

ПОВЫШЕНИЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ БЕТОНА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

ПОЛЕЙКО Н.Л., ЛЕОНОВИЧ С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация. *Приводятся результаты исследований поровой структуры бетона с добавкой “Кальматрон” в зависимости от условий и сроков твердения, а также от содержания кольматирующей добавки. Подтверждены предположения о том, что со временем, в результате химических реакций, происходит кольматация капиллярных пор, снижается водопоглощение бетона, увеличивается его водонепроницаемость и морозостокость.*

Полученные результаты нашли применение в изготовлении железобетонных конструкций, к которым предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости и морозостойкости, на промышленных предприятиях строительной отрасли.

Определены конструкции, где применение системы “Калматрон” наиболее эффективно.

Введение. *Учитывая тенденции последних лет использования в промышленности строительных материалов, отходов производства, применения для изготовления бетонных и железобетонных конструкций вяжущих с пониженным содержанием клинкерного фонда, необходимо решать вопросы долговечности этих конструкций даже при эксплуатации в нормальных атмосферных условиях [1].*

Водонепроницаемость – одна из основных технических характеристик, определяющих эксплуатационность и долговечность бетонных конструкций.

Проницаемость бетона в значительной степени зависит от состава бетонные смеси, качества уплотнения, ухода за бетоном, степени гидратации цемента и условий эксплуатации конструкций. Особо остро стоит вопрос восстановления водонепроницаемость бетона в условиях эксплуатации, при которых выявлены признаки разрушения бетона.

Технологический процесс изготовления конструкции, режима тепловлажностной обработки бетона сопряжены с большой вероят-

ностью образования температурных, усадочных и силовых трещин, наличия зон контакта свежееуложенной бетонной смеси и затвердевшего бетона, водных пленок под арматурой и крупным заполнителем.

Постоянная миграция влаги в массиве бетона за счёт капиллярного подсоса, испарения, перепада температур на различных поверхностях являются определяющим фактором процесса интенсификации разрушения цементного камня.

Установлено, что от параметра проницаемости в значительной степени зависит и морозостойкость, косвенно характеризующая долговечность бетона конструкции. Снижение проницаемости бетонных конструкций достигается различными способами, но наиболее эффективным и радикальным, по нашему мнению, является кольматация пор и капилляров бетона [2-4].

Экспериментальные исследования, анализ результатов. Для бетонных и железобетонных конструкций наибольший интерес представляют неорганические растворные смеси на основе цементного вяжущего, реализующие проникающие и кольматирующие свойства в присутствии воды. К такого рода материалом относится система «Кальматрон», которая представляет собой серию цементующих материалов капиллярного действия, обеспечивающих водонепроницаемость бетона, цементно-песчаного раствора и других цементсодержащих капиллярно пористых материалов.

Эффект водонепроницаемости обеспечивается за счёт ряда строго последовательно химических реакций, продолжающихся во времени, проходящих внутри структуры бетона между его составляющими с компонентами, содержащимися в растворе смеси «Кальматрон» [4-6].

Состав «Кальматрон» – это жесткая однокомпонентная смесь проникающего действия, изготавливается согласно СТБ 1543-2005, EN 1504-2 (CE 1397-CPD-0198). Он представляет собой готовый к применению сухой сыпучий материал серого цвета с белыми включениями, состоящий из портландцемента, кварцевого песка и комплексной химической добавки. По физико-химическим показателям состав «Кальматрон» должен соответствовать требованиям, указанным таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические показатели состава «Кальматрон»

Наименование показателя	Нормативные значения
Внешний вид	Серый порошок с серыми включениями
Влажность, % не более	1
Сроки схватывания, мин -начало, не менее -окончание, не более	30 180
Прочность при сжатии, МПа, не менее	M25
Марка по морозостойкости, не менее	F300
Марка по водонепроницаемости, не менее	W10
Коррозионное состояние стальной арматуры	Устойчиво-пассивное
Удельная поверхность, см ² /г	2874

Систему, повышающую долговечность бетонных конструкций обеспечивают составы «Кальматрон», которые применяются как в виде защитных покрытий на бетонных поверхностях, так и как добавки при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций.

Составляющие бетонной смеси с добавкой материала «Кальматрон» вводятся в бетоносмеситель в следующем порядке: песок, щебень гранитный фракции 5..10 и 10..20, состав «Кальматрон», цемент. Время перемешивания сухих составляющих с составом «Кальматрон» не менее 2..3 минут, затем вводится вода, и смесь дополнительно перемешивается 2..3 минуты.

