ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВТЕХСТРОЙПРОЕКТ

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО УЧЕТУ ВЛИЯНИЯ ВОЗРАСТА БЕТОНА НА ЕГО ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЭНЕРГИЯ“

gost.e-ecolog.ru

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО ЭНЕРГЕТИКЕ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВТЕХСТРОЙПРОЕКТ

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО УЧЕТУ ВЛИЯНИЯ ВОЗРАСТА БЕТОНА НА ЕГО ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

ВСН-05-64
ГПКЭиЭ СССР

Составлены во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники имени Б. Е. Веденеева и утверждены Главтехстройпроектом ГПКЭиЭ СССР

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЭНЕРГИЯ"
МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЧЕТУ ВЛИЯНИЯ ВОЗРАСТА БЕТОНА НА ЕГО ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Технический редактор *Л Г. Сетко*

М-42130. 9-XI-64 г. Печ. л 1⁷/₈. Зак 442. Тир 1500.

Типография Всесоюзного научно исследовательского института гидротехники имени Б Е Веденеева Ленинград, К 64, Гжатская ул, 21.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1956 г в СССР был осуществлен переход при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений к назначению требований к бетону в возрасте 180 дней вместо возраста 28 дней, как это было ранее Этот переход, узаконенный действующими стандартами на гидротехнический бетон, приблизил «марочный» возраст гидротехнических бетонов к реальным срокам ввода сооружений в эксплуатацию и позволил значительно повысить экономичность гидротехнических сооружений за счет снижения нереализуемых запасов и устранения излишних расходов цемента

Практической целью «Рекомендаций» является дать необходимые для расчета гидротехнических сооружений на стадии разработки проектного задания обобщенные коэффициенты, с помощью которых может быть учтено изменение основных характеристик бетона с его возрастом, а также дать необходимые количественные зависимости и рекомендации, которыми надлежит пользоваться лабораториям строительств при проведении подборов составов бетона (в особенности на первых этапах строительства, когда лаборатории еще не располагают установленными ими конкретными экспериментальными коэффициентами перехода от возраста в 28 дней к другим возрастам для прочности и водонепроницаемости бетона, приготовленного на конкретных материалах строительства) Приводимые данные могут быть также использованы в целях контроля качества бетона на строительствах «Рекомендации» основываются на результатах проводившихся ВНИИГом в течение ряда лет исследований влияния возраста бетона на свойства бетона различных составов Исследованию подверглись бетоны на цементах различных видов из числа наиболее широко применяющихся в современном гидротехническом строительстве на портландцементе, пуццолановых портландцементах и шлакопортландцементах

При разработке рекомендаций данные исследований Лаборатории бетона ВНИИГа дополнены результатами работ других организаций (НИС Гидропроекта, НИИЖБа и др), опубликованными в литературе, а также учтены результаты исследований кернов ряда сооружений, в которых бетоны твердели при различных условиях

В настоящих «Рекомендациях» приводятся необходимые при расчетах данные по учету влияния возраста бетона на его прочностные характеристики и водонепроницаемость, марки, по которым отнесены действующим ГОСТом 4795-59 к возрасту 180 дней. Так как марочный возраст гидротехнического бетона по морозостойкости в ГОСТе 4795-59 предусмотрен 28 дней, данных о влиянии возраста на морозостойкость в «Рекомендациях» не приводится.

«Рекомендации» составлены в Лаборатории бетона ВНИИГа (Руководитель лаборатории проф., доктор техн. наук В. В. Стольников) групповым инженером В. Б. Судаковым и ст. научн. сотр., канд. техн. наук А. С. Губарь и утверждены в качестве ведомственных Рекомендаций решением начальника Технического управления по строительству электростанций и сетей ГПКЭиЭ СССР тов. А. А. Борового от 4 февраля 1964 г. (решение №.28).

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР	Ведомственные строительные нормы **Рекомендации по учету влияния возраста бетона на его основные технические свойства**	ВСН-05-64 ГПКЭиЭ СССР

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных особенностей бетона гидротехнических сооружений является то, что он вступает в работу по истечении значительного времени с момента его укладки. Обычно этот срок составляет 1—2 года, а иногда и более В течение этого времени твердение бетона продолжается, что приводит к изменению его основных технических свойств (прочности, водонепроницаемости и др.). Правильный учет этих изменений — необходимое условие создания долговечных и экономичных гидротехнических сооружений. Применительно к гидроэнергетическим объектам наиболее рациональным является назначение проектных марок бетона по прочности (при сжатии и растяжении) и водонепроницаемости в возрасте 180 дней и более. Исключение представляют только особые случаи, обусловленные условиями ввода сооружений в эксплуатацию, а также условиями строительства (зимний период и др.), когда возможно установление полных проектных марок в более раннем возрасте — 90, 60 и 28 дней (ГОСТ 4795-59 «Бетон гидротехнический. Общие требования»).

Переход при проектировании гидротехнических сооружений к назначению требований к бетону в возрасте 180 дней (вместо 28 дневного возраста) не только более отвечает реальным срокам ввода сооружений в эксплуатацию, но и позволяет более экономно и рационально использовать бетон как материал для их возведения. Это мероприятие дает возможность устранить излишние, нереализуемые запасы прочности и водонепроницаемости и снизить расходы цемента в бетоне (экономия цемента достигает 50—80 *кг/м*^{3} бетона), приведя одновременно в соответствие качество бетона с предъявляемыми к нему по условиям работы в сооружениях техническими требованиями.

Показатели бетона по прочности и водонепроницаемости должны назначаться в зависимости от реальных сроков загрузки сооружения и ввода в эксплуатацию, учитывая период и место строи-

Внесены Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники имени Б Е Веденеева	Утверждены Главтехстройпроектом ГПКЭиЭ СССР	Срок введения 1 ноября 1964 г

тельства (время ввода и т п.), так как повышение технических показателей бетона зависит от времени и условий его твердения.

Подбор составов бетона должен производиться с испытанием образцов достаточно большого размера в принятом проектном возрасте, с учетом предполагаемых условий твердения и использованием конкретных материалов, из которых будет приготовляться бетон для возведения сооружений

В тех случаях, когда имеются установленные заранее экспериментальные коэффициенты перехода от прочности и водонепроницаемости в возрасте 28 дней для данного конкретного цемента и данного состава бетона, твердевшего в определенных температурных и влажностных условиях, этими коэффициентами рационально пользоваться для ускорения работы в процессе предварительного подбора состава бетона или при контроле его прочности.

