

## ЗАВИСИМОСТЬ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА ОТ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ

*Джуракулов М.Р., Акрамов А.А.*

*Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими*

**Аннотация.** В статье приведены рекомендации для достижения наилучших результатов по каждому из перечисленных пунктов. Отмечено, что сопротивление бетона деструкции будет тем активнее, чем выше его непроницаемость, на которую влияет величина открытой пористости и размер пор. Показано, что низкая морозостойкость еще одна причина недостаточной долговечности бетона и железобетона.

**Ключевые слова:** бетон, водонепроницаемость, долговечность, морозостойкость.

В современных условиях одними из основных конструкционных материалов для изготовления промышленных, гражданских и транспортных сооружений являются бетон и железобетон. Бетоны, имеющие по сравнению с обычно используемыми в строительной практике улучшенные эксплуатационные и прочностные свойства, часто называют высокофункциональными бетонами. Такие бетоны имеют повышенные водонепроницаемость ( $W 10—12$ ), морозостойкость ( $F300—600$ ) и другие эксплуатационные свойства и находят все большее применение. Это связано с тем, что долговечность бетона определяется его способностью противостоять как внешним (атмосферным), так и внутренним (химическим и физическим реакциям) воздействиям.

Следовательно, одним из важнейших факторов, определяющих долговечность бетона, является его водонепроницаемость. Другим фактором, определяющим способность бетона противостоять деструктивным процессам, является морозостойкость, т.е. способность противостоять циклам попеременного замораживания и оттаивания в водонасыщенном состоянии. Морозостойкость и водоне-

проницаемость хотя и имеют существенные особенности, во многом зависят от одних и тех же параметров бетона.

Как известно, под водонепроницаемостью бетонов понимают их способность не пропускать через свою толщу воду или водные растворы различных веществ. При этом абсолютно водонепроницаемым бетон может стать только при полной гидроизоляции его поверхности со стороны прилагаемого давления жидкости. Это связано с тем, что фильтрация воды через бетон и цементный камень происходит не только при больших избыточных давлениях жидкости ( $0,1—1$  МПа), но и при очень малых (до  $0,1$  Па) [1]. В связи с этим в [1] отмечено, что практически водонепроницаем такой бетон, у которого скорость внешней диффузии (испарений с поверхности) превосходит скорость внутренней (подвод воды поверхности). С таких позиций получение практически водонепроницаемого бетона становится технически возможным и практически осуществимым. Водонепроницаемость бетона обусловлена тем, что бетон является капиллярно-пористым телом, в котором капилляры образуют взаимосвязанную систему, проникаемую для

жидкостей, в частности воды. При твердении уложенного бетона вследствие гидратации цемента проницаемость бетона

резко уменьшается, так как уменьшается общая пористость, а самое главное, система пор становится дискретной.

Таблица 1.

## Морозостойкость полностью водонасыщенных бетонов

№ серии	Величина В/Ц	Коэффициент морозостойкости после числа циклов			
		1	3	5	10
1	0,4	0,9	0,7	0,54	0,41
2	0,45	0,8	0,7	0,45	0,33
3	0,5	0,72	0,65	0,42	0,25
4	0,55	0,65	0,6	0,4	0,25

Как правило, увеличение общей пористости бетона приводит к снижению его водонепроницаемости, однако ее влияние не является столь простым и однозначным, так как большое влияние на водонепроницаемость оказывают величина открытой (или интегральной) пористости  $P_o$  и размер этих пор (распределение пор по радиусам).

Чем выше степень гидратации цемента  $a$ , тем больше степень разобщения порового пространства цементного камня. Следовательно, в процессе твердения часть открытой пористости, разобщаясь продуктами твердения цемента (цементным гелем), переходит в замкнутую, т.е. образуется замкнутая пористость  $P_z$ . Таким образом, повышение  $a$  снижает общую и интегральную пористость, увеличивает замкнутую и, как следствие, повышает водонепроницаемость бетона. Кроме того, продукты гидратации цемента, заполняя поровое пространство цементного камня, уменьшают средний радиус капилляров, так как объем продуктов гидратации-цементного геля примерно в 2,1 раза больше объема цемента, вступившего в реакцию, что также способствует увеличению водонепроницаемости.