Подвижность бетонной смеси составляла ОК=2..4 см для всех составов. Из каждого состава изготавливались контрольные образцы на определение показателей пористости, морозостойкости, водонепроницаемости и водопоглощения. Прочность бетона определялась на образцах-кубах размером 100x100x100 мм согласно ГОСТ 10180-90. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытания образцов на прочность

Номер состава	Среднее значение, R _{сж} , МПа	Прирост прочности, %
1	37,8	–
2	41,9	10,8
3	38,3	1,3
4	43,6	–
5	44,4	1,8
6	46,0	10,5

Анализ результатов испытания образцов на прочность при сжатии показывает, что оптимальным расходом системы «Кальматрон» является 16,6 кг бетона на 1 м³ бетона.

Водопоглощение бетона определялось на образцах-кубах размером 100х100х100 мм по ГОСТ 12730.3-78.

Результаты испытаний по определению водопоглощения бетона приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Определение водопоглощения бетона

Номер состава	Средне значение водопоглощения, %	Снижение водопоглощения, %
1	5,49	–
2	5,14	6,4
3	5,21	5,1
4	5,86	–
5	5,14	12,2
6	5,33	9,0

Анализ результатов в таблице показывает, что снижение водопоглощения бетонных образцов с системой «Кальматрон» достигало от 5,1 до 12,2% в зависимости от состава бетона и расхода добавки.

Водонепроницаемость бетона определялась на образцах-цилиндрах диаметром 150 мм по ГОСТ 12730.5-84 методом «мокрого пятна». Водонепроницаемость бетонных образцов с системой «Кальматрон» увеличилась на 1..2 марки с W8 до W10-W12.

Морозостойкость бетона определялась на образцах-кубах 100х100х100 мм по ГОСТ 10160.2-95 третьим методом. Составы 1, 3, 4 соответствуют марке по морозостойкости F150, а составы 2, 5, 6 соответствуют F200.

При исследовании поровой структуры бетона с кольматирующей добавкой «Кальматрон» получены результаты подтверждающие изменение среднего размера и показателя однородности размеров открытых капиллярных пор в зависимости от условий и сроков твердения бетона [4].

Составы бетона приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Составы бетона

Номер состава	Расход материалов на 1м ³ бетона, кг				
	Цемент	Песок	Щебень гранитный фракций		«Кальматрон»
			5..10	10..20	
1	430	547	731	487	–
2	414	547	731	487	16,6
3	417	547	731	487	13,0
4	527	611	800	343	–
5	507	611	800	343	20,0
6	511	611	800	343	16,6

Величину показателя пористости определяли по кинетике водонасыщения бетонных образцов, высушенных до постоянной массы дискретным взвешиванием через 2,25; 1,0; 24 и 48 часов.

По результатам испытаний рассчитывали относительное водопоглощение по массе в момент времени $t_1=0,25$ и $t_2=1,0$ ч.

Кажущуюся пористость (интегральный объем открытых пор, доступный водопоглощению) оценивали значением объемного водопоглощения. По этим величинам с помощью номограмм определяли вспомогательный параметр λ_1 и параметр α , по которым рассчитывали параметр λ (λ_1 и λ — величины, характеризующие некоторые средние размеры капилляров бетона, а величина α — однородность размеров капилляров).

Параметры пористости λ и α , серий образцов определяли как среднее арифметическое значение результатов испытаний всех образцов серии [7].

На образцах первой серии определяли изменение параметров показателей пористости в разные сроки твердения. Для этого определяли водопоглощение первой серии на бетонных образцах после 28 сут твердения в нормально-влажностных условиях. Затем образцы в течение 14 сут выдерживали в воде и повторно проводили определение водопоглощения.

Результаты определения водопоглощения первой серии образцов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Водопоглощение бетонных образцов нормально-влажностного твердения

Номер состава	Водопоглощение, % по массе			
	$W_{15\text{мин}}$	$W_{1\text{ час}}$	$W_{1\text{ сут}}$	$W_{2\text{ сут}}$
1	2,86/1,40	4,35/2,22	5,64/5,41	5,69/5,44
2	2,76/1,22	4,30/1,93	5,51/5,42	5,82/5,47
3	3,09/1,27	4,38/2,10	5,79/5,42	5,89/5,47
4	2,81/1,24	4,83/2,40	6,23/5,93	6,42/5,93
5	2,88/1,19	4,47/2,00	6,16/5,48	6,35/5,49
6	2,76/1,18	4,36/1,96	6,15/5,47	6,31/5,50

Примечание: в числителе приведено начальное водопоглощение образцов, в знаменателе - после выдержки их в течение 14 суток в воде.

