



УТВЕРЖДАЮ:
Директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, д.т.н.
А.Н. Давидюк
«» 2018 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

по результатам лабораторных испытаний по ГОСТ 31383-2008 образцов бетона,
обработанных гидроизоляционными составами системы «Кальматрон», на
диффузионную проницаемость для углекислого газа

Договор № 126/13-5-18/ЖБ от 19.02.2018 г.
Заказчик: ООО «Кальматрон-СПб»

Заведующий лабораторией № 13,
д.т.н., проф.

 Степанова В.Ф.

Ответственный исполнитель:
Ст. научный сотрудник

 Зими́на Т.Л.

Исполнитель:
Ст. научный сотрудник

 Королева Е.Н.

Москва 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1 Характеристика материалов, представленных на испытания	3
2 Основные технологические параметры изготовления образцов	4
3 Методика проведения испытаний	4
4 Определение диффузионной проницаемости для углекислого газа бетона с использованием материалов системы «Кальматрон»	7
5 Заключение	12
Приложение А Акт отбора образцов	14

1 Характеристика материалов, представленных на испытания

В соответствии с Техническим заданием по договору № 126/13-5-18/ЖБ от 19.02.2018 г. «Проведение лабораторных испытаний по ГОСТ 31383-2008 образцов бетона, обработанных гидроизоляционными составами системы «Кальматрон», на диффузионную проницаемость для углекислого газа с выдачей научно-технического заключения» в лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» были проведены испытания бетонных образцов на диффузионную проницаемость для углекислого газа.

Работу выполняли по заказу ООО «Кальматрон-СПб».

Диффузионную проницаемость бетона для углекислого газа определяли в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 31383-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний».

Для проведения испытаний Заказчиком были представлены бетонные образцы размером 10×10×10 см трех партий:

- образцы бетона, обработанного проникающей гидроизоляцией «Кальматрон» (ТУ 5716-008-54282519-2003);
- образцы с добавкой в бетон «Кальматрон-Д» (ТУ 5716-009-54282519-2011);
- контрольные образцы бетона нормируемого состава (без добавки и без покрытия).

Материал «Кальматрон» представляет собой сухую строительную гидроизоляционную проникающую капиллярную смесь. Состав предназначен для гидроизоляции бетонных и железобетонных конструкций за счет уплотнения структуры бетона, повышения его водонепроницаемости и морозостойкости, приобретения бетоном свойства «самозалечивания» трещин с раскрытием до 0,4 мм.

Добавка в бетон «Кальматрон-Д» предназначена для гидроизоляции всей толщи бетонных и железобетонных конструкций на стадии бетонирования. Добавка представляет собой сухую смесь, состоящую из портландцемента и комплекса запатентованных химически активных реагентов. Добавку вводят в бетонную смесь во время ее приготовления. Применение добавки «Кальматрон-Д» позволяет получить бетоны с высокими эксплуатационными характеристиками, в первую очередь, по водонепроницаемости и стойкости к агрессивным средам.

Материалы «Кальматрон» и «Кальматрон-Д» изготавливают в соответствии со спецификацией производителя и имеют свидетельства о государственной регистрации Таможенного Союза № ВУ.70.06.01.013.Е.003043.08.16 и ВУ.70.06.01.013.Е.003046.08.16 от 10.08.2016 г. соответственно, экспертные заключения и добровольные сертификаты соответствия ГОСТ Р и ТУ.

2 Основные технологические параметры изготовления образцов

Изготовление бетонных образцов, введение добавки в бетон «Кальматрон-Д» и обработку проникающим гидроизоляционным составом системы «Кальматрон» осуществлял Заказчик в соответствии с требованиями технической документации на данные материалы (Акт отбора образцов № 4-18 от 16.03.2018 г. приведен в приложении А).

Для испытаний были изготовлены образцы из бетона нормируемого состава в соответствии с ГОСТ Р 56703-2015 (прил.2).

Состав бетона, кг/м³:

- портландцемент ПЦ500Д0 (ГОСТ 10178), «Пикалевский цементный завод» – 275;
- щебень (ГОСТ 8267) фракции до 16 мм – 1100;
- песок (ГОСТ 8736) фракции 0–2,5 мм – 825.