Вторым важнейшим фактором, определяющим водонепроницаемость бетона, является величина водоцементного отношения В/Ц. Водонепроницаемость цементного камня при значении В/Ц до

0,4 близка к нулю; при В/Ц=0,45 коэффициент фильтрации равен 3-10-12 см/с; при возрастании В/Ц более 0,45 водонепроницаемость резко снижается; при В/Ц=0,7 коэффициент фильтрации достигает значений 1,2·10-10 см/с. Это объясняется следующим. Как известно, величина общей пористости бетона  $P_o$  (в %) описывается уравнением [2]:

$$P_o = \frac{C}{10} \frac{V}{C} - 0,23 - a + (1 - b) - 100, \quad (1)$$

где  $V$  и  $C$  – расходы воды и цемента в кг на 1 м<sup>3</sup> бетона соответственно;  $b$  – степень уплотнения бетонной смеси.

Из уравнения (1) следует, что при постоянном расходе цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона и  $a$ , общая пористость является функцией величины В/Ц, следовательно, при увеличении В/Ц возрастает  $P_o$  и снижается водонепроницаемость бетона. В то же время увеличение расхода цемента свыше 350-400 кг/м<sup>3</sup> бетона при постоянном значении В/Ц увеличивает общую пористость и снижает водонепроницаемость бетона. Также с увеличением расхода цемента снижается трещиностойкость цементного камня, особенно после термовлажностной обработки (ТВО), и в процессе эксплуатации бетона появляются усадочные трещины, которые повышают общую и интегральную пористость, что снижает водонепроницаемость и морозостойкость бетона.

Напряжения, возникающие при этом в бетоне, столь велики, что должны раз-

рушить цементный камень, если все поры в бетоне заполнены жидкостью. Это подтверждают проведенные автором исследования. Были изготовлены четыре серии бетонных образцов размером 10x10x10 см, приготовленных из бетонной смеси состава Ц:П:Щ=1:2:3 при различных В/Ц. Часть образцов после твердения 28 сут в воде насыщалась водой под вакуумом, а затем образцы испытывались на морозостойкость по основному методу ГОСТ 10060-95. Оставшиеся образцы твердели все время до испытаний в воде (табл. 1). Как следует из полученных результатов,

коэффициент морозостойкости, равный отношению прочности образцов после испытаний на морозостойкость к прочности водонасыщенных образцов, уже после первого цикла испытаний составляет 0,8-0,9, а после трех циклов снижается до 0,65-0,7, т. е. бетон считается не выдержавшим испытание на морозостойкость уже после трех циклов испытаний. При этом происходит значительное снижение массы образцов. Особенно существенно снижение прочности у бетонов, имеющих В/Ц более 0,4, а с увеличением В/Ц снижение прочности идет более интенсивно.

Таблица 2.

Морозостойкость бетонов

Состав добавки, % массы цемента	Коэффициент морозостойкости при числе циклов замораживания-оттаивания				
	50	100	200	250	300
Без добавок	0,9	0,85	0,75	0,65	0,51
0,01	0,89	0,75	0,62	0,55	-

Как показывают результаты многих исследований [3,4], образование контракционных пор начинается через небольшой промежуток времени после начала затворения цемента водой. При этом контракция проявляется тем в большей степени, чем ниже В/Ц и быстрее формируется жесткий каркас цементного камня. Более быстрое формирование жесткого каркаса будет происходить при надлежащем химико-минералогическом составе цемента, при введении специальных добавок, способствующих образованию и росту кристаллических образований.

Жидкость, перемещающаяся в резервные поры под действием кристаллов льда, не будет вызывать появления гидростатического давления до тех пор, пока все резервные поры не будут ею заполнены.

Кроме резервных пор, образовавшихся вследствие контракции, в бетоне могут возникать условно замкнутые поры, образующиеся от воздухововлечения в бетонную смесь. Такие поры могут выпол-

нять функцию резервных пор, если со всех сторон окружены порами геля; в противном случае эти поры становятся открытыми, при погружении бетона в жидкость они обводняются и, естественно, снижают морозостойкость бетона.

Автором проведены экспериментальные исследования, которые подтверждают вышесказанное. Бетонные образцы размером 10x10x10 см были изготовлены из бетонной смеси состава Ц:П:Щ=1:2:3 при В/Ц=0,7. Образцы первой серии не имели добавок, а образцы второй серии содержали добавку СНВ в количестве 0,01% массы цемента. Результаты по определениям морозостойкости, проведенные по основному методу ГОСТ 10060-95, приведены в табл. 2.