При отсутствии экспериментально установленных коэффициентов перехода для бетонов на конкретных материалах, применяемых на строительствах (или предполагаемых к использованию на конкретных строительствах), лабораториям строительств и проектным организациям (на стадии разработки проектного задания) следует пользоваться обобщенными коэффициентами перехода, приводимыми ниже Эти коэффициенты относятся к стандартным условиям изготовления, твердения и испытания бетонов различного состава (ГОСТ 4800-59) и могут быть использованы для приближенных расчетов нарастания прочности и водонепроницаемости с увеличением возраста бетонов, твердеющих в этих (или близких к ним) условиях. Эти же коэффициенты могут быть использованы для приближенной оценки изменения во времени основных свойств бетонов, уложенных в массивные сооружения.

Приводимые в «Рекомендациях» обобщенные коэффициенты перехода являются ориентировочными и в последующем должны уточняться путем постановки соответствующих экспериментов (включая испытания кернов, извлеченных из бетона сооружений) с бетонами на конкретных материалах каждого данного строительства

I ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Увеличение возраста бетона оказывает неодинаковое влияние на различные технические свойства бетона. Наиболее благоприятно увеличение срока предварительного твердения сказывается на водонепроницаемости бетона и в относительно меньшей степени на улучшении его прочностных характеристик. Это различие резко проступает как в ранние, так и в поздние сроки твердения. Увеличение возраста бетона свыше 28 дней приводит к повышению прочности, исчисляемому десятками процентов от ее величины в 28 дней; рост водонепроницаемости после 28 дней исчисляется сотнями процентов от исходных величин в возрасте 28 дней.

2. Улучшение технических свойств бетона во времени по мере увеличения возраста бетона в общем случае носит затухающий характер.

Для бетонов на портландцементах[1] значительное увеличение прочности и водонепроницаемости (интенсивность которых постепенно снижается во времени) имеет место вплоть до возраста 180 дней. В дальнейшем положительное влияние возраста бетона на его свойства становится менее заметным. Поэтому при использовании портландцементов для возведения массивных гидротехнических сооружений наиболее целесообразно назначение технических требований и установление полных проектных марок бетона по прочности и водонепроницаемости для возраста бетона 180 дней.

Для бетонов на пуццолановых портландцементах и шлакопортландцементах[1] интенсивное нарастание прочности и водонепроницаемости продолжается обычно вплоть до возраста 1 года. Поэтому при использовании этих цементов для бетона крупных гидротехнических сооружений наиболее рационально отнесение полных проектных марок бетона по прочности и водонепроницаемости к возрасту не менее 180 дней, а при подходящих условиях строительства — к возрасту 1 год.

3. Для бетонов на шлакопортландцементах и пуццолановых портландцементах прочность и водонепроницаемость в поздние сроки твердения, свыше 28 дней, возрастают более интенсивно и значительно, чем для бетонов на портландцементах обычного минералогического состава.

4. Существенное улучшение водонепроницаемости и прочности бетона в поздние сроки твердения, свыше 28 дней, должно в обязательном порядке учитываться при проектировании и строительстве сооружений (ГОСТ 4795-59), так как только такой подход обеспечивает экономичное и эффективное использование гидротехнического бетона как строительного материала.

Применительно к гидротехническим сооружениям назначение полных проектных марок бетона в возрасте 28 дней (в особенности в отношении водонепроницаемости) ведет к созданию излишних, нереализуемых запасов и необоснованному перерасходу цемента[2].

5. Вследствие многообразия факторов, влияющих на изменение свойств бетона во времени, точное количественное выражение роста прочности и водонепроницаемости с увеличением возраста бетона в каждом конкретном случае должно находиться путем постановки соответствующих экспериментов.

---

[1] При твердении образцов бетона в стандартных условиях (ГОСТ 4800-59) и массивного бетона сооружений (т. е. при постоянном увлажнении бетона или отсутствии потерь влаги и положительной температуре).

[2] Это не относится к тонкостенным конструкциям гидротехнических промышленных и гражданских сооружений.

Использование обобщенных переходных коэффициентов рекомендуется только на стадии разработки проектного задания.

6. Результаты лабораторных испытаний, характеризующие изменение свойств бетонов во времени, полученные при оптимальном режиме твердения образцов бетона в лаборатории, должны переноситься на бетон сооружений с учетом фактических условий твердения бетона (температура, влажность и др).

II ИЗМЕНЕНИЕ ВО ВРЕМЕНИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СЖАТИЕ

1 При твердении в благоприятных температурно-влажностных условиях[1] нарастание прочности бетонов на портландцементах, шлакопортландцементах и пуццолановых портландцементах продолжается весьма длительное время

2 Интенсивность роста прочности бетона во времени зависит от ряда факторов: примененного цемента, состава бетона, величины водоцементного отношения, вида и типа добавок и т. д. Общим законом нарастания прочности бетонов является постепенное снижение интенсивности роста прочности с увеличением возраста бетона

3. Во многих случаях наиболее интенсивное нарастание прочности в поздние сроки твердения (свыше 28 дней) обнаруживают бетоны на шлакопортландцементах Интенсивный рост прочности у бетонов на этих цементах, идущий, как правило, значительно более высокими темпами, чем рост прочности бетонов на портландцементах, продолжается вплоть до одного года, а иногда и более.

Вследствие этого наиболее рационально отнесение полных проектных марок по прочности для бетонов на шлакопортландцементах к возрасту не менее 180 дней, а при подходящих условиях строительства и к одному году.

4 При твердении при постоянном увлажнении (или при отсутствии значительных потерь влаги) бетоны на пуццолановых портландцементах также обнаруживают значительное повышение прочности в поздние сроки твердения, продолжающееся вплоть до 180 дней Интенсивность роста прочности этих бетонов в поздние сроки твердения также обычно несколько превышает рост прочности бетонов на портландцементах, но ниже, чем у бетонов на шлакопортландцементах, в особенности в сроки свыше 90 дней.

Вследствие этого наиболее рационально отнесение полных проектных марок по прочности для бетонов на пуццолановых портландцементах к возрасту 180 дней и более.

