yn}.

Предел прочности при осевом растяжении нормируется для тонкостенных бетонных и железобетонных конструкций типа противофильтрационных одежд и оболочек.

Модуль упругости и предельная растяжимость необходимы для прогнозирования трещинообразования бетона при деформациях, в т.ч. вызванных замерзанием воды в порах.

Деформация и напряжение усадки необходимы для оценки усадочной трещиностойкости бетона.

2.3.4. Прочностные и деформативные характеристики бетона при растяжении определяются на образцах - "восьмерках" размерами по ГОСТ 10180-78 с рабочим сечением 10x10 см.

Формование образцов "восьмерок" производится в металлических формах с внутренними размерами по ГОСТ 10180-78 с закладкой в торцах петлеобразных анкеров, как показано на рис.6. Форма должна иметь съемные сегментные вкладыши для формования рабочего участка.

Твердение образца происходит в соответствии с видом испытаний. При испытаниях на усадочную трещиностойкость образец твердеет под источником инфракрасного излучения, нагревающим поверхность бетона до установленной температуры. При испытаниях на прочность и деформативность бетона в 28-ми суточном возрасте образец твердеет в нормальных температурно-влажностных условиях по ГОСТ 10180-78.

2.3.5. Для определения прочностных и деформативных характеристик бетона при растяжении, к образцу необходимо приложить осевую растягивающую нагрузку и постепенно ее увеличивая отмечать с помощью дилатометрического устройства осевое удлинение образца.

Для проведения испытаний при осевом растяжении рекомендуется устройство с растягивающим прессом на 4 т. Устройство должно

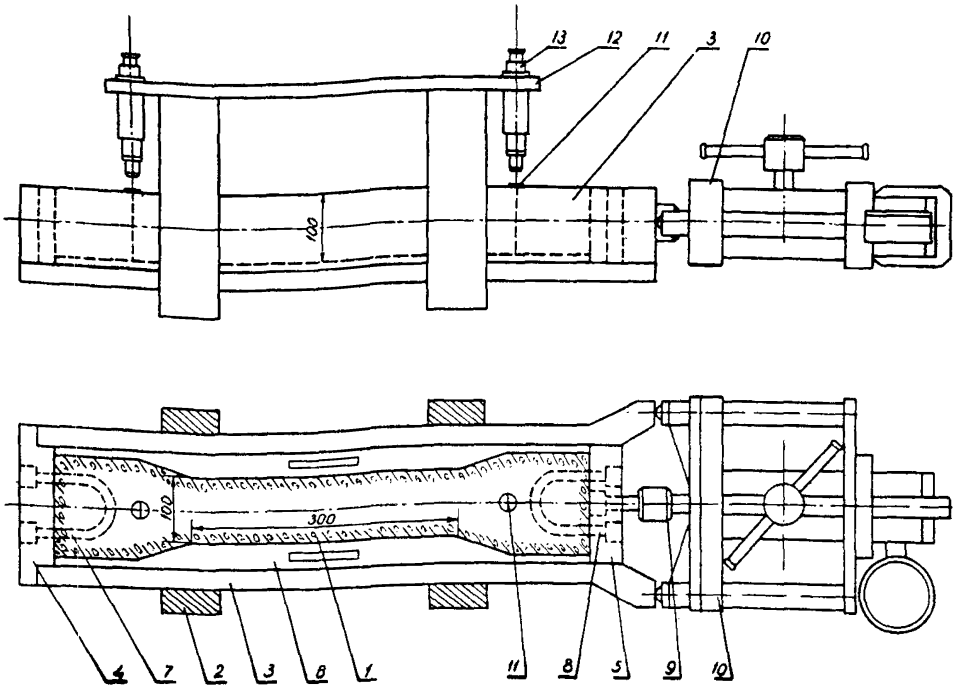


Рис.6. Устройство для испытаний бетона на осевое растяжение. I - образец-"восьмерка"; 2 - несущие стойки; 3 - рама формы; 4 - неподвижная стенка; 5 - подвижная стенка; 6 - формообразующие вкладыши; 7 - петлеобразные анкера; 8 - тяга пресса; 9 - захват пресса; I0 - пресс ручной; II - репера штриховые; I2 - линейка оптическая; I3 - измерительные микроскопы.

состоять из силовой рамы, двух центрированных захватов, пресса и дилатометра.

Нагрузка пресса должна возрастать со скоростью 100-200 кг/с при испытаниях на прочность, и 10-20 кг/с - на деформативность. Точность отсчета нагрузки не более $\pm$ 3 %, точность отсчета удлинения не более $\pm$ 3 $\cdot$ 10^{-2}%. При определении усадочной трещиностойкости бетона устройство должно позволять проводить испытания образца, не извлекая его из формы.

На рис.5 показана схема устройства для испытания бетона на растяжение конструкции ВНИИГиМ. Оно состоит из несущей силовой рамы, сборно-разборной формы - "восьмерки" с сегментными вкладышами и донной прокладкой, растягивающего пресса ГПНС-4м и оптического дилатометра с базой измерения 300 мм.

2.3.6. Для подготовки устройства к испытаниям с него снимают пресс и дилатометр, устанавливают на вибростол, вставляют в несущую раму сегментные вкладыши-стенки и донную прокладку, в торцевых стенках закрепляют петлеобразные анкера.

Исследуемую бетонную смесь загружают в предварительно смазанную антиадгезионной смазкой форму, уплотняют при стандартных параметрах вибрирования; после чего оставляют твердеть в нормально-влажностных или специально оговоренных условиях. После набора начальной прочности более 10 кг/см^2 образец извлекают из устройства и закладывают в климатическую камеру для последующего твердения с заданным режимом.

После выдерживания установленного срока твердения образец кондиционируют в воздушно-сухих условиях не менее суток. Для определения прочностных и деформативных характеристик бетона, образец устанавливают в раме установки и закрепляют анкеры в торцовых стенках. На специальных стойках закрепляют оптический дилатометр и устанавливают пресс, подсоединяя его тягу к подвижной торцевой стенке. На поверхности образца на расстоянии 30 $\mp$ 0,5 см друг от друга в поле зрения измерительных микроскопов дилатометра наклеивают репера - полированные пластинки с поперечной риской.

2.3.7. После приложения начальной нагрузки в 100 кг микроскопы дилатометра настраивают на репера. Нагрузку увеличивают ступенями по 100 кг через каждые 15-30 секунд, отмечая каждый раз положения реперов, относительно шкал микроскопов, до разрыва образца.

По результатам испытаний строят зависимость "относительная деформация – нагрузка". На зависимости $\varepsilon = f(P_p)$ отмечают точки, ограничивающие линейную часть ε_y и восходящую часть ε_p. Предельная растяжимость ε_p и предел прочности на растяжение R_p отмечается на ступени, предшествующей разрушению образца. Начальный модуль упругости вычисляют по отношению P_p/ε_p на линейном участке кривой.

Характеристиками партии бетона по прочности на растяжение и предельной растяжимости являются средние значения и среднеквадратические отклонения R_p и ε_p, определенные по результатам испытаний не менее 6-и образцов.

2.3.8. При испытаниях на усадочную трещиностойкость по В.В.Патуроеву после формования образца на нем размещают репера по п.2.3.5. и испытательное устройство снабжают дилатометром и прессом. Пресс подсоединяют к подвижной торцевой стенке, осторожно чтобы не повредить образец удаляют боковые сегментные вкладыши, а микроскопы настраивают на репера. Подготовленное таким образом испытательное устройство помещают в климатическую камеру, моделирующую жаркую и сухую погоду (например $t = +40^0$C, $W = 30\%$).

Периодически в первые 3 часа каждые 0,5 часа, а затем в течение 8 часов каждый час наблюдают за увеличением нагрузки на прессе, восстанавливая, если необходимо, прежний размер образца. При этом скорость приложения растягивающей нагрузки не должна превышать 100 кг за 1 мин. За все время испытания образца за бетоном осуществляют уход, принятый на практике. Считается, что бетон и способ ухода за ним выдержали испытание, если за 8 часов испытаний образец не разрушился.

2.4. Определение характеристик водопроницаемости бетона

2.4.1. К характеристикам водопроницаемости бетона относятся:

- марка бетона по водонепроницаемости, B;
- коэффициент направленной фильтрации K_φ;
- средний эффективный размер фильтрующих пор $d_{э\varphi}$.

Марка бетона по водонепроницаемости, определенная согласно ГОСТ 12730.4-78, связана с коэффициентом направленной фильтрации и средним эффективным размером фильтрующих пор эмпирическим соотношением:

$$B = A \cdot P_н \cdot \ell g \frac{K_{фо}}{K_ф},$$

где: $P_н$ – начальный перепад давления, ати, приводящий к открытию основной массы фильтрующих пор, $A, K_{ф_0}$ – постоянные коэффициенты, находимые при построении зависимости $B = f(P_н, K_ф)$ по градуировочным образцам в подготовительный период.

2.4.2. При подборе состава и контроле качества конструкционного бетона, основными методами определения водопроницаемости являются:

– метод продавливания воды через стандартный цилиндрический образец при ступенчато-возрастающем давлении до появления мокрого пятна согласно ГОСТ 12730.4-78;

– метод оценки водопроницаемости по коэффициенту направленной фильтрации по ГОСТ 19426-74, с учетом таблицы 2 приложения 1 СНиП II-21-75.

Водопроницаемость бетона противофильтрационных одежд гидротехнических сооружений рекомендуется определять по двум характеристикам – коэффициенту направленной фильтрации и среднему эффективному размеру фильтрующих пор с использованием зависимости п.2.4.1.

Допускается при текущем контроле оценивать коэффициент направленности фильтрации по коэффициенту радиальности фильтрации $K_{фр}$, определяемом на цилиндрических образцах с осевым каналом. При этом образец должен формоваться и твердеть в горизонтальном положении и в период подготовки производства должны быть выявлены параметры корреляционной зависимости $K_ф - K_{фр}$.

2.4.3. Для определения характеристик водопроницаемости (коэффициента фильтрации и среднего эффективного размера фильтрующих пор) следует применять фильтрационные приборы и установки, обеспечивающие:

– закрепление образца в фильтрационной ячейке при обеспечении заданной геометрии фильтрации (направленной или радиальной);

– создание с точностью до $\pm$ 2,5% водного напора вплоть до 14 ати в пересчете на 15 см толщину образца – диска (или градиента вплоть до 1 ати на каждый 1 см пути фильтрата) на подводящей поверхности образца;

– сбор прошедшего через образец фильтрата с наблюдательной поверхности и измерение скорости его поступления с точностью

до 0,2 мл в мин. (при полном исключении или учете потерь на испарение);

– создание до и после фильтрационных испытаний постепенно возрастающего ступенями по 0,1 ати напора воздуха с точностью до ± 2,5% и наблюдение за просачиванием его через образец.

В фильтрационной установке должны быть также предусмотрены приспособления, исключающие: растворение в воде воздуха (при создании напора воздушным насосом), попадание на наблюдательную поверхность образца воды, просочившейся по возможным дефектам уплотнения в месте крепления образца.

2.4.4. На рис.7 показана схема переносного фильтрационного прибора на один образец для полевых лабораторий, а на рис.8 – схема фильтрационной шестигнездовой установки для стационарных строительных лабораторий.

Оба прибора состоят из одного или нескольких фильтрационных ячеек с окном для крепления образца и ресивера и предназначены для испытаний образцов – дисков диаметром 10 и 15 см и толщиной от 5 до 7,5 см и цилиндров диаметром 15 см и высотой до 20 см с осевым водосборным каналом диаметром 2–5 см, и обеспечивают при давлении до 6 ати градиенты напора до 1,2 ати на 1 см.

Переносной фильтрационный прибор работает от ножного автомобильного насоса (или воздушного автомобильного компрессора), лабораторная установка – от любого лабораторного компрессора, обеспечивающего давление до 6 ати.

Образцы в окне фильтрационной ячейки крепят с помощью самоуплотняющегося резинового жгута, прилегающего к жесткому пояску, сформованному на образце из быстротвердеющего компаунда или металлическому кольцу, закрепляемому на образце во время его гидроизоляции, и прижимают к окну ячейки ограничительным кольцом.

2.4.5. Для испытаний применяют образцы диски и цилиндры с осевым каналом размеров, указанных в п.2.4.4. При формовании образцов обязательным является удаление из бетонной смеси крупного заполнителя размером более 25 мм.

При вибрировании и твердении бетона форма должна располагаться так, чтобы направление фильтрации совпадало с вертикалью; смазка формы не должна содержать гидрофобных или кольматирующих компонентов.

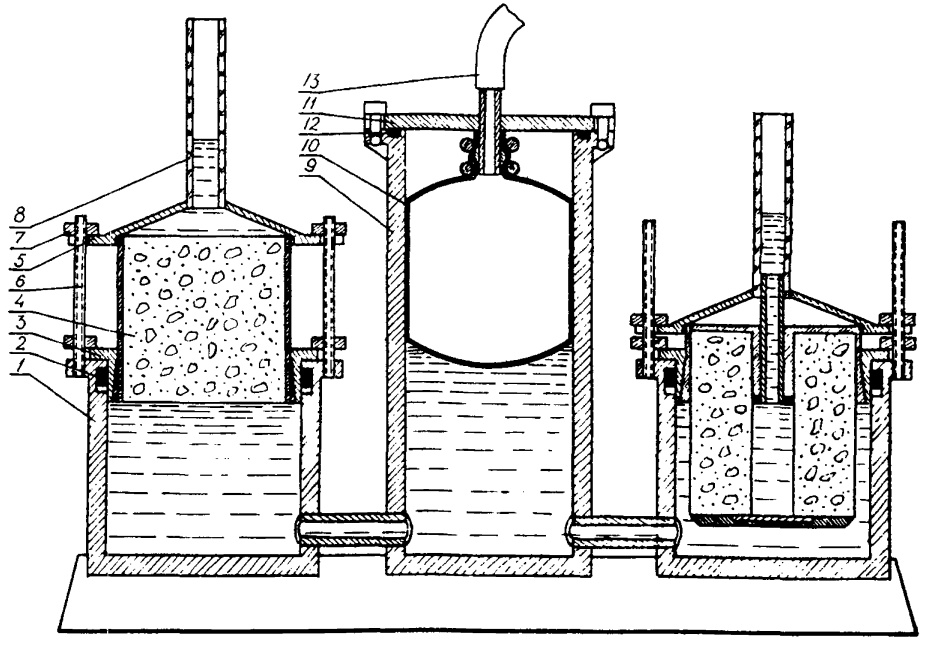


Рис.7. Прибор для фильтрационных испытаний бетона: I – фильтрационная ячейка; 2 – самоуплотняющийся резиновый жгут; 3 – охватывающий образец поясок с кольцом; 4 – бетонный образец; 5 – водосборная воронка; 6 – стойка крепления; 7 – ограничительные гайки; 8 – водомерная трубка; 9 – баллон ресивера; I0 – эластичная диафрагма; II – крышка ресивера; I2 – уплотнительное кольцо; I3 – воздуховод; Справа показана схема крепления в ячейке цилиндрического образца с осевым каналом для определения коэффициента радиальной фильтрации.

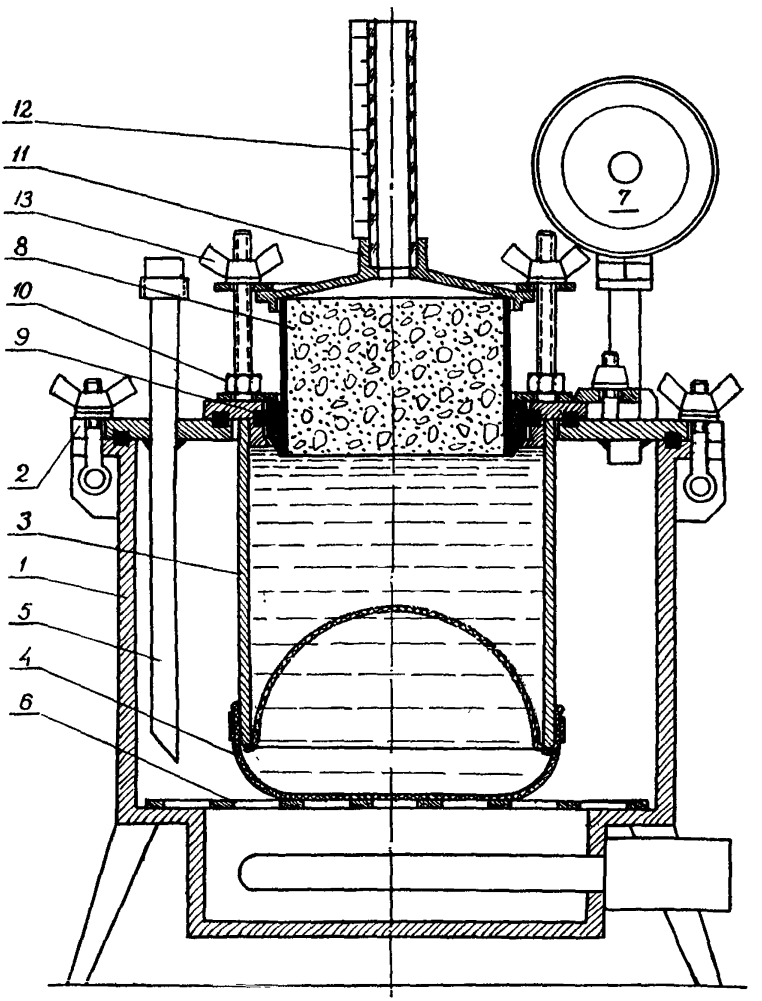


Рис.8. Схема фильтрационной камеры. I – базовая камера; 2 – крышка насадки; 3 – напорный стакан; 4 – эластичная диафрагма; 5 – напорный патрубок; 6 – предохранительная сетка; 7 – манометр; 8 – испытываемый образец; 9– кольцевой уплотнитель; I0 – стойки крепления; II – водосборная воронка; I2 – водомерная труба; I3 – крепление образца

Подготовка образцов к испытаниям заключается в гидроизоляции поверхностей, расположенных вдоль направления фильтрации (торцовых у цилиндров и боковых у диска) с целью обеспечения заданной (радиальной или направленной) геометрии фильтрации, а также в образовании жесткого калиброванного пояска или закреплении металлического кольца вокруг образца для крепления образца в окне фильтрационной ячейки.

Гидроизоляцию боковых поверхностей и формование жесткого калиброванного пояска рекомендуется выполнять одновременно с помощью специальной формы из полиэтилена, схема которой показана на рис.9. Матрица формы в нижнем положении заполняется свежеприготовленным компаундом среднепластичной консистенции (60-80 с по отандартному вискозиметру) и путем постепенного поднятия вверх по закрепленному между двумя дисками образцу формует слой боковой гидроизоляции и жесткий калиброванный поясок.

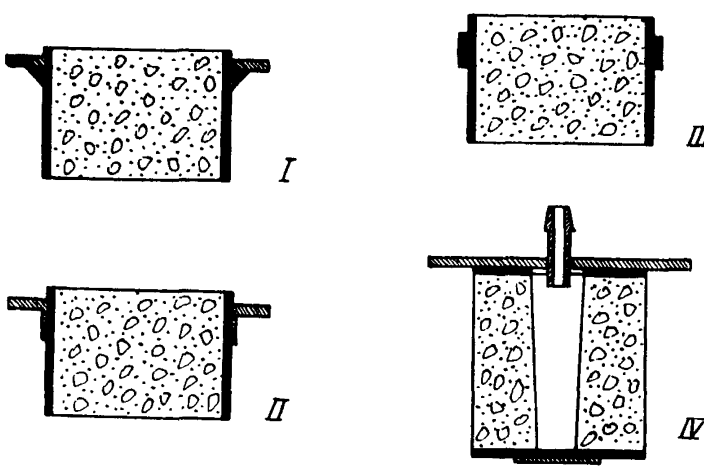


Рис.9. Образцы для фильтрационных испытаний: I – образец-диск с металлическим кольцом; II – образец-диск с кольцевым пояском; III – образец-диск с жестким пояском; IУ – образец-цилиндр с осевым водосборным каналом для испытаний на радиальную фильтрацию

После затвердевания компаунда матрица снимается с образца. Предварительно рекомендуется на боковую поверхность образца

нанести эпоксидную грунтовку текучей консистенции (10-20 с), чтобы она вошла в поверхностные поры бетона на 1-2 мм. Цилиндрические образцы можно готовить вручную, при этом необходимо тщательно оберегать боковую поверхность и осевой канал от попадания эпоксидной смолы[x].

На рис.10 показаны в разрезе образцы, подготовленные к фильтрационным испытаниям: диски с креплением металлического пояска I и II с формованием жесткого калиброванного пояска III, цилиндр с осевым заглушенным с одной стороны каналом IУ.

