

Николай Леонидович ПОЛЕЙКО,
кандидат технических наук,
доцент кафедры "Технология бетона
и строительные материалы"
Белорусского национального
технического университета, г. Минск

Сергей Вячеславович ЖУРАВСКИЙ,
директор ООО "Белкальматрон", г. Минск

Юрий Николаевич ТЕМНИКОВ,
кандидат технических наук,
директор
ООО "Кальматрон-СПб",
г. Санкт-Петербург

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С СИСТЕМОЙ KALMATRON

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE BUILDING STRUCTURES WITH KALMATRON

В статье изложены результаты исследований поровой структуры бетона с применением системы Kalmatron в зависимости от условий и сроков твердения, содержания кольматирующей добавки. Приведен пример промышленного внедрения результатов экспериментальных исследований.

This article presents the research results of the porous structure of concrete with Kalmatron depending on terms and conditions of concrete hardening and colmatizing additive content. An example of implementation of the experimental results into practice is given.

ВВЕДЕНИЕ

Учитывая тенденцию последних лет в использовании в промышленности строительных материалов отходов производства, применения при изготовлении 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 эксплуатационную долговечность бетонных конструкций. Проницаемость бетона в значительной степени зависит от состава бетонной смеси, качества уплотнения, ухода за бетоном, степени гидратации цемента и условий эксплуатации конструкций. Особо остро стоит вопрос о восстановлении водонепроницаемости бетона в условиях эксплуатации, при которых выявлены признаки разрушения бетона.

Технологические процессы изготовления конструкций, режима тепловлажностной обработки бетона сопряжены с большой вероятностью образования температурных, усадочных и силовых трещин, с наличием зон контакта свежесушеной бетонной смеси и затвердевшего бетона, водных пленок под арматурой и крупным заполнителем. Постоянная миграция влаги в массиве бетона за счет капиллярного подсоса, испарения, перепада температур на различных поверхностях является 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 мнению авторов, 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 материалам относится система материалов Kalmatron, которая представляет собой серию цементирующих материалов капиллярного действия, обеспечивающих водонепроницаемость бетона, цементно-песчаного раствора и других цементсодержащих капиллярно-пористых материалов. Эффект водонепроницаемости обеспечивается за счет ряда строго последовательных химических реакций, продолжающихся во времени, проходящих внутри структуры бетона между его составляющими с компонентами, содержащимися в растворе смеси Kalmatron [4–7].

Состав Kalmatron — это жесткая однокомпонентная смесь проникающего действия, изготавливается согласно СТБ 1543 [8]. Представляет собой готовый к применению сухой сыпучий материал серого цвета с белыми включениями, состоящий из портландцемента, кварцевого песка и комплексной химической добавки. По физико-механическим показателям состав Kalmatron должен соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.

Систему, повышающую долговечность бетонных конструкций, обеспечивают составы Kalmatron, 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 Kalmatron вводятся в бетоносмеситель в следующем порядке: песок, щебень гранитный фракции 5–10 и 10–20 мм, состав Kalmatron, цемент. Составы бетона приведены в таблице 2. Время перемешивания сухих составляющих с составом Kalmatron — не менее 2–3 ми-

Таблица 1. Физико-механические показатели системы Kalmatron

№ пп	Наименование показателя	Характеристика, нормативное значение
1	Внешний вид	Серый порошок с серыми включениями
2	Влажность, %, не более	1
3	Сроки схватывания, мин:	
	начало, не менее	30
	окончание, не более	180
4	Прочность на сжатие, МПа, не менее	M25
5	Марка по морозостойкости, не менее	F300
6	Марка по водонепроницаемости, не менее	W10
7	Коррозионное состояние стальной арматуры	Устойчиво-пассивное
8	Удельная поверхность, см ² /г	2874

Таблица 2. Состав бетона

Номер состава	Расход материала на 1 м ³ бетона, кг				
	Цемент	Песок	Щебень гранитный фракции, мм		Kalmatron
			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

нут; затем вводится вода, и смесь дополнительно перемешивается еще 2–3 минуты.