5 При практически одинаковой активности цементов абсолютные значения прочности бетонов на пуццолановых цементах в ранние сроки твердения — 7 и 28 дней — выше, чем у бетонов анало-

[1] При стандартных условиях твердения образцов бетона в лабораториях (ГОСТ 4800-59), твердении гидротехнических бетонов в центральных частях массивных блоков и т п

гичных составов на шлакопортландцементах; в поздние сроки твердения, в силу более интенсивного роста прочности бетонов на шлакопортландцементах после 28-дневного возраста, прочности выравниваются, причем в ряде случаев прочность бетонов на шлакопортландцементах оказывается даже несколько более высокой

При прочих равных условиях (одинаковой активности цементов, практически одинаковых составах бетонов и пр.) абсолютные значения прочности бетонов на портландцементах оказываются во все сроки выше, чем у бетонов на шлакопортландцементах и пуццолановых портландцементах. Это превышение прочности становится особенно заметным по мере увеличения величин водоцементных отношений.

6. Нарастание прочности бетонов на портландцементах в большой степени зависит от минералогического состава цемента. Бетоны на цементах с высоким содержанием C_3S быстро набирают прочность в первые сроки твердения (до 28 дней); при дальнейшем твердении нарастание прочности бетонов на этих цементах идет относительно медленно. Нарастание прочности бетонов на цементах с высоким содержанием C_2S в первые сроки твердения идет значительно менее интенсивно, однако прирост прочности в поздние сроки твердения у них значительно выше, чем у бетонов на высокоалитовых цементах[1]. Цементы обычного состава занимают в этом отношении промежуточное положение.

Таким образом, при подсчетах изменений прочности бетонов во времени следует обязательно учитывать минералогический состав цементов, а используемые на практике обобщенные количественные показатели роста прочности должны подразделяться в зависимости от вида цементов (табл. 1). Применяемые в расчетах коэффициенты перехода должны быть выбраны исходя из реального минералогического состава используемого (или намеченного к использованию) цемента.

Для бетонов на шлакопортландцементах и пуццолановых портландцементах нарастание прочности в основном (при прочих равных условиях) определяется видом и активностью примененных добавок (кислый шлак, основной шлак, трепел и т. д.).

7. При прочих равных условиях нарастание прочности меняется в зависимости от активности цемента. В общем случае повышение активности цемента ведет к ускоренному росту прочности в первые сроки твердения (до 28 дней) и более замедленному в поздние сроки твердения. Бетоны на низкомарочных цементах в начальном возрасте набирают прочность медленнее, но при дальнейшем

---

[1] В зависимости от соотношений между четырьмя основными минералами, содержащимися в портландцементном клинкере: C_3S — трехкальциевого силиката (алита), C_2S — двухкальциевого силиката (белита), C_3A — трехкальциевого алюмината и C_4AF — четырехкальциевого алюмоферрита (целита) различают алитовые портландцементы $C_3S : C_2S > 4$, нормальные (обычные) портландцементы $C_3S : C_2S = 4 + 1$, $C_4AF : C_3A = 1{,}5 + 0{,}4$, белитовые портландцементы $C_3S : C_2S < 1$ и алюминатные портландцементы $C_3A : C_4AF > 1{,}5$

твердении в поздние сроки обнаруживают относительно более высокий прирост прочности

8 Ввиду многообразия факторов, оказывающих влияние на рост прочности бетонов во времени, точная количественная оценка повышения прочности требует проведения специальных экспериментов с использованием конкретных материалов данного строительства

9 Использование логарифмической зависимости для бетонов на современных цементах дает, как правило, заниженные показатели прочности для начальных сроков твердения (до 28 дней) и завышенные для поздних сроков твердения Ввиду этого применение этой зависимости возможно только для сугубоориентировочных подсчетов

10 Нарастание прочности бетонов на различных цементах при твердении в лабораторных условиях может быть учтено (при ориентировочных подсчетах) с помощью следующих обобщенных коэффициентов (табл 1)

11 При использовании приведенных коэффициентов в расчетах при проектировании и проведении ускоренных подборов составов бетона должно быть учтено следующее

Бетоны на высокомарочных цементах (марок 500—600) обнаруживают высокий рост прочности в ранние сроки твердения (до 28 дней) и относительно низкий прирост прочности в последующие сроки

Поэтому при выборе коэффициентов перехода для бетонов на этих цементах для возраста 7 дней следует принимать наиболее высокие значения, а после 28 дней — наименее высокие значения коэффициентов

Бетоны на низкомарочных цементах (марок 300—400) обнаруживают относительно менее интенсивный рост прочности в первые сроки, но зато показывают более значительное нарастание прочности в последующие сроки (после 28 дней) по сравнению с высокомарочными

Поэтому при выборе коэффициентов перехода для бетонов на этих цементах для возраста 7 дней следует принимать наименее высокие значения, а после 28 дней — наиболее высокие значения коэффициентов

В поздние сроки твердения нарастание прочности бетонов с добавкой СНВ (воздухововлекающей) идет, как правило, несколько более интенсивно, чем для бетонов аналогичных составов без поверхностно активных веществ, а с добавкой ССБ (сульфитно спиртовой барды) — несколько менее интенсивно или так же, как для бетонов без добавок

Вместе с тем при сниженных за счет введения добавок расходах цементов и постоянной подвижности бетонной смеси прочность бетонов с воздухововлекающей и пластифицирующей добавками в возрасте 180 дней — 1 года оказывается несколько ниже,

чем у исходных бетонов без добавок поверхностно-активных веществ. Это снижение прочности зависит от вида добавки и от состава бетона и при введении воздухововлекающей добавки может достигать 10—15% для жирных составов (при В/Ц=0,50) и 0—5% для тощих составов (при В/Ц=0,70). Для бетонов с добавками ССБ снижение прочности обычно составляет 5—10% по отношению к исходным составам, причем оно больше для тощих составов (с расходом цемента менее 230 *кг/м*^{3}) и меньше для жирных (с расходом цемента более 250 *кг/м*^{3}).

При одинаковых расходах цемента и подвижности бетонных смесей (снижении за счет введения добавок величины В/Ц) прочность бетонов с добавками ССБ в возрасте 180 дней — 1 года оказывается на 5—10% выше прочности исходных составов бетона без добавок поверхностно-активных веществ (для жирных составов) или равной последней (для тощих составов). Для бетонов с добавками СНВ при этих условиях прочность оказывается обычно на 0—5% выше для тощих составов по сравнению с составами без этой добавки и на 0—5% ниже для жирных составов.