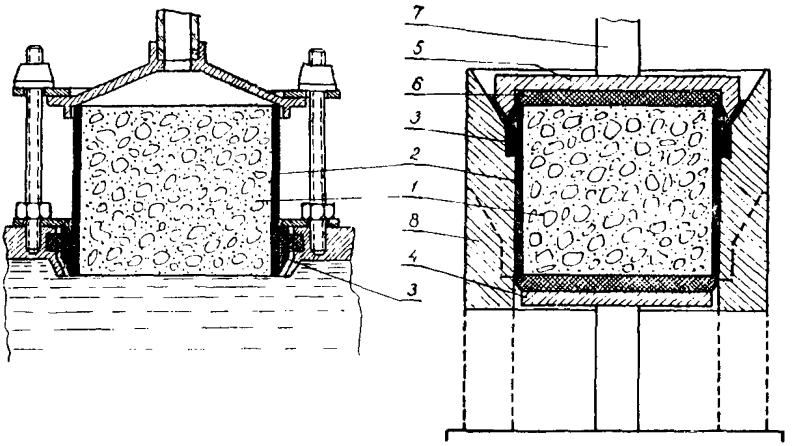


Рис.10. Схема подготовки бетонного образца к фильтрационным испытаниям. I - форма для гидроизоляции образца и формовая пояска; II - схема крепления образца в камере; III - образец цилиндрической формы; 2 - боковая гидроизоляция; 3 - жесткий поясок; 4 - подставка образца; 5 - прижимной диск; 6 - уплотнительный коврик; 7 - прижимной; 8 - стенки формы.

Перед гидроизоляцией образцы должны быть выдержаны не менее 24 ч в воздушно-сухих условиях. После испытаний металлические элементы снимаются путем нагрева образцов до +300°С.

---

x) При регулярной работе с эпоксидными смолами необходимо строго соблюдать меры безопасности, указанные в санитарных правилах при работе с эпоксидными смолами (ГСИ СССР №338-60, М., 1960г.), в частности производить работы по гидроизоляции в помещении с принудительной вентиляцией или на открытом воздухе, предохранять слизистые оболочки от попадания на них эпоксидной смолы и отвердителя

2.4.6. После затвердевания эпоксидной смолы подготовленные образцы закрепляют в окне фильтрационной ячейки (камеры) и уплотняют с помощью резинового жгута, как показано на рис.8. Сверху образец прижимают к окну ограничительным кольцом, при этом кольцо не должно заходить на открытый торец образца более, чем на 2 мм.

Сверху на наблюдательной поверхности вначале закрепляют ванночку, заполненную на 1,5-2,0 см водой и проверяют герметичность крепления образца и отсутствие сквозных трещин. Для этого снизу к образцу подают сжатый до 0,5 ати воздух и наблюдают за падением давления и появлением на наблюдательной поверхности бурного локализованного пузырения воды.

При испытании цилиндрических образцов воду заливают через водовыводную трубку в осевой канал.

При положительных результатах проверки на наблюдаемой поверхности с помощью ограничительного кольца закрепляют водосборную воронку с водомерной трубкой и снизу к образцу подают воду под давлением, превышающем приведенную (к толщине образца) марку бетона по водонепроницаемости[x]. Давление замеряют с точностью не ниже ± 3% и фиксируют в пределах ± 5% во все время испытаний.

После начала фильтрации выдерживают заданное давление не менее 60 мин., производят троекратно в течение 60 мин. измерения скорости поступления фильтрата Q ($см^3/с$) (с точностью не менее ± 10%) и вычисляют коэффициент фильтрации в см/с по формулам:

для диска радиусом R и толщиной d (см)

$$K_{ф} = \frac{\eta}{\rho} \frac{Q}{P_и}, \qquad (1)$$

для цилиндра длиной L и радиусом R с осевым каналом радиусом ч

$$K_{фр} = \frac{\eta}{\rho} \frac{Q}{P_и} \frac{R-r}{2\pi L(R-r)} \ell n \frac{R}{r} \qquad (2)$$

---

x) Исследованиями НИИЖБ, подтвержденными также во ВНИИГиМ, установлено, что начиная с определенного перепада давления, при котором открывается основная масса фильтрующих пор, коэффициент фильтрации слабо зависит от испытательного давления и в пределах погрешности может считаться неизменным.

где P_u – перепад избыточного давления, (м вод.ст., γ – коэффициент приведенной (к 20°С) вязкости воды; $\varkappa$ – коэффициент уменьшения фильтрующего сечения(за счет проникновения гидроизоляции в поры может достигать 0,9; χ – коэффициент регрессии зависимости коэффициентов направленности и радиальности фильтрации (за счет анизотропии пористости и экранирующего эффекта заполнителя может изменяться в пределах 0,4-0,8, зависит от радиуса осевого канала, крупности заполнителя, В/Ц – отношения и режима твердения).

2.4.7 После окончания измерений производят постепенное снижение испытательного давления со скоростью 0,5 ати в мин, наблюдая за снижением интенсивности фильтрации и отмечая давление, при котором фильтрация прекращается. Это значение $P_н$ считают начальным перепадом давления и подставляют в формулу для определения расчетной марки бетона по водопроницаемости:

$$B_p = A \cdot P_н \cdot \varrho_g \frac{K_{\Phi_0}}{K_\Phi}.$$

Правила присвоения бетону определенной марки по водонепроницаемости зависят от способа нахождения постоянных коэффициентов A и K_{Φ_0}. При $K_{\Phi_0} = 2.10^{-8}$ см/с и А = I,8 за марку принимается ближайшая меньшая величина из ряда четных целых чисел.

СНиП II-2I-75 связывает корреляционно марку по водонепроницаемости с коэффициентом фильтрации бетона равномерной влажности следующим образом:

B	> I2	I2	I0	8	6	4	2
$K_\Phi \times 10^{-10}$	<0,I	< 0,6	<I,0	< 6	< 20	< 70	< 200

2.4.8. Для ускорения фильтрационных испытаний рекомендуется первый этап – промачивание образца выполнять горячей водой с последующим восстановлением нормального режима после начала фильтрации.

Испытания выполняют в следующей последовательности: воду, предназначенную для испытаний, кипятят, затем заливают при температуре +80-90°С в прибор и создают необходимый напор; после появления фильтрата на наблюдательность поверхности фильтрацию поддерживают до остывания воды до +20 + 5°С и начинают измерения при нормальных условиях по п.2.4.5. Во втором случае на

Способ дает завышенные значения коэффициента фильтрации на 30–60%, что, однако, сравнительно легко учесть введением поправок, определяемых заранее путем сравнительных испытаний бетона одного состава. Без введения поправок марка бетона по результатам ускоренных испытаний может быть занижена на одну единицу, с вероятностью, не превышающей 20.%.

2.4.9. Для определения среднего и максимального эффективного размера фильтрующих пор необходимо сразу после фильтрационных испытаний сменить водосборную воронку на ванночку, залив ее водой на 2–3 см и подавать на образец снизу сжатый воздух, повышая давление постепенно со скоростью 0,01–0,02 ати в мин и следя за открытой поверхностью образца отмечают момент появления первой цепочки пузырьков воздуха P_{u_1} и момент когда вся открытая поверхность будет равномерно покрыта источниками пузырьков P_{u_2}.

Максимальный d_{ϕ_M} и средний d_{ϕ_c} размер фильтрующих пор в см, находят по формулам

$$d_{\phi_M} = \frac{4\alpha}{P_{u_1}} \qquad d_{\phi_c} = \frac{4\alpha}{P_{u_2}},$$

где α – коэффициент поверхностного натяжения воды, дин/см (при $t = +20^{\circ}C$ $\alpha = 72{,}7$ дин/см), P_{u_1}, P_{u_2} – перепады давления воздуха на нижней и верхней поверхности образца в $Н/м^2$, при которых открываются сквозные поры диаметром соответственно d_{ϕ_M} и d_{ϕ_c}.

Если избыточное давление воздуха измерять в КПа, то $d_{\phi} = 290/P_u$ (мкм).

2.4.10. За результат испытаний принимают среднее значение расчетной марки бетона по водонепроницаемости, определенное не менее, чем по 3-м образцам из одной пробы бетона при условии, что различие между ними не превосходит одной марки. В противном случае наиболее далекий выпадающий результат отбрасывают и производят повторные испытания еще двух образцов, усредняя результат по трем наиболее близким значениям расчетных марок. После этого переходят от расчетной марки к марке бетона по водонепроницаемости.

2.5. Определение характеристик порового пространства бетона

2.5.1. К основным параметрам пористости бетона относятся абсолютные объемы и относительное содержание: открытых $П_о$ (заполняемых водой при нормальных условиях), условно замкнутых $П_в$ (содержащих при нормальных условиях газ). Деление пор бетона в отношении доступа к ним воды при нормальных условиях используется для прогнозирования его морозостойкости, а также при оценке степени защищенности бетона от воздействия водной среды.

2.5.2. Допустимые значения открытой $П_о$ и требуемые значения замкнутой $П_г$ пористости назначают при подборе состава бетона, исходя из заданной марки бетона по морозостойкости. Для этого используют эмпирически установленную связь между прогнозируемой морозостойкостью и величинами общей пористости $П_\Sigma$, отношения $П_в/П_о$, прочности бетона на растяжение $R_р$ (или сжатие $R_с$) и предельной растяженности $\varepsilon_{пр}$ (или модуля деформации при растяжении $E_р$)

$$M_{рз} = f\left(П_\Sigma, \frac{П_в}{П_о}, R_р, \varepsilon_{пр}\right).$$

Вид используемой связи, значения эмпирических коэффициентов и характеристики их точности и стабильности устанавливают в период организации строительства при подборе состава бетона путем испытаний не менее 15 серий образцов по основному методу ГОСТ 10060-76 с одновременным определением характеристик $П_\Sigma$, $П_в/П_о$, $R_р$, $\varepsilon_{пр}$.

2.5.3. Связь $M_{рз} = f\left(П_\Sigma, \frac{П_в}{П_о}, R_р, \varepsilon_{пр}\right)$ может быть задана в табличном виде, как в ГОСТ 10060-76, графически, как в Методике Красноярского Промстройниипроект, или аналитически, как в методиках Укр ИИВХ (г.Ровно) и РИСИ-ЮжНИИГиМ.

Для прогнозирования морозостойкости бетона противофильтрационных одежд гидротехнических сооружений может использоваться также зависимость

$$\ln \frac{M_{рз}}{R_р} = C_R\left[\left(\frac{П_в}{П_о} + D_\varepsilon\right)\left(1 - П_\Sigma\right)^2\right],^{*}$$

---

x) Найденная по любой из зависимостей морозостойкость предназначена лишь для ее прогнозирования и назначения параметров пористости бетона и не может служить для оценки качества бетона.

где C_R – постоянный для данной марки бетона по прочности коэффициент, находимый при построении зависимости (изменяется в пределах 0,2–0,5); $П_Г = П_В + П_О$ – суммарный (общий) объем пор бетона; $D_\delta = 0{,}03 \frac{\delta_{пр}}{\sqrt{П_Г}}$ – поправка на растяжимость бетона при разрыве (учитывается только для полимер–бетонов или бетонов с полимеризирующими добавками, когда $\delta_{пр} > 10^{-3}$).

2.5.4. Определение открытой пористости бетона производят путем водонасыщения при нормальных условиях образцов, высушенных при +105+5 °С по ГОСТ 12730.4–78.

Определение общей пористости может быть выполнено тремя методами:

грубо – по отношению расчетной (без учета воздухововлечения) и действительной объемных масс обезвоженного "сухого" бетона;

более точно (с выявлением пор размером до 0,1 мкм) – путем водонасыщения бетона при термо–вакуумном воздействии на него;

наиболее точно – путем определения объемной $\gamma_{об}$ и удельной $\gamma_{уд}$ (минеральной части бетона без пор) масс бетона в соответствии с ГОСТ 6427–80 или ГОСТ 12730.2–78.

Для текущего контроля выдерживания заданных объемов пор в тяжелом бетоне без полимеризирующих добавок рекомендуется способ водонасыщения при термо–вакуумном воздействии.

2.5.5. Для осуществления способа необходимо собрать установку для водонасыщения бетонных образцов нагретой водой под вакуумом. Установка должна обеспечивать:

– нагрев водонасыщенного бетона образца до +100–10°С ;

– вакуумирование нагретого образца до 40 мм рт.ст.;

– нагрев воды насыщения до +100–10°С и подача ее к образцу, находящемуся под вакуумом.

Для сборки установки необходимо иметь:

1. Вакуум–сосуд с водовыпускным и водовпускным вентилями и сетчатой подставкой для образца.

2. Бак с крышкой, снабженный электронагревателем.

3. Вакуум–насос, обеспечивающий разряжение до 40 мм рт. ст., с устройством конденсации водяного пара из выкачиваемого воздуха.

Из перечисленных элементов необходимо собрать установку, как показано на рис.11.

На рис.12 показана схема термовакуумной камеры для полевых строительных лабораторий, которая позволяет также производить высушивание образца при +105+5°С.

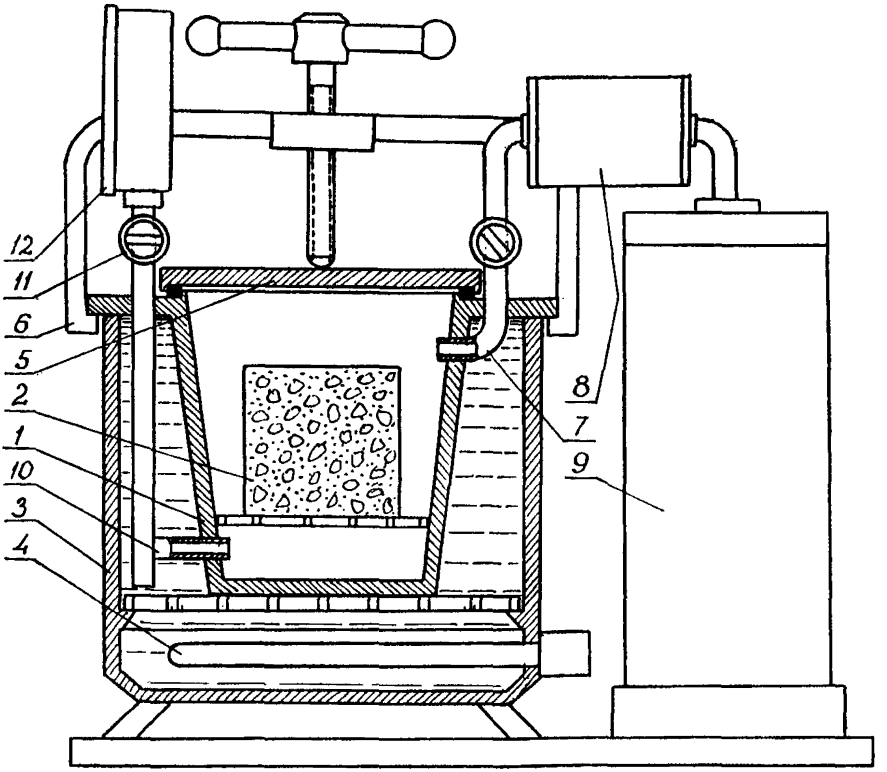


Рис.II. Установка для водонасыщения бетонных образцов:
I – вакуум-сосуд; 2 – образец; 3 – бак-нагреватель;
4 – электронагревательный элемент; 5 – герметизирующая крышка; 6 – крепежная скоба; 7 – вакуумный патрубок;
8 – конденсатор; 9 – вакуум-насос; I0 – водовпускной патрубок; II – вентиль; I2 – вакуумметр

Водонасыщение при нагреве и вакуумировании не применяют для полимербетона и оно дает заниженные результаты до I0% (относительных) для бетона с полимеризирующимися добавками.

2.5.6. Для водонасыщения используют образцы-цилиндры или кубы размером соответственно Ø I0xI0 и I0xI0xI0 м или их части (от четверти до половины), могут использоваться также образцы неправильной формы массой от 0,5 до 2 кг.

Под водонасыщение при нагреве и вакуумировании ставят образцы, прошедшие водонасыщение при нормальных условиях по ГОСТ I2730.4-78, сразу после их взвешивания.

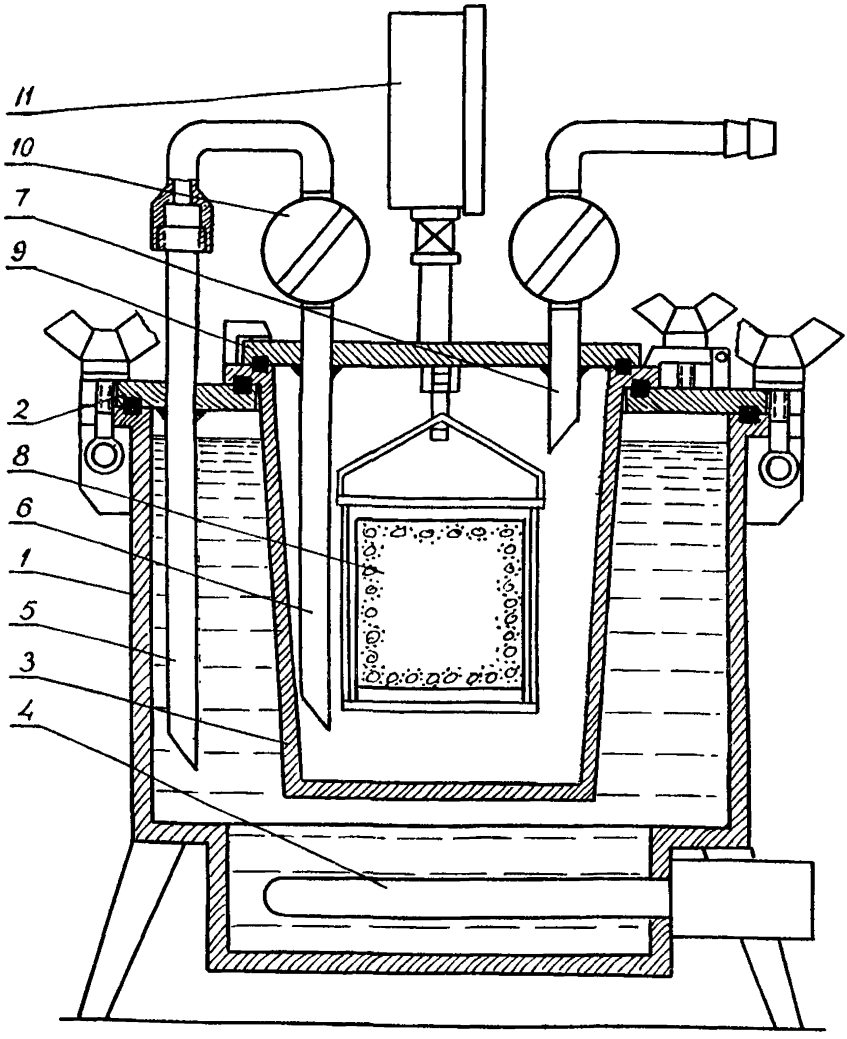


Рис.12. Схема термо-вакуумной камеры: 1 - базовая камера; 2 - крышка насадки; 3 - вакуум-сосуд; 4 - термоэлектронагреватель; 5 - напорный патрубок; 6 - водовпускной патрубок; 7 - вакуумный патрубок; 8 - испытываемый образец в сетке-подвеске; 9 - вакуум-крышка; 10 - вентиль водяной; 11 - вентиль вакуумный; 12 - вакуумметр

На поверхности образцов не должно быть следов смазки форм или остатков защитных пленок. Образцы не должны иметь видимых трещин выступов и острых углов, которые могли бы привести к откалыванию кусков.

От каждой партии бетона водонасыщению подвергают не менее 3-х серий образцов по 2-4 образца в серии, причем одна серия образцов может испытываться одновременно.

2.5.7. Подготовленные к испытанию образцы укладывают в чашку из мелкой металлической сетки (размером 0,625-I,25 мм) и размещают в вакуум-сосуде (устанавливая на подставке или подвешивая к крышке). Вакуум-сосуд герметизируют, подсоединяют патрубки, как показано на рис.I0 и II, проверяют на герметичность.

Вначале нагревают и кипятят воду в баке до достижения температуры образца не ниже +90°С. Затем включают вакуум-насос и, продолжая кипятить воду, создают в камере вакуум не более 40 мм рт.ст. После выдерживания вакуума 30 мин перекрывают воздухо-выпускной и открывают водо-впускной вентили, при этом камера с образцом заполняется горячей водой. Затем камеру разгерметизируют, воду кипятят еще 30 мин и нагрев прекращают, оставляя остывать в воде. По достижении температуры +25°С образец извлекают из камеры, дают стечь воде с внешней поверхности и затем взвешивают вместе с вытекающей из пор водой с точностью до ± 0,2%.

