

## Благоприятный состав бетона для изготовления водонепроницаемых конструкций по системе «Белая ванна»

*Заместитель генерального директора ООО «Вольфсил» Н.Е. Фурманов\**

Долговечность сооружений резко снижается при проникновении в них воды, поэтому отдельные элементы конструкций и целые сооружения должны быть гидроизолированы. Проникновение воды может не только нарушить эксплуатацию сооружения, но и полностью запретить его использование.

Грамотное планирование, выполнение и последующий контроль гидроизоляционных работ должны на любом этапе восприниматься серьезно, но зачастую у строителей не хватает необходимой добросовестности. Вероятно, это связано с тем, что затраты на гидроизоляцию составляют лишь небольшой процент от всех затрат по возведению сооружения, и поэтому воспринимаются с недостаточной серьезностью. Также это можно объяснить тем, что эффект от выполненных гидроизоляционных работ не сразу виден в ходе строительства, а проявляется, обычно в худшую сторону, после окончания всех строительных работ.

Гидроизоляция должна постоянно противостоять губительному воздействию воды. Ее характеристики не должны утрачиваться при химическом, механическом или тепловом воздействиях. Поэтому, в первую очередь, важно целесообразно выбрать вид гидроизоляции в зависимости от химического состава воды, вида грунтов и ожидающихся нагрузок.

### 1. «Черная ванна».

Раньше для гидроизоляции зданий и сооружений использовали исключительно битумные материалы, имеющие характерный черный цвет. Поэтому понятие «черная ванна» сформировалось именно для такого вида гидроизоляции. В настоящее время, кроме битумных материалов, используют и различные мембраны, изготовленные из полимерных материалов, которые уже имеют светлый оттенок.

### 2. «Коричневая ванна».

Для надземных и подземных конструкций может применяться гидроизоляционный материал бентонит. Это природный материал, обладающий высоким водопоглощением. При воздействии воды бентонит разбухает и заполняет все возможные поры. Таким образом, достигается высокая водонепроницаемость конструкций. Цвет бентонита коричневый, что и привело к названию «Коричневая ванна».

### 3. «Белая ванна».

В противоположность гидроизоляции с использованием битумных материалов существует другой вид гидроизоляции, основанный на применении только лишь бетона. Такой вид гидроизоляции получил название «Белая ванна». В данном случае бетон дополнительно к своей несущей способности играет роль водонепроницаемого слоя, но выполнение функций пароизолятора он в себе не несет. Вместе с этим оказывается, что уменьшаются расходы по устройству и сроки возведения бетонной конструкции. Данная технология впервые была применена в Германии в начале 1980-х годов, и уже на протяжении практически трех десятков лет имеет там повсеместное применение при строительстве зданий и сооружений. С ноября 2003 года немецкие стандарты регулируют качество бетонных конструкций, выполненных по системе «Белая ванна», существует директива немецкого комитета по железобетону «Водонепроницаемые сооружения из бетона» от 11/2003, с комментариями к директиве 555, от 2006 года.

Изучение и внедрение технологии «Белая ванна» представляет большой интерес. Использование этой системы гидроизоляции приведет к сокращению времени по возведению сооружений, переходу на совершенно иной принцип гидроизоляции бетонных конструкций. В данной статье приводятся результаты исследований водонепроницаемости различных бетонов с целью определения наиболее благоприятного состава для изготовления конструкций по системе «Белая ванна».

Одним из основных условий при проектировании гидроизоляции по системе «Белая ванна» является правильно подобранный состав бетона, обеспечивающий его водонепроницаемость. Но при этом не стоит забывать, что при всех предъявляемых требованиях к несущим конструкциям из бетона или железобетона требование прочности, соответствующей рассчитываемой нагрузке, является первостепенным. Далее прочность конструкции должна дополняться другими свойствами, существенно не теряющимися в течение предусмотренного срока эксплуатации и не связанными с огромными издержками, вызванными техническим обслуживанием.