При прочих равных условиях нарастание прочности бетонов зависит от величины В/Ц. Чем больше величина В/Ц, тем интенсивнее, как правило, идет нарастание прочности бетонов в поздние сроки твердения.

В соответствии с этим при В/Ц $\geqslant$ 0,60 для поздних сроков твердения следует выбирать более высокие значения переходных коэффициентов, а при В/Ц $\leqslant$ 0,60 — более низкие.

Таблица 1

Коэффициент нарастания прочности бетона на различных цементах

Вид цемента	Коэффициент прочности бетона в возрасте			
	7 дней	28 дней	90 дней	180 дней
Алитовые портландцементы	0,65—0,75	1,00	1,10—1,25	1,30—1,40
Обычные портландцементы[1]	0,60—0,70	1,00	1,15—1,35	1,30—1,50
Белитовые портландцементы	0,55—0,65	1,00	1,30—1,40	1,45—1,60
Шлакопортландцемент с добавкой кислых шлаков	0,40—0,50	1,00	1,40—1,65	1,60—2,00
Шлакопортландцемент с добавкой основных шлаков	0,40—0,50	1,00	1,35—1,65	1,55—1,90
Пуццолановый портландцемент с добавкой туфа	0,50—0,60	1,00	1,45—1,75	1,55—1,90
Пуццолановый портландцемент с добавкой опоки	0,50—0,60	1,00	1,25—1,55	1,40—1,65

[1] Включая портландцемент с умеренной экзотермией (ГОСТ 970-62)

III. ИЗМЕНЕНИЕ ВО ВРЕМЕНИ СООТНОШЕНИЯ ПРОЧНОСТЕЙ БЕТОНА НА РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ ($R_р/R_{сж}$)

1. Величина отношения прочности бетона на растяжение к прочности на сжатие не является постоянной для различных сроков твердения, а изменяется с его возрастом. В пределах обычно применяемых составов бетона зависимость величины соотношения прочностей от времени твердения имеет один и тот же общий характер. наибольшая величина соотношения прочностей имеет место в начальные сроки твердения (1—3 дня), по мере увеличения возраста величина соотношения постепенно уменьшается, достигая в определенном возрасте минимума, и затем несколько повышается или стабилизируется в более поздние сроки твердения.

Общий характер изменения величины соотношения прочностей в зависимости от возраста бетона или раствора графически выражается криволинейной зависимостью ABC, представленной на рис 1.

2. Интенсивность снижения величины соотношения прочностей, срок твердения, которому отвечает минимальное ее значение, и дальнейшее увеличение или стабилизация ($R_р/R_{сж}$) зависят от ряда факторов: примененного цемента, условий хранения, добавок по-

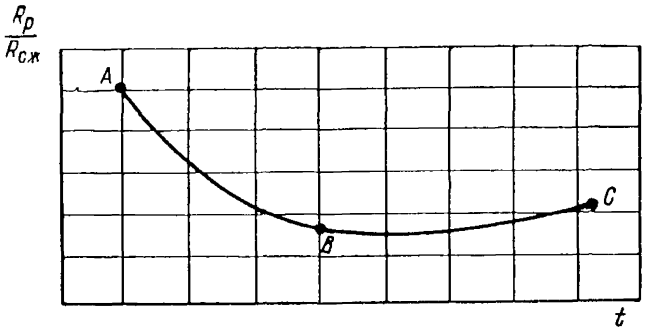


Рис. 1.

верхностно-активных веществ, состава бетона и т. д Под влиянием этих факторов положение характерных точек кривой зависимости соотношения прочностей от времени твердения может изменяться, так что в действительности существует целое семейство кривых, подчиняющихся общей закономерности.

3. Для бетонов на портландцементах и их разновидностях, шлакопортландцементах и пуццолановых портландцементах, применяемых в гидротехническом строительстве в соответствии с действующим ГОСТом 4797-64 наибольшее значение величины соотношения прочностей имеет место в начальные сроки твердения 1—3 дня, при дальнейшем твердении величина соотношения посте-

пенно падает, приближаясь к минимальному значению, которого оно достигает к возрасту около 90 дней; в дальнейшем величина соотношения прочности остается практически постоянной, обнаруживая тенденцию к незначительному повышению.

Снижение величины соотношения прочностей на растяжение и сжатие (до 90-дневного возраста) и повышение ее в последующем, после достижения минимального значения имеют затухающий характер.

4. В том случае, если при проектировании гидротехнических сооружений учитывается работа бетона на растяжение, вводимая в расчеты для бетонов величина соотношения прочностей должна определяться для возраста не ранее 90 дней. При этом следует иметь в виду, что снижение величины соотношения прочностей при переходе от 28-дневного возраста к возрасту 90 дней, составляет не менее 10—25% (а в отдельных случаях и более).

5. Величина падения соотношения прочностей между этими сроками твердения (28 и 90 дней) при прочих равных условиях зависит от состава бетона и примененных заполнителей. Она больше для жирных составов с низкой величиной В/Ц и при применении пористых заполнителей, способных отсасывать из цементного камня (теста) значительное количество воды, и меньше для тощих составов с высоким В/Ц и при применении плотных заполнителей с малой величиной водопоглощения.

6. Твердение в условиях воздушносухой среды приводит к смещению минимума величины соотношения прочностей в сторону ранних сроков твердения и более резкому изменению ее во времени; твердение в условиях высокой влажности окружающей среды, наоборот, ведет к более плавному изменению величины соотношения и приближению к минимуму в более поздние сроки.

7. Введение добавок поверхностно-активных веществ оказывает влияние как на величину соотношения прочностей, так и на изменение ее со временем. Добавки гидрофобного типа (СНВ) повышают величину соотношения прочностей во всех возрастах, а также придают изменению прочностей во времени более плавный характер. Положительное влияние добавок этого типа наиболее ярко проявляется в тощих смесях и менее эффективно в жирных смесях.

Гидрофилизующие добавки (ССБ) обычно несколько снижают величину соотношения прочностей (преимущественно в раннем возрасте в особенности в жирных смесях). На характер изменения соотношения прочностей во времени добавки этого типа обычно не оказывают существенного влияния.

8. Характер изменения соотношения прочностей со временем указывает на различный темп нарастания во времени прочности на сжатие и растяжение, что должно учитываться при проведении подборов бетона по прочности на растяжение.