2.5.8. Объем замкнутых пор по данным взвешивания образца после первого водонасыщения на воздухе $P_{нв}$ и в воде $P_{нг}$ и после второго водонасыщения $P_{тв}$ вычисляют как разность суммарного объема всех пор $П_{\Sigma}$ и объема открытых пор $П_{о}$.

$$П_{г} = П_{\Sigma} - П_{о} = 100\% \left[\frac{P_{тв} - P_{нв}}{P_{нв} - P_{нг}}\right]. \qquad (I)$$

Открытая пористость по данным взвешивания высушенного образца $P_{св}$ вычисляется по формуле

$$П_{о} = 100\% \left[\frac{P_{нв} - P_{св}}{P_{нв} - P_{нг}}\right]. \qquad (2)$$

За результат испытаний серии образцов принимают среднее значение пористости не менее двух образцов серии при условии расхождения между ними не более ± 0,5% (абсолютных). За характеристику партии бетона принимают среднее значение пористости не менее чем в трех сериях образцов при условии, что размах (разность между наибольшим и наименьшим) этих значений не превышает 2% (абсолютных).

2.6. Оценка стойкости бетона к воздействию водных растворов агрессивных солей

2.6.I. Длительное воздействие на бетон воды и растворенных в ней солей приводит к необратимым структурным изменениям, вызывающим снижение прочности, деформативности и непроницаемости бетона. Большое разнообразие видов и условий такого воздействия, а также сопровождающих его факторов не позволяет разработать единую методику испытаний на стойкость бетона к коррозии. Сопротивляемость бетона коррозии и способ ее оценки зависят от химического состава воды, интенсивности и условий воздействия ее на бетон конструкции. Поэтому в каждом конкретном случае способы испытаний и оценки сопротивляемости бетона коррозии должны определяться проектными и организационно-технологическими институтами и осуществляться центральными строительными лабораториями.

2.6.2. В зависимости от условий работы бетона в конструкции по отношению к воздействию агрессивной среды различают два режима переноса воды в бетоне: диффузионный и фильтрационный. Диффузионный режим имеет место при омывании конструкции водой при напоре до 2 ати. Фильтрационный режим в бетоне может возникнуть в напорных закрытых водоводах при напорах, сравнимых с маркой бетона на водонепроницаемость.

Возможен также смешанный процесс, когда фильтрационный режим наступает после того, как образовалась сквозная пористость в результате разрушения внутренней структуры бетона под воздействием диффузионного распространения воды.

Вид агрессивности и концентрации солей в воде определяется, исходя из реальных условий воздействия ориентируясь на максимально возможные концентрации.

Последствия коррозии могут оцениваться по изменению наиболее чувствительных к коррозии свойств бетона, поддающихся контролю без разрушения образца. К ним относятся: поверхностная твердость, модуль упругости, проницаемость.

По снижению поверхностной твердости целесообразно оценивать стойкость бетона при диффузионном переносе воды, по увеличению проницаемости - при фильтрационном переносе.

2.6.3. Для измерения поверхностной твердости применяются статические склерометры с шариковым индентором, диаметром от 8 до I4 мм, обеспечивающие усилие на индентор до 200 кг,

нарастающее за 20-30с. Твердость индентора должна быть не менее HR 40, точность отсчета усилия не более ± 3%, глубины внедрения индентора - не более ± 10 мкм (или диаметра отпечатка - не более ± 50 мкм).

В работе с образцами - кубами и цилиндрами удобен склерометр в виде силовой скобы, охватывающей образец, с двумя шариковыми инденторами, обжимающими его с противоположных сторон.

Для измерения твердости бетона в образцах с осевым каналом рекомендуется склерометр с датчиком, снабженным тремя радиально расположенными шариковыми инденторами, вдавливаемыми в стенки канала с помощью конусного преобразователя, как показано на рис.13.

Для контроля изменения проницаемости бетона применяется фильтрационный прибор или компрессионная камера, используемые для фильтрационных испытаний, описанные в п.2.4.4.

2.6.4. Для испытаний бетона в диффузионном режиме по снижению поверхностной твердости применяют бетонные образцы кубической или цилиндрической формы со стороной 15 см, а также образцы-цилиндры диаметром 10-15 см со сквозным осевым каналом диаметром 25+1 и 29+1 мм (в соответствии с диаметром датчика склерометра). Образцы формуют из растворной составляющей бетона при крупности частиц песка не более 5 мм.

Для испытаний бетона в фильтрационном режиме по изменению проницаемости применяют образцы в форме диска или цилиндра с осевым каналом, используемые при фильтрационных испытаниях по п.2.4.5.

Диффузионный режим в образцах кубах и цилиндрах устанавливают путем помещения их на сетчатых подставках в ванну, в которой обеспечен установившийся ток воды с растворенными в ней солями в соответствии с указаниями руководства НИИЖБ [19]. Вода должна равномерно омывать боковые (при формировании) поверхности образца.

Удобный способ образования диффузионного режима является прокачка воды сквозь осевой канал в образце, для чего торцы образца гидроизолируют с помощью эпоксидного компаунда и образец включают в замкнутую систему циркуляции воды.

Фильтрационный режим в образце устанавливается согласно п.2.4.6.

2.6.5. Условия испытаний (температура воды, скорость потока, концентрация солей, длительность и количество испытаний)

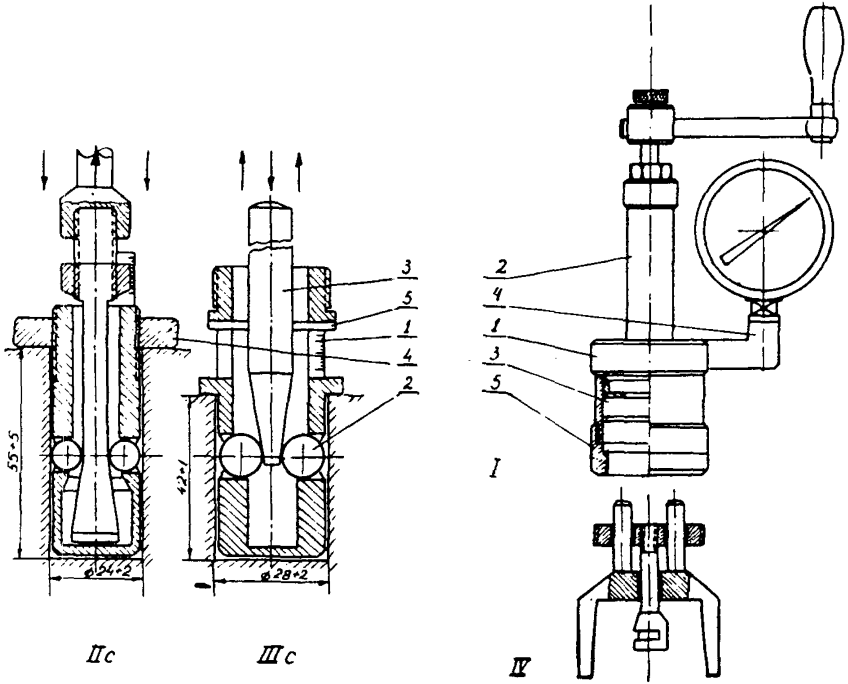


Рис.13. Датчики-склерометры с пресс-насосом на 500 кг. I - датчик с обратным конусом; II - датчик с прямым конусом: 1 - накладная гильза; 2 - шариковые индикаторы; 3 - силовой корпус; 4 - опорная гайка; 5 - указатель глубины внедрения инденторов ; III - пресс-насос; IV - преобразователь направления тяги

устанавливают, исходя из реальных условий воздействия на бетон агрессивной среды и могут быть ужесточены с целью ускорения испытаний, если выявлены в ходе предварительных исследований достаточно стабильные переходные зависимости.

Одновременно испытанию должны подвергаться не менее 3-х образцов, изготовленных из одной пробы бетона.

Перед началом испытаний и по окончании каждого цикла испытаний в диффузионном режиме образцы кондиционируют в воздушно-сухих условиях не менее суток и производят не менее 4-х измерений поверхностной твердости: по одному на каждой из четырех рабочих граней куба или сторон цилиндра. При измерении твердости в стенках осевого канала выполняют по два измерения с переориентацией датчика на 60^0 на двух расстояниях от торца цилиндра.

Расстояние между центрами приложения нагрузки и до края образца должно быть не менее полутора диаметров индентора. При измерении твердости скобой необходимо строго следить за перпендикулярностью оси приложения нагрузки к поверхности образца.

2.6.6. По глубине внедрения индентора h_o или диаметру отпечатка d_o на плоской поверхности от дозированной нагрузки P показатель поверхностной твердости вычисляется по формуле:

$$T_n = \frac{P}{\pi d_u} \cdot \frac{1}{h_o} = \frac{P}{\pi d_u} \cdot \frac{2}{\left[d_u - (d_u^2 - d_o^2)^{1/2}\right]}, \quad (I)$$

где d_u – диаметр индентора; $P/\pi d_u$ – постоянная склерометра.

При внедрении индентора на цилиндрической поверхности выражения для T_n более сложно; однако, т.к. при испытании на стойкость важно знать лишь общее снижение твердости относительно начального значения, все вычисления можно выполнять или в единицах, обратных глубине внедрения $1/h_o$, если нагрузка P постоянна, или в единицах нагрузки, если h_o постоянно.

По результатам измерений для каждого образца строят кривую потерь твердости до цикла испытаний $T(t)$, отмечая на них моменты пересечения допустимого порога снижения, задаваемого проектной организацией.

Если этот порог не достигнут за все время испытаний, момент достижения находится путем экстраполяции, исходя из следующей зависимости роста глубины коррозии во времени

$$H_к(t) = \beta_к^э \sqrt{t}, \quad (2)$$

где $\beta_к^э$ – коэффициент интенсивности развития коррозии в диффузионном режиме.

2.6.7. По измеренному значению коэффициента фильтрации $K_ф$ определяют расчетный показатель водопроницаемости бетона, по формуле:

$$B_р = B \cdot P_и \cdot \ell g \frac{K_{ф_о}}{K_ф}, \qquad (I)$$

считая, что произведение $B \cdot P_и = 4{,}0$.

Изменение проницаемости бетона отмечают в единицах расчетного показателя $B_р$. По результатам испытаний строят кривые роста проницаемости $B_р(t)$, отмечая на них моменты пересечения допустимого уровня, например одной целой марки.

Если этот уровень не достигнут за время испытаний, момент достижения находят путем экстраполяции, исходя из линейной зависимости

$$\ell_у K_ф = \beta_к^ф \cdot t, \qquad (2)$$

где $\beta_к^ф$ – коэффициент интенсивности развития коррозии в фильтрационном режиме.

2.6.8. При испытаниях высокомарочных бетонов, а также бетонов со специальной поверхностной обработкой гидрофобными составами, может быть применен режим циклического насыщения и обезвоживания, путем попеременного создания напора воды и вакуума на смачиваемой поверхности образца. При этом напор воды и время выдерживания напора в часах должны соответствовать марке бетона по водонепроницаемости.

Коррозионная стойкость оценивается по числу циклов, приведших к появлению фильтрата на наблюдательной поверхности образца, что свидетельствует о снижении марки бетона более единицы.

Циклический режим приводит к интенсификации процесса коррозии за счет принудительного выноса из бетона его продуктов, что требует большой осторожности при расчетах долговечности бетона.

Испытания могут быть проведены на фильтрационных установках, снабженных вакуумно-компрессионным насосом, например по схеме, показанной на рис.I4.

2.6.9. Испытание бетона на стойкость к коррозии, как правило, бывают определительными. На испытания ставят не менее I2 образцов (от одной или нескольких однородных опытных партий) бетона подобранного состава сразу или в 2-3 загрузки. Испытания ведутся до "отказа" (пересечения заданного порога) всех образцов. По

результатам испытаний определяют среднее время (число циклов) наработки до отказа $T_{ср}$ и среднеквадратическое отклонение наработок σ_T, в предположении нормального закона распределения наработок во времени, границы доверительных интервалов при доверительной вероятности $\gamma = 0,9$.

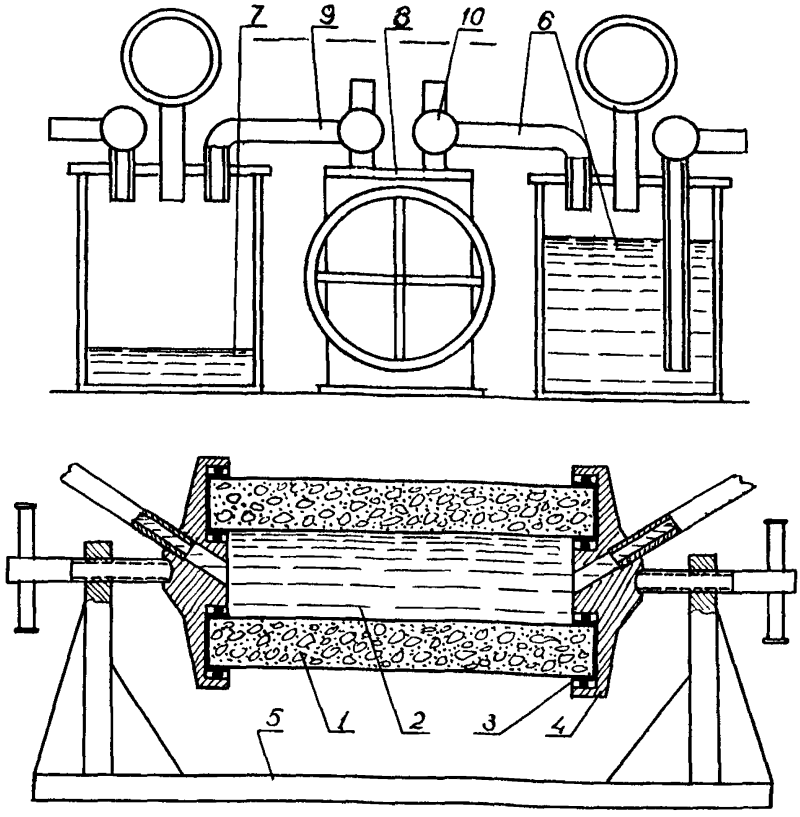


Рис.I4. Схема испытаний бетона на стойкость к воздействию водных растворов агрессивных солей: I – образец с осевым каналом (2); 3 – гидроизоляция; 4 – торцевые заглушки; 5 – крепление образца; 6 – емкость чистого раствора; 7 – емкость раствора с продуктами коррозии; 8 – вакуумно-компрессионный насос; 9,I0 – система подводящих и отводящих патрубков и вентилей

2.6.10. Стойкость бетона характеризуется средним числом циклов испытаний, когда все образцы достигли предельного состояния. Она может быть оценена также на ранней стадии испытаний, когда "отказ" наступил лишь у части образцов, в предположении нормального распределения "наработок", по формуле:

$$\tilde{t} = \frac{\sum_i t_i \sum_i U_{q_i}^2 - \sum_i U_{q_i} \sum_i t_i U_{q_i}}{m \sum_i U_{q_i}^2 - \left(\sum_i U_{q_i}\right)^2}, \qquad (1)$$

при среднеквадратическом отклонении

$$\sigma_{\tilde{t}} = \frac{\sum_i t_i - \tilde{t}_m}{\sum_i U_{q_i}}, \qquad (2)$$

где: t_i – цикл испытаний, в котором произошел "отказ" хотя бы одного образца, $i = 1,2...$ порядковый номер цикла в серии из m циклов; n_i – количество образцов, отказавших к t_i-му циклу; $q_i = \frac{n_i}{N}$ – относительная доля отказавших к t_i-му циклу образцов; N – общее число поставленных на испытания образцов; U_{q_i} -квантиль нормального распределения, соответствующий относительной доле q_i.

Значения $t_i, n_i, q_i, U_{q_i}, t_i U_{q_i}, U_{q_i}^2$ – удобно представить в табличном виде в указанной последовательности.

Истинное значение средней стойкости бетона с доверительной вероятностью $p_q = 0,9$ находится в интервале

$$\bar{t} = \tilde{t} \pm 1,7 \frac{1}{\sqrt{N}} \sigma_{\tilde{t}}. \qquad (3)$$

Оценка стойкости бетона на ранней стадии испытаний всегда получается заниженной, что исключает опасные последствия снижения надежности получаемых результатов.

Результаты испытаний на стойкость удобно представить графически на вероятностной диаграмме, где по оси абсцисс откладывают число циклов испытаний t_i, а по оси ординат – накопление частот отказов в вероятностном масштабе. На диаграмме легко выделить из общего потока "отказов" случайные "отказы", возникающие на ранней стадии испытаний и вызванные технологическими дефектами образцов, а не свойствами испытываемого бетона.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ БЕТОННОЙ СМЕСИ И ТВЕРДЕЮЩЕГО БЕТОНА

3.1. Общие положения

3.1.1. При положительных результатах прогнозирующего контроля путем испытаний контрольных образцов – выдерживание заданного режима технологических операций приготовления, транспортирования, укладки, уплотнения и защиты твердеющего бетона является гарантией получения бетона в конструкции заданного качества.

Оптимальные параметры указанных технологических операций и допустимые границы их изменения устанавливают в ходе технологической прогонки производственного процесса в подготовительный период.

Основными контролируемыми параметрами технологического процесса являются:

– жесткость (подвижность) свежеприготовленной бетонной смеси;

– удобоукладываемость (технологическая вязкость) бетонной смеси при ее загрузке и укладке;

– объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси с воздухововлекающими добавками при ее перемешивании;

– степень уплотнения бетона и остаточный объем удерживаемого бетоном воздуха;

– интенсивность удельных влагопотерь бетона при твердении в условиях сухого и жаркого климата (или начальный набор прочности при отрицательных температурах воздуха).

3.1.2. Основным показателем консистенции отпускаемой с завода бетонной смеси является динамическая жесткость, выраженная в секундах и определяемая с помощью стандартного или упрощенного вискозиметра Вебе по ГОСТ 10181-76. Для пластичной бетонной смеси, основным показателем удобоукладываемости является статическая подвижность, определяемая по осадке и расплыву стандартного конуса. Жесткость или подвижность бетонной смеси определяют не менее двух раз в смену.

Удобоукладываемость бетонной смеси на месте бетонирования определяют по показателю, наиболее близко отвечающему реакции бетонной смеси на механическое воздействие при ее укладке и уплотнении. Этот показатель, называемый технологической вязкостью, должен быть связан, во-первых, с технической вязкостью, во-вторых, с регулируемыми параметрами механизма, задающими режим

уплотнения бетонной смеси. Например, для канального бетоноукладчика – это скорость движения или частота вибрирования.

Для самоходного бетоноукладчика с вибротрубой может быть рекомендован, например вискозиметр конструкции ВНИИГиМ, состоящий из контрольной емкости с выпускной калиброванной щелью, виброэлемента в виде виброиглы, связанной с вибратором с рабочими параметрами, и счетчика скорости истечения бетонной смеси.

При систематическом существенном отклонении технологической вязкости от оптимального значения производят коррекцию состава бетона на бетоносмесительном узле; при случайных незначительных колебаниях вязкости корректируют режим укладки бетона, изменяя скорость хода V или интенсивность вибрирования $\mathcal{J}_т$, используя связь

$$V = f\left(\frac{\mathcal{J}_т}{\mathcal{J}_c}, T_в\right),$$

где $T_в$ – показатель технологической вязкости; $\mathcal{J}_т$ – регулируемая интенсивность вибрирования; $\mathcal{J}_c$ – стандартная интенсивность вибрирования при амплитуде 0,5 мм и частоте 50 Гц;

Для контроля технологической вязкости могут применяться и другие конструкции вискозиметров, моделирующих тот или иной вид воздействия на бетонную смесь во время ее укладки и уплотнения.

3.I.3. Для оперативного контроля вязкости бетонной смеси могут также применяться вискозиметры показанные на рис.I6. Для контроля вибрируемой бетонной смеси умеренной жесткости:

– упрощенный вискозиметр Вебе в виде перфорированного диска на конических опорах;

– погружной полый зонд-растворотборник с калиброванными отверстиями.

Для контроля высокопластичной, в том числе литой смеси, укладываемой без вибрирования:

– конус НИС Гидропроекта с иглой-перфоратором;

– зонд с диафрагменным датчиком боковой деформации.

Для контроля бетонной смеси, транспортируемой по трубам, рекомендуются вискозиметры в виде модели трубопровода, соединяющей загружаемую и мерную емкости или в виде протяженного бункера с вертикальным затвором.