Как следует из приведенных данных, введение воздухововлекающих добавок в бетон, имеющий В/Ц=0,7, не только не повысило морозостойкость, но и привело к существенному снижению. Это объясняется тем, что поры, образовавшиеся от

введения СНВ, при таком большом В/Ц не блокированы цементным гелем и увеличивают не условно замкнутую, а открытую пористость бетона. Как показывают расчеты и эксперименты [4], повышение морозостойкости путем введения воздуховлекающих добавок может быть эффективным только для бетонов, имеющих В/Ц не более 0,62.

На величину морозостойкости бетонов оказывает влияние целый ряд факторов, однако, как видно из вышесказанного, основным, определяющим является соотношение между объемами условно замкнутых  $P_{у,з}$  и интегральных  $\Pi$  пор. Таким определяющим параметром является критерий морозостойкости  $K_{мрз}$ , который описывается уравнением [4]:

$$K_{мрз} = P_{у,з} / 0,09 \cdot \Pi. \quad (2)$$

Проведенными исследованиями [4] установлено, что между морозостойкостью бетонов и критерием морозостойкости существует тесная корреляционная связь, в связи с чем этот критерий может использоваться для прогнозирования и ускоренного определения морозостойкости.

В связи с тем, что для получения долговечных бетонов необходимо обеспечение одновременно высоких водонепроницаемости и морозостойкости, оптимальным представляется ограничение величин  $C_3A < 7\%$  и удельной поверхности цемента до 350 м<sup>2</sup>/кг.

Одним из путей повышения водонепроницаемости, морозостойкости и прочности бетонов является использование смешанных вяжущих с суперпластификаторами нового поколения и наполнителями [6-11].

При подборе состава морозостойкого бетона в первую очередь необходимо решить вопрос о правильном назначении проектной (нормативной) морозостойкости. Такой вопрос связан с тем, что бетон, имеющий проектную (часто довольно высокую) морозостойкость, во многих со-

ружениях разрушается задолго до конца проектного срока их эксплуатации. К сожалению, до настоящего времени не существует единой методики назначения морозостойкости, в связи с чем различными СНиПами для одних и тех же условий предъявляются различные требования по морозостойкости бетона.

Для назначения проектной морозостойкости  $M'_{рз}$  можно воспользоваться формулой [4]:

$$M_{Нз} = ГНДЗ, \quad (3)$$

где Г-нормативный срок службы сооружения, годы; Н-нормативное (расчетное) число циклов в год; Д-коэффициент суровости условий эксплуатации сооружения; З-коэффициент условий работы бетона.

Перед подбором состава бетона на заданную морозостойкость необходимо провести прогнозирование возможности ее получения. Для этого можно воспользоваться зависимостью  $M_{рз} = f(K_{мрз})$  [4] и определить требуемую величину  $K_{мрз}$  по нормативной морозостойкости. Значение  $K_{мрз}$ , полученной по этой зависимости, сравнивают с величиной  $K_{мрз}$ , полученной по формуле (2). В этом случае величины  $P_{у,з}$  и  $\Pi$  определяют расчетным путем. Если расчеты покажут, что требуемая морозостойкость бетона на данных материалах и применяемой технологии не может быть получена, то уже на этой стадии необходимо ввести необходимые коррективы в состав бетона и технологию его приготовления. На этой стадии подбора состав бетона можно рассчитать по формуле (4). Минимальный расход цемента  $\Pi_{мин}$  для получения требуемой нормативной морозостойкости  $M_{нрз}$ , определенной по формуле (3):

$$\Pi_{мин} = K_{мрз} [B + (1-B)1000] [a(0,27K_{мрз} + 0,46)]. \quad (4)$$

Подбор состава бетона на требуемую морозостойкость начинают с определения максимального значения В/Ц, при котором будет обеспечена  $M_{рз}$  по формуле (3) из выражения  $V/C = 0,456a/K_{мрз} + 0,27/a$ , и

сравнения полученного значения с максимальной величиной В/Ц, обеспечивающей получение требуемого класса бетона по прочности. Из полученных значений В/Ц выбирают наименьшее и его принимают для дальнейших расчетов. Далее подбор состава бетона ведут методом построения зависимости удобоукладываемости от раздвижки зерен песка цементным тестом