Подвижность бетонной смеси составляла ОК = (2–4) см для всех составов. Из каждого состава изготавливали контрольные образцы на определение показателей пористости, морозостойкости, водонепроницаемости и водопоглощения. Прочность бетона определяли на образцах-кубах размером 100x100x100 мм согласно ГОСТ 10180 [9]. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Анализ результатов испытания образцов на прочность на сжатие показывает, что оптимальным расходом системы Kalmatron является 16,6 кг на 1 м³ бетона.

Водопоглощение бетона определяли на образцах-кубах размером 100x100x100 мм по ГОСТ 12730.3 [10]. Результаты испытаний по определению водопоглощения бетона приведены в таблице 4.

Анализ результатов, приведенных в таблице 4, показывает, что снижение водопоглощения бетонных образцов с системой Kalmatron находится в пределах от 5,1 % до 12,2 % в зависимости от состава бетона и расхода добавки.

Водонепроницаемость бетона определяли на образцах-цилиндрах диаметром 150 мм по ГОСТ 12730.5 [11] методом "мокрого пятна". Водонепроницаемость бетонных образцов с системой Kalmatron увеличилась на 1–2 марки с W8 до W10-W12.

Таблица 3. 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	1,30
4	43,6	—
5	44,4	1,80
6	46,0	10,5

Морозостойкость бетона определяли на образцах-кубах размером 100x100x100 мм по ГОСТ 10060.2 [12] (третий метод). Составы №№ 1, 3, 4 соответствуют марке по морозостойкости F150, а составы №№ 2, 5, 6 — марке 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] (см. таблицу 2).

Величину показателя пористости определяли по кинетике водонасыщения бетонных образцов, высушенных до постоянной массы дискретным взвешиванием через 25 минут, 1 час, 24 и 48 часов. По результатам испытаний рассчитывали относительное водопоглощение по массе в момент времени t₁ = 25 мин и t₂ = 1 ч.

Кажущуюся пористость (интегральный объем открытых пор, доступный водопоглощению) оценивали значением объемного водопоглощения. По этим величинам с помощью номограмм определяли вспомогательный параметр λ, и параметр α, по которым рассчитывали параметр λ (λ₁, λ — величины, характеризующие некоторые средние размеры капилляров бетона; α — однородность размеров капилляров). Параметры пористости λ и α серий образцов определяли

Таблица 4. Водопоглощение бетона

Номер состава	Среднее 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

Таблица 5. Водопоглощение бетонных образцов нормально-влажностного твердения

Номер состава	Водопоглощение, % по массе			
	$W_{15\text{мин}}$	$W_{1ч}$	$W_{1\text{сут}}$	$W_{2\text{сут}}$
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 — Перед чертой приведено начальное водопоглощение образцов, после черты — после выдержки их в течение 14 суток в воде.

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

Таблица 7. Водопоглощение бетонных образцов при твердении в воде

Номер состава	Водопоглощение, % по массе			
	$W_{15\text{мин}}$	$W_{1ч}$	$W_{1\text{сут}}$	$W_{2\text{сут}}$
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 — Перед чертой приведено начальное водопоглощение образцов, после черты — после выдержки их в течение 14 суток в воде.

как среднее арифметическое значение результатов испытаний всех образцов серии [13].

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

Результаты определения водопоглощения первой серии образцов приведены в таблице 5. Результаты определения показателей пористости λ , α и вспомогательного параметра λ_1 первой серии образцов приведены в таблице 6.

Влияние условий твердения на поровую структуру бетона определяли на второй серии образцов, которые 1 сутки выдерживали в форме и 27 суток — в воде, то есть создавались благоприятные условия для образования нерастворимых кристаллических соединений в капиллярах и порах бетона. Затем бетонные образцы дополнительно выдерживали еще 14 суток в воде и повторно проводили дискретное взвешивание. Результаты испытаний приведены в таблице 7.

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

В результате исследований влияния состава Kalmatron на водопоглощение бетона, с учетом 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 — изменяются водопоглощение и показатели пористости бетона. В благоприятных условиях создаются предпосылки для развития 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 кольматация капиллярных пор, снижается водопоглощение бетона, увеличивается его водонепроницаемость и долговечность.

В процессе промышленной апробации на заводе "Спецжелезобетон" была изготовлена тридцать одна виброгидропрессованная труба. Восемь труб содержали состав Kalmatron. Контрольные трубы испытывали избыточным давлением в 1,2 МПа, основные — с составом

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

Таблица 9. Результаты гидростатических испытаний труб

Номер состава	Количество труб		Испытательное давление, МПа
	контрольных	с добавкой Kalmatron	
1	21 1 1	—	1,2 1,0 0,8
2	—	8	1,4

Kalmatron — давлением в 1,4 МПа. Гидростатические испытания труб проводили постепенным повышением давления на 0,10–0,25 МПа в минуту до указанных значений и выдерживали под испытательным давлением в течение 10 мин. Трубы считаются выдержавшими испытание на водонепроницаемость, если к моменту его окончания на поверхности труб не будет обнаружено фильтрации воды в виде влажных пятен, капель или течи. Результаты гидростатических испытаний труб приведены в таблице 9.

Проведенные исследования по использованию состава Kalmatron в качестве колматирующей добавки в бетон показали, что химические реагенты равномерно распределяются в объеме бетонной смеси на стадии приготовления, растворяются в воде затворения и вступают в химические реакции с активными составляющими цемента. В результате формируются сложные соли, способные создавать нерастворимые кри-

сталлогидраты. 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 со стабильным показателем напорности [6, 7]. По окончании испытаний завод "Спецжелезобетон" выпустил промышленную партию указанных труб с применением состава Kalmatron.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенными исследованиями установлено.

1. Оптимальным расходом состава Kalmatron является 16,6 кг на 1 м³ бетона.
2. Водопоглощение бетона с применением состава Kalmatron уменьшается на 10 %–12 %.
3. Водонепроницаемость бетона с применением состава Kalmatron увеличивается на 1–2 марки.
4. Применение системы защиты Kalmatron позволяет получать стабильно марки бетона по морозостойкости не менее F200.
5. Применение системы Kalmatron может быть эффективным в железобетонных конструкциях, работающих в условиях, где предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости и морозостойкости (дорожное и мелиоративное строительство, при производстве железобетонных труб, свай и т. д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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: матер. Междунар. конф. "Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве". — СПб: РИФ "Роза мира", 2007. — С. 338–343.
3. Применение гидрофобизатора типа "Кальматрон" в производстве железобетонных труб методом виброгидропрессования: матер. докладов Междунар. науч.-технич. конф. "Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы развития" / Н. Л. Полейко, Р. Ф. Осос, Д. Н. Полейко. — Минск: БГТУ, 2005. — С. 216–219.
4. Структура порового пространства бетона с добавкой "Кальматрон": сб. статей Междунар. науч.-практич. семинара "Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь" / Н. Л. Полейко, Р. Ф. Осос, Д. Н. Полейко. — Минск: БНТУ, 2006. — С. 126–131.
5. Повышение долговечности бетона с применением состава "Кальматрон": матер. Междунар. конф. "Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве" Н. Л. Полейко, Р. Ф. Осос, Д. Н. Полейко, С. В. Журавский. — СПб: РИФ "Роза мира", 2007. — С. 377–383.
6. Повышение физико-механических свойств бетона смесью "Кальматрон" при производстве напорных труб / Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. тр. XVI Междунар. науч.-методич. семинара / Н. Л. Полейко, С. В. Журавский. — Брест: БрГТУ, 2009. — С. 77–81.
7. Повышение эксплуатационных характеристик бетона строительных конструкций с применением системы "Кальматрон": сб. статей II Междунар. симпоз. "Проблемы современного бетона и железобетона", 21–23 октября 2009 г. / Н. Л. Полейко, С. В. Журавский, Ю. Н. Темников. — Минск: Минсктилпроект, 2009. — С. 365–375.
8. Смесей сухие гидроизоляционные. Технические условия: СТБ 1543-2005. — Введ. 01.01.2006.
9. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-90. — Введ. 01.01.1991.
10. Бетоны. Метод определения водопоглощения: ГОСТ 12730.3-78. — Введ. 01.01.1980.
11. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости: ГОСТ 12730.5-84. — Введ. 01.07.1985.
12. Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многократном замораживании и оттаивании: ГОСТ 10060.2-95. — Введ. 01.04.1997.
13. Бетоны. Методы определения показателей пористости: ГОСТ 12730.4-78. — Введ. 01.01.1980.

Статья поступила в редакцию 07.04.2011.