3.I.4. Объем воздухововлечения в бетонную смесь, выходящую из бетоносмесительного узла, определяют одним из следующих методов:

- с помощью мерного сосуда с конической крышкой по ГОСТ 10060-76 распусканием бетонной смеси в воде;

- помощью компрессионного прибора, рекомендуемого ГОСТ 4799-69: по методике Красноярского ПромстройНИИпроект.

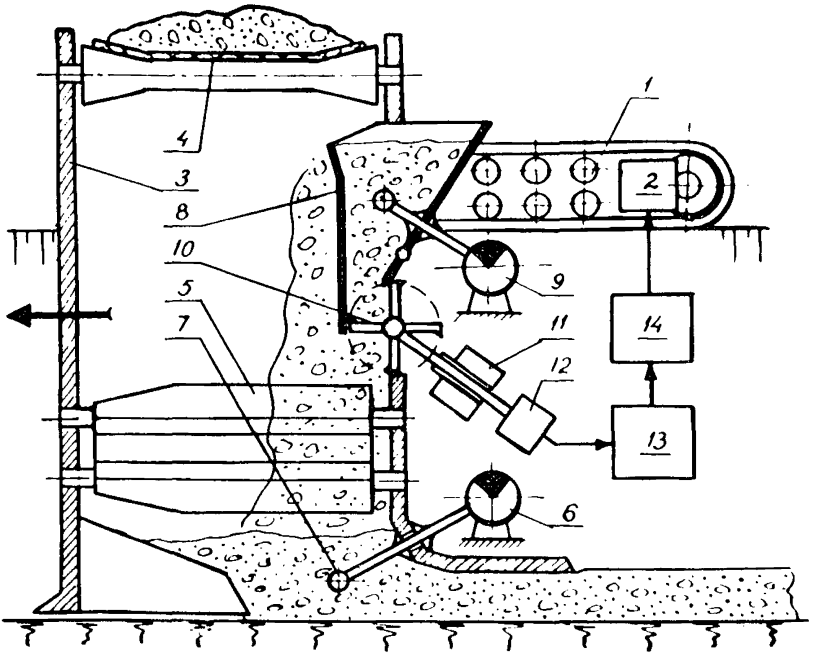


Рис.15. Работа технологического вибрационного вискозиметра в комплекте с канальной бетоноукладочной машиной:
1 - ходовая часть бетоноукладчика; 2 - двигатель; 3 - расходный бункер; 4 - ленточный питатель; 5 - распределитель бетонной смеси; 6 - рабочий вибратор; 7 - глубинный виброоргап; 8 - контрольная калиброванная емкость; 9 - контрольный вибратор с шаровым виброэлементом; 10 - лопастная измерительная вертушка; 11 - очистной вибратор; 12 - датчик сигналов, вертушки; 13 - преобразователь сигналов; 14 - регулятор скорости движения укладчика

Пробы для определения воздухововлечения и объемной массы бетонной смеси рекомендуется отбирать ежесменно при загрузке бетоновозов.

Периодически следует проверять также воздухоудерживающую способность бетонной смеси по разности воздухосодержания, определенного на бетонном заводе и на месте бетонирования.

3.I.5. Коэффициент уплотнения определяется по отношению расчетной объемной массы бетонной смеси (исходя из расходов компонентов) и средней величины объемной массы, полученной взвешиванием и обмером уплотненной бетонной смеси.

Объемную массу бетонной смеси, как и воздухосодержание в уплотненном бетоне, рекомендуется определять с помощью натурных проб, отбираемых с помощью специальных закладных форм, размещаемых непосредственно в зоне будущей конструкции перед бетонированием.

Для определения интенсивности влагопотерь бетона при твердении, характеризующих качество ухода за бетоном, используют закладные весовые стаканчики. Величину влагопотерь находят по потере массы образца бетона во времени. При этом за бетоном в стаканчике осуществляется принятый на практике уход, бетон в них твердеет в условиях твердения бетона конструкции. Стаканчик с образцом взвешивают четыре раза, сразу после начала ухода, через 8, 24 и 72 часа. Величины влагопотерь (на единицу испаряемой поверхности) сравнивают с предельной интенсивностью влагопотерь, установленной в лабораторных исследованиях.

3.2. Контроль технологической вязкости укладываемой смеси (при укладке бетоноотделочной машиной)

3.2.I. Целью контроля технологической вязкости укладываемой бетонной смеси на месте производства работ является приведение в соответствие уплотняющей способности бетоноукладчика реологическим свойством бетонной смеси путем коррекции режима вибрирования.

Технологическая вязкость бетонной смеси должна определяться при том же виде вибрационного воздействия, который воспроизводится на бетоноукладчике.

3.2.2. Технологический вискозиметр должен моделировать бетоноуплотняющий узел и настраиваться на нормальную работу бетоноукладчика. Одновременно вискозиметр градуируют в единицах технической вязкости – жесткости, определяемой по ГОСТ I0I8I-76. Данные о вязкости бетонной смеси должны быть получены перед поступлением бетонной смеси в распределительный бункер бетоноукладчика. Информация с вискозиметра поступает на пульт машиниста бетоноукладчика или на регулятор режима вибрирования бетонной смеси

(по частоте вибрирования или скорости движения). В последнем случае бетоноукладчик должен иметь систему автоматического регулирования режима вибрирования

3.2.3. На рис.I5. приведена схема технологического вибрационного вискозиметра конструкции ВНИИГиМ, установленного на полнопрофильном бетоноукладчике с глубинным виброорганом.

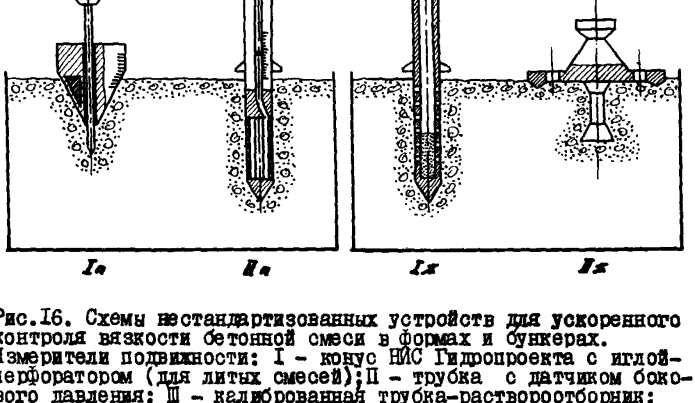


Рис.I6. Схемы нестандартизованных устройств для ускоренного контроля вязкости бетонной смеси в формах и бункерах. Измерители подвижности: I - конус НИС Гидропроекта с иглой-перфоратором (для литых смесей); II - трубка с датчиком бокового давления; III - калиброванная трубка-растворотборник; IУ - диск с калиброванными отверстиями

Технологический вискозиметр состоит из контрольной емкости с выпускной калиброванной щелью, виброиглы с рабочим вибратором - моделью виброоргана бетоноукладчика и измерителя скорости истечения бетонной смеси из бункера в виде лопастной вертушки со счетчиком числа оборотов.

Лопастная вертушка расположена таким образом, что через нее пропускается вся вытекаемая из контрольной емкости бетонная смесь.

3.2.4. Вискозиметр устанавливается над распределительным бункером бетоноукладчика, как показано на рис.I5, под приемным лотком или транспортером таким образом, чтобы контрольная емкость заполнялась одновременно с бункером бетоноукладчика; к

виброигле подсоединяется рабочий вибратор бетоноукладчика, работающий синхронно с вибраторами виброоргана. Счетчик импульсов выводится на пульт машиниста.

3.2.5. При лабораторных исследованиях над контрольной емкостью устанавливается дозирующая емкость с изменяемым расходом бетонной смеси. Дозирующая емкость обеспечивает постоянный во время измерения уровень бетонной смеси в контрольном бункере по мере ее истечения. Под контрольной емкостью устанавливается бетоноприемник. К виброигле подсоединяют вибратор со стандартными или рабочими параметрами вибрирования.

3.2.6. Градуировка технологического вискозиметра производится путем сравнительных испытаний нескольких видов бетонной смеси, отличающихся консистенцией на технологическом и техническом вискозиметрах.

Вначале бетонная смесь определенной консистенции пропускается через технологический вискозиметр. Вместо бетоноприемника под контрольным бункером в это время располагается технический вискозиметр Вебе и бетонная смесь с лопаток вертушки поступает прямо в стандартный конус. По заполнению стандартного конуса троекратно производится измерение жесткости смеси на стандартном вискозиметре. По четырем-шести сравнительным испытаниям строится зависимость: скорость истечения бетонной смеси, л/с - жесткость, с.

3.2.7. По результатам контроля бетонной смеси на технологическом вискозиметре при подборе состава бетона, используя ранее построенный градуировочный график, в требованиях на бетонный завод указывают жесткость бетонной смеси, выраженную в единицах технической вязкости.

3.3.8. Вискозиметр, используемый для регулирования режима виброуплотнения бетонной смеси, настраивают на нормальную работу бетоноукладчика. Для этого бетоноукладчик при отладке режимов вибрирования загружают бетонной смесью, заведомо отличающейся по консистенции от средних значений, указанных в паспорте бетоноукладчика. В ходе контрольного бетонирования следят за качеством поверхности облицовки и отмечают крайние значения технологической вязкости, при которых происходит оплывание бетонной смеси по откосу и разрывы (или каверны), вызванные недостаточной проработкой бетона.

Среднее значение вязкости (между двумя крайними) считают нормой, половину интервала изменения вязкости – предельно допустимыми границами, четверть интервала – предупредительными границами.

3.2.9. Во время загрузки распределительного бункера бетоноукладчика одновременно часть бетонной смеси попадает в контрольную емкость, и истекая из бункера под действием виброиглы, вращает лопастную вертушку.

При непрерывной укладке бетона машинист бетоноукладчика периодически отмечает скорость истечения бетонной смеси из контрольного бункера и соответствующим образом корректирует режим вибрирования путем изменения частоты вибрирования или скорости движения бетоноукладчика.

При цикличной укладке бетона контрольная емкость заполняется одновременно с заполнением распределительного бункера. Перед укладкой бетона машинист включает вибратор виокозиметра и за 20–30 с определяет вязкость поступившей бетонной смеси; затем настраивает соответствующим образом параметры вибрирования и только после этого начинает укладку бетона.

При систематическом отклонении вязкости бетонной смеси от оптимальной необходимо скорректировать состав бетонной смеси на бетонном заводе.

3.2.10. Параметры вибрирования (частота ν , амплитуда a) или скорость хода бетоноукладчика V корректируют по времени истечения бетонной смеси из контрольного бункера $T_в$, например, по соотношению

$$V = A + \frac{B}{T_в}\sqrt{\frac{\mathcal{J}_T}{\mathcal{J}_c}}, \qquad (I)$$

где А, В – постоянные коэффициенты, учитывающие конструктивные особенности бетоноукладчика и условия укладки; $\mathcal{J}_T$, $\mathcal{J}_c$ – действительная и стандартная интенсивности вибрирования $(\mathcal{J} = a\nu^3)$.

Значения коэффициентов А и В находятся при опытной укладке бетона в процессе отработки оптимальных режимов вибрирования. Например, при укладке при оптимизированных параметрах a , ν , V_1 и V_2 двух бетонных смесей, значительно отличающихся вязкостью T_1 и, T_2 , коэффициенты А и В находятся из соотношений

$$A = \frac{M_2 V_1 - M_1 V_2}{M_2 - M_1}, \qquad B = \frac{V_1 - V_2}{T_1 - T_2}, \qquad (2)$$

где

$$M_1 = \frac{\sqrt{\gamma_т / \gamma_c}}{T_1}, \qquad M_2 = \frac{\sqrt{\gamma_т / \gamma_c}}{T_2}. \qquad (3)$$

3.3. Определение воздухововлечения и воздухосодержания бетонной смеси

3.3.1. Воздухововлечение бетонной смеси следует определять в момент ее выгрузки из бетоносмесителя и при укладке в конструкцию (или после) с целью проверки соответствия достигнутой доли воздухосодержащих пор нормированной величине, установленной исходя из требуемой марки бетона по морозостойкости. При этом основным показателем является воздухосодержание укладываемой (или уложенной) смеси; определение же воздухосодержания свежеприготовленной смеси необходимо для оценки ее воздухоудерживающей способности и контроля работы бетоносмесительного узла.

3.3.2. Воздухосодержание бетонной смеси определяется одним из следующих методов:

- водозамещением при полном распускании в воде;
- компрессионным при двух уровнях давления.

Первый способ применяется для быстрой оценки воздухововлечения в полевых условиях. Второй способ осуществим в лаборатории и позволяет разделять поры с диспергированным воздухом на группы по размерам 0,01-0,1 - 1,0-10,0 - 100 мкм.

Рекомендуемая конструкция компрессионного прибора и методика испытаний бетонной смеси изложены в рекомендациях Красноярского ПромстройНИИпроект [7].

3.3.3. Для определения воздухосодержания бетонной смеси методом водозамещения применяют мерную емкость с конусной крышкой и узкой горловиной, например, рекомендованную в приложении 5 ГОСТ 10060-76. Более удобная конструкция мерной емкости, упрощающая процесс загрузки и распускания бетонной смеси в воде, показана на рис.17. Емкость состоит из цилиндрического приемного сосуда 1 и конусной крышки 2 с цилиндрической направляющей 3, заканчивающейся узкой горловиной 5. Горловина представляет собой мерную трубку. В донной части емкости расположена подставка для закладной формы. Емкость комплектуется калиброванным стержнем и втыковкой.

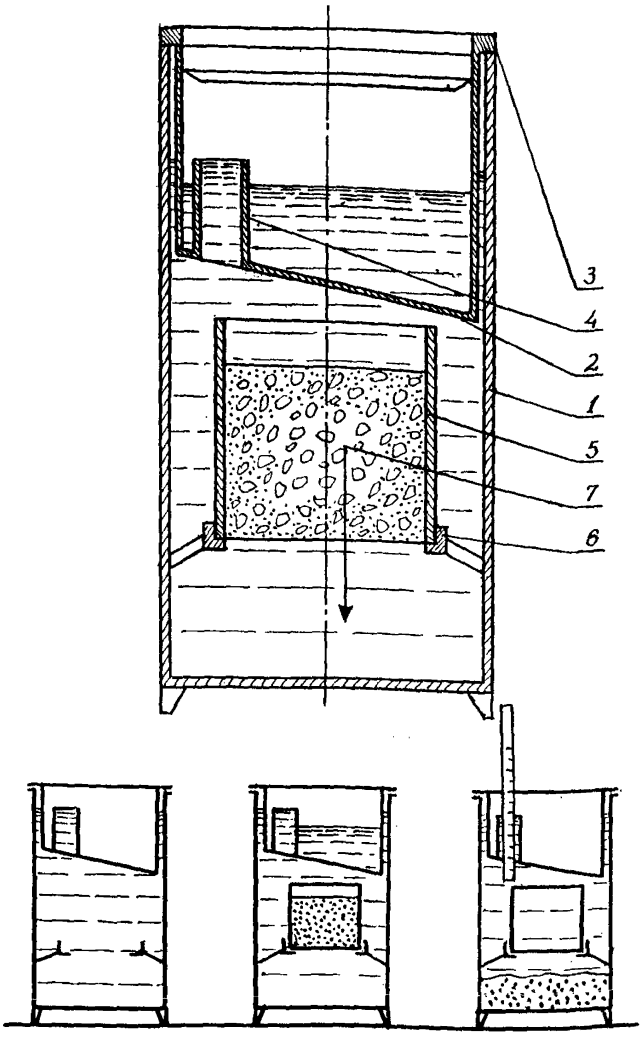


Рис. I7. Рабочая мера вместимости для определения воздухосодержания бетонной смеси: I - приемная емкость; 2 - конусная крышка; 3 - направляющий цилиндр; 4 - упорный фланец; 5 - мерная горловина; 6 - проба бетонной смеси; 7 - цилиндрическая форма; 8 - подставка

Внизу показан порядок работы с прибором: I-заливка воды, II-определение объема образца, III-определение объема воздуха в бетоне

3.3.4. Свежеприготовленную бетонную смесь помещают в цилиндрический стакан 7 с известным объемом внутренней полости и уплотняют воздействием, моделирующим уплотнение бетона в конструкции. Бетонная смесь из конструкции отбирается с помощью закладной формы, конструкция которой дана в п.2.I.6.

Пробу бетонной смеси в цилиндрическом стакане выравнивают вровень с краями стакана и помещают в приемный сосуд, устанавливая его на подставке 8.В сосуд заливают осторожно по стенке воду до 2/3 объема, выставляют его по уровню воды, после чего на него надевают крышку до упора, при этом устанавливается уровень воды по верхнему краю горловины, а лишняя вода сливается в пазуху крышки.

Если для испытаний используется проба бетонной смеси без формы, то уровень воды по горловине крышки устанавливают до и после загрузки бетонной смеси. Объем загруженной пробы определяют путем измерения объема вытесненной пробой воды из сосуда в пазуху крышки.

После установления начального уровня крышку снимают и дают воде стечь с нее в сосуд, затем смоченной в воде штыковкой осторожно выталкивают бетонную смесь из стакана, полностью распуская ее в воде. Если при этом приходится прилагать большие усилия, рекомендуется приемный сосуд закрыть крышкой и провибрировать на вибростоле.

3.3.5. При испытаниях в условиях сухой и жаркой погоды необходимо учесть испарившуюся за время штыкования воды из приемного сосуда. Для этого крышку устанавливают рядом на покровный лист и плотно прижимают к нему. Затем конусную часть заливают водой до верха, заглушают горловину пробкой и переворачивают крышку вместе с покровным листом, в перевернутом виде крышку устанавливают на прежнее место и осторожно смещая в сторону, снимают покровный лист. После завершения штыковки крышку вновь закрывают покровным листом, переворачивают и, установив на прежнее место, свинчивают пробку. По понижению уровня воды в мерной трубке судят о количестве испарившейся за время испытаний воды, прибавляя ее к результату испытаний.

3.3.6. После полного распускания бетонной смеси в воде приемный сосуд закрывают предварительно смоченной в воде крышкой до упора. По снижению уровня воды в мерной горловине, определяе-

мому с помощью калиброванного стержня, судят о количестве вышедшего из бетонной смеси воздуха.

Образующаяся по поверхности воды пена устраняется путем добавления небольшого количества органической жидкости: бензина, керосина, спирта...

3.3.7. По измеренным величинам воздухосодержания бетонной смеси после ее приготовления $П_в^с$ и во время укладки $П_в^к$ (или после) определяют технологическую воздухоудерживающую способность бетонной смеси

$$K_в = \frac{П_в^с - П_в^к}{П_в^с}.$$

По разности воздухосодержания свежеприготовленной бетонной смеси $П_в^с$ и уплотненной в цилиндрическом стакане при стандартном режиме $П_в^у$ определяют техническую воздухоудерживающую способность.

По воздухоудерживающей способности бетонной смеси корректируют требуемую величину воздухововлечения, которую необходимо обеспечить при ее приготовлении.

Требуемая величина воздухововлечения устанавливается, исходя из объема замкнутых пор в бетоне с учетом воздухоудерживающей способности бетонной смеси.

3.4. Контроль степени уплотнения, интенсивности удельных влагопотерь и набора критической прочности бетона (при твердении)

3.4.1. Степень уплотнения бетонной смеси определяется при отладке режимов уплотнения, а также при существенном изменении состава бетона и параметров уплотняющего органа бетоноукладчика.

Интенсивность удельных влагопотерь бетона при твердении определяется при отработке технологии и отладке режимов ухода за твердеющим бетоном, а также при резком изменении климатических условий.

3.4.2. Степень уплотнения бетонной смеси и интенсивность удельных влагопотерь определяется по результатам обмера и взвешивания натурных проб бетонной смеси, отбираемых из конструкции с помощью специальных закладных форм, обеспечивающих идентичность условий уплотнения и твердения бетона в образцах и бетонного монолита конструкции.

3.4.3. Закладные формы должны:

- закладываться в конструкцию путем забивки в подстилающий слой, крепления в межарматурном пространстве и т.п. перед бетонированием;

- свободно заполняться бетонной смесью при бетонировании конструкции и минимально ослаблять вибрационное воздействие виброоргана бетоноукладчика;

- обеспечивать свободный температурно-влажностный обмен бетона внутри и снаружи формы;

- свободно извлекаться из конструкции и освобождать пробу бетонной смеси или затвердевший бетонный образец.

Схема закладной составной цилиндрической формы конструкции ВНИИГиМ показана на рис.I. п.2.I.6.