Результаты определения показателей пористости λ , α и вспомогательного параметра λ_1 первой серии образцов приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели пористости образцов нормально-влажностного твердения

Номер состава	λ_1	α	λ
1	0,80/1,24	0,24/0,96	0,38/1,20
2	0,76/1,20	0,20/0,93	0,24/1,25
3	0,80/1,24	0,21/0,99	0,33/1,18
4	0,76/1,17	0,19/0,88	0,24/1,16
5	0,83/1,29	0,29/0,99	0,51/1,27
6	0,76/1,24	0,19/0,99	0,23/1,26

Влияние условий твердения на поровую структуру бетона определяли на второй серии образцов, которые 1 сутки выдерживали в форме и 27 суток — в воде, т.е. создавались благоприятные условия для образований нерастворимых кристаллических соединений в ка-

пиллярах и порах бетона. Затем бетонные образцы дополнительно выдерживались еще 14 суток в воде и повторно проводили дискретное взвешивание. Результаты испытаний приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Водопоглощение бетонных образцов при твердении в воде

Номер состава	Водопоглощение, % по массе			
	$W_{15\text{мин}}$	$W_{1\text{ час}}$	$W_{1\text{ сут}}$	$W_{2\text{ сут}}$
1	1,27/0,73	2,12/1,08	5,74/4,12	5,91/5,16
2	1,53/0,75	2,51/1,16	5,86/4,84	5,98/5,59
3	1,64/0,89	2,71/1,39	5,98/5,37	6,08/5,85
4	1,88/0,92	3,07/1,49	6,50/5,81	6,58/6,43
5	1,59/0,71	2,49/1,11	6,15/4,72	6,26/5,75
6	1,77/0,80	2,70/1,32	6,20/5,41	6,32/6,02

Примечание: в числителе приведено начальное водопоглощение образцов, в знаменателе – после выдержки их в течение 14 суток в воде.

Результаты определения показателей пористости λ , α и вспомогательного параметра λ_1 образцов, твердевших в водной среде, приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Показатели пористости образцов при твердении в воде

Номер состава	λ_1	α	λ
1	0,76/1,21	0,14/0,80	0,13/1,16
2	0,83/1,27	0,29/0,98	0,51/1,28
3	0,69/1,21	0,10/0,88	0,25/1,24
4	0,70/1,17	0,11/0,87	0,24/1,15
5	0,69/1,18	0,10/0,88	0,25/1,16
6	0,70/1,29	0,11/0,88	0,24/1,16

В результате исследований влияния состава «Кальматрон» на водопоглощение бетона, в зависимости от условий и сроков твердения установлено, что водопоглощение бетонных образцов меняется в зависимости от содержания кольматирующей системы.

В зависимости от условий твердения: нормально-влажностные или водные, меняется водопоглощение и показатели пористости бетона. В благоприятных условиях создаются предпосылки для раз-

вития химических реакций формирования нерастворимых новообразований, которые накапливаются в капиллярах. Это подтверждается изменением показателей однородности размеров открытых капиллярных пор (показатель α приближается к единице) и показателем среднего размера открытых капиллярных пор λ .

Показатели пористости значительно изменяются со временем. Повторные исследования через 14 суток водного твердения показали динамику снижения водопоглощения бетонных образцов, изменение показателей однородности размеров открытых капиллярных пор и показателей среднего размера открытых капиллярных пор. Это подтверждает предпосылки о том, что со временем в результате химических реакций происходит коагуляция капиллярных пор, снижается водопоглощение бетона, увеличивается его водонепроницаемость и долговечность.

В результате промышленной апробации на заводе «Спецжелезобетон» была изготовлена тридцать одна виброгидропрессованная труба [14]. Восемь труб содержали состав «Кальматрон». Контрольные трубы испытывались избыточным давлением в 1,2 МПа, основные с составом «Кальматрон» - давлением 1,4 МПа.