## Реакция гидратации и капиллярная пористость

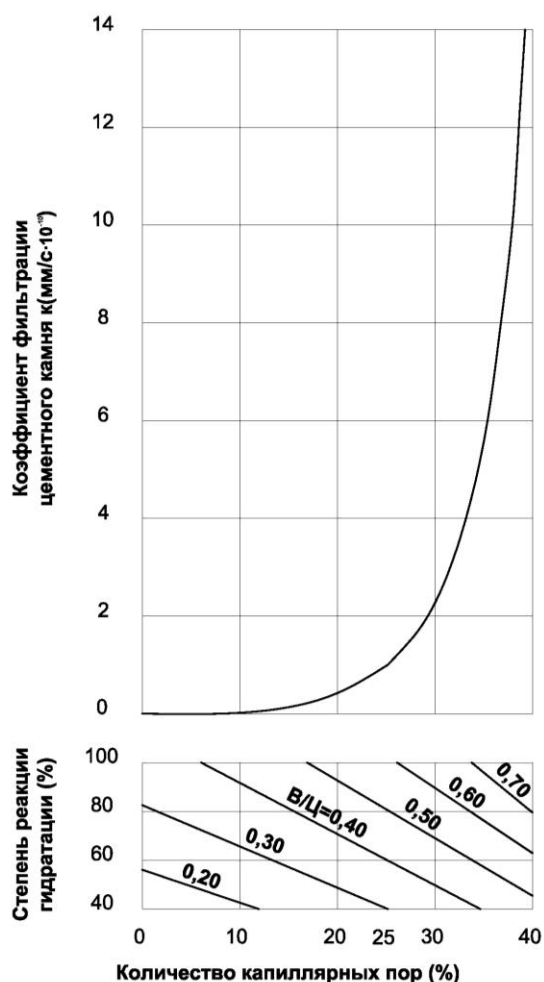
Химическая реакция взаимодействия воды и цемента, которая происходит в бетоне во время набора им прочности, называется реакцией гидратации. Реакция идет в течение длительного времени.

При наборе прочности бетона только 30%-40% массы воды в долях от массы цемента способно вступить в реакцию; для практических интересов берется величина 40%. Это соответствует водоцементному отношению  $V/C = 40/100 = 0,40$ . Эту величину считают как «оптимальную», так как при полном затвердевании с цементом взаимодействует вся вода, и лишней воды не остается. Излишки же воды создают тонко разветвленные поры в образующемся цементном камне. Эти поры называются капиллярными.

Необходимая плотность цементного камня достигается в том случае, когда его состав настолько сбалансирован, что появляются только маленькие капиллярные поры.

Введение уплотняющих добавок в бетон излишне, их водоотталкивающее действие ослабевает с течением времени. Благоприятного сжижающего свойства легче достичь хорошим размешиванием бетонной смеси, тщательной вибрацией с как можно скорее наступающим и длительным уходом за бетоном.

Степень гидратации зависит от вида используемого цемента и от температуры бетонной смеси. На рис. 1 в верхней части показана зависимость коэффициента фильтрации цементного камня от количества капиллярных пор, в нижней части представлена связь между водоцементным отношением  $V/C$ , степенью реакции гидратации и количеством капиллярных пор в цементном камне.



**Рисунок 1. Значения коэффициента фильтрации цементного камня, водоцементного отношения и степени реакции гидратации в бетоне при различной капиллярной пористости, Т.С. Powers [1]**

Реакция гидратации может прерываться, если необходимая вода полностью испаряется. Тогда реакция остается незавершенной, не проходит на 100%. Этот процесс досрочного высыхания ведет к тому, что бетон не достигает требуемого качества, если вовремя не начать за ним уход.