3.4.4. Для получения натурного образца бетона, например из бетонной облицовки, обойма формы устанавливается перед бетонированием на подстилающем слое будущего покрытия таким образом, чтобы верхний край формы был ниже поверхности конструкции на 0,5–I,0 см. В обойму вставляют внутренний формообразующий стакан, собранный в цилиндр.

После прохода бетоноукладчика заполненная бетоном форма обнаруживается по маяку. Сверху над формой снимают слой бетона и извлекают из обоймы внутренний стакан с пробой бетона. Затем извлекается из бетонного монолита разобранная обойма. Таким же образом отбирают образцы для определения остаточного воздухосодержания бетонной смеси.

3.4.5. Бетонный образец в стакане взвешивают на технических весах с точностью ± 0,2%. Предварительно скребком необходимо тщательно выровнить поверхность бетона вровень с кромкой стакана.

По известным объёму стакана V_c и массе образца $M_б$ определяют объемную массу бетона $\gamma_н = M_б / V_c$.

Зная объемную массу бетона натурного образца $\gamma_н$ и объемную массу контрольных образцов из бетона той же партии $\gamma_к$, отформованных в стандартных формах на лабораторном вибростоле с параметрами вибрации по ГОСТ I0I80–79, вычисляют коэффициент относительного уплотнения

$$K_{оу} = \gamma_н / \gamma_к , \qquad (I)$$

и объем дефектной пористости за счет недостаточного уплотнения

$$П_д = 1 - \gamma_н / \gamma_к . \qquad (2)$$

Коэффициент абсолютного уплотнения $K_{уа}$ может быть вычислен если известен объем воздухововлечения $n_в$ и расчетная объемная масса бетона (по расходу и удельной массе компонентов бетона)

$$K_{уа} = n_в + \frac{\gamma_н}{\gamma_р}. \qquad (3)$$

3.4.6. Качество ухода за бетоном, твердеющим в условиях сухой жаркой погоды, оценивается по интенсивности удельных влагопотерь бетона в первые сутки твердения.

Для контроля интенсивности влагопотерь бетона при твердении может быть использована эта же форма. Однако более достоверные результаты (свободные от влияния перегрева образца при сильной солнечной радиации) дает форма, формообразующий стакан которой выполнен из материала с низкой теплопроводностью, например стабилизированного полиэтилена рис.I8.

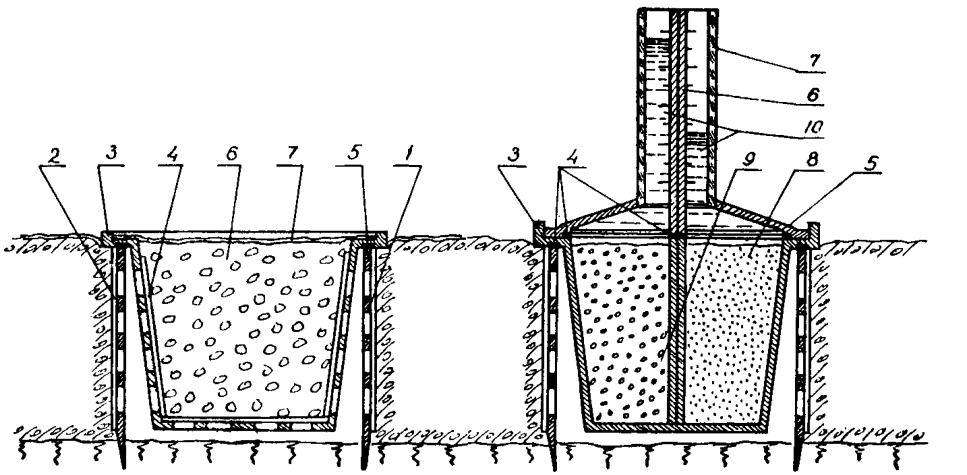


Рис.I8. Закладные емкости для измерения интенсивности удельных влагопотерь I и степени контракции II: I – закладная обойма; 2 – картонная гильза; 3 – закладной весовой стаканчик; 4 – картонный вкладыш; 5 – герметизация; 6 – проба бетона; 7 – пленкообразующее покрытие; 8 – приемный сосуд контрактомера; 9 – уплотнения; I0,II – эталонная и рабочая пробы; I2 – крышка; I3 – мерная стойка; I4 – незамерзающая жидкость

3.4.7. После первого взвешивания образец в стакане вновь закладывают в образовавшуюся после извлечения обоймы ячейку в конструкции для дальнейшего твердения. Поверхность бетона образца покрывают пленкообразующим составом в рабочих дозировках, а по краям места контакта бетона с формой наносят узкую (не более 5 мм шириной) полоску из нетвердеющего герметика (например, эпоксидной смолы без отвердителя).

После этого образец в стакане взвешивают и закладывают в образованную обоймой ячейку в конструкции.

3.4.8.Бетонный образец в стакане периодически в установленное время (через 8 часов, одни сутки, трое суток) извлекают из ячейки и взвешивают с точностью ± 0,2%. По результатам взвешивания строят кривую: потеря массы - время. Потеря массы образца на единицу испаряемой площади, отнесенная ко времени твердения, является интенсивностью удельных влагопотерь бетона при твердении. Эта величина нормируется для конструкций с данным модулем поверхности, твердеющих при определенных условиях,и для тонкостенных конструкций, твердеющих в условиях сухой и жаркой погоды, составляет соответственно до 20,40 и 80 мг/с I $см^2$ испаряемой поверхности.

Эффективность мероприятий по уходу за твердеющим бетоном оценивается показателем

$$K_э = 1 - exp\left[-\frac{\Delta W}{\Delta W_к}\right],$$

где $\Delta W_к$ - нормированная (критическая) величина влагопотерь мг/ч·$см^2$
ΔW - действительная величина влагопотерь.

3.4.9. После оценки эффективности ухода за твердеющим бетоном образцы бетона закладываются в ячейки для продолжения твердения в течение 28 суток.

После твердения 28 суток в конструкции натурные образцы могут быть использованы для испытаний на водопроницаемость и водонасыщение.

3.4.10. Набор критической прочности бетона, твердевшего при отрицательной температуре, может быть проконтролирован по по прочности натурных образцов, отобранных из конструкции с помощью закладных форм. Такие формы закладывают в конструкцию,

как при контроле влагопотерь заполняют рабочей бетонной смесью, а воздушный зазор между бетонным образцом и окружающим монолитом теплоизолируют пористым материалом.

По истечении времени действия противоморозных мероприятий образец извлекают из ячейки, освобождают от формообразующего стакана, кондиционируют в нормальных воздушно-сухих условиях сутки и испытывают на прочность. Среднее значение прочности, полученное по данным испытаний, не менее, чем 6-ти образцов, сравнивают с критическим значением, составляющим 30% от максимально набираемой прочности для марок бетона 400-500 и 40% для марок 200-300.

3.4.II. Набор прочности бетона во времени может быть проконтролирован, например, по росту поверхностной твердости образца из растворной составляющей бетона. Для этого образец может выполняться в виде круглого диска, как при испытании на интенсивность влагопотерь, или цилиндра с осевым каналом, как при испытаниях на коррозионную стойкость. В первом случае измерения проводят поверхностным твердомером с шариковым индентором типа ТШ, во втором - индикатором твердости стенок шнуров, описанным в п.2.6.3.

3.4.I2. Для оценки эффективности различных противоморозных мероприятий, например, введения добавок (не выделяющих газ) применяют способ контроля твердения бетона по протеканию сопровождающей гидратацию цемента контракции. Контракцию в пробе цементного теста (или растворной составляющей бетона) измеряют с помощью двух одинаковых сосудов с конической крышкой, заканчивающейся мерной трубкой. В один сосуд загружают испытываемую пробу цементного теста с противоморозной добавкой, в другой - равное по весу количество смоченного мелкозернистого песка; сосуды доливают до шкалы мерных трубок не замерзающей и не смешивающейся с водой жидкостью и помещают в морозильный шкаф.

При необходимости оценки эффективности противоморозных добавок в условиях воздействия температурных градиентов, близких к реальным, имеющим места в конструкциях типа противофильтрационных одежд, применяют закладные спаренные сосуды - контрактомеры, которые помещают непосредственно в образованную закладной формой ячейку в конструкции, как показано на рис. I8. Сосуды изготавливают из материала с низкой теплопроводностью, а воздушный зазор за стенками сосуда заполняют теплоизолирующим материалом.

Прирост контракционного объема определяют по изменению разности уровней жидкости в двух мерных трубках. Кривую роста конструкции сравнивают с аналогичной кривой для цемента с испытываемой добавкой, твердеющего в нормальных температурно-влажностных условиях, отмечая на кривой I момент достижения уровня, составляющего заданную долю, составляющую от 30 до 50% от максимума кривой II.

4.I. НАТУРНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ГОТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ПЕРЕД ИХ ПРИЕМКОЙ

4.I. Общие положения

4.I.I. Целями натурного обследования являются:

- получение данных о действительных значениях достигнутых качественных показателей бетона в сооружении;
- оценка по этим данным надежности сооружения по прочности;
- прогнозирование его долговечности на ранней стадии эксплуатации;
- оценка состояния сооружения с целью планирования состава, объема и сроков ремонтно-восстановительных работ.

В результате натурного обследования могут быть получены характеристики прочности на сжатие и растяжение, поверхностной твердости и водонепроницаемости бетона и гидроизолированных швов в конструкциях типа противофильтрационных одежд, оболочек и плит креплений, каналов, плотин, дамб, водохранилищ и оболочек водоводов.

4.I.2. При положительных результатах прогнозирующего контроля по стандартным образцам и выдерживания заданной технологии производства бетонных работ, приемку готового сооружения разрешается проводить по результатам натурных испытаний бетона в возрасте, эквивалентном 28 суткам нормального твердения, на прочность - методом отрыва со скалыванием и (при необходимости) на водопроницаемость - с помощью приставной напорной камеры, дополненным данными регулярного технического (прогнозирующего) контроля.

Оценку прочности бетона конструкции (партии изделий или зоны сооружений) по результатам натурных испытаний производят

статистическим методом с учетом вариации прочности и погрешности принятого метода испытаний при заданной доверительной вероятности ($P_д$ = 0,95).

Оценку водопроницаемости (конструкции или зоны сооружения) по результатам натурных испытаний производят по среднему значению не менее, чем из 4-х определений коэффициента фильтрации при заданном коэффициенте запаса.

Методы натурных испытаний являются косвенными и требуют предварительного построения, анализа и периодической коррекции корреляционной зависимости типа "Качественный показатель – контролируемая характеристика".

4.I.3. Для определения прочности бетона непосредственно в сооружениях и конструкциях (без отбора образцов) следует применять метод отрыва со скалыванием по ГОСТ 2I243-75, как основной. В случае невозможности применения этого метода допускается применять метод отрыва штампа по ГОСТ 22690-3-77, результаты которого могут быть скоррелированы как с прочностью на сжатие, так и с прочностью на растяжение. При этом необходимо учитывать ослабление когезии бетона по фронту распространения клея в бетоне.

Другие косвенные методы оценки прочности бетона могут применяться только в случае существования не менее I,3-кратного запаса прочности, при построении корреляционной зависимости путем сравнения с данными метода отрыва со скалыванием и выявлении с заданной достоверностью параметров отклонения и разброса данных испытаний принятым методом.

Для определения водопроницаемости бетона и гидроизолированных швов в тонкостенных конструкциях, например, типа противофильтрационных одежд и оболочек гидротехнических сооружений, следует применять метод направленного промачивания с помощью прижимных напорных камер, с компенсацией боковой фильтрации.

Процессы разрушения бетона во времени могут исследоваться любым из перечисленных методов, а также по изменению поверхностной твердости бетона, определяемой методом вдавливания твердых инденторов под постоянной статической нагрузкой, например, в стенки шнура, образованного для испытаний бетона методом отрыва со скалыванием.

При комплексных обследованиях сооружений могут быть одновременно выполнены испытания на прочность и водопроницаемость.

Для этого используют систему из 4-х-6-ти анкеров, служащих вначале для закрепления напорной камеры, а затем для испытаний методом отрыва со скалыванием;

4.2. Натурные испытания на прочность

4.2.I. Для испытаний бетона методом отрыва со скалыванием применяют в зависимости от особенностей конструкции и наличия бурового инструмента один из типов анкеров I,II,III с параметрами по ГОСТ 2I243-75 (см.рис.I9).

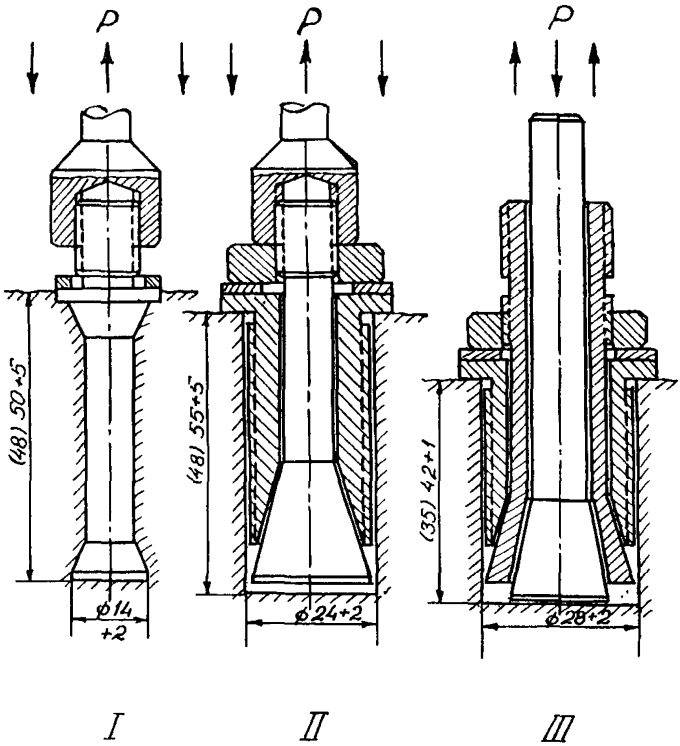


Рис.I9. Анкера для испытаний бетона методом отрыва со скалыванием: I - замоноличиваемый анкер типа I;II - самозаклинивающийся анкер типа II с упором о поверхность бетона; III - самозаклинивающийся анкер типа III с упором о центральный стержень

Тип I – замоноличиваемый конусный анкер диаметром I4 мм,

тип II – самозаклинивающийся анкер с упором пресса о поверхность бетона,

тип III – самозаклинивающийся анкер с упором пресса о центральный стержень.

Анкера изготавливают из стали марок ст.30 или 45.

Анкер типа I следует применять при возможности установить его заранее при бетонировании; анкера типов II и III – при образовании шуров сверлильной машиной, причем анкер типа II проще в изготовлении и сборке, но требует большей аккуратности сверления шура и установки пресса.

Для отрыва анкеров применяют переносные прессы, обеспечивающие плавно возрастающее (со скоростью 50–300 кг в секунду) усилие до 4 т, направленное строго по оси анкера. В СССР наиболее распространен гидравлический пресс-насос типа ГПНС-4 с упором о центральный стержень анкер типа III. К прессу разработаны также опорные приспособления с кольцевым (см.рис.20) и двухточечным упорами, позволяющие работать с анкерами типов I и II с ограничением и без ограничения зоны вырыва.

Может быть применено также простое устройство вырыва анкера из бетона на базе камеры от колеса мотороллера размером 400x100 мм, показанное на рис.2I.

Усилие на анкер передается от накачиваемой камеры через опорное кольцо, силовые стойки и тягу, закрепленную шарнирно над опорным кольцом. Устройство работает от автомобильного насоса, снабженного дополнительно ресивером с манометром класса I,0 на 2,5 ати, и позволяет проводить испытания монолитных конструкций с шероховатой и неровной поверхностью (до 5 мм под рейкой 0,5 м).

Ограничение зоны вырыва следует применять при обследовании конструкций, насыщенных арматурой, в стесненных условиях, а также при выполнении особо точных измерений с выявлением переводного коэффициента d в зависимости $"P_{oc}-P_c"$ по результатам сравнительных испытаний.

4.2.2. Необходимые для установки анкеров параметры шуров при марке бетона по прочности на сжатие до 500 приведены на рис.I8. Способ образования шуров и установки анкеров зависит от принятой технологии бетонирования и оснащенности контрольных служб.

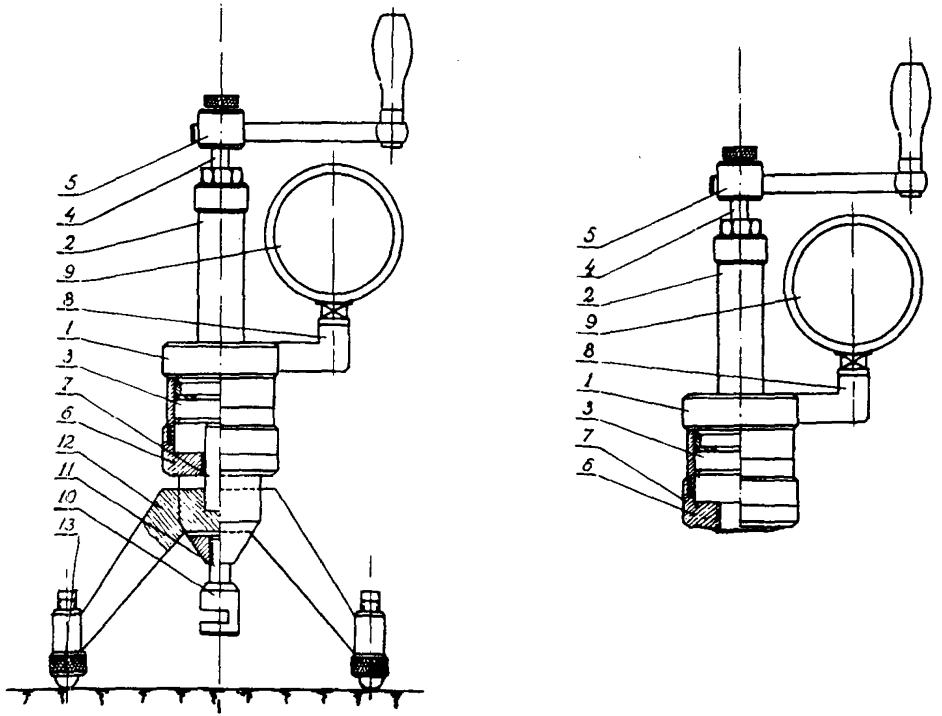


Рис.20. Пресс-насос переносной гидравлический ГПНС-4 /I/, пресс-насос ГПНС-4 с приставкой-преобразователем направления тяги с телескопическими двухточечными опорами /II/:
I - рабочий цилиндр; 2 - цилиндр привода; 3 - рабочий поршень; 4 - ручной привод; 5 - ручка привода; 6 - несущая насадка; 7 - силовой шток; 8 - масловод; 9 - манометр; I0 - захват анкера; II - тяга пресса; I2 - опора-преобразователь; I3 - точечный упор.

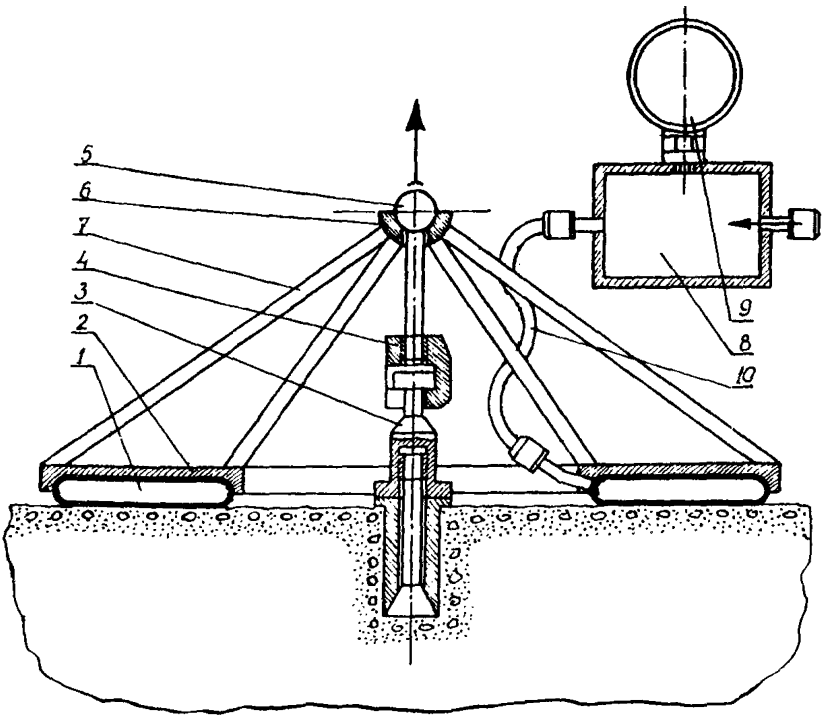


Рис.21. Схема устройства для испытаний бетона методом отрыва со скалыванием (с кольцевым домкратом): I – резиновая камера (от колеса мотороллера); 2 – опорное кольцо с ложем; 3 – анкер; 4 – захват анкера; 5 – тяга с шарниром; 6 – шарнирный упор; 7 – силовые стойки; 8 – ресивер; 9 – манометр; IO – шланг насоса

Если заранее известно расположение контролируемых зон, то предпочтительнее непосредственно перед бетонированием закреплять анкера типа I на опалубке или с помощью специальных кружков, как показано на рис.3. п.2.2.3. Основным требованием при этом является обеспечение перпендикулярности оси анкера опорной поверхности пресса, образованной кружком или опалубкой. При недостаточном количестве анкеров типа I аналогичным образом закрепляют пробки под анкер типа II или III.