IV ИЗМЕНЕНИЕ ВО ВРЕМЕНИ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ БЕТОНОВ

1. С увеличением возраста бетонов их водонепроницаемость[1] повышается в значительно большей степени, чем прочность на сжатие. Резкое повышение водонепроницаемости во времени характерно для бетонов на всех применяемых в гидротехническом строительстве цементах и имеет место как в ранние сроки твердения, так и в более поздние (свыше 28 дней).

2 Для бетонов на портландцементах интенсивное повышение водонепроницаемости во времени наблюдается вплоть до 180-дневного возраста. Дальнейшее увеличение срока твердения приводит к относительно небольшому повышению водонепроницаемости.

Для бетонов на шлакопортландцементах и пуццолановых портландцементах интенсивное нарастание водонепроницаемости наблюдается вплоть до возраста 1 год. При использовании этих цементов для бетона гидротехнических сооружений наиболее рационально отнесение полных проектных марок бетона по водонепроницаемости к возрасту не менее 180 дней, а при подходящих условиях — к возрасту 1 год.

3. В поздние сроки твердения водонепроницаемость бетонов на шлакопортландцементах и пуццолановых портландцементах возрастает более интенсивно, чем бетонов на портландцементе.

4 Исключительно большое влияние на рост водонепроницаемости оказывают условия твердения бетона; изменение водонепроницаемости бетона с его возрастом неотделимо от тех условий, при которых происходит его твердение.

5. Водонепроницаемость бетонов, твердевших в воздушной среде с низкой относительной влажностью и потерявших за время твердения значительное количество воды затворения, всегда значительно (в несколько раз) ниже водонепроницаемости таких же бетонов, но твердевших в условиях постоянного увлажнения. (Водонепроницаемость образцов бетона, находившихся после распалубки в воздушной среде с относительной влажностью порядка 50—60% и испытанных в возрасте 180 дней, обычно оказывается фактически равной или ниже водонепроницаемости таких же образцов бетона, твердевших в условиях постоянного увлажнения — 28 дней).

6. Интенсивное и устойчивое повышение водонепроницаемости бетонов может быть достигнуто только при продолжительном влажностном уходе.

7. Наиболее интенсивное повышение водонепроницаемости наблюдается при твердении бетонов в условиях постоянного обильного увлажнения (избыточной влажности окружающей среды) При этом наибольшее увеличение водонепроницаемости отвечает

[1] При твердении образцов бетона в стандартных условиях (ГОСТ 4800 59) и массивного бетона сооружений при отсутствии заметных потерь влаги благодаря испарению.

при прочих равных условиях бетонам с высокими значениями водоцементного отношения (0,70) и меньшее — бетонам с низкими значениями водоцементного отношения (порядка 0,50).

8. При твердении бетонов в условиях возможного медленного испарения влаги из бетона (например, при твердении в воздушной среде с относительной влажностью 90—95% при редком поливе водой или отсутствии полива) водонепроницаемость также значительно повышается (хотя и несколько меньше, чем при постоянном увлажнении и поглощении бетоном воды извне), достигая максимума в возрасте 180 дней — 1 год, и в дальнейшем стабилизируется.

9. При воздушном хранении, в условиях испарения из бетона значительных количеств воды, рост водонепроницаемости бетона замедляется тем больше, чем полнее его обезвоживание. При больших потерях воды рост водонепроницаемости бетона прекращается и, более того, наблюдаются случаи снижения ее первоначальной величины.

10. Нарастание водонепроницаемости бетона с добавками органических поверхностно-активных веществ следует тем же закономерностям, что и нарастание водонепроницаемости бетонов без добавок поверхностно-активных веществ [1].

11. Ввиду многообразия факторов, влияющих на изменение водонепроницаемости бетона во времени, определение коэффициентов роста водонепроницаемости в каждом конкретном случае должно производиться путем постановки соответствующих экспериментов.

12. Повышение водонепроницаемости бетонов на различных цементах (применяемых для гидротехнических бетонов в соответствии с ГОСТом 4797-64) во времени может быть учтено с помощью приближенных коэффициентов перехода, которые следует принимать в соответствии с табл. 2. При этом влияние минералогического состава клинкера и вида добавок обычно находится в пределах точности определений водонепроницаемости при испытаниях.

13. При проведении лабораторных испытаний водонепроницаемости с целью оценки ее повышения во времени следует иметь в виду, что определение роста водонепроницаемости бетона во времени путем повторных испытаний одних и тех же образцов бетона в разные сроки твердения показывает более высокое увеличение водонепроницаемости, чем определение ее роста путем испытаний различных образцов-близнецов в те же сроки (когда каждому сроку испытаний соответствует своя группа образцов). Это повышение получаемых результатов особенно значительно для составов с низкими величинами водоцементного отношения (порядка 0,50),

[1] Следует учитывать, что водонепроницаемость бетонов с воздухововлекающими добавками обычно на 1—3 *атм* (при испытаниях по ГОСТу 4800-59) выше, чем исходных бетонов без добавок поверхностно-активных веществ (при одинаковых расходах цемента) во все сроки твердения.

где оно достигает 100—150%, и менее характерно для составов с высокими значениями В/Ц (порядка 0,70), где превышение ничтожно и может наблюдаться даже обратная картина, обусловленная нарушениями структуры бетона при испытаниях (при декомпрессии)

14 При правильном учете изменения водонепроницаемости бетона во времени представляется возможным при использовании воздухововлекающих добавок уменьшать расход цемента до 10—15% по сравнению с бетоном без добавок (при неизменной величине В/Ц и подвижности бетонной смеси) без снижения предъявляемых к бетону требований по водонепроницаемости (см примечание к п 10)

Таблица 2

Рекомендуемые ориентировочные коэффициенты для приближенного вычисления повышения водонепроницаемости бетонов в позднем возрасте при стандартных условиях твердения и испытаний (по ГОСТу 4800-59)

Вид цемента	28 дней	90 дней	180 дней	1 год
Портландцементы	1,00	2,0—3,0	3,0—4,0	3,0—4,0
Шлакопортландцементы . . .	1,00	3,0—4,0	4,0—5,0	5,0—6,0
Пуццолановые портландцементы	1,00	3,0—4,0	4,0—5,0	5,0—6,0