Плавное нарастание прочности твердеющим бетоном и значительно меньшее негативное влияние ТВО при мягких режимах позволяют избежать появления в бетонах термических напряжений, кристаллизационного давления растущих новообразований, возникновения микродефектов, являющихся концентраторами напряжений и зародышами будущих трещин. Кроме того, применение этой технологии позволяет экономить до 20% цемента, что дает не только ощутимый экономический эффект, но и позволяет снизить пористость бетона. А это, в свою очередь, повышает: стойкость бетонов к попеременному увлажнению и высушиванию, водонепроницаемость, водостойкость и морозостойкость бетонов.

Большое влияние на долговечность сооружений оказывает технология изготовления изделий и конструкций.

Морозостойкость затвердевшего бетона может быть оперативно оценена ускоренным способом с помощью критерия  $K_{мрз}$ . При этом обеспечивается высокая корреляция между морозостойкостью, определенной по методу ГОСТ, и морозостойкостью по критерию  $K_{мрз}$  (коэффициент корреляции находится в пределах 85-98%). Этот способ, разработанный специалистами МИИТа, позволяет прогнозировать морозостойкость бетонов как без добавок, так и бетонов с добавками, когда температура замораживания достигает  $-50^{\circ}\text{C}$ , т.е. в том случае, когда практически вся поровая жидкость бетона при его замораживании переходит в лед [4].

Исследования проводились на образцах размером  $10 \times 10 \times 10$  см, изготовленных из бетонных смесей состава Ц:П:Щ=1:2,5:3 при В/Ц=0,55.

Экспериментальные исследования показали, что эффективность и периодичность вакуумирования зависят от начальной морозостойкости бетонов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что оптимальным временем вакуумирования является 0,25-1 ч, а разряжением - остаточное давление 0,01 МПа. Такой способ ухода за бетоном позволяет значительно увеличить его морозостойкость и повысить долговечность транспортных конструкций и сооружений.

#### **Вывод:**

Изложенные пути и способы повышения долговечности бетонов позволяют изготавливать конструкции и возводить сооружения, которые могут эксплуатироваться расчетные сроки без ремонтов и восстановления и при относительно невысоких расходах на их содержание. При этом необходимо отметить, что долговечность бетонов может быть существенно повышена только при условии выполнения всего комплекса мероприятий, описанных выше, в направлении состав - структура - свойства, начиная с обоснованного назначения проектных требований к бетону, включая правильный выбор материалов для его приготовления, подбор состава бетонной смеси на заданные свойства, технологию приготовления, укладки, уплотнения, и заканчивая уходом за бетоном в процессе его активного твердения и эксплуатации.

#### **Литература**

1. Мощанский Н.А. Плотность и стойкость бетонов. М.: Госстройиздат, 1951. 251 с.
2. Шейкин А.Е. Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1988. 432 с.
3. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. Л.: Стройиздат, 1983. 132 с.

4. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. Л.: Стройиздат, 1989. 128 с.
5. Беркман А. С., Мельникова Е. Г. Структура и морозостойкость стеновых материалов. - М.: Госстройиздат, 1962. - 165 с.
6. Barrer R. M. 1953. A new approach to gas flow in capillary systems // J. Phys. Chem. - 1953. - Vol. 57. - P. 35.
7. Шарифов А., Умаров У.Х., Камолов Г., Саидов Д.Х., Хокиев М.К. Регулятор процесса схватывания неорганических вяжущих веществ. - Вестник Таджикского технического университета им. акад. М. Осими, 2010, №2(10), с.50-54.
8. Шарифов А., Умаров У.Х., Акрамов А.А. Отходы хлопчатника эффективные добавки для модифицирования наполненных гипсовых вяжущих. - Сухие строительные смеси, 2012, №2, с.31-33.
9. Шарифов А., Умаров У.Х., Акрамов А.А. Повышение прочности и снижение водопоглощения гипсобетона минерально-химическими добавками. - Технологии бетонов, 2012, №1-2, с.68-69.
10. Шарифов А., Акрамов А.А., Сайрахонов Р.Х., Камолов С.Г. Влияние декстрина на водонепроницаемость и морозостойкость бетона на цементно-воластонитовых вяжущих Вестник Таджикского технического университета, серия 1(21), Душанбе: «Шинос», 2013. - С.49 – 52..
11. Шарифов А., Акрамов А.А. Назиров Я.Г., Муминов А.К. Прочность и деформативность бетонов с добавкой щелочного экстракта стеблей хлопчатника. Известия АН Республики Таджикистан, №4 (153), Душанбе: «Дониш», 2013. - С. 106–112..
12. Шарифов А., Акрамов А.А. Назиров Я.Г., Муминов А.К. Щелочный экстракт стеблей хлопчатника – регулятор свойств строительного гипса. Доклады АН Республики Таджикистан, Т.57, №11-12-, Душанбе: «Дониш», 2014. - С. 860-863.