С помощью кружка с ручкой-пригрузом диаметром I00–I20 мм и толщиной 4–6 мм, выполненного со сквозными отверстиями вокруг анкера, как показано на рис.3, и отградуированного в единицах жесткости по стандартному вискозиметру Вебе, представляется

возможным одновременно контролировать консистенцию вибрируемой бетонной смеси в формах (для образцов и изделий).

При комплексных испытаниях конструкции на прочность и водопроницаемость анкера (пробки) устанавливают в местах крепления прижимных скоб напорной камеры, как показано на рис.22. Для этого удобно пользоваться кондуктором с закрепленными на нем анкерами (пробками.).

Расстояние от оси анкера (пробки) до края конструкции должно быть не менее 12 см без ограничения зоны взрыва и не менее радиуса опоры плюс 1,5 см – с ограничением. Толщина конструкции в зоне испытаний должна на 5 см превышать длину анкера. В зону вырыва не должна попадать арматура или закладные элементы.

Если заранее заложить анкера (пробки) не представляется возможным, шуры проделывают сверлильным устройством с алмазным кольцевым сверлом, с обязательным использованием направляющей и подачей воды под давлением внутрь сверла.

4.2.3. Испытание методом отрыва со скалыванием выполняют на бетоне с приведенным возрастом $\tau_{пр}$, соответствующим 28 суткам "нормального" твердения, или в другом возрасте с обязательным пересчетом среднего значения и средне-квадратического отклонения прочности на 28 суток "нормального" твердения.

Бетон в зоне испытаний должен быть в воздушно-сухом состоянии, после сверления шур должен быть выдержан не менее суток в сухую теплую погоду и не менее 3-х суток в холодную погоду (при положительной температуре).В случае невозможности достижения воздушно-сухого состояния,испытания проводят с использованием лишь части шуров (от 50 до 70%), полученное среднее значение прочности должно быть скорректировано на водоразмягчение, оцениваемое по результатам последующих испытаний по достижении воздушно-сухого состояния, с использованием оставшихся (не менее 6-ти) контрольных шуров.

4.2.4. Установку анкера в шуре и его вырыв осуществляют согласно ГОСТ 21243-75. Для вырыва используют гидравлический пресс типа ГПНС-4 с упором о центральный стержень, а также с двуногой или кольцевой опорой в зависимости от условий испытаний согласно п.4.2.1.

Установку пресса и захват анкера производят таким образом, чтобы соблюдалась соосность анкера и тяги пресса.

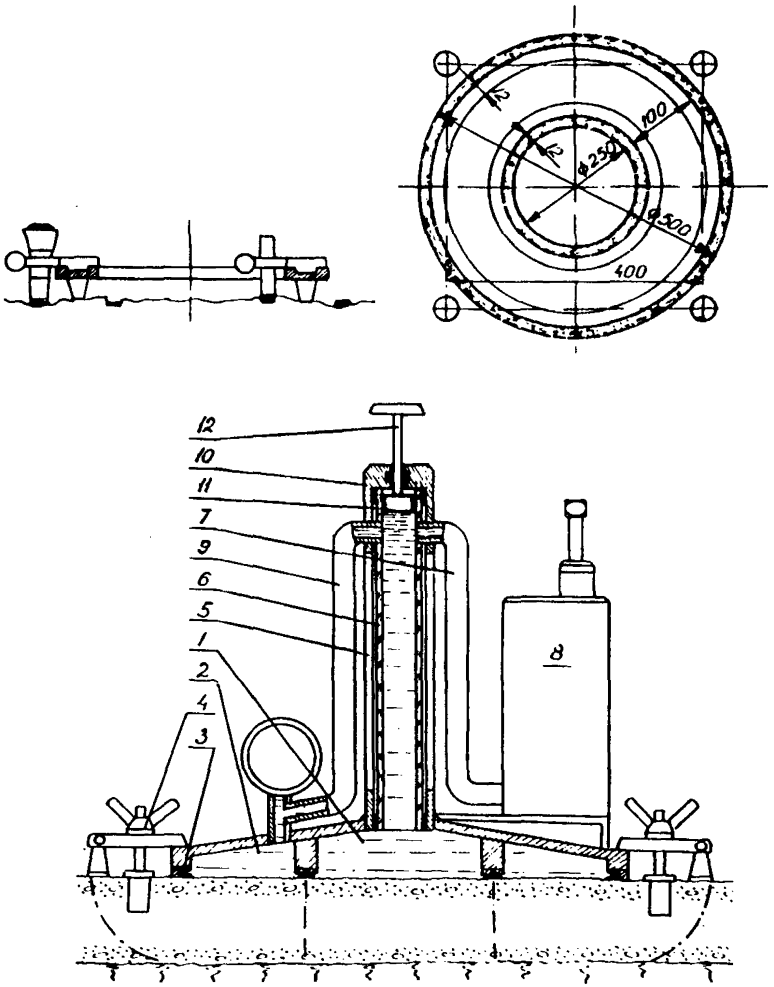


Рис.22. Схема напорной приставной камеры (вверху показана схема подготовки поверхности конструкции к установке камеры): I – центральная расходная емкость, 2 – охранная кольцевая камера, 3 – кольцевые резиновые уплотнения, 4 – анкерные зажимы; 5 – водомерная стойка, 6 – водомерная калиброванная трубка, 7 – шланг насоса, 8 – воздухо-водяной насос, 9 – шланг охранной емкости, I0 – водораспределитель, II – взвешенный в воде поршень, I2 – выталкиватель поршня

Если на поверхности бетона имеются наплывы (раковины), затрудняющие установку пресса, их необходимо удалить (заделать).

После установки пресса на анкер подают нагрузку и, плавно увеличивая ее, вырывают анкер, следя за отсутствием проскальзывания его в шуре. Если проскальзыванием превышает 5 мм, необходимо прекратить испытание, снять пресс и, устранив причину скольжения (удалив из шура пыль или заменив анкер), повторно закрепить анкер в шуре. После окончания испытаний образовавшиеся лунки необходимо заделать цементно-песчаным раствором маркой не ниже марки бетона в конструкции.

Испытания бетона в конструкции бывают количественные и альтернативные. При количественных испытаниях нагрузку прессом доводят до вырыва анкера и определяют усилие вырыва P_{oc}. При контрольных испытаниях нагрузку доводят до определенного предела или до вырыва анкера в зависимости от принятой схемы испытаний.

Результат испытаний засчитывают, если выполнены условия п.2.2, проскальзывание анкера не превышало 5 мм и в зоне вырыва не обнаружено оголенной арматуры.

Прочность бетона на сжатие в зоне вырыва по измеренному усилию вырыва анкера P_{oc} вычисляют по формуле

$$R_c = \alpha \cdot M \cdot P_{oc},$$

где α - переводной коэффициент, определяемый при сравнительных испытаниях контрольных образцов; M - произведение поправочных коэффициентов на: водоразмягчение, форму вырыва, проскальзывание анкера, крупность заполнителя, определяемые согласно ГОСТ 21243-75.

4.3. Натурные испытания на водопроницаемость

4.3.1. Для испытания бетона и стыков в конструкциях типа облицовок и покрытий применяют прижимаемую к конструкции систему напорных камер с центральной расходной и кольцевой охранной камерами, открытыми и снабженными уплотнительными поясками со стороны конструкции.

Схема такой системы камер приведена на рис.22. Над центральной камерой расположена стойка с водомерной трубкой, заканчивающейся водораспределителем, через который вода, подаваемая насосом, распределяется в центральную и охранную камеры. Измерение расхода воды из центральной камеры производится с помощью взвешенного в воде поршня, имеющего скользящую посадку по водомерной

стойке. В исходном положении до установления стационарного режима фильтрации поршень находится в пазухе водомерной стойки за водораспределителем и запускается путем его выталкивания герметизированным штоком после выдерживания заданного давления до стабилизации фильтрации. Напор воды в камере до 2 ати создается любым воздушным насосом с водовоздушным ресивером, например, на базе садового опрыскивателя.

Удобен источник водного напора, применяемый в ТНИСГЭИ, изготовленный из колеса легкового автомобиля. Для этого в шине колеса размещают две камеры, одну из которых заполняют водой и соединяют с фильтрационным прибором, а другую соединяют с воздушным насосом.

Прибор комплектуется кольцевым шаблоном для выравнивания поверхности испытываемой конструкции по внешней и внутренней кромкам камеры и контуктором для проделывания четырех-шести шпуров в местах расположения анкеров крепления.

Параметры камеры зависят от толщины испытываемой конструкции, при этом диаметр окна расходной емкости должен более, чем втрое, превышать толщину конструкция, а ширина окна охранной камеры должна превышать толщину конструкции.

Количество анкеров крепления зависит от площади окон камеры, предельного испытательного давления и марки бетона по прочности (с учетом водоразмягчения). Например, для камеры с внутренним диаметром окон 40 см, при давлении воды до 2 ати и марке бетона не менее 200, требуется не менее 6-ти анкеров (при усилии на анкер до 500 кг).

С помощью прижимной напорной камеры конструкции ВНИИГим можно испытывать бетон марки до В4 в тонкостенных конструкциях толщиной до 7 см и герметизированные швы в конструкциях толщиной до 15 см.

4.3.2. Для испытаний выбирают ровный участок конструкции или зоны шва в поперечнике не менее 80 см, не имеющий наплывов (раковин) высотой (глубиной) более 10 мм. Если на поверхности бетона имеется какое-либо покрытие, его необходимо удалить абразивной шуркой или металлической щеткой. Места пересечения кромок камеры испытываемого шва заделывают быстротвердеющим герметиком, например на основе эпоксидной смолы, вровень с поверхностью конструкции.

Подготовка к испытаниям включает:

– выравнивание поверхности конструкции в месте испытаний с помощью шаблона с циркулярным твердосплавным резцом и баллоном с герметиком, расположенными на движущейся по шаблону каретке;

– проделывание четырех-шести шпуров для крепления самозаклинивающихся анкеров с параметрами по ГОСТ 21243-75 (если анкера не заложены или шпуры не проделаны заранее);

– крепление камеры на подготовленной поверхности конструкции с помощью скоб, притягиваемых за анкера к конструкции с усилием до 100 кг на анкер;

– заливку камеры водой, подсоединение насоса и проверку герметичности уплотнения по внешней кромке камеры при напоре воды в 1,2 раза, превышающем рабочий. После заделки выявленных каналов интенсивного просачивания воды с помощью герметика и повторной проверки герметичности камеру заливают дезаэрированной водой и начинают испытание.

4.3.3. Испытания на проницаемость бывают, как правило, количественные. При количественных испытаниях в камере создают сразу максимальное давление, определяемое, исходя из диаметра окна (открытой части) камеры и предельной нагрузки на анкера. Например, при диаметре окна 40 см и шести анкерах, выдерживающих по 500 кг, предельное рабочее давление в камере составит 2 ати.

Заданное давление выдерживают до наступления установившейся стационарной фильтрации, которую оценивают путем пробных запусков поршня через каждые 30 мин после 2-х часовой выдержки.

Средняя скорость прохождения поршня за два последних запуска, отличающихся не более чем на 10%, считается окончательным показанием прибора.

Если за 6 часов испытаний фильтрация не началась, то испытания прекращают и считают, что марка бетона по водонепроницаемости превышает величину

$$B > \frac{15}{d_к} \cdot P_u ,$$

где $d_к$ – толщина конструкции, см; P_u – испытательное избыточное давление, ати.

4.3.4. Интенсивность расхода воды из центральной емкости должна быть измерена с точностью $\pm$ 5%, что обеспечивается ценой деления водомерной трубки 0,2 $см^3$ и временем измерения 10 мин.

При диаметре окна центральной емкости 25 см, объем водомерной трубки должен быть не менее 50 $см^3$.

По измеренной интенсивности расхода воды Q , $\frac{см^3}{с}$ из емкости с площадью окна S , $см^2$ коэффициент фильтрации бетона вычисляется по формуле:

$$K_{ф} = \eta \cdot \varkappa \frac{Q}{S} \cdot \frac{P_{и}}{d_{к}}, \qquad (I)$$

где η – относительная вязкость воды, приведенная к вязкости при $+20^{0}С$; $\varkappa$ – поправка на расплыв фронта воды, зависящая от толщины конструкции и геометрических параметров, камеры.

Для камеры конструкции ВНИИГиМ с диаметром центрального окна 25 см и шириной окна охранной камеры 8 см. эта поправка равна:

$d_к$	3,0	5,5	6	6,5	7	7,5	см
$\varkappa$	I,0	I,I	I,2	I,4	I,7	2,I	

4.4. Планирование, обработка и представление результатов натурных испытаний

4.4.I. Натурные испытания разделяются в зависимости от задач обследования на определительные и контрольные.

Определительные испытания проводятся, если они служат основой для приемки крупного сооружения с объемом бетона более 3 тыс.куб.м, или организации текущего контроля прочности бетона по данным натурных испытаний методом отрыва со скалыванием.

В ходе определительных испытаний находятся оценки следующих характеристик объекта:

– среднее значение показатели $\bar{R}$;

– среднеквадратическое отклонение σ_R ;

– соответственно нижняя и верхняя границы доверительных интервалов $\bar{R}$ и σ_R при доверительной вероятности $P_д = 0,9$ или 0,95.

– нижнее гарантируемое значение уровня качества $Q_н$ при достоверности $\gamma = 0,9$.

Характеристики эти находятся для бетона одного состава, уложенного в одно сооружение по единой технологии или для ряда однотипных конструкций.

4.4.2. Контрольные испытания являются основным видом натурного обследования, при приемке сооружения и в ходе его эксплуатации.

Задачей контрольных испытаний бетона в сооружении и конструкциях является оценка гарантируемого уровня надежности конструкции (сооружения) $Q_н$ – (вероятности появления ослабленных конструкций или ослабленных зон в сооружении) с требуемой достоверностью. Испытания могут выполняться как с количественной (количественные), так и качественной (альтернативные) оценкой показателя.

4.4.3. Количественные испытания на прочность производят путем создания нагрузки на анкер, приводящей к его вырыву.

Если в ходе обследований одного сооружения или серии однотипных конструкций было выполнено N вырывов, по которым расчитаны среднее значение прочности $\tilde{R}$ и среднеквадратическое отклонение s_R, то в общем случае нижний гарантированный уровень надежности с достоверностью γ вычисляется по формуле:

$$U_{Q_н} = \frac{\tilde{R} - R_н}{s_R} - U_\gamma \left\{ \frac{s_\Sigma}{s_R} \left[\frac{1}{N} + \left(\frac{\tilde{R} - R_н}{s_R} \right)^2 \Big/ 2(N-1) \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{\Delta_u}{s_R} \right\}, \qquad (1)$$

$$Q_н = \Phi(U_{Q_н}),$$

где $\Phi(U_{Q_н})$ – интегральная функция Лапласа; Δ_u – систематическая составляющая погрешности метода испытаний; $R_н$ – нижнее предельно-допустимое (нормированное значение показателя);

$s_\Sigma^2 = s_R^2 + \sigma_u^2$ – общая дисперсия результатов испытаний,

s_R^2 – дисперсия прочности бетона в конструкции,

σ_u^2 – дисперсия метода испытаний.

Если контрольные испытания проводятся в ходе текущего контроля прочности, и на предварительном этапе при определительных испытаниях найдено характерное для данного производства среднее значение дисперсии прочности в конструкции σ_R^2, то доверительный интервал надежности сузится

$$U_{Q_j} = \frac{\tilde{R} - R_н}{\sigma_R} - U_\gamma \frac{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_u^2}}{\sigma_R} \frac{1}{\sqrt{N}}, \quad Q_\gamma = \Phi(U_{Q_\gamma}). \qquad (2)$$

Требуемое превышение среднего значения прочности над нормативным выразится формулой:

$$\tilde{R} - R_н = \sigma_R \left[\frac{U_\gamma}{\sqrt{N}} \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_u}{\sigma_R} \right)^2} + U_Q \right]. \qquad (3)$$

Т.к. требуемый запас прочности для данных Q и γ при неизменных σ_R и σ_u зависит от количества испытаний N, соотношение между ними устанавливается, исходя из допустимых затрат на увеличение запаса прочности и количества испытаний, если нет других ограничений. Если известен предполагаемый запас прочности Δ_R, то минимальное требуемое число испытаний можно оценить по формуле:

$$N = U_\gamma \frac{\sqrt{1+(\sigma_u/\sigma_R)^2}}{\sigma_u/\sigma_R - U_Q}. \qquad (4)$$

4.4.4. При альтернативном контроле усилие на пресс доводится не до вырыва анкера, а до определенной величины, соответствующей, например, марочной прочности бетона (биномиальная схема испытаний) или определенному уровню, превышающему марочную прочность (испытания при повышенных нагрузках). При этом необходимо помнить, что с увеличением уровня нагрузки уменьшается количество требующихся испытаний (с положительным исходом при заданном риске заказчика), но одновременно повышаются риск исполнителя не сдать качественно выполненное сооружение и вероятность локального разрушения.

Если при нагрузке P_M, соответствующей марочной прочности, произведено n испытаний, из которых в m случаях произошел вырыв, то нижний гарантируемый предел для уровня качества можно определить, используя квантили распределения Пирсона.

$$U_{Q_{\gamma\kappa}} = \Phi^{-1}_{\gamma\kappa} \qquad U_{Q_\gamma} = U_{Q_{\gamma\kappa}} \sqrt{1+(\sigma_u/\sigma_R)^2} - \frac{\Delta_u}{\sigma_R} \qquad (I)$$

$$Q_\gamma = 1 - \frac{\chi^2_\gamma (2m+2)}{2n - m + \frac{1}{2}\chi^2_\gamma (2m+2)} = 1 - \frac{m}{n} C_\gamma. \qquad (2)$$

Если вырывов не произошло, то

$$Q_\gamma = 1 - \frac{C_{0\gamma}}{n} = \sqrt[n]{1-\gamma}, \qquad (3)$$

где $C_{0\gamma}$ – квантиль биномиального распределения,
При $\gamma = 0{,}9$ его величина составляет:

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	I2	I4
0,90	I,37	I,6I	I,75	I,85	I,9I	I,96	2,00	2,03	2,06	2,09	2,I2
I6	I8	20	25	30	35	40	50	60	80	I00	
2,I4	2,I6	2,I8	2,20	2,22	2,23	2,25	2,26	2,27	2,28	2,29	

Требуемое число испытаний для подтверждения заданного уровня качества Q_3 с надежностью γ (или риском заказчика $\beta = 1-\gamma$) определяется по формуле:

$$n = \frac{1}{2}\left[\chi^2_{1-\beta}\left(2m_q+2\right)\frac{2-q_3}{q_3} + m_q\right], \qquad (4)$$

где: m_q – допустимое число отрицательных исходов (вырывов), $q_3 = 1-Q_3$.