Образцы бетона после формования в течение первых 24 часов хранили в формах на воздухе при температуре (20±2) °С и относительной влажности (60±10) % с укрытием образцов полиэтиленовой пленкой. После извлечения из форм образцы хранили в воде в течение 27 суток при температуре (20±2) °С согласно п. А.3.1 ГОСТ Р 56703-2015 (прил. А).

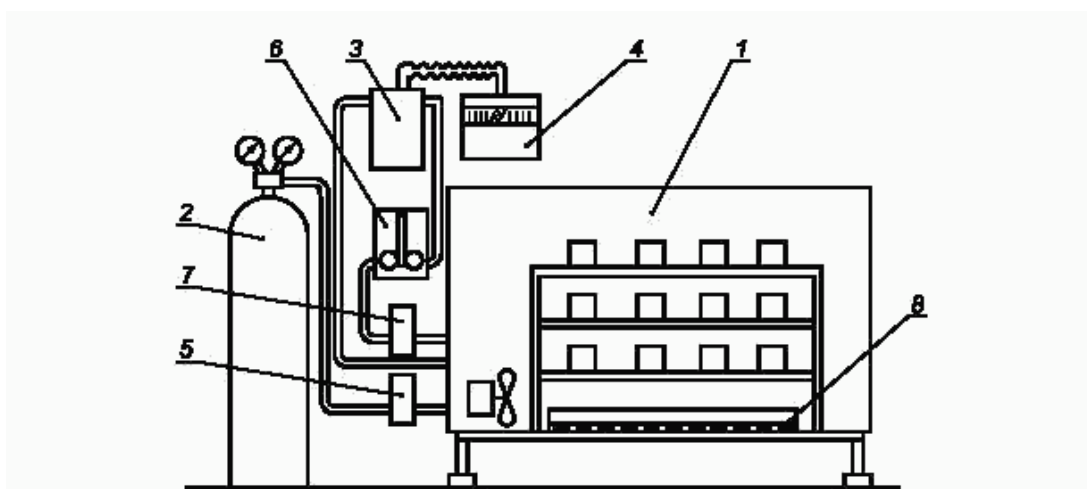
Обработку бетонных образцов составом гидроизоляционным проникающим капиллярным на цементном вяжущем «Кальматрон» (ТУ 5716-008-54282519-2003) осуществляли через 28 суток твердения основных образцов (6 образцов-кубов 10×10×10 см). Нанесение состава «Кальматрон» на образцы-кубы осуществляли шпателем сплошным слоем толщиной 1,5–2,0 мм на все грани. Через 1 сутки после нанесения покрытия бетонные образцы хранили при температуре воздуха (20±2) °С, погруженными на 2/3 в воду, до возраста 28 суток. Контрольные образцы бетона (6 образцов-кубов) и основные образцы бетона с добавкой «Кальматрон-Д» хранили в аналогичных условиях без обработки составом «Кальматрон».

Гидроизоляционную добавку «Кальматрон-Д» (ТУ 5716-009-54282519-2011) вводили в бетон взамен части цемента в количестве 10 кг на 1 м³ бетона.

3 Методика проведения испытаний

Согласно методике диффузионную проницаемость определяли на основании данных о скорости нейтрализации (карбонизации) бетона углекислым газом в отсутствии градиента общего давления газовой среды при наличии разности концентрации углекислого газа в бетоне и в окружающей среде в период, когда процесс нейтрализации ограничен скоростью диффузии углекислого газа в пористой структуре бетона.

Испытания проводили на специальной установке с автоматическим поддержанием заданной концентрации углекислого газа (рисунок 1).



1 – камера; 2 – баллон с CO_2 ; 3 – автоматический газоанализатор; 4 – показывающий командный прибор; 5 – электрический клапан; 6 – блок регулирования потока газа в трубопроводе газоанализатора; 7 – побудитель расхода газа; 8 – ванна с насыщенным раствором хлорида натрия; 9 – вентилятор

Рисунок 1 – Общий вид и схема установки для определения диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа

Камера установки имеет постоянные параметры среды: концентрация углекислого газа – (10 ± 5) % по объему; относительная влажность воздуха – (75 ± 3) %; температура – (20 ± 5) °C.