## АЛОҚАМАНДИИ ПУРДОШТИИ БЕТОН АЗ ОБНОГУЗАРӢ

*Чуракулов М.Р., Акрамов А.А.*

*Аннотатсия. Ин мақола барои ба даст овардани натиҷаҳои беҳтарин барои ҳар як ҷузъи номбаршуда тавсияҳо медиҳад. Қайд карда мешавад, ки муқовимати бетон ба харобкорӣ фаъолтар хоҳад буд, ҳамон қадаре, ки обногузарии он баландтар мешавад, ба он арзиши сӯрохии кушода ва андозаи пораҳо таъсир мерасонад. Нишон дода шудааст, ки муқовимати пасти сардиҳо сабаби дигари нокифоя будани устувории бетон ва оҳанубетонӣ мебошад.*

*Калидвожаҳо: бетон, обнагузаронӣ, дарозмӯҳлатӣ, ба хунуки тобоварӣ,*

## DEPENDENCE OF CONCRETE DURABILITY ON ITS WATERPROOFNESS

*Dzhurakulov M.R., Akramov A.A.*

*Annotation. The article recommendations for achieving the best results for each of listed items are presented. It is noted that the concrete resistance to destruction will be*

*more active, the higher its impermeability, which is affected by the value of the open porosity and sizes of pores. It is shown that the low frost resistance is another reason for insufficient durability of concrete and reinforced concrete. Reasons and mechanism of formation of various types of pores (reserve, contraction, closed, conditionally closed, open) are considered in details.*

**Keywords:** concrete, waterproof, durability, frost resistance.

**Сведения об авторах:** Джуракулов Муродали Рахатович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры «Материалы, технология и организация производства» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими, E-mail: murodali1969@gmail.ru, тел.: (+992) 918 69 50 40; Акрамов Авазжон Абдуллоевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими, E-mail: akramov.avaz@mail.ru, тел.: (+992) 935 33 22 33.

УДК 536.421.1: 620.91

## НОВЫЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬ

*Саттаров С.А.*

*Джиззакский политехнический институт, Узбекистан*

---

**Аннотация:** в статье произведена оценка части солнечной энергии при пиковых часах солнечной инсоляции, которую целесообразно перевести в тепловую энергию РСМ – материалов для сокращения теплопотерь при выбросах пара и остывании после захода солнца. Проанализировано размещение контейнеров с РСМ материалом как внутри вакуумных трубок, так и в объеме основного бака. Сделаны соответствующие выводы по эксплуатации РСМ – материалов.

**Ключевые слова:** солнечный водонагреватель, РСМ – материалы, тепловой баланс.

**Введение.** Любая человеческая деятельность требует энергии в той или иной форме. Потребность в энергии увеличивается день ото дня с каждым техническим достижением в различных областях. Постоянно растущая потребность в энергии приводит к интенсивному использованию невозобновляемых ресурсов, которые, к сожалению, ограничены. Поэтому, в настоящее время возникла сильная потребность в поиске альтернативных источников энергии, и эта потребность может быть удовлетворена за счет возобновляемых источников энергии. Проблема всех

возобновляемых источников энергии в неравномерности выработки энергии и жесткой зависимости от природных условий. Солнечные водонагревательные установки (СВУ) здесь не исключение. В части применения даже самых эффективных солнечных водонагревателей [1] (рис.1) имеется общая для всех типов проблема- остывание теплоносителя ночью и интенсивное испарение или даже выкипание в полдень. Другими словами, актуальность проблемы заключается в следующем: