

О ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ БЕТОНА

Алексей ДИДЕВИЧ, обозреватель

Как известно, бетон является самым распространенным строительным материалом на планете. При этом большинство сооружений, предполагающих контакт с водой, выполняют именно из бетона. Так что одним из немаловажных свойств бетона (наряду с прочностью, морозо- и трещиностойкостью, некоторыми другими характеристиками) является его водонепроницаемость.

Сразу скажу, что не претендую на строгую научность этого «исследования», но лишь стараюсь немного разобраться в понятиях и определениях и надеюсь, что эта статья все же чем-то поможет некоторым начинающим бетоноведам и/или практикам. К слову, само понятие «водонепроницаемость» у некоторых исследователей, например у Тюльнина В.А. и Котляровой Н.Б., звучит как «водопроницаемость» [1], что, по-видимому, все-таки не одно и то же. Дело в том, что, например, W4, W6, W8 и т.д. применительно к марке бетона означают именно его водоНЕпроницаемость. Термин же «водопроницаемость», наверное, стоит понимать как противоположность водонепроницаемости, когда при помощи специальных добавок бетон из гидрофильного становится гидрофобным материалом. Между тем в специальной научной литературе встречаются также «водостойкость», «водоустойчивость», а в некоторых источниках – даже «водоупорность» и «вагопроводность» бетона (правда, последнее больше применимо к газобетону).

Вообще, водонепроницаемость бетона – это способность данного типа материала не пропускать воду под определенным давлением. Гидрофобность бетонной смеси может быть оценена коэффициентом фильтрации, учитывая который, и определяется марка бетона по водонепроницаемости.

Марка (или коэффициент) водонепроницаемости обозначается буквой «W»; сегодня существуют марки от W2 до W20. При этом цифровая часть обозначения показывает величину рабочего давления в кгс/см², при котором испытываемые образцы не будут пропускать воду.

Методы определения водонепроницаемости по ГОСТ 12730.5-84

Первый метод – по «мокрому пятну». При этом заливают стандартного размера (15x15 см) образцы-кубики. Метод основан на измерении максимального давления, при котором через образец не просачивается вода. Для выполнения испытания применяют специальную установку, которая имеет не меньше 6 гнезд и сможет обеспечить возможность подвода воды к нижней торцевой поверхности образцов при



увеличении давления, а также дает возможность визуального наблюдения за верхней частью образца.

Второй метод – по величине коэффициента фильтрации. Он основан на определении коэффициента фильтрации при постоянном давлении по измеренному количеству фильтрата и времени фильтрации. Для выполнения испытания используют установку для расчета коэффициента фильтрации с пробным давлением 1,3 МПа, цилиндрические формы диаметром 150 мм и высотой 30–150 мм, технические весы и силикагель.

Данным ГОСТом предусмотрены и ускоренные методы определения водонепроницаемости бетона, например метод определения водонепроницаемости бетона по его воздухопроницаемости.

В связи с тем что обычные методы испытания занимают достаточно много времени (к примеру, испытание бетона марки W8 «по мокрому пятну» длится около недели), на практике нередко применяют ускоренные методы определения водонепроницаемости.

Марки бетона по водонепроницаемости по ГОСТ 26633-2012

Для бетонов конструкций, к которым предъявляются требования ограничения проницаемости, устанавливают следующие марки по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18, W20.

Марка бетона по водонепроницаемости соответствует максимальному значению давления воды (МПа·10⁻¹), выдерживаемому бетонным образцом-цилиндром высотой 150 мм в условиях стандартного испытания (например, бетон марки W4 при стандартном испытании не должен пропускать воду при давлении 0,4 МПа=4 атм.).

На водонепроницаемость бетона напрямую влияют следующие факторы.

1. *Вид вяжущего.* Максимальная водонепроницаемость материала обеспечивается благодаря использованию порландцемента, пуццоланового, пластифицированного, гидрофобного и сульфатостойкого цементов.

2. *Содержание в смеси специальных химдобавок.* Существуют следующие добавки для водонепроницаемости бетона: уплотнители для увеличения плотности камня и снижения уровня его пористости (нитрат кальция, хлорное железо, силикат натрия и силикат калия), гидрофобные присадки (эмульсии на основе битума, церезит), разбухающие наполнители (бентонит), гидрофобизирующие элементы (гидрофобизаторы кремнийорганические, олеат натрия).

3. *Структура пор полученного строительного материала.* При уменьшении количества пор показатель водоустойчивости повышается. Обеспечить это можно путем введения в состав смеси определенных заполнителей — гравия осадочных пород различных фракций, речного или кварцевого песка, щебня.