Образцы выдерживали в камере в течение 14 суток, промежуточные определения проводили в 7 суток. По истечении заданного срока образцы извлекали из камеры и раскалывали в направлении, нормальном рабочей грани. На поверхность скола по периметру образца наносили 0,1 % спиртовой раствор фенолфталеина. Мерной линейкой с точностью до 0,1 см измеряли толщину нейтрализованного слоя бетона, которая равна расстоянию от поверхности образца до слоя, окрашенного в малиновый цвет. Измерения проводили через 1 см по периметру образца.

Среднее значение толщины нейтрализованного слоя бетона x , см, рассчитывали по формуле:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n},$$

где n – число измерений.

Реакционную емкость бетона m_0 в относительных величинах, рассчитывали по формуле:

$$m_0 = 0,4 \cdot u \cdot p \cdot f,$$

где u – содержание цемента, г в 1 см^3 бетона;

p – количество основных оксидов в цементе в пересчете на CaO в относительных величинах по массе, принимаемое по данным химического анализа ($p \approx 0,6$);

f – степень нейтрализации бетона, равная отношению количества основных оксидов, вступивших во взаимодействие с углекислым газом, к общему их количеству в цементе ($f \approx 0,6$).

Эффективный коэффициент диффузии углекислого газа в бетоне D' , $\text{см}^2/\text{с}$ рассчитывали по формуле:

$$D' = \frac{m_o \cdot x^2}{2 \cdot c \cdot \tau},$$

где m_o – реакционная емкость бетона или объем газа, поглощенный единицей объема бетона;

x – толщина нейтрализованного слоя бетона; см;

c – концентрация углекислого газа в относительных величинах по объему;

τ – продолжительность воздействия газа на бетон, с.

4 Определение диффузионной проницаемости для углекислого газа бетона с использованием материалов системы «Кальматрон»

Внешний вид бетонных образцов после испытаний приведен на рисунках 2÷7. Результаты испытаний приведены в таблице 1.



Рисунок 2 – Внешний вид бетонных образцов, обработанных проникающей гидроизоляцией «Кальматрон» после 7 суток испытаний



Рисунок 3 – Внешний вид бетонных образцов с добавкой в бетон «Кальматрон-Д» после 7 суток испытаний



Рисунок 4 – Внешний вид контрольных бетонных образцов после 7 суток испытаний



Рисунок 5 – Внешний вид бетонных образцов, обработанных проникающей гидроизоляцией «Кальматрон» после 14 суток испытаний



Рисунок 6 – Внешний вид бетонных образцов с добавкой в бетон «Кальматрон-Д» после 14 суток испытаний



Рисунок 7 – Внешний вид контрольных бетонных образцов после 14 суток испытаний

Таблица 1 – Диффузионная проницаемость для углекислого газа образцов бетона, обработанного проникающим гидроизоляционным составом системы «Кальматрон», и с добавкой в бетон «Кальматрон-Д»

Вид бетонных образцов	№ образца	Грани образца	Глубина карбонизации, мм, через						Эффективный коэффициент диффузии CO ₂ , Д'см ² /с		
			7 суток			14 суток			7 суток	14 суток	Среднее значение
			Средняя по грани	Средняя по образцу	max	Средняя по грани	Средняя по образцу	max			
Обработанные проникающим гидроизоляционным составом системы «Кальматрон»	2.1	Не определены	0,57 2,7 3,1 1,2	1,90	5,0	–	–	–	0,08×10 ⁻⁴	–	0,08×10 ⁻⁴
	2.2	«	0 1,1 1,3 1,5	0,97	3,0	–	–	–	0,02×10 ⁻⁴	–	
	2.3	«	0,2 0 1,5 2,0	0,93	3,0	–	–	–	0,019×10 ⁻⁴	–	
	2.4	«	–	–	–	1,0 2,9 3,0 4,5	2,9	7,0	–	0,09×10 ⁻⁴	
	2.5	«	–	–	–	2,1 5,0 2,9 2,5	3,1	5,0	–	0,10×10 ⁻⁴	
	2.6	«	–	–	–	1,3 4,5 1,5 1,5	2,2	5,0	–	0,05×10 ⁻⁴	