ПРИЛОЖЕНИЯ

В настоящем приложении даны результаты некоторых экспериментальных исследований, показывающих изменение прочности, водонепроницаемости и соотношения прочностей бетона с увеличением его возраста Эти данные являются иллюстрацией к приведенным в «Рекомендациях» положениям и, вместе с тем, показывают что изменение свойств бетона с его возрастом в значительной степени зависит от примененных материалов, условий твердения и др

Более подробные данные можно найти в литературе, список которой приведен ниже

Приложение 1

Сводная таблица

коэффициентов нарастания прочности бетонов на портландцементах при твердении во влажной среде, полученных в опытах различных авторов

Источники	3 дня	7 дн.	28 дн.	3 мес.	6 мес.	1 год	2 года	3 года	5 лет	11 лет	Примечание
Залигер, Л. 2	—	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	—	2,25	—	Среднее из многочисленных опытов с различными бетонами
Егоров, Л. 3	—	0,60	1,00	1,35	1,60	1,80	—	2,10	2,26	2,50	Активность цемента 142 *кГ/см²*
Корсак, Л. 4	0,35	0,60	1,00	—	1,60	1,80	1,80	2,0	—	—	Активность цемента 223 *кГ/см²*
То же	—	0,70	1,00	—	1,50	1,40	1,40	1,70	—	—	Активность цемента 337 *кГ/см²*
Столяров, Л. 5	—	0,70	1,00	1,21	—	1,34	1,49	—	—	1,68	По зарубежным данным
Мак-Милан, Л. 6	0,33	0,58	1,00	1,25	1,38	1,40	—	—	—	—	Среднее для бетонов на 32-х портландцементах

Приложение 2

Коэффициенты нарастания прочности бетона во времени

(по данным А. А. Гордеева [Л. 7])

Тип и марка цемента	Содержание в клинкере, %		Коэффициенты роста прочности бетона во времени			
	C_3S	C_3A	n_7	n_{28}	n_{90}	n_{180}
Портландцемент марок 400—500	50—60	10	0,70	1,00	1,07	1,13
Шлакопортландцемент марок 400—500	60—65	6	0,60	1,00	1,20	1,25
Портландцемент марок[1] 400—500	45—55	6	0,50	1,00	1,40	1,55
Пуццолановый портландцемент марки 400 с содержанием гидравлической добавки не более 25%	45—55	8	0,50	1,00	1,40	1,55
Шлакопортландцемент марок 300—400 с содержанием доменного гранулированного шлака 30—40%	45—55	8	0,50	1,00	1,50	1,65

[1] По техническим условиям на цемент для строительства Куйбышевского гидроузла.

Коэффициент нарастания прочности для портландцементов различного минералогического состава
(по данным Мак-Милана [Л 8])

Вид цемента	Прочность бетона в возрасте 1 мес, $кГ/см^2$	1 мес.	3 мес	6 мес	1 год	2 года	3 года	5 лет	10 лет	20 лет	30 лет
Белитовые	65	1,00	1,60	1,80	2,10	2,45	2,60	2,80	3,15	3,40	3,60
	100	1,00	1,40	1,60	1,90	2,00	2,20	2,40	2,60		
	120	1,00	1,50	1,80	2,00	2,30	2,50	2,70	2,70	3,00	3,30
	140	1,00	1,30	1,50	1,60	1,80	1,90	2,00	2,20		
	150	1,00	1,25	1,40	1,60	1,80	1,90	2,00	2,20		
Пределы колебаний			1,25—1,60	1,40—1,80	1,60—2,10	1,80—2,45	1,90—2,60	2,00—2,80	2,20—3,15	3,00—3,40	3,30—3,60
Алитовые	185	1,00	1,31	1,50	1,65	1,79	1,94	2,00	2,10		
	210	1,00	1,30	1,41	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,00	
	250	1,00	1,25	1,35	1,50	1,60	1,70	1,75			
	275	1,00	1,23	1,36	1,50	1,60	1,77	1,80			
	300	1,00	1,25	1,37	1,50	1,66	1,75	1,87	2,00	2,10	
Пределы колебаний			1,25—1,31	1,35—1,50	1,50—1,65	1,60—1,79	1,75—1,94	1,75—2,00	2,00—2,10	2,00—2,10	
Алюминатные	340	1,00	1,10	1,30	1,40	1,47	1,56	1,60			
	475	1,00	1,14	1,18	1,30	1,50	1,60	1,70			
Пределы колебаний			1,10—1,14	1,18—1,30	1,30—1,40	1,47—1,50	1,56—1,60	1,60—1,70			

Нарастание прочности бетона на различных цементах с течением времени
(по данным С. А. Миронова [Л. 9])

Наименование и активность вяжущего	Состав бетона В/Ц	Прочность на сжатие в *кГ/см²* через						
		1 день	3 дня	7 дней	28 дней	180 дней	1 год	2 года
Портландцемент активностью 459 *кГ/см²*	В/Ц=0,71	—	90 29	164 53	310 100	369 119	405 130	436 142
Портландцемент активностью 388 *кГ/см²*	1 : 2,48 : 4,05, В/Ц=0,72	—	54 27,5	108 55	198 100	248 125	—	—
Портландцемент активностью 300 *кГ/см²*	1 : 2,5 : 4,05, В/Ц=0,78	—	22 18,3	53 44	120 100	210 167	—	217 181
Портландцемент активностью 250 *кГ/см²*	1 : 2,5 : 4,05, В/Ц=0,78	11 10,3	20 18,7	53 49,5	107 100	168 157	215 201	244 228
Пуццолановый портландцемент, активностью 331 *кГ/см²*	1 : 2,48 : 4,05, В/Ц=0,72	13 8	50 31	93 58	161 100	223 138	263 163,3	—
Шлакопортландцемент активностью 200 *кГ/см²*	1 : 2,5 : 4,3, В/Ц=0,67	—	26,9 25	51,7 48	108,4 100	130 120,4	170 160	
Песчано-пуццолановый портландцемент активностью 395 *кГ/см²*		—	22 14,9	56 38	147 100	222 150	—	—

Примечание В числителе прочность в *кГ/см²*; в знаменателе—в процентах от R_{28}.