Стоит отметить, что недостаточная водостойкость малоцементных или вовсе бесцементных (иногда встречаются и такие) бетонов обусловлена, к примеру, большой гидрофильностью гипса, нередко используемого в качестве вяжущего в бесцементном варианте [2]. Кстати, и обычный, цементный бетон тоже гидрофилен по своей природе.

Негативное влияние воды во всех ее агрегатных состояниях (водяной пар, вода, лед) вредно сказывается на сохранности бетона на всем протяжении его работы в сооружениях. Исключить или хотя бы значительно минимизировать это влияние можно только уменьшением поступления влаги в толщу бетона. Т.к. главной транспортной артерией поступления воды в бетон являются капиллярные ходы, бороться с водонасыщением бетона очень сложно. Капиллярные силы настолько сильны, что многие наружные защитные «обмазки» зачастую малоэффективны — рано или поздно вода находит себе путь.

Против капиллярных сил практически невозможно бороться, но, оказывается, их можно попросту «выключить». Для этого достаточно изначально придать гидрофобные свойства гидрофильным внутренним стенкам пор и капилляров, пронизывающих все тело бетона. Это с успехом делают гидрофобизирующие добавки (см. рис. 1 и 2).

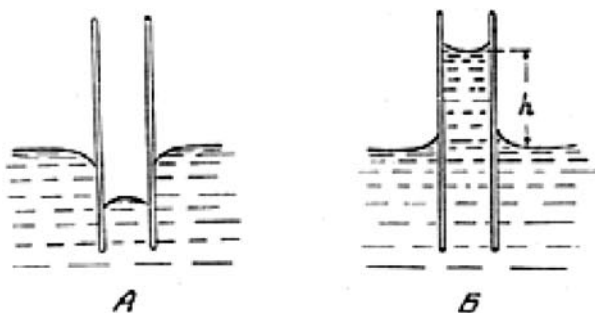


Рисунок 1. Уровень воды в гидрофобном (а) и гидрофильном (б) капиллярах

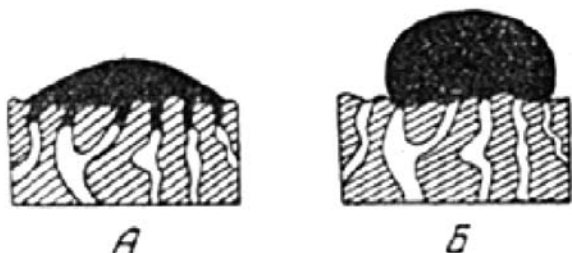


Рисунок 2. Вода на поверхности гидрофильного (а) и гидрофобного (б) пористого тела



Противокапиллярное давление гидрофобизированного пористого тела достаточно велико, и сам факт его существования подтверждает правильность часто употребляемого в этом случае термина «водоотталкивающее покрытие». И хотя в данном контексте он с терминологической точки зрения неверен (ведь никакого покрытия, по сути, нет), с физической стороны отражает сущность происходящих явлений.

Именно благодаря этому противокапиллярному давлению пористые (равно как и условно-пористые) материалы, оставаясь воздухо- и паропроницаемыми, оказываются непроницаемыми для воды в жидкой фазе даже при достаточно высоких гидростатических давлениях.

Давление, при котором вода начинает просачиваться в гидрофобизованные материалы (водоупорность), определяется в основном шириной пор, так как существующие водоотталкивающие покрытия имеют примерно одинаковую степень гидрофобности. Так, например, гидрофобизованный материал, имеющий поры со средним диаметром около 10 микрон, способен противостоять гидростатическому давлению около 1/3 атмосферы, т.е. выдерживать, не впитывая в себя, столб воды высотой до 3 м. Между прочим, самый сильный ливень, да еще при ураганном ветре создает гидростатическое давление всего лишь 0,2-0,4 м водяного столба, так что даже при таких условиях гидрофобизация вполне надежно защищает строительные материалы от проникновения в них дождевой влаги. Тем не менее, если гидростатическое давление воды на материал превышает противокапиллярное (например, при нахождении над поверхностью гидрофобизованного материала толстого слоя воды), то после заполнения пор водой происходит процесс фильтрации, который может идти даже легче, т.е. с меньшим коэффициентом проницаемости, чем если бы материал был гидрофильным. Это обусловлено тем, что гидрофильные материалы сорбируют воду, проникающую в мельчайшие дефекты поверхности пор. Это вызывает явления набухания, сокращающего размеры пор, а также пептизации и расклинивания, в результате которых от поверхности отщепляются малые частицы, закупоривающие поры. У гидрофобных материалов эти эффекты проявляются лишь в незначительной степени или не обнаруживаются вовсе.