**Глубина проникновения воды в бетон определяется исключительно капиллярной пористостью цементного камня.**

Из-за незначительной доли цементного камня в бетоне (примерно 30% цементного камня и 70% заполнителей) количество капиллярных пор в бетоне  $p_c$  составляет 30% от количества капиллярных пор в цементном камне  $p_z$ .

$$p_c \approx 0,3p_z \quad (1)$$

20% капиллярных пор в цементном камне соответствуют коэффициенту фильтрации  $k = 0,4 \cdot 10^{-10}$  мм/с (рис. 1).

**Таким образом, количество капиллярных пор не может быть больше данной величины.**

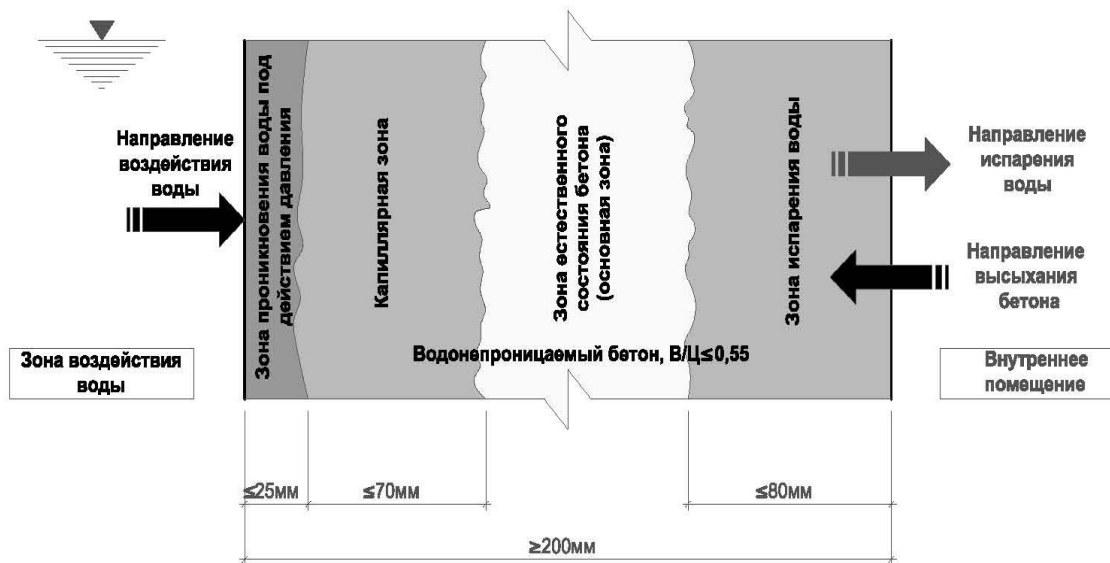
В реальной ситуации напор воды существенно меньше, чем при испытаниях. Поэтому количество капиллярных пор может достигать 25% от объема цементного камня. Более того, значения коэффициента фильтрации сильно возрастают, кривая зависимости имеет большой подъем. Из этого следует, что требование для допустимой капиллярной пористости в цементном камне должно выглядеть следующим образом:

$$p_z \leq 25\% \quad (2)$$

При данной допустимой капиллярной пористости в цементном камне и с учетом объема цементного камня в бетоне (примерно 30%) получаем, что максимальное количество капиллярных пор в бетоне должно быть:

$$p_c \leq 7,5\% \quad (3)$$

Таким образом, при рассмотрении бетонного водонепроницаемого элемента (рис. 2), подверженного одностороннему воздействию воды под давлением, при отсутствии рабочих швов бетонирования, следует различать 4 области [2].



**Рисунок 2. Модель бетонного элемента под воздействием напорной воды**

1. Область проникновения воды под давлением на внешней стороне рассматриваемого элемента. Величина проникновения может достигать максимум 25 мм при подходящем и специально запроектированном бетоне, она зависит от величины напора воды, водоцементного отношения, последующего ухода за бетоном, влажности и возраста бетона.
2. Капиллярная область, ограниченная глубиной до 70 мм от области проникновения воды под давлением.
3. Основная область, где отсутствует какое-либо движение воды.
4. Область высыхания с сухой стороны, где влага перемещается вследствие диффузии. Эта область ограничивается 80 мм.

Капиллярную область обычно объединяют с областью проникновения воды под давлением. В этой области вода проникает в капиллярную систему пор бетона. Проникновение достигает максимальной величины 70 мм [3] примерно через 30 дней и не увеличивается при продолжительной эксплуатации конструкции. Также стоит заметить, что при очень большом давлении воды глубина зоны проникновения капиллярной воды существенно не увеличивается [2]. Проникновение воды в капиллярную область **зависит от свойств бетона, в частности, от водоцементного отношения, и не зависит от направления и величины напора воды.**

За капиллярной областью следует основная область бетона, в которой никакая вода не транспортируется, т.е. вода присутствует в каком-либо виде, но ее количество не уменьшается за счет испарения и не увеличивается за счет проникновения с наружной стороны. Однако в данном случае предполагается, что толщина конструктивного элемента достаточно велика, область высыхания не соединяется с капиллярной областью, и между ними появляется основная область. При толщине бетонного элемента более 200 мм основная область появляется всегда (рис. 2).

На внутренней стороне бетонного элемента происходит высыхивание бетона до определенной глубины. В области высыхания передача влаги из бетона в воздушное пространство происходит посредством диффузии. При этом в бетоне испаряется избыточная вода, в которой для затвердевания бетон больше не нуждается. Глубина области высыхания зависит от плотности структуры бетона. Для бетона с водоцементным отношением  $В/Ц \leq 0,55$  она может составлять до 80 мм [1].

### *Сведения из практики*

В реальных условиях эффективность реакции гидратации достигает 100% лишь в тех бетонных элементах, которые постоянно находятся в воде. Для других элементов из бетона следует считать, что реакция гидратации прошла на 80% при условии, что был произведен грамотный уход за бетоном. Здесь, прежде всего, подразумевается защита молодого бетона от быстрого высыхания минимум в течение 6 дней.

Фурманов Н.Е. Благоприятный состав бетона для изготовления водонепроницаемых конструкций по системе «Белая ванна»

Так как эта защита у молодого бетона зачастую отсутствует, следует считать, что во внешних областях элемента реакция гидратации прошла на 70% или даже на 60%. Это значит, что глубина проникновения воды в бетон становится больше. При этом во внутренних областях бетонного элемента находится еще такое большое количество воды, что реакция гидратации там не прекращается. Бетон в этих областях плотнее, чем в краевых зонах.

Таблица 1.

Степень реакции гидратации $\alpha_n$	В/Ц
100%	0,58
90%	0,54
80%	0,50
70%	0,45
60%	0,40

**Пример:**

Допустимой капиллярной пористости цементного камня 25% в соответствии с рисунком 1 могут достигать бетоны со следующими показателями степени реакции гидратации и водоцементным отношением В/Ц (табл. 1).

Эти числа указывают на то, что для бетона с высокой маркой по водонепроницаемости водоцементное отношение должно быть тем ниже, чем более незначительно прошла реакция гидратации с последующим плохим уходом за бетоном. Тем не менее, не стоит забывать, что эти соображения уместны еще и тогда, когда бетон хорошо уплотнялся, вибрировался и не имел технологических швов.

### Испытания бетона на водонепроницаемость

Для выяснения зависимости глубины проникновения в бетон воды под давлением от состава бетона автором проводились испытания в соответствии с немецким стандартом EN 12390-8. Испытывались бетонные кубики с размерами 200x200x120мм. После распалубки выбранная рабочая поверхность образцов для проведения испытаний обрабатывалась при помощи металлической щетки.

Испытывались 90 образцов, по 6 для каждого вида бетона, в свою очередь, 3 из которых хранились 28 суток под водой, 3 других – 7 суток на воздухе, а затем до возраста 28 суток – под водой.

Проверка бетонных образцов начиналась в возрасте 28 дней.