Приложение 5

Изменение соотношения прочностей во времени для растворов 1:3 жесткой консистенции на цементах различного химико-минералогического состава

(по данным Лаборатории бетона ВНИИГа)

Наименование цементов	Предел прочности, *кГ/см²*						Соотношение прочностей в % в возрасте		
	при растяжении в возрасте			при сжатии в возрасте					
	3 дня	7 дней	28 дней	3 дня	7 дней	28 дней	3 дня	7 дней	28 дней
Портландцемент завода Воровского . . . (C_3S—50%, C_2S—23%, C_3A—9%, C_4AF—15%)	23,5	23,6	28,1	314	385	508	7,5	6,1	5,5
То же „Спасского" завода . . . . . (C_3S—49%, C_2S—25%, C_3A—14%, C_4AF—9%)	24,2	24,5	31,3	247	390	496	9,8	6,3	6,3
То же „Чернореченского завода . . . . (C_3S—57%, C_2S—21%, C_3A—11%, C_4AF—12%)	25,5	28,0	27,0	258	387	468	9,9	7,2	5,8
Пуццолановый портландцемент „Спасского" завода . . . . . (*Кл:* C_3S—49%, C_2S—25%, C_3A—14%, C_4AF—9%)	22,4	37,7	50,6	105	217	362	21,3	17,3	14,0
То же „Кричевского" завода . . . . . (Кл: C_3S—49%, C_2S—25%, C_3A—8%, C_4AF—12%)	17,0	23,2	41,4	124	204	412	13,7	11,4	10,0
То же „Брянского" завода . . . . . (Кл: C_3S,—44% C_2S—33%, C_3A—7%, C_4AF—14%)	14,5	21,7	33,2	118	250	397	12,3	8,7	8,3

Примечание. Все цементы были испытаны в жестком растворе по ГОСТу 310-41

Нарастание водонепроницаемости бетонов различных составов во времени при твердении во влажной среде

(по данным Лаборатории бетона ВНИИГа)

Добавка поверхностно-активных веществ	В/Ц	Расход цемента, *кг/см³*	Водонепроницаемости в ати* при испытаниях в возрасте			
			28 дней	90 дней		1 год
			Основные образцы	Основные образцы (повторно)	Образцы-аналоги	Основные образцы (повторно)
Без добавки	0,50	348	4	15	11	16**
СНВ	0,47	345	7	16*	14	16**
ССБ	0,47	348	5	16*	13	16**
СНВ	0,50	326	5	16*	13	16**
ССБ	0,50	328	4	16	12	16**
Без добавки	0,60	300	4	16	12	16**
СНВ	0,54	298	5	16*	15	16**
ССБ	0,54	300	4	16	14	16**
СНВ	0,60	279	3	12,5	12	16***
ССБ	0,60	281	3	12,5	10	16***
Без добавки	0,70	272	1	3,5	5	5
СНВ	0,62	270	2	8	9	12
ССБ	0,62	272	2	9	8	11
СНВ	0,70	251	2	6,5	9	12
ССБ	0,70	254	1	4,5	4	6

* За характеристику водонепроницаемости принималось среднее давление воды в атмосферах, при котором была обнаружена фильтрация воды сквозь образцы. При этом из числа 6 образцов принимались во внимание 4 образца, обнаружившие наибольшую водонепроницаемость.

** Образцы сняты с прибора без признаков фильтрации.

*** Из шести образцов профильтровали только два.

Нарастание водонепроницаемости бетонов различных составов во времени при твердении в условиях медленного испарения воды из бетона

(по данным Лаборатории бетона ВНИИГа)

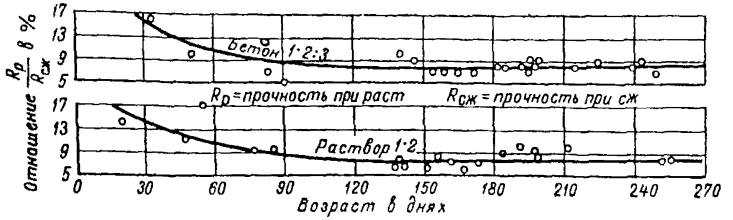
Добавка поверхностно-активных веществ	В/Ц	Расход цемента, *кг/м³*	Водонепроницаемость в % от 28-дневной при испытаниях в возрасте*		
			28 дней	180 дней	3 года
Без добавки	0,50	338	100	350	400**
СНВ	0,47	334	100	325	250
ССБ	0,47	334	100	350	350
СНВ	0,50	312	100	300	325
ССБ	0,50	316	100	275	350
Без добавки	0,60	284	100	—	400
СНВ	0,54	284	100	275	325
ССБ	0,54	284	100	300	425
СНВ	0,60	265	100	325	350
ССБ	0,60	264	100	300	400
Без добавки	0,70	245	100	400	425
СНВ	0,62	243	100	300	350
ССБ	0,62	245	100	250	375
СНВ	0,70	220	100	250	300
ССБ	0,70	220	100	—	350

* Для каждого состава бетона изменение водонепроницаемости устанавливалось путем последовательных повторных испытаний одних и тех же образцов бетона

** При давлении 15 *ати* из шести образцов профильтровали только два.

Приложение 8

Изменение соотношения прочностей $R_р/R_{сж}$ с возрастом бетона (раствора) [Л. 11]

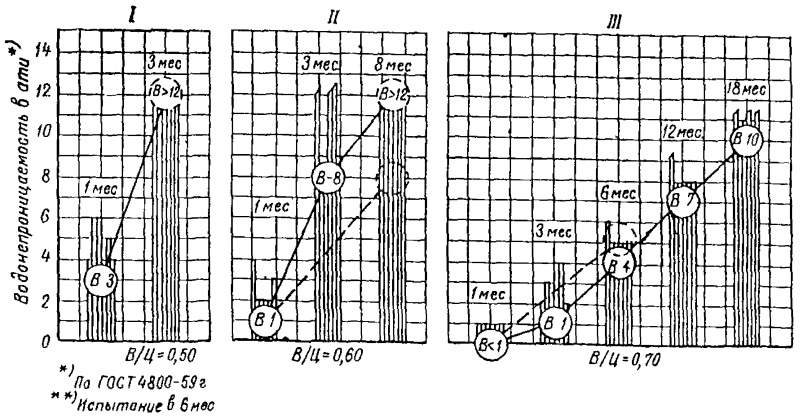


Приложение 9

Повышение водонепроницаемости с увеличением возраста бетонов на Красноярском шлакопортландцементе без добавок поверхностно-активных веществ

Образцы последовательно подвергались испытаниям в возрасте 1, 3, 6, 12 и 18 мес. Между испытаниями образцы находились во влажной среде по ГОСТу 4800-59