Гидростатические испытания труб проводили постепенным повышением давления на 0,1 ...0,25 МПа в минуту до указанных значений и выдерживали под испытательным давлением в течение 10 минут.

Трубы считаются выдержавшими испытания на водонепроницаемость, если к моменту его окончания на поверхности труб не будет обнаружено фильтрации воды в виде влажных пятен, капель или течи. Результаты испытаний труб приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты гидростатического испытания труб

№ состава	Количество труб		Испытательное давление, МПа	Результаты испытаний, количество труб
	контрольных	с добавкой «Кальматрон»		
1	23	—	1,2	21
			1,0	1
			0,8	1
2	—	8	1,4	8

Проведенные исследования по использованию состава «Кальматрон» в качестве кольматирующей добавки в бетон показали, что химические реагенты равномерно распределяются в объеме бетонной смеси на стадии приготовления, растворяются в воде затвердения и вступают в химические реакции с активными составляющими цемента. В результате формируются сложные соли, способные создавать нерастворимые кристаллогидраты. Их образование происходит постепенно, с меньшей скоростью, чем реакции гидратации цемента, поэтому сеть новообразованных кристаллов заполняет капилляры, микротрещины и поры бетона. При этом кристаллы являются составной частью структуры бетона и оказывают влияние на его физико-механические свойства [5].

Процесс формирования кристаллов приостанавливается в результате снижения влажности бетона. Во время эксплуатации конструкции, например, при увеличении гидростатического давления, химическая реакция кристаллообразования возобновляется, в результате чего повышается водонепроницаемость бетона, что позволяет изготавливать виброгидропрессованные трубы стабильным показателем напорности [6,7]. В последующем, завод «Спецжелезобетон» выпустил промышленную партию указанных труб с применением состава «Кальматрон».

Заключение. Проведенными исследованиями установлено:

- 1) Оптимальным расходом состава «Кальматрон» является $16,6 \text{ кг/м}^3$ бетона.
- 2) Водопоглощение бетона с применением состава «Кальматрон» уменьшается на 10...12 %.
- 3) Водонепроницаемость бетона с применением состава «Кальматрон» увеличивается на 1-2 марки.
- 4) Применение системы защиты «Кальматрон» позволяет получать стабильно марки бетона по морозостойкости не менее F200.
- 5) Применение системы «Кальматрон» может быть эффективным в железобетонных конструкциях, работающих в условиях, где предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости и морозостойкости (дорожное и мелиоративное строительство, производство железобетонных труб, свай и т. д.)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Розенталь, Н.К.* Защитные материалы проникающего действия для повышения долговечности конструкций / Н.К. Розенталь, В.Ф. Степанова, Г.В. Чехний // Долговечность строительных конструкций. Теория и практика защиты от коррозии. - М.: Центр экономики и маркетинга, 2002. - с. 75-79.

2. *Герчин, Д.В.* Особенности применения защитного состава «Кальматрон» для повышения долговечности бетонов зданий и сооружений / Материалы международной конференции «Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве». - СПб: РИФ «Роза мира», 2007. - с. 338-343.

3. *Полейко, Н.Л.* Применение гидрофобизатора типа «Кальматрон» в производстве железобетонных труб методом виброгидропрессования / Н.Л. Полейко, Р.Ф. Осос, Н.Д. Полейко // Материалы докладов международной научно-технической конференции «Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы развития». - Мн.: БГТУ, 2005. - с. 216-219.

4. *Полейко, Н.Л.* Структура порового пространства бетона с добавкой «Кальматрон» / Н.Л. Полейко, Р.Ф. Осос, Н.Д. Полейко // Сборник статей международного научно-практического семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь». — Мн.: БИТУ, 2006. - с. 126-131.

5. *Полейко, Н.Л.* Повышение долговечности бетона с применением состава «Кальматрон» / Н.Л. Полейко, Р.Ф. Осос, Н.Д. Полейко, С.В. Журавский // Материалы международной конференции «Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве». — СПб: РИФ «Роза мира», 2007. — с. 377-383.

6. *Полейко, Н.Л.* Повышение физико-механических свойств бетона смесью «Кальматрон» при производстве напорных труб / Н.Л. Полейко, С.В. Журавский // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров РБ: сб. тр. XVI международного научно-методического семинара. - БГТУ, Брест, 2009. - с. 77-81.

7. Бетоны. Методы определения водопоглощения: ГОСТ 12730.3-78.