При $m_q = 0$ можно пользоваться упрощенным выражением

$$n = \frac{\ln(1-\gamma)}{\ln(1-q_3)} \approx \frac{2-q_3}{4q_3}\chi^2_{1-\gamma}(2). \qquad (5)$$

По известному количеству испытаний n с положительным исходом $m = 0$ необходимое для подтверждения требуемого уровня качества Q_3 с заданной достоверностью $\gamma = 1-\beta$ можно определить по формуле:

$$R_u = R_н + \left(U^{\delta}_{Q_3} + U_{1-\sqrt[n]{\beta}}\right)\frac{R_{cy} - R_н}{3 + U^{\delta}_{Q_3}}, \qquad (6)$$

где: $R_н$ – нормируемая прочность; R_{cy} – средняя прочность, обеспечиваемая производителем работ, исходя из приемлемого риска изготовителя α. Например, при заданной нагрузке 300 кг/см^2 для подтверждения надежности конструкции $p_y = 0,95$ с достоверностью $\gamma = 0,9$, обеспечивая риски заказчика и изготовителя $\beta = \alpha = 0,I$ для приемлемого уровня качества $Q = 0,99$, если коэффициент вариации прочности бетона равен I6%, значение испытательной нагрузки равно:

$$R_u = 300 + \left[1,64 + U_{1-\sqrt[30]{0,1}}\right]\frac{450-300}{3+1,64} \approx 360 \frac{кг}{см^2}$$

при объеме испытаний

$$n = \frac{2-0,05}{4\cdot 0,05}\chi^2_{0,05}(2) = \frac{1,95}{0,2}3,4 \approx 30.$$

4.4.5. Если натурные испытания используются для текущего контроля качества, весь объем бетона одного технологического комплекса, если он превышает 5000 $м^3$ разбивается на условные партии объемом $(3-5)\cdot10^3$ $м^3$ в зависимости от интенсивности производства. Если нет других ограничений по конструктивным или технологическим соображениям, рекомендуется партию бетона ограничить количеством однотипных конструкций или зоной одного сооружения, производимых за период не менее 2-х недель и не более месяца. Все указанные выше оценки значений прочности необходимо отнести к установленной партии бетона.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

ТЕКУЩИЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

I. Задачей текущего выборочного контроля является поддержание заданного уровня качества бетона путем:

- установления с заданной достоверностью $\gamma = 1-\beta$ (β - риск заказчика) факта снижения качества бетона ;
- восстановления заданного уровня качества путем повышения среднего значения показателя и устранения причин снижения качества;
- обеспечения необходимого запаса качества, предупреждающего появление брака с надежностью $1-\alpha$ (α - риск производителя).

Эта задача решается с помощью статистического контроля качества и регулирования технологического процесса.

2. Схемы и планы статистического контроля выбираются в зависимости от особенностей технологии и интенсивности производства бетонных работ, возможностей контрольных служб, методов контроля и имеющейся предварительной информации и стабильности производства и возможных ее нарушениях.

При этом исходя из того, что коэффициент вариации прочности тяжелого бетона с крупным заполнителем (в стандартных образцах) может изменяться от 6-12% для налаженного производства, ежесменно контрольная служба с минимальной численностью 2 человека в состоянии формовать и испытывать на прочность до 6-ти (1-2 серий) стандартных образцов (помимо других испытаний); разладка технологического процесса может происходить за периоды в несколько недель за счет изменения свойств вяжущего, добавок и заполнителей бетона, от 2-х суток до одной недели, за счет нарушений установленных режимов производства (дозирования, перемешивания, транспортирования, уплотнения и ухода) на фоне колебаний, обусловленных случайными внутрисменными и межсменными отклонениями изменениями погодных условий, условий бетонирования, неоднородностью свойств заполнителя и т.п.).

3. Общая вариация показателя качества бетона за период прохождения одной партии бетона складывается из вариаций за счет:

- случайной составляющей погрешности метода измерения v_u^2 ,
- естественной неоднородности и нестабильности свойств в образцах v_o^2 ,

– отклонений свойств бетона внутри контролируемой партии, обусловленных разладкой технологического процесса v^2_R,

На вариацию, обусловленную случайными факторами:

$$v^2 = v_u^2 + v_б^2 = v_u^2 + v_o^2 + v^2_R$$

накладывается смещение, обусловленное :

– невыявленной систематической составляющей погрешности метода измерения. Δ_u.

Планирование и обработка результатов испытаний должны быть направлены на наиболее точную оценку среднего значения и вариации показателя качества v^2_R в контролируемой партии бетона с учетом влияния погрешности метода измерения v_u и Δ_u .

4. По данным статистического анализа результатов предварительных определительных испытаний бетона устанавливают одну из следующих схем статистического текущего контроля:

Схема А (с известной дисперсией) – когда имеется достаточная предварительная информация о характерной для данной технологии и условий производства работ вариации показателя и эта вариация существенно не меняется во времени. По этой схеме на проходящую партию бетона распространяется дисперсия показателя, усредненная по нескольким (3-м – 5-и) партиям, включая 2-4 предыдущие, по определенному убывающему закону. Схема А применяется при длительном производстве однотипных работ по единой технологии, когда имеется возможность при прохождении партии бетона изготовить и испытать не менее 15 серий образцов.

Схема Б (с неизвестной дисперсией) – когда отсутствуют или невозможно получить надежные предварительные данные о вариации показателя или вариация существенно изменяется от партии и партии бетона. Оценка дисперсии показателя дается по данным испытаний образцов контролируемой партии бетона, при этом берется ее верхний предел при доверительной вероятности $\gamma = 0{,}9$.

Контроль по схеме Б не требует предварительной подготовки и стабилизации производства, однако при малом количестве испытанных серий образцов для приемки партии бетона по схеме Б требуется значительный бо́льший "запас", что может оказаться экономически невыгодным.

Схема Б применяется при строительстве уникальных сооружений или производстве небольших серий конструкций с объемом бетона менее 5 тыс.м^3.

5. Основным способом оценки качества контролируемой партии бетона является оценка по результатам испытаний всего ряда серий образцов, изготовленных в течение прохождения этой партии бетона.

Могут применяться и другие способы оценки, например, двухступенчатая, позволяющая сократить количество испытаний при заведомо качественном (или некачественном) бетоне и последовательная, не требующая искусственного разделения всего идущего в сооружение бетона на условные партии.

6. Планирование текущего статистического контроля качества бетона производится при заданных:

– уровне качества бетона $Q = 0{,}95$, надежности (риске заказчика) $\beta = 1 - \gamma = 0{,}1$, нормативном сопротивлении бетона $R_н$, используя оперативную характеристику контроля при нормальном распределении показателя.

Для схемы Б она имеет вид:

$$U_Q = T_R - U_\gamma \left\{ \frac{s_\Sigma}{s_R} \left[\frac{1}{N} + \frac{T_R^2}{2(N-1)} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{\Delta_u}{s_R} \right\} \qquad (1)$$

для $N > 30$

и

$$U_Q = T_R - U_\gamma \left\{ \frac{s_\Sigma}{s_R} \left[\frac{K_N^2}{N} + T_R^2 \left(K_N^2 - 1 \right) \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{\Delta_u}{s_R} \right\} \qquad (2)$$

для $N < 30$,

где $s_\Sigma^2 = s_R^2 + \sigma_U^2$,

$T_R = \frac{\bar{R} - R_н}{s_R}$ – требуемый приведенный запас на выборочное среднее значение показателя,

U_Q, U_γ – квантили нормального распределения,

$K_N = \sqrt{\frac{N-1}{2}} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{N-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{N}{2}\right)}$ – приведенная функция числа испытаний по Я.Б.Шору,

$\Gamma(x)$ – Гамма – функция,

Δ_u – систематическая составляющая погрешности метода испытаний.

Для схемы А:

$$U_Q = \frac{\bar{R} - R_н}{\sigma_R} - \frac{U_\gamma}{\sigma_R} \left[\frac{\sigma_\Sigma}{\sqrt{N}} + \Delta_u \right], \quad \sigma_\Sigma^2 = \sigma_R^2 + \sigma_u^2, \qquad (3)$$

где σ_R^2 – усредненная дисперсия показателя качества: σ_u^2 – дисперсия, обусловленная случайной погрешностью метода измерения.

Усредненную дисперсию показателя качества рекомендуется определять по четырем партиям бетона, включая три предыдущие по убывающему закону, например:

$$\sigma_R^2 = \frac{\sum_{\ell=1}^{3} s_\ell^2 \frac{1}{\ell} + s_T^2}{\sum_{\ell=1}^{3} \frac{1}{\ell} + 1}, \qquad (4)$$

где:

$\ell = 1,2,3$ порядковый номер предыдущей партии в обратной последовательности, отсчитываемой от текущей с дисперсией s_T^2.

Если отсутствуют дополнительные данные, то значения ϑ_u для метода отрыва по скалыванием принимают равными:

Анкер I-48	Без ограничения зоны вырыва			С ограничением зоны вырыва					
				до 150 мм			до 120 мм		
Коэффициент вариации	3	4	5	4	5	6	5	6	7
Крупность заполнителя	25	40	60	25	40	60	25	40	60

7. При необходимости оценки качества бетона в конструкции (сооружении) по данным испытаний стандартных образцов, необходимо дополнительно ввести с помощью переходных коэффициентов составляющие погрешности, характеризующие систематическое и случайное отклонения свойств бетона в конструкции (сооружении) и образцах. Это возможно сделать только при наличии достаточного числа сравнительных испытаний одним и тем же методом бетона в образцах и конструкции, изготовленных из одних и тех же партий бетона, при неизменной технологии, если имеются доказательства неизменности отклонения во времени (при изменении условий и возможных отклонениях принятой технологии бетонирования).

8. Приведенные соотношения позволяют находить требуемый для обеспечения (с достоверностью γ) заданного уровня качества Q_γ запас $\bar{R} - R_н$ для $\bar{R}$, определяемого по N выборочным испытаниям, как при известной σ_R так и неизвестной, оцениваемой s_R, дисперсии показателя.

При обеспечении значительного запаса по рассматриваемому показателю качества в случае стабильного производства количество стандартных образцов (испытаний) может быть сокращено вдвое–втрое, если применить двухступенчатую схему контроля. Согласно этой схемы все количество образцов (испытаний), изготовленных (проведенных) для оценки качества данной партии бетона, разделяется на две параллельные последовательности рядов путем прореживания $N = n_1 + n_2$. Вначале испытывается первый ряд n_1, и только в случае отрицательных результатов испытывается второй ряд n_2, при этом в любом случае надежность оценки уровня качества должна быть не ниже заданной.

9. Приемку партии бетона осуществляют, если выполняется неравенство $\bar{R} - R_н > T_R s_R$ по схеме А и $\bar{R} - R_н > T_R \sigma_R$ по схеме Б.

В связи с тем, что приемочный критерий T_R на выборочное среднее значение показателя превышает необходимый запас на среднее значение показателя при уровне качества Q, то, если сохранить прежним этот уровень, резко повысится процент браковки. Поэтому, чтобы обеспечить сдачу работ с первого предъявления с риском браковки α, производитель работ должен еще более повысить качество до уровня Q_α, определяемого из соотношения

$$T_R - U_{Q_\alpha} = U_\alpha \left\{ \frac{\sigma_\Sigma}{\sigma_R} \left[\frac{1}{N} + T_R^2 / 2(N-1) \right]^{1/2} + \frac{\Delta_u}{\sigma_R} \right\} \quad (1)$$

или при

$$\alpha = \beta \qquad U_{Q_\alpha} = 2T_Q - U_Q. \quad (2)$$

Ниже приведены значения коэффициентов требуемого запаса $(\bar{R} - R_н)/s_R$ для равных рисков производителя работ и заказчика $\alpha = \beta = 0{,}1$ и приемлемые уровни качества Q_α при требуемом уровне качества $Q_\beta = 0{,}95$:

n_A	9	10	10	11	11	12	12	12	16
n_B	3	3	3	3	3	3	4	4	5
$K_з$	2,54	2,50	2,47	2,44	2,42	2,40	2,38	2,51	2,26
Q_α	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,2

n_A	19	22	25	28	31	35	39	43	
n_B	6	7	8	9	10	12	13	15	
$K_з$	2,20	2,15	2,11	2,08	2,05	2,03	2,00	1,99	
Q_α	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2

СТАТИСТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

I. С помощью статистического регулирования технологического процесса производитель бетонных работ поддерживает качество бетона на уровне, позволяющем сдавать бетонные работы с первого предъявления с риском, обусловленным экономическими соображениями.

Регулирование должно осуществляться по мере выпуска партии бетона по результатам контроля каждой из серий образцов с применением ускоренных методов.

Спецификой бетона, как объекта регулирования, являются: разброс результатов испытаний между сериями, сравнимый с величиной запаса на обеспечение гарантированной приемки работ, особенно для ускоренных методов испытаний, и значительное запаздывание получаемого результата, которое может превышать малые периоды восстановления процесса.

2. В этих условиях основными требованиями к методу статистического регулирования являются: формирование регулирующего сигнала не по одной, а по ряду серий образцов (испытаний), ведение корректировки технологического процесса лишь по большим периодам восстановления и после выяснения тенденции разладки. Этим условиям в наибольшей степени отвечает метод кумулятивных средних по ГОСТ 20427-75. Суть метода заключается в том, что средняя величина отношения показателя уточняется после каждого очередного испытания и сравнивается с интервалом регулирования, который сужается по мере накопления данных о значении контролируемого параметра.

Для планирования статистического регулирования предварительно устанавливают:

- переводные коэффициенты на среднее значение K_R и вариацию K_U параметра при переходе от режима нормального твердения к форсированному, устанавливаемые согласно ГОСТ 18105.2 в редакции от 29.12. 78;
- приемлемое среднее значение параметра (требуемый средний уровень) R_{cy};
- предельно допустимое значение параметра (марочное) R_M ;

– среднеквадратическое отклонение параметра σ_R (характерное для данных технологического процесса, методы испытаний и организации производства);

– объем выборки – количество серий образцов, изготавливаемых из одной пробы бетона n ;

– риска незамеченной разладки β и излишней настройки α (обычно устанавливают α и β в пределах 0,10–0,05.

3. Результаты статистического контроля и регулирования удобно представлять в виде контрольных карт, на которые наносят по оси абсцисс номер серии m , по оси ординат – значения средних отклонений, накопленных за m серий.

$$\sum_{i=1}^{m} \left(R_c - R_{cy}\right) \Big/ m. \qquad (1)$$

На карте отмечают:

– требуемый средний уровень показателя R_{cy} ;

– предельно допустимое значение $R_м$;

– контрольные границы

$$кг = R_{cy} \pm \frac{\delta}{2} \sigma_R , \qquad (2)$$

где

$$\delta = \frac{1}{2}\left(R_{cy} - R_м\right),$$

– регулировочные границы, отстоящие от контрольных на расстоянии:

$$рг - кг = \frac{\sigma_R}{\delta} \frac{1}{m} \varrho_n \frac{1-\beta}{\alpha} . \qquad (3)$$

4. Алгоритм подналадки формируется следующим образом:

После очередной подналадки карта не используется, пока отклонение среднего значения показателя в очередной серии не превышает контрольную границу; с момента превышения начинается образование смещенного кумулятивного среднего:

$$\sum_{i=1}^{m} \left(R_m - кг\right) \frac{1}{m} .$$

Процесс образования смещенного кумулятивного среднего продолжается пока оно ни станет равным нулю или ни изменит знак. Если оно перейдет регулировочную границу, необходимо выполнить подналадку процесса.

5. Переход регулировочной границы может вызываться:

– изменением активности цемента;

- изменением качества (загрязненности, гранулометрии, формы зерен) инертного заполнителя;

- изменением качества добавок;

- нарушением норм расходов компонентов бетона (в первую очередь,-цемента и добавок);

- изменением технологических свойств бетонной смеси за счет переменной влажности заполнителя, изменения интенсивности перемешивания, условий транспортирования и т.п.

При невыясненных обстоятельствах разладки процесса рекомендуется вначале восстановить требуемый средний уровень показателя путем соответствующей корректировки расхода цемента (с пересчетом расходов воды и добавок) и после устранения причин разладки восстановить прежний состав. Регулирование выполняют согласно математической модели технологического процесса, построенной в ходе подготовки производства при подборе состава бетона и технологической прогонки процесса.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 3

РАСЧЕТ РОСТА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ВО ВРЕМЕНИ ПО ПРИВЕДЕННОМУ ВОЗРАСТУ (по ЛУКЬЯНОВУ В.С.)

I. Рост прочности бетона во времени описывается экспоненциальной зависимостью вида

$$R_{(t)}(\tau) = R(28)\left[1 - Be^{-\alpha\tau_{пр}}\right],$$

где: $R(28)$ – прочность бетона в возрасте 28 суток при температуре твердения $t = +20^{0}C$; B,α – константы твердения, зависящие от от вида цемента и определяемые по таблице; $\tau_{пр}$ – возраст бетона, приведенный к длительности твердения при температуре воздуха $t = +20^{0}C$.

2. Все обычные тяжелые бетоны в зависимости от применяемого цемента можно разбить на группы:

I – особобыстротвердеющий портландцемент марки 600 (ОБТЦ);

II – быстротвердеющий портландцемент марки 500 (БТЦ) без добавок;

III – портланд-цемент марки 400 с кремнеземистой добавкой до 10%;

IУ – портландцемент марки 400–300 с добавками до 15% (шлакопортландцемент ;

У – пуццолановые портландцементы марок 300 и ниже.

На рис.23 показана кривая роста прочности бетона на основе цемента различных групп при температуре воздуха + $20^{0}C$.

Если температурный график на протяжении всего времени твердения разбить на K участков с относительно постоянной температурой, то приведенный возраст бетона находят по формуле

$$\tau_{пр} = \sum_{j=1}^{K} \tau_j \cdot K_T(t),$$

где: $K_T(t)$ – температурный коэффициент приведения от температуры t к $20^{0}C$; τ_j – длительность j-го интервала твердения со средней температурой t .

Приведенные коэффициенты выведены для усредненных расходов воды, указанных в таблице I, для других расходов значения коэффициентов изменяются обратно пропорционально водосодержанию.

Таблица I

Значения констант твердения

Группа цемента	B	α	Марка бетона	Суточная прочность в % от $R_м$	В/Ц	Расход воды кг/м³
I	0,78	0,28	400–600	36–45	0,30–0,45	I40–I60
II	0,8I	0,2I	300–400	28–35	0,36–0,50	I50–I80
III	0,87	0,I7	200–300	2I–27	0,45–0,70	I60–I90
IУ	0,95	0,I4	200–300	I3–20	0,50–0,70	I70–200
У	I,02	0,I2	I00–200	6–I2	0,55–0,75	I75–2I0

Таблица 2

Значения температурного коэффициента приведения $K_т$ при $t \geq +20^{\circ}C$

Группа цемента	Температура, °С								
	20	22	25	30	40	50	60	70	80
I	I	I,I2	I,3	I,5	2,0	2,7	3,3	4,I	4,9
II	I	I,I3	I,3	I,5	2,0	2,8	3,6	4,5	5,4
III	I	I,I5	I,3	I,6	2,3	3,2	4,2	5,4	6,7
IУ	I	I,I6	I,4	I,8	2,7	4,0	5,6	7,4	9,6
У	I	I,2I	I,5	2,0	3,3	5,2	7,7	II,0	I5,0

Таблица 3

Значения температурного коэффициента приведения $K_т$ при $t < +20^{\circ}C$

Группа цемента	Температура							
	0	5	I0	I5	20	-I	-3	-5
I	0,38	0,52	0,67	0,84	I	0,I4	0,II	0,I
II	0,35	0,49	0,65	0,63	I	-	-	-
III	0,3I	0,45	0,62	0,8I	I	0,07	0,06	0,05
IУ	0,25	0,39	0,56	0,78	I	-	-	-
У	0,I9	0,33	0,5	0,74	I	-	-	-

Промежуточные значения находятся интерполяцией.

По Лукьянову В.С.

$$K_T(t > +20^0C) = \left[\eta_t^2 + \frac{K'(1-\eta_t^3)}{t}\right]^{-1} \quad (I)$$

где: η_t – вязкость воды при температуре t, $Па \cdot с \times 10^3$,

K' – технологический фактор группы цемента;

$$K_t(t < +20^0C) = 2^{-\frac{t-20}{\varepsilon}}, \quad (2)$$

где: ε – характерная температурная разность; ^0C.

Коэффициенты для основных групп цемента находятся по таблице 3.

Группа цемента	K'	ε
I–II	4^0C	$II,7^0C$
III	от 0 до 3^0C	$5,I^0C$
IУ	от 0 до -2^0C	$4,3^0C$
У	-2^0C	

Вязкость воды ($Па \cdot с \times 10^3$)

t^0C =	20	25	30	40	50	60	70	80
η_t =	I,000	0,894	0,80I	0,656	0,549	0,469	0,406	0,356

4. Ориентировочно приведенный возраст можно оценить по формуле:

$$\tau_{пр} = \sum_{j=1}^{K} \tau_j \left[1 + (t_j - 20)S\right].$$

Значения коэффициента для различных групп цемента составляют:

Группа цемента	I	II	III	IУ	У
S	0,55	0,060	0,070	0,085	I,I0

Прирост прочности бетона на основе цемента определенной группы в заданном возрасте T при известных средних температурах твердения $t_{ср}$ в отдельные периоды τ_j определяется в следующем порядке:

I. Используя таблицу 2 вычисляют приведенный к температуре $+20^0C$ возраст бетона $\tau_{пр}$;

2. По таблице I находят константы твердения бетона α и β

3. Находят максимальную теоретическую прочность, например, по формуле Боломея–Скрамтаева $R_\delta = A R_y \left(\frac{Ц}{В} - C\right)$, (где A и C' – коэффициенты, зависящие от В/Ц и качества заполнителей).