Продолжение таблицы 1

Вид бетонных образцов	№ образца	Грани образца	Глубина карбонизации, мм, через						Эффективный коэффициент диффузии CO ₂ , Д'см ² /с		
			7 суток			14 суток			7 суток	14 суток	Среднее значение
			Средняя по грани	Средняя по образцу	max	Средняя по грани	Средняя по образцу	max			
С добавкой в бетон «Кальматрон-Д»	3.1	верхняя	2,0	2,2	4,0	—	—	—	0,10×10 ⁻⁴	—	0,32×10 ⁻⁴
		нижняя	3,3			—					
		боковые	1,3			—					
	3.2	верхняя	3,6	2,8	5,0	—	—	—	0,17×10 ⁻⁴	—	
		нижняя	2,5			—					
		боковые	2,3			—					
	3.3	верхняя	0,6	2,2	4,0	—	—	—	0,10×10 ⁻⁴	—	
		нижняя	3,3			—					
		боковые	2,8			—					
	3.4	верхняя	—	—	—	5,1	5,4	7,0	—	0,32×10 ⁻⁴	
		нижняя	—			6,0					
		боковые	—			5,0					
	3.5	верхняя	—	—	—	3,0	4,5	7,0	—	0,22×10 ⁻⁴	
		нижняя	—			5,1					
		боковые	—			5,3					
	3.6	верхняя	—	—	—	7,0	6,2	10,0	—	0,42×10 ⁻⁴	
		нижняя	—			6,0					
		боковые	—			5,5					

Окончание таблицы 1

Вид бетонных образцов	№ об- раз- ца	Грани образца	Глубина карбонизации, мм, через						Эффективный коэффициент диффузии CO ₂ , Д'см ² /с		
			7 суток			14 суток			7 суток	14 суток	Среднее значение
			Средняя по грани	Средняя по образцу	max	Средняя по грани	Средняя по образцу	max			
Контрольные	1.1	верхняя	10,2	9,5	11,0	—	—	—	2,0×10 ⁻⁴	—	2,0×10 ⁻⁴
		нижняя	8,0			—					
		боковые	10,2			—					
	1.2	верхняя	7,0	8,9	10,5	—	—	—	1,7×10 ⁻⁴	—	
		нижняя	9,6			—					
		боковые	10,2			—					
	1.3	верхняя	8,4	8,6	10,0	—	—	—	1,6×10 ⁻⁴	—	
		нижняя	8,0			—					
		боковые	9,3			—					
	1.4	верхняя	—	—	—	12,3	13,7	15,0	—	2,0×10 ⁻⁴	
		нижняя	—			13,8					
		боковые	—			15,0					
	1.5	верхняя	—	—	—	13,0	13,0	13,5	—	1,8×10 ⁻⁴	
		нижняя	—			12,5					
		боковые	—			13,5					
	1.6	верхняя	—	—	—	12,5	13,9	15,0	—	2,1×10 ⁻⁴	
		нижняя	—			14,1					
		боковые	—			15,0					

5 Заключение

Результаты испытаний показали, что при применении проникающего гидроизоляционного состава системы «Кальматрон» максимальная глубина карбонизации бетона при воздействии углекислого газа снизилась в 2,5 раза по сравнению с контрольным бетоном. Максимальная глубина карбонизации бетона за одинаковый период времени для образцов, обработанных гидроизоляционным составом «Кальматрон» в среднем составила 5,7 мм, тогда как для бетона контрольных образцов – 14,5 мм, при снижении эффективного коэффициента диффузии углекислого газа в 25 раз ($0,08 \times 10^{-4}$ см²/с и $2,0 \times 10^{-4}$ см²/с соответственно).