Вообще для проверки водонепроницаемости образцов принимается срок, соответствующий принимаемой прочности на сжатие. При использовании цемента с низким тепловыделением, например, принимается возраст 56 или 90 дней.

Далее образцы устанавливались в испытательный прибор таким образом, что напор воды действовал на подготовленную площадь, а остальные поверхности могли свободно наблюдаться (рис. 3). При этом на образцы подавалось давление воды в 5 атмосфер в течение 72 часов, что соответствует давлению 50-метрового водяного столба.

Непосредственно после проверки образцы раскалывались, измерялась глубина проникновения воды.

В зависимости от способа хранения образцов и их состава получились различные результаты, которые представлены в таблице 2.

При этом, при изменении только способа хранения среднее значение глубины проникновения воды для некоторых образцов увеличивалось почти в 3 раза.

При анализе полученных значений глубины проникновения воды стоит отметить образцы под номерами 8 и 12, которые показали лучшие результаты. Значения глубины проникновения воды для каждого образца не имеют большого разброса. В то же время разница в результатах для образцов, хранимых под водой, и образцов, хранимых сначала на воздухе, хоть и велика, но сами значения глубины проникновения для образцов, сначала хранимых на воздухе, являются адекватными. В связи с этим можно сделать вывод о том, что водоцементное отношение данных образцов (соответственно, 0,50 и 0,48) и содержание цемента (соответственно, 320 кг/м<sup>3</sup> и 330 кг/м<sup>3</sup>) являются оптимальными для обеспечения водонепроницаемости бетона.

Фурманов Н.Е. Благоприятный состав бетона для изготовления водонепроницаемых конструкций по системе «Белая ванна»

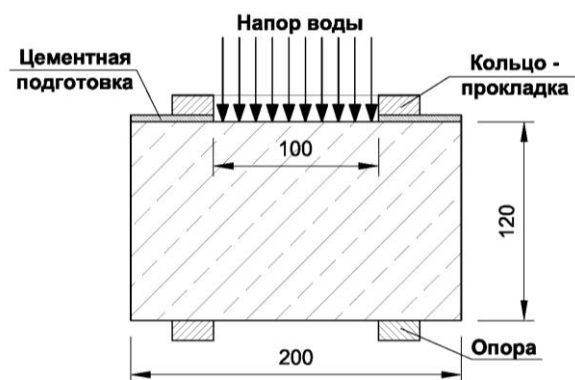


Рисунок 3. Схема испытания бетона на водонепроницаемость в соответствии с DIN EN 12390-8