Таблица 1. Прямые и косвенные показатели проницаемости бетона

Условные обозначения	Показатели проницаемости бетона			
	прямые		косвенные	
	марка бетона по водонепроницаемости	коэффициент фильтрации, см/с (при равновесной влажности), Кф	водопоглощение, % по массе	водоцементное отношение, В/Ц, не более
Н – бетон нормальной проницаемости	W4	св. $2 \cdot 10^{-9}$ до $7 \cdot 10^{-9}$	св. 4,7 до 5,7	0,6
П – бетон пониженной проницаемости	W6	св. $6 \cdot 10^{-10}$ до $2 \cdot 10^{-9}$	св. 4,2 до 4,7	0,55
О – бетон особо низкой проницаемости	W8 и выше	св. $1 \cdot 10^{-10}$ до $6 \cdot 10^{-10}$	до 4,2	0,45

Итак, водонепроницаемость – способность бетона не пропускать воду под давлением (давление повышают постепенно, ступенчато, до достижения определенной величины).

Проницаемость бетона, как отмечалось выше, оценивается маркой бетона по водонепроницаемости или коэффициентом фильтрации (прямыми показателями), а также водопоглощением бетона и водоцементным отношением (косвенными показателями), которые являются дополнительными и ориентировочными (см. табл. 1).

Будучи капиллярно-пористым телом, обычный бетон (а при наличии значительного давления – даже ультравысокопрочный) проницаем для воды. Водонепроницаемость бетона зависит от множества факторов, среди которых основными являются степень и характер пористости материала. Чем более плотный бетон, чем меньше количество и объем пор в нем, тем выше его водонепроницаемость. Необходимая уплотненность бетона достигается хорошим перемешиванием и тщательной вибрацией.

Химическая реакция клинкерных составляющих цемента с водой, которая происходит в бетоне во время набора им прочности, называется реакцией гидратации, продолжающейся в течение длительного периода времени.

Чтобы обеспечить как можно более полную гидратацию цементных частиц, количество присутствующей воды должно быть на уровне 40% от массы цемента, что соответствует водоцементному отношению 0,4. Иными словами,

для получения бетона с высокой водонепроницаемостью количество воды затворения должно быть минимизировано (величину В/Ц=0,4 считают «оптимальной»). При этом химически связывается только 60% исходной воды, что соответствует В/Ц=0,25. Итак, для гидратации цемента теоретически достаточно В/Ц=0,25, однако при этом резко возрастает жесткость бетона, поэтому на практике используют В/Ц около 0,5, что обеспечивает бетонной смеси большее время транспортировки и хорошую укладываемость.

Вода, не вступившая в реакцию гидратации цемента, после высыхания образует в бетоне большое количество пор. Часть из них замкнута, а другая часть образует сквозные каналы, по которым впоследствии может проникнуть влага. Основными причинами возникновения пор являются недостаточная уплотненность бетона, наличие излишней воды затворения, уменьшение объема бетонной смеси при высыхании (усадка бетона).

Интенсивность и величина усадки зависят от оптимальности армирования (недостаток армирования приводит к образованию больших трещин при усадке), интенсивности процесса испарения воды, особенностей условий окружающей среды и, конечно, от состава бетонной смеси. Проблема усадки решается путем проведения комплекса мероприятий:

- увлажнение свежеложенного бетона каждые 3-4 часа в течение первых 3 дней (в зависимости от внешней температуры);

- укрытие участка бетонирования влажной мешковиной или пленкой;

- применение специальных пленкообразующих составов (перед применением необходимо изучить характеристики состава, т.к. на некоторые из них после вызревания бетона нанести гидроизоляционное либо другое покрытие будет невозможно или же станет неэффективно).

Для бетонов с низким В/Ц отношением сохранение от испарения в теле бетона воды, необходимой для процесса гидратации цемента, является одной из основных задач.

Снижение водоцементного отношения (скажем, с В/Ц=0,5 до В/Ц=0,4, т.е. на 20%) при заданной подвижности бетонной смеси достигается за счет применения гидроизоляционных добавок – пластификаторов. Получающаяся



бетонная смесь становится литой и самоуплотняющейся, не нуждается в вибрации, при этом количество и объем пор резко уменьшаются.

Одной из особенностей бетона является то, что обычно с увеличением возраста растет и его водонепроницаемость. При этом интенсивное и устойчивое повышение водонепроницаемости бетона может быть достигнуто только при продолжительном влажностном уходе. Как отмечают специалисты, значительное увеличение водонепроницаемости бетонов на портландцементных (при постоянном увлажнении бетона, отсутствии влагопотери и положительной температуре) имеет место вплоть до возраста 180 дней.