Введение добавки «Кальматрон-Д» в бетон также снизило диффузионную проницаемость бетона для углекислого газа почти в шесть раз. Максимальная глубина карбонизации бетона с добавкой «Кальматрон-Д» по сравнению с контрольным бетоном снизилась в 1,8 раз – до 8,0 мм с 14,5 мм, а эффективный коэффициент диффузии углекислого газа составил $0,32 \times 10^{-4}$ см²/с и $2,0 \times 10^{-4}$ см²/с соответственно.

Оценка диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа позволяет рассчитать период, в течение которого происходит нейтрализация (карбонизация) защитного слоя бетона в газовой среде, и оценить по признаку сохранности стальной арматуры долговечность железобетонных конструкций, эксплуатируемых в неагрессивных и слабоагрессивных газовой средах.

Длительность защитного действия бетона τ_1 , годы, рассчитывали по формуле:

$$\tau_1 = \frac{x_1^2 \cdot c \cdot \tau}{x \cdot c_1},$$

где x_1 – толщина защитного слоя бетона в конструкции, см;

c_1 – концентрация углекислого газа по объему в условиях эксплуатации, в относительных величинах.

Для расчета принимали максимальную глубину карбонизации бетона в исследуемых образцах. Толщину защитного слоя бетона до арматуры в конструкции принимали 20 мм. Результаты испытаний и расчета длительности защитного действия бетона приведены в таблице 2.

Таблица 2

Вид бетонных образцов	Максимальная глубина карбонизации бетона, см	Эффективный коэффициент диффузии CO_2 , $\text{Д' см}^2/\text{с}$	Длительность защитного действия бетона при толщине защитного слоя 2 см, годы
Контрольные	14,5	$2,0 \times 10^{-4}$	25
Обработанные проникающим гидроизоляционным составом системы «Кальматрон»	5,7	$0,08 \times 10^{-4}$	150
С добавкой в бетон «Кальматрон-Д»	8,0	$0,32 \times 10^{-4}$	80

ВЫВОДЫ

На основании проведенных испытаний и расчетов установлено

- 1 Обработка бетона проникающим гидроизоляционным составом системы «Кальматрон» уменьшает проницаемость бетона для углекислого газа, что способствует снижению значения эффективного коэффициента диффузии с $2,0 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ для контрольного бетона до $0,08 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$.
- 2 Введение в состав бетонной смеси добавки «Кальматрон-Д» также понижает проницаемость бетона для углекислого газа: эффективный коэффициент диффузии углекислого газа составляет $0,32 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ (для контрольного бетона – $2,0 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$).
- 3 Расчеты показали, что при эксплуатации в газовой среде бетон, обработанный проникающим гидроизоляционным составом системы «Кальматрон», способен обеспечить сохранность арматуры в бетоне конструкций с защитным слоем 20 мм в течение 150 лет, бетон с добавкой «Кальматрон-Д» – в течение 80 лет, в то время как длительность защитного действия контрольного бетона составила 25 лет.

Приложение А



Общество с ограниченной ответственностью

«КАЛЬМАТРОН-СПб»

190103, Санкт-Петербург, ул. Дровяная, д. 9, лит. 3
ИНН 7810208761 КПП 783901001, ОКПО: 54282519, ОГРН: 1037821014098
р/с 40702810455040010513 в Северо-Западный Банк ПАО Сбербанк г. Санкт-Петербург
кор/с 30101810500000000653
тел./факс (812)336-90-96, E-mail: newtech@kalmatron.ru www.kalmatron.ru

АКТ

отбора образцов № 4-18

от 16.03.2018 г.

Настоящий акт составлен на отбор образцов для проведения испытаний продукции ООО «Кальматрон-СПб» в сторонней лаборатории.

Наименование продукции:

1. Состав гидроизоляционный проникающий капиллярный на цементном вяжущем «КАЛЬМАТРОН» ГОСТ Р 56703-2015, ТУ 5716-008-54282519-2003

Номер партии: 04-2

Дата изготовления: 12.01.2018 г.