Таблица 2. Результаты испытания образцов

№	Класс по прочности	Состав бетона	Способ хранения образцов	Сопротивление растяжению		Дата испытания (дни)	Глубина проникновения воды в диск 200мм/200мм/120мм, (мм)	
				$f_{ck,7}$	$f_{ck,28}$		Отдельная	Средняя
1	C25/30	330кг/м <sup>3</sup> CEM III/B 32,5 NW/HS; w/z=0,48; 0/16; F2	28 дней под водой	17	32	28	40;20;27	29
			10 дней в форме, до 28 дней под водой	13	28	28	102;120;102	108
2	C25/30	270кг/м <sup>3</sup> CEM I 42,5 R+80кг/м <sup>3</sup> FA; w/z=0,60; 0/32; F2	28 дней под водой	23	37	28	28;48;30	36
			10 дней в форме, до 28 дней под водой	21	32	28	90;98;95	94
3	C30/37	370кг/м <sup>3</sup> CEM I 42,5 R+40кг/м <sup>3</sup> FA; w/z=0,41; 0/16; F2	28 дней под водой	31	42	33	25;26;23	25
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	32	47	28	120;120;120	120
4	C30/37	350кг/м <sup>3</sup> CEM I 42,5 R; w/z=0,46; 0/32; F2	28 дней под водой	32	48	53	17;60;26	41
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	35	49	53	60;23;41	41
5	C35/45	380кг/м <sup>3</sup> CEM I 42,5 R; w/z=0,42; 0/32; F2	28 дней под водой	-	52	45	29;26;27	27
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	-	53	45	120; 120; 120	120
6	C30/37	370кг/м <sup>3</sup> CEM I 42,5 R; w/z=0,46; 0/16; F2	28 дней под водой	44	57	40	25;15;26	22
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	44	59	34	70;46;60	59
7	C30/37	370кг/м <sup>3</sup> CEM I 42,5 R; w/z=0,41; 0/32; F1/F3	28 дней под водой	28	37	30	21;24;19	21
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	30	38	34	45;35;40	40
8	C25/30	320кг/м <sup>3</sup> CEM I 42,5 R; w/z=0,50; 0/16; F2	28 дней под водой	34	49	36	15;17;14	15
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	41	56	32	41;37;25	34
9	C35/45	390кг/м <sup>3</sup> CEM I 42,5 R; w/z=0,42; 0/16; F2	28 дней под водой	39	50	40	21;25;16	21
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	40	52	33	110;100;115	108
10	C35/45	380кг/м <sup>3</sup> CEM I 42,5 R; w/z=0,41; 0/32; F2	28 дней под водой	39	50	41	22;16;13	17
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	44	52	34	60;67;40	56
11	C30/37	370кг/м <sup>3</sup> CEM I 42,5 R; w/z=0,46; 0/16; F2	28 дней под водой	47	55	46	12;26;20	19
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	49	58	40	66;110;35	70
12	C25/30	330кг/м <sup>3</sup> CEM I 42,5 R; w/z=0,48; 0/32; KP (Rezept 9)	28 дней под водой	34	44	44	12;10;11	11
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	31	44	40	42;36;35	38



13	C25/30	270кг/м <sup>3</sup> CEM I 32,5 R+80кг/м <sup>3</sup> FA; w/z=0,60; 0/32; KP (Rezept 9)	28 дней под водой	22	35	39	28;29;20	26
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	21	31	33	60;56;103	73
14	C30/37	350кг/м <sup>3</sup> CEM I 42,5 R+40кг/м <sup>3</sup> FA; w/z=0,43; 0/32; F1/F3	28 дней под водой	31	40	31	13;20;23	19
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	27	39	35	120;120; 120	120
15	C25/30	270кг/м <sup>3</sup> CEM I 32,5 R+80кг/м <sup>3</sup> FA; w/z=0,59; 0/16; F2	28 дней под водой	24	40	46	25;15;24	21
			7 дней в форме, до 28 дней под водой	24	34	40	65;70;80	72

Внедрение новых технологий играет неопределимую роль в развитии экономики страны. «Белая ванна» – система гидроизоляции зданий и сооружений только за счет самого бетона, широко применяемая в Германии. Устройство гидроизоляции по данной системе ведет к отказу от дренажа и использования гидроизоляционных материалов. В связи с этим сокращаются затраты на строительство, время на возведение сооружения.

Результаты испытаний бетонных образцов, выполненные автором, используются немецкой компанией Roland Wolf GmbH и филиалом компании в Санкт-Петербурге ООО «Вольфсил» для внедрения технологии «Белая ванна», являющейся шагом в будущее в области гидроизоляции зданий и сооружений.

### Литература

1. Powers T.C., Brownyard T.L. Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste: Studies of Water Fixation. Proc. American Concrete Institut 43/1946-47.
2. Springenschmid R., Beddoe R. Feuchtetransport durch Bauteile aus Beton: Beton- und Stahlbetonbau. Heft 4, 1999.
3. Basalla A. Wärmeentwicklung im Beton. Zement-Taschenbuch. Bauverlag Wiesbaden, 1964.
4. Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie. Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie). DAfStb Heft 555, 2006.

*\*Николай Евгеньевич Фурманов, ООО «Вольфсил»*

*Тел. моб.: +7(962)696-04-26*

*Эл. почта: furmanov@wolfseal.ru, wolfseal@mail.ru*