Водонепроницаемость бетонов, твердевших в воздушной среде с низкой относительной влажностью и потерявших за время твердения существенное количество воды затворения, всегда значительно (в несколько раз) ниже водонепроницаемости таких же бетонов, твердевших в условиях постоянного увлажнения. Так, водонепроницаемость образцов бетона, находившихся после распалубки в воздушной среде с относительной влажностью порядка 50-60% и испытанных в возрасте 180 дней, нередко оказывается ниже водонепроницаемости «марочных» образцов, твердевших в условиях постоянного увлажнения 28 дней.

При твердении в воздушной среде с относительной влажностью 90-95% и 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 от 180 дней до года, и в дальнейшем стабилизируется (табл. 2).

При воздушном хранении в условиях испарения из бетона значительного количества воды рост водонепроницаемости замедляется тем больше, чем полнее обезвоживание бетона. При больших водопотерях рост водонепроницаемости бетона прекращается и, более того, наблюдаются случаи снижения ее первоначальной величины.

Таблица 2. Нарастание водонепроницаемости бетонов с различным В/Ц в условиях медленного испарения воды

В/Ц	Расход цемента, кг/м ³	Водонепроницаемость в % от 28-дневной при испытаниях в возрасте		
		28 дней	180 дней	3 года
0,5	338	100	350	400
0,6	284	100	-	400
0,7	245	100	400	425

Для обеспечения максимальной «водоупорности» (водонепроницаемости) гидрофобизованных материалов важна также шероховатость структуры поверхности, обеспечивающая наибольший угол смачивания. Не менее существенна и минимальная величина так называемого «эффективного радиуса пор». Необходимо также, чтобы во избежание понижения краевого угла водоотталкивающая пленка плохо впитывала в себя воду. Как считают эксперты, все эти качества могут обеспечить либо изначально водонерастворимые, либо, что технологичнее,

изначально водорастворимые, но в составе бетонной композиции переходящие в водонерастворимые, гидрофобизирующие добавки.

Применительно к большинству сооружений из монолитного железобетона (это справедливо, например, для обычных фундаментов и не очень заглубленных рядовых сооружений) достаточно, чтобы марка бетона по водонепроницаемости была не ниже W6. Однако даже при наличии бетона с высокой водонепроницаемостью (W8 и более) вода проникает в сооружение по швам, сопряжениям (стена-пол, стена-потолок) и дефектным участкам в конструкции. Поэтому для обеспечения надежной защиты подземных сооружений от воздействия воды необходимо устройство водонепроницаемых швов.

Марки бетона W10-W20 применяются для строительства гидротехнических сооружений, бассейнов, полуподвальных и заглубленных подвальных помещений, цокольных этажей, подземных хранилищ, резервуаров хранения воды, бункеров в районах с высоким уровнем грунтовых вод. И нередко обеспечивают свою водоизолирующую функцию без дополнительной гидравлической защиты и гидроизоляции. Кроме этого, вышеуказанные марки (с W10 по W20) обладают отличными показателями морозостойкости, благодаря определенной рецептуре и пропорциям смеси, замечательно выдерживая многократные циклы замерзания-оттаивания.

И напоследок – небольшое «лирическое отступление». Как отмечает известный российский исследователь-бетонист Г.Н. Пшеничный в работе [8], «развитие бетоноведения должно предусматривать не безудержную гонку за рекордными марками бетонов», нередко копируя весьма сомнительные зарубежные аналоги, а «идти по пути повышения их структурной стабильности и эксплуатационной надежности». В данной цитате ученый имеет в виду марки по прочности. Но, думаю, это вовсе не отменяет справедливости этого высказывания и применительно к «маркировке» бетонов по водонепроницаемости, морозостойкости и др.

Библиографический список

1. Тольнин В.А., Котлярова Н.Б. Новые возможности в технологии строительных материалов с высокими физико-механическими и водоморозостойкими свойствами // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*, № 1-2, 2016, с. 37-41.
2. Дидевич А.В. Бесцементные бетоны: хорошо забытое старое? // *Технологии бетонов*, № 1-2, 2011, с. 74-76.
3. Электронный ресурс – http://fundaizol.ru/vodonepronitsaemost_betona.html
4. Электронный ресурс – http://rocky-stone.ru/vodonepronitsaemost_betona.html
5. Электронный ресурс – <http://www.ibeton.ru/a151.php>
6. ГОСТ 12730.5-84. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости (с Изменением № 1).
7. ГОСТ 26633-2012. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
8. Пшеничный Г.Н. Об особенностях формирования контактной зоны цементных бетонов // *Технологии бетонов*, № 9-10, 2015, с 56-60.