2. Гидроизоляционная добавка в бетон «Кальматрон-Д» ТУ 5716-009-54282519-2011

Номер партии: 111-1 Дата изготовления: 30.11.2017 г.

Перечень испытаний:

Проведение лабораторных испытаний образцов бетона, обработанных гидроизоляционными составами системы «Кальматрон», на диффузионную проницаемость для углекислого газа по ГОСТ 31383-2008.

Место изготовления/отбора образцов: ООО «Кальматрон – СПб», Цех – обособленное подразделение, лаборатория, 188515, Ленинградская обл., Ломоносовский район, дер. Кипень, квартал 28.

Наименование образцов: Контрольные образцы бетона; образцы бетона, обработанные гидроизоляцией «Кальматрон» (основные образцы); образцы бетона с добавкой «Кальматрон-Д» (основные образцы).

Количество основных образцов: 6 образцов-кубов 100×100 мм, обработанных составом «Кальматрон».

6 образцов-кубов 100×100 мм с добавкой «Кальматрон-Д»;

Количество образцов контрольного состава: 6 образцов-кубов 100×100 мм.

Изготовление образцов:

Испытательные образцы изготовлены из бетона нормируемого состава в соответствии с ГОСТ Р 56703-2015 (прил. А). Методика изготовления бетонных образцов по ГОСТ Р 56703-2015 (прил. А, п. А.2);

Состав бетона нормируемого состава: ПЦ500 Д0 (ГОСТ 10178) «Пикалевский цементный завод» 275 кг/м³; щебень (ГОСТ 8267) до 16 мм 1100 кг/м³; песок (ГОСТ 8736) 0-2,5 мм 825 кг/м³; В/Ц 0,7 ±0,05.

Основные образцы изготавливались с введением добавки «Кальматрон-Д» из расчета 10 кг на куб бетона взамен аналогичной части цемента.

Дата изготовления бетонных образцов: 22.12.2017 г.

Условия изготовления образцов:

- Температура (20±2) °С;
- Относительная влажность (60±10) %.

Условия твердения образцов бетона:

В течение первых 24 ч, в формах на воздухе при температуре (20±2) °С и относительной влажности (60±10) % с укрытием образцов полиэтиленовой пленкой. После извлечения из форм образцы хранились в воде в течение 27 суток при температуре (20±2) °С согласно п. А.3.1 ГОСТ Р 56703-2015 (прил. А).

Обработка бетонных образцов составом «Кальматрон»:

Через 28 сут твердения основные образцы (6 образцов-кубов) обработаны составом «Кальматрон». Нанесение состава «Кальматрон» на образцы-кубы осуществлялось шпателем

сплошным слоем толщиной 1,5-2 мм на все грани. Через 1 сут после нанесения покрытия бетонные образцы хранились при температуре воздуха (20±2) °С, погруженные на 2/3 в воду до возраста 28 сут. Контрольные образцы бетона (6 образцов-кубов) и основные образцы бетона с добавкой «Кальматрон-Д» хранились в аналогичных условиях без обработки составом «Кальматрон».

Маркировка основных образцов: ««Кальматрон» 22.01»; «Д 22.12».

Маркировка контрольных образцов: «EN 22.12».

П / п	Наименование продукции (образцов, пробы и т. п.)	Дата изготовления	Число/количество отобранных образцов (шт/кг)	Маркировка	Методика испытаний
1	Контрольные образцы бетона	22.12.17	6 бетонных образцов-кубов 100*100 мм	<u>EN</u>	ГОСТ 31383-2008
2	Образцы бетона, обработанные составом «Кальматрон»	22.01.18	6 бетонных образцов-кубов 100*100 мм, обработанных составом <u>КАЛЬМАТРОН</u>	<u>КАЛЬМАТРОН</u>	ГОСТ 31383-2008
3	Бетон с добавкой «Кальматрон-Д»	22.12.17	6 бетонных образцов-кубов 100*100 мм	<u>Д</u>	ГОСТ 31383-2008

Главный технолог ООО «Кальматрон-СПб»



Краснобаева С.А.

Технолог ООО «Кальматрон-СПб»



Гузенко А.К.