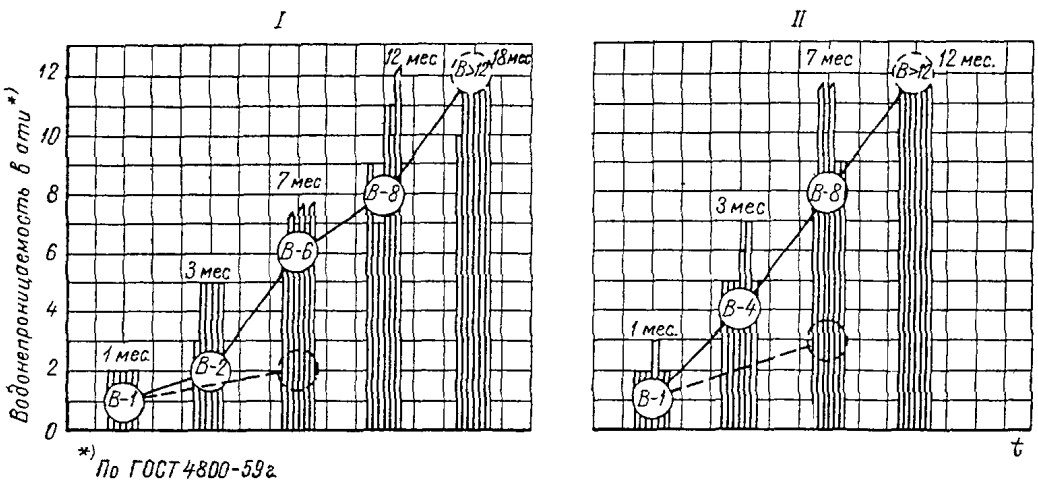
I — состав бетона 1 : 2,01 : 3,76; В/Ц = 0,50; Ц = 330 кг/м³
II — состав бетона 1 : 2,54 : 4,33; В/Ц = 0,60, Ц = 279 кг/м³
III — состав бетона 1 : 3,06 : 5,00; В/Ц = 0,70, Ц = 240 кг/м³



Повышение водонепроницаемости с увеличением возраста бетонов на пуццолановом портландцементе завода „Октябрь“ без добавок поверхностно-активных веществ

Образцы последовательно подвергались испытаниям в возрасте 1, 3, 7, 12 и 18 мес. Между испытаниями образцы находились во влажной среде по ГОСТу 4800-59.

I — состав бетона 1 : 1,88 : 3,49; В/Ц = 0,50; Ц = 350 *кг/м*³
II — состав бетона 1 : 2,46 : 4,20; В/Ц = 0,60, Ц = 287 *кг/м*³



Приложение 11

Зависимости водонепроницаемости бетона от возраста

(по данным А. А. Гордеева [Л. 7])

Тип цемента	Активность цемента, *кГ/см²*	Крупный заполнитель	В/Ц	Водонепроницаемость бетона в возрасте	
				28 дней	180 дней
Пуццолановый портландцемент	428	Щебень из известняка Березовского месторождения (Саратовская обл.)	0,68	В-3	**В-8**
		Щебень из известняка месторождения „Яблоновый овраг" (Куйбышевская обл.)	0,68	В-3	**В-8**
		Щебень из песчаника Хвалынского месторождения (Саратовская обл.)	0,68	В-1	**В-8**
Шлакопортландцемент	374	То же	0,59	В-2	В-8
Шлакопортландцемент	319	Щебень из известняка Березовского месторождения	0,59	В-0	**В-7**
Портландцемент . .	468	То же	0,59	В-2	В-8
		Щебень из известняка месторождения „Яблоновый овраг"	0,59	В-2	**В-8**
		Щебень из песчаника Хвалынского месторождения	0,59	В-2	**В-8**
		Щебень из песчаника Богдановского месторождения (Ростовская обл.)	0,53	В-4	**В-8**

Примечание. Марки бетона по водонепроницаемости устанавливались на основании результатов испытаний, проведенных по стандартной методике ГОСТа 4800-59.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Стольников В В, Губарь А С, Судаков В Б, Влияние возраста бетона на его основные технические свойства, Госэнергоиздат, 1960

2 Залигер Р, Железобетон, Госиздат, 1929

3 Егоров И И, Нарастание прочности бетона при длительных сроках твердения, Вестник ВИА им Куйбышева, вып 56, 1950

4 Иохельсон Я Е, Корсак Н Г, Саталкин А В, Тарасов П В, Физико механические свойства бетона, Госстройиздат, 1939

5 Столяров Я В, Введение в теорию железобетона, Стройиздат, 1941

6 Мак Миллан Ф Р, Основные принципы приготовления бетона, ОНТИ, 1935

7 Гордеев А А, Проектирование марок гидротехнического бетона на сроки фактического загружения сооружений, «Гидротехническое строительство», 1961, № 3

8 Мак-Миллан Ф Р и др, Исследование долговечности цементов в бетоне Серия статей в Journal of the ACI, 1947 — 1949

9 Миронов С А, Теория и методы зимнего бетонирования, Стройиздат, 1950

10 Стольников В В, Губарь А С, Судаков В Б, Влияние возраста гидротехнических бетонов на их основные свойства, Известия ВНИИГ, т 64, 1960

11 Jonson A N, Test of Concrete in Tension, „Public Roads", № 12, 1929

12 Стольников В В, Губарь А С, Судаков В Б, Влияние возраста бетона на величину соотношения между прочностью на растяжение и сжатие, «Бетон и железобетон», 1959, № 9

13 Ruettgers A, Vidal E, Wind S, Исследование водонепроницаемости массивного бетона в связи с постройкой плотины Боулдер, Journal of the ACI vol 31, № 4, 1935

14 Вербецкий Г П, Водонепроницаемость бетонов сухого хранения, «Гидротехническое строительство», 1953, № 3

15 Стольников В В, Исследования по гидротехническому бетону, Госэнергоиздат, 1962

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	5
1. Общие положения	6
2. Изменение во времени прочности бетона на сжатие	8
3. Изменение во времени соотношения прочностей бетона на растяжение и сжатие ($R_р/R_{сж}$)	12
4. Изменение во времени водонепроницаемости бетонов	14
Приложения	17
Рекомендуемая литература	28

gost.e-ecolog.ru