4. По формуле п.I определяют действительный прирост прочности бетона по времени.

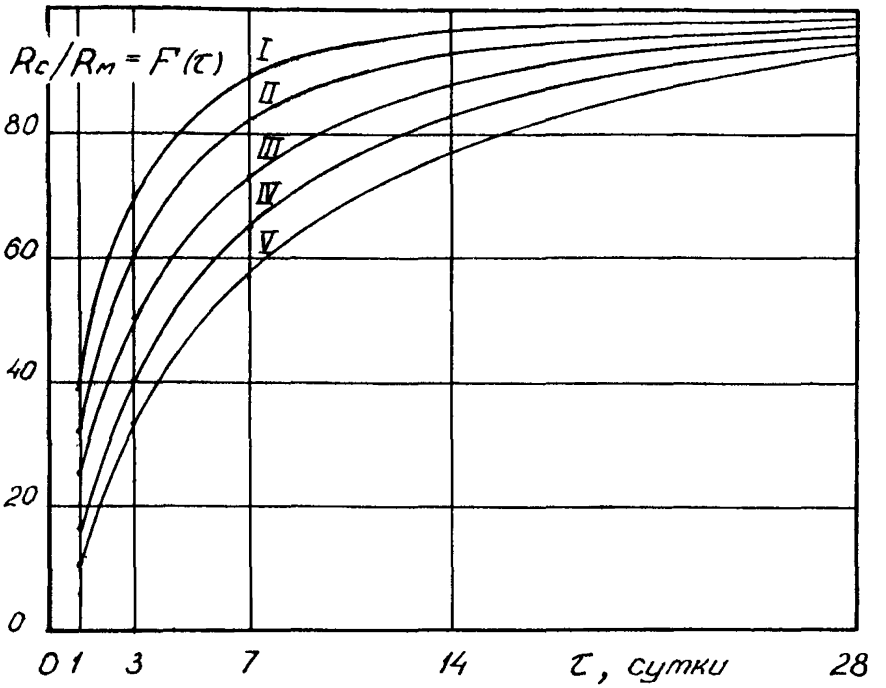


Рис.23. Кривые роста прочности бетона на цементе пяти групп: I – ОБЦ марки 600, II – БЦ марки 500, III – портландцемент марки 400, IУ – портландцемент марки 300–400, шлакопортландцемент, У – пуццолановые потрландцементы марок 300 и ниже

Примеры построения графических зависимостей

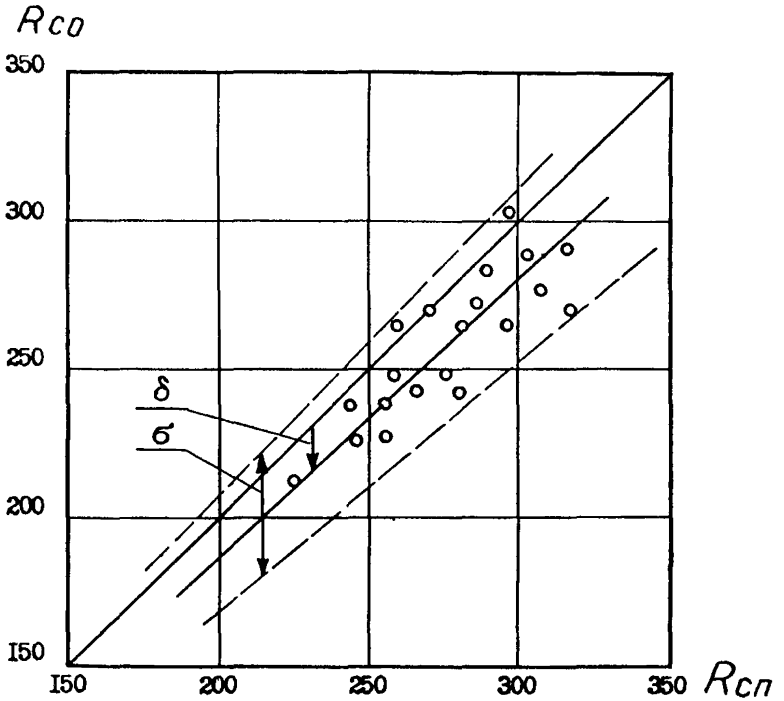
I. Уточнение значения переводного коэффициента зависимости "Прочность на сжатие– усилие отрыва анкера по данным сравнительных испытаний 20 серий образцов-кубов из бетона марки 200 (п.2.2.5).

2. Оценка среднего срока службы бетона по неполным "ранним" данным испытаний на стойкость (п.2.6.I0).

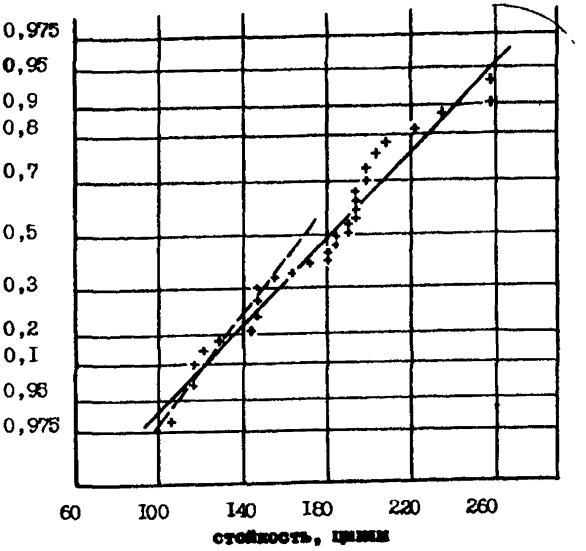
3. Контроль твердения бетона в условиях сухой и жаркой погоды по интенсивности удельных влагопотерь через защищаемую поверхность (п.3.4.8).

4. Контроль набора критической прочности бетона при замораживании во время твердения по кривой контракции в натурной пробе (п.3.4.I2).

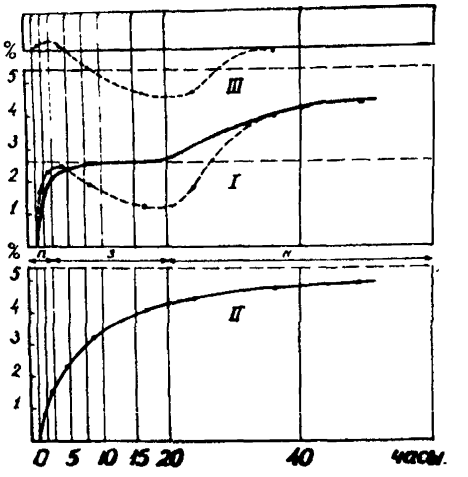
5. Статистическое регулирование технологического процесса приготовления бетона методом кумулятивной средней (приложение № 2).



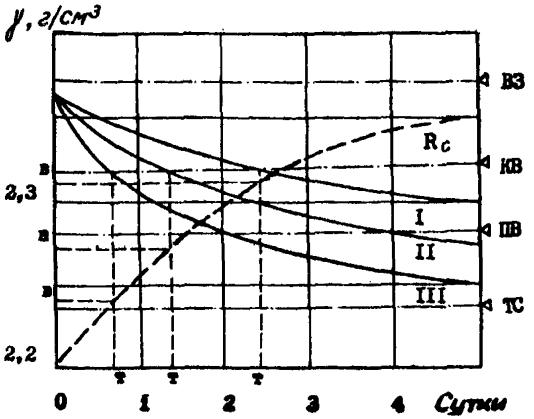
I. Корреляционная зависимость вида "показатель качества – контролируемый параметр" для метода отрыва со скалыванием: δ^2 – систематическое отклонение; s – статистический разброс; $R_{сп}, R_{со}$ – прочность образцов на сжатие по показаниям пресса и усилию вырыва анкера.



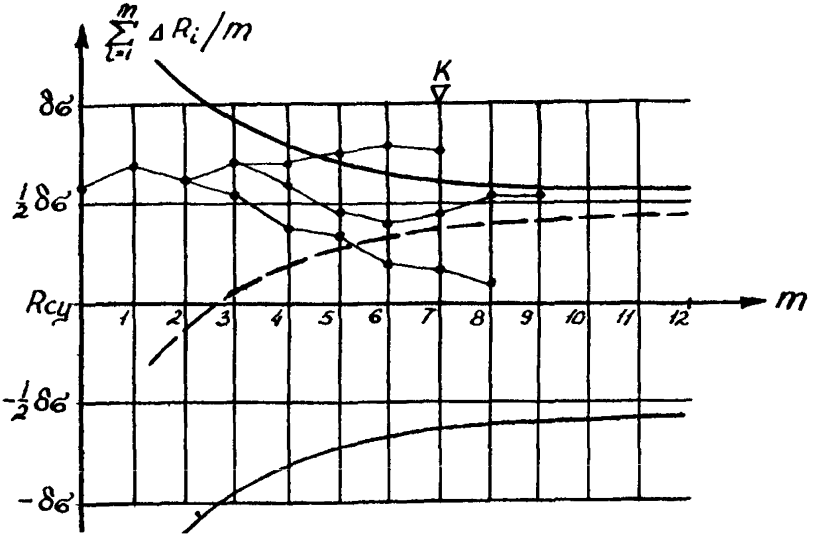
2. Вероятностная диаграмма развития "отказов" во времени при испытаниях на долговечность. Пунктиром показана оценка среднего срока службы бетона по "ранним" отказам.



3. Кривая роста контракции цементно-песчаного раствора при твердении в условиях отрицательной температуры: I – кривая контракции цемента при замораживании с 3 до 24 часов после начала затворения; II – кривая контракции цемента в нормальных влажностных условиях. Пунктиром показано изменение объема смеси в рабочем сосуде контрактомера.



4. Кривая роста удельных влагопотерь бетона при твердении в условиях сухой и жаркой погоды (w = 30%, t = 40°С) при защите его пленкообразующим составом с различным расходом жидкости: КВ, ПВ – уровни критической и предельно-допустимой величины влагопотерь.



5. Контрольная карта регулирования технологического процесса методом кумулятивных средних: ▽ – необходима подстройка; ∾ – суммирование продолжить; △ – суммирование прекратить, ВПГ, НПГ – верхняя и нижняя предупредительные границы; ВДГ, НДГ – верхняя и нижняя допустимые границы.

Действующие на I января 1980 года нормативные документы, относящиеся к испытаниям бетона и контролю качества бетонных работ

I. СНиП II-2I-75. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования.

2. СНиП III-I-76. Организация строительного производства.

3. СНиП III-4-70. Техника безопасности в строительстве.

4. СНиП III-I5-76. Бетонные и железобетонные конструкции монолитные. Правила производства и приемки работ.

5. СН 47-74. Инструкция по разработке проектов организации строительства и проектов производства работ.

6. СНиП III-45-76. Сооружения гидротехнические, транспортные, энергетические и мелиоративных систем. Правила производства и приемки работ.

7. ГОСТ 7473-76. Смеси бетонные. Технические условия.

8. ГОСТ 2I243-75. Бетоны. Определение прочности методом отрыва со скалыванием.

9. ГОСТ 2I2I7-75. Бетоны. Контроль и оценка прочности и однородности с применением неразрушающих методов.

I0. ГОСТ I0060-76. Методы определения морозостойкости.

II. ГОСТ I0I80-78. Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение.

I2. ГОСТ I2730,0-6-78. Бетоны. Метод определения объемной массы, плотности, пористости, водонепроницаемости, водопоглощения.

I3. I8I05-72. Бетоны. Контроль и оценка однородности и прочности.

I4. ГОСТ 3I0.I-4-76. Цементы. Методы физических и механических испытаний.

I5. ГОСТ 5802-78. Растворы строительные. Методы испытаний.

I6. ГОСТ I9426-74. Бетоны. Метод определения коэффициента фильтрации воды.

I7. ГОСТ 6427-75. Материалы стеновые и облицовочные. Методы определения плотности.

I8. ГОСТ 7025-78. Материалы стеновые и облицовочные. Методы определения водопоглощения и морозостойкости.

I9. ГОСТ 4799-69. Бетон гидротехнический. Методы испытания бетонной смеси.

20. ГОСТ 4798-69. Бетон гидротехнический. Методы испытаний материалов для его приготовления.

21. ГОСТ 10181-76. Бетон тяжелый. Методы определения подвижности и жесткости бетонной смеси.

22. ГОСТ 22690.0-4-77. Бетон тяжелый. Методы определения прочности без разрушения приборами механического действия.

23. ГОСТ 22685-75. Формы для изготовления контрольных образцов. Технические условия.

24. ГОСТ 22783-77. Бетон. Метод ускоренного определения прочности на сжатие.

25. ГОСТ 20736-75. Качество продукции. Статистический приемочный контроль по количественному признаку при нормальном распределении контролируемого параметра.

26. ГОСТ 11.002-73. П.С.Правила оценки нормальности результатов наблюдений.

27. ГОСТ 11.004-74.ПС. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения.

28. ГОСТ 11.006-74. ПС. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим.

29. ГОСТ 20737-75. УТП. Статистическое регулирование технологических процессов методом групп качества.

30. ГОСТ 16.305-74. УТП. Контроль точности технологических процессов. Методы оценки точности в условиях серийного и массового производства.

31. ГОСТ 8.207-76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.

32. ГОСТ 22904-78. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположение арматуры.

33. ГОСТ 14.317-75. ЕСТПП. Правила разработки процессов контроля.

34. ГОСТ 8.010.ГСИ. Общие требования к стандартизации и аттестации методик выполнения измерений.

35. ГОСТ 11.008-75.ПС. Правила построения и применения вероятностных сеток.

36. ГОСТ 8.009-72.ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

37. ГОСТ 4.250-78. СПКП. Строительство. Бетонные и железобетонные изделия и конструкции. Номенклатура показателей.

38. ГОСТ 18105,2 (введен временно письмом Госстроя СССР № НК-5963-I от 29/XII-78 г.). Бетоны. Правила приемочного контроля прочности для монолитных конструкций.

39. ГОСТ 13015-75. Изделия железобетонные и бетонные. Общие технические требования.

40. ГОСТ 4795-68. Бетон гидротехнический. Технические требования.

41. ГОСТ 15893-77. Статистическое регулирование технологических процессов при нормальном распределении контролируемого параметра.

42. ГОСТ 20427-75. Статистическое регулирование технологических процессов. Метод кумулятивных сумм выборочного среднего.

43. ГОСТ 4.212. СПКП. Строительство. Бетоны. Номенклатура показателей.

МЕТОДИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

I. Руководство по производству бетонных работ. ЦНИИОМТП НИИЖБ, М., Стройиздат, I975.

2. Руководство по укладке бетонных смесей бетононасосными установками. ЦНИИОМТП Госстроя СССР - НП СМК "Ост" Минстроя ГДР, М., Стройиздат, I978.

3. Технологические правила производства бетонных работ при возведении гидротехнических сооружений. ВСН 009-67 Минэнерго СССР.

4. Руководство по статистическим методам контроля и оценки прочности бетона с учетом его однородности по ГОСТ I8I05-72.М., Стройиздат, I974.

5. Руководство по подбору состава тяжелого бетона. НИИЖБ, М., Стройиздат, I979.

6. Руководство по совершенствованию организации и проведению контроля качества при производстве строительных работ. ЦНИИОМТП, М., Стройиздат, I978.

7. Рекомендации по методике определения объема воздуха в бетонной смеси. Красноярский ПромстройНИИпроект, Красноярск,I975.

8. Руководство по определению прочности бетона в изделиях и конструкциях методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 2I243-75. М., Стройиздат, I977.

9. Рекомендации по осуществлению операционного контроля качества строительно-монтажных работ. ЦНИИОМТП, М., Стройиздат, I977.

I0. Указания по определению деформативной способности бетона ВСН 32-70 Минэнерго СССР.

II. Рекомендации по ускоренной оценке качества цемента в бетоне и назначению его состава. НИИЖБ, М., Стройиздат, I975.

I2. Инструкция по организации и работе построечных лабораторий бетона и строительных материалов. ВСН 0II-67 Минэнерго СССР.

I3. Руководство по техническому и операционному контролю качества бетона и бетонных работ при строительстве противофильтрационных одежд каналов. ВНИИГиМ, М., I979.

I4. Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса. НИИЖБ, М., Стройиздат, I975.

I5. Методические указания. РДМУ I09-77. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов. М., Изд.Стандартов, I978.

I6. Рекомендации по ускоренному методу испытаний гидротехнического бетона на прочность. П 03-73, ВНИИГ, М., "Энергия",I974.

17. Руководство по производству бетонных работ в условиях сухого жаркого климата. НИИЖБ, М., Стройиздат, 1977.

18. Методический материал по применению ГОСТ 8.009-72.ГСИ. Нормированные характеристики средств измерения". Изд.Стандартов, М., 1975.

19. Руководство по определению скорости коррозии цементного камня, раствора и бетона в жидких агрессивных средах. НИИЖБ, М., Стройиздат, 1975.

20. Рекомендации по подготовке, организации и проведению контроля качества бетона на строительстве гидротехнических и мелиоративных сооружений. ВНИИГиМ, М., 1981.

21. Статистические методы обработки эмпирических данных. Рекомендации. ВНИИМАШ. Изд.стандартов, М., 1978.

22. Сборник статистических таблиц. М., Вычислительный центр АН СССР, 1973.

23. Методика и таблицы планов контроля качества по количественным признакам. М., Изд.стандартов, 1973.

24. Указания по контролю качества бетона в бетонных и железобетонных изделиях и конструкциях. Институт СЭВ по стандартизации М., 1967.

25. Техника безопасности и производственная санитария в строительстве. М., Стройиздат, 1974.

26. Руководство по методам испытаний полимер-бетонов. НИИЖБ, М., Стройиздат, 1970.

27. Рекомендации по применению трещиностойких эластичных покрытий по бетону. НИИЖБ, М., Стройиздат, 1972.

28. Руководство по производству бетонных и железобетонных работ в зимних условиях. ЦНИИОМТП, М., Стройиздат, 1967.

29. Испытание бетона. Справочное пособие под ред. М.Ю.Лещинского. М.,Стройиздат, 1980.

30. Руководство по проектированию магистральных и межхозяйственных каналов оросительных систем. ВТР-П-7-75. Союзводпроект, М., 1975.

31. Методические указания. Проектирование состава гидротехнического бетона с воздухововлекающими добавками. УкрНИИВХ, г.Ровно, 1980.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
I. Система контроля качества бетона противофильтрационных конструкций	4
2. Технический контроль качества бетона по стандартным образцам	8
2.I. Общие положения	8
2.2. Определение предела прочности бетона на сжатие	I5
2.3. Испытание бетона на растяжение	23
2.4. Определение характеристик водопроницаемости бетона	27
2.5. Определение характеристик порового пространства бетона	37
2.6. Оценка стойкости бетона к воздействию водных растворов агрессивных солей	42
3. Технологический контроль бетонной смеси и твердеющего бетона	49
3.I. Общие положения	49
3.2. Контроль технологической вязкости укладываемой бетонной смеси (при укладке бетоноотделочной машиной)	52
3.3. Определение воздухововлечения и воздухосодержания бетонной смеси	56
3.4. Контроль степени уплотнения, интенсивности удельных влагопотерь и набора критической прочности бетона при твердении	59
4. Натурное обследование готовых сооружений перед их приемкой	64
4.I. Общие положения	64
4.2. Натурные испытания на прочность	66
4.3. Натурные испытания на водопроницаемость	72
4.4. Планирование, обработка и представление результатов натурных испытаний	75

Стр.

Приложение № I. Текущий статистический контроль качества 80

Приложение № 2. Статистическое регулирование технологического процесса 85

Приложение № 3. Расчет роста прочности бетона во времени по приведенному возрасту (по В.С.Лукьянову) 88

Примеры построения графических зависимостей 9I

Действующие на I января I980 года нормативные документы, относящиеся к испытаниям бетона к контролю качества бетонных работ 95

Методическая литература 98

Методы испытаний бетона и бетонной смеси при подборе состава и контроле качества бетона при строительстве гидромелиоративных сооружений (руководство)

Редактор Н.Володина
Технический редактор Т.Петрова
Корректор З.Выборнова

Подп.к печ.3.03.81. Л-87528. Формат 60x84/16. Бумага типографская № 2. Печать офсетная. Объем 6,3 усл.печ.л. Тираж 750. Заказ 724. Бесплатно

Ротапринт ВНИИГиМ
итров, Моск.обл., 2-я Левонабережная, 12

gost.e-ecolog.ru