



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ,  
ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ БЕТОНА  
И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ИМЕНИ А. А. ГВОЗДЕВА



НИЦ строительство  
научно-исследовательский центр



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

Зимина 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 № ВY.70.06.01.013.E.003043.08.16 и ВY.70.06.01.013.E.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/м<sup>3</sup>:

- 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).

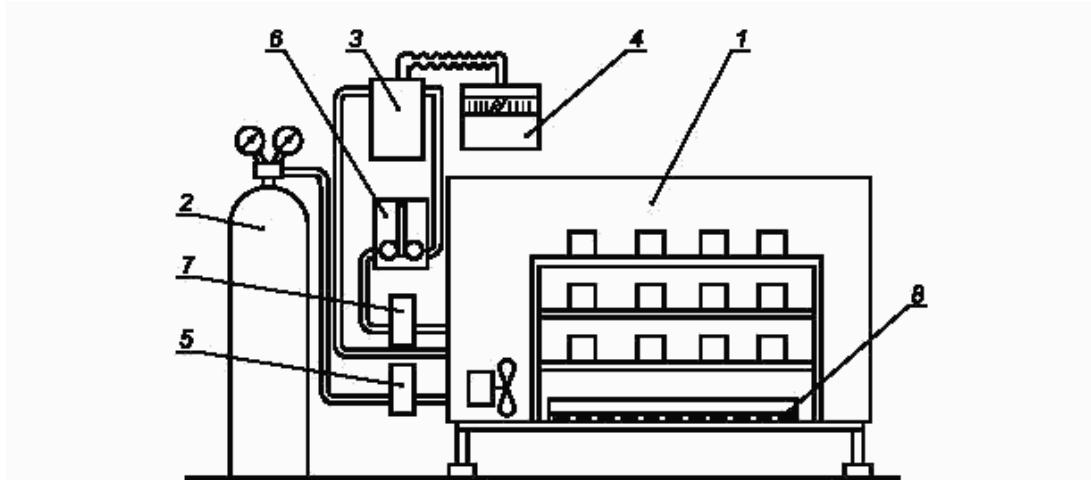
Обработку бетонных образцов составом гидроизоляционным проникающим капиллярным на цементном вяжущем «Кальматрон» (ТУ 5716-008-54282519-2003) осуществляли через 28 суток твердения основных образцов (6 образцов-кубов 10×10×10 см). Нанесение состава «Кальматрон» на образцы-кубы осуществляли шпателем сплошным 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 м<sup>3</sup> 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 газовоздушной 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<sub>2</sub>; 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:

$$x = \frac{\sum^n x}{n},$$

где  $n$  – число измерений.

Реакционную емкость бетона  $m_o$  в относительных величинах, рассчитывали по формуле:

$$m_o = 0,4 \cdot \psi \cdot p \cdot f,$$

где  $\psi$  – содержание цемента, г в 1 см<sup>3</sup> 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 количества в цементе ( $f \approx 0,6$ ).

Эффективный коэффициент диффузии углекислого газа в бетоне  $D'$ , см<sup>2</sup>/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;

$\tau$  – 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	№ об- раз- ца	Границы образца	Глубина карбонизации, мм, через						Эффективный коэффициент диффузии СО <sub>2</sub> , Д'см <sup>2</sup> /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 гидроизоля- ционным составом системы «Кальматрон»	2.1	Не опреде- лены	0,57 2,7 3,1 1,2	1,90	5,0	–	–	–	$0,08 \times 10^{-4}$	–	$0,08 \times 10^{-4}$
	2.2	«	0 1,1 1,3 1,5	0,97	3,0	–	–	–	$0,02 \times 10^{-4}$	–	
	2.3	«	0,2 0 1,5 2,0	0,93	3,0	–	–	–	$0,019 \times 10^{-4}$	–	
	2.4	«	–	–	–	1,0 2,9 3,0 4,5	2,9	7,0	–	$0,09 \times 10^{-4}$	
	2.5	«	–	–	–	2,1 5,0 2,9 2,5	3,1	5,0	–	$0,10 \times 10^{-4}$	
	2.6	«	–	–	–	1,3 4,5 1,5 1,5	2,2	5,0	–	$0,05 \times 10^{-4}$	

*Продолжение таблицы 1*

Вид бетонных образцов	№ об-раз-ца	Граница образца	Глубина карбонизации, мм, через						Эффективный коэффициент диффузии CO <sub>2</sub> , Д'см <sup>2</sup> /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	—	—	—	$0,10 \times 10^{-4}$	—	$0,32 \times 10^{-4}$	
		нижняя	3,3			—						
		боковые	1,3			—						
	3.2	верхняя	3,6	2,8	5,0	—	—	—	$0,17 \times 10^{-4}$	—		
		нижняя	2,5			—						
		боковые	2,3			—						
	3.3	верхняя	0,6	2,2	4,0	—	—	—	$0,10 \times 10^{-4}$	—		
		нижняя	3,3			—						
		боковые	2,8			—						
	3.4	верхняя	—	—	—	5,1	5,4	7,0	—	$0,32 \times 10^{-4}$		
		нижняя	—			6,0						
		боковые	—			5,0						
	3.5	верхняя	—	—	—	3,0	4,5	7,0	—	$0,22 \times 10^{-4}$		
		нижняя	—			5,1						
		боковые	—			5,3						
	3.6	верхняя	—	—	—	7,0	6,2	10,0	—	$0,42 \times 10^{-4}$		
		нижняя	—			6,0						
		боковые	—			5,5						

*Окончание таблицы I*

Вид бетонных образцов	№ об-разца	Границы образца	Глубина карбонизации, мм, через						Эффективный коэффициент диффузии СО <sub>2</sub> , Д'см <sup>2</sup> /с			
			7 суток			14 суток			Среднее значение	7 суток	14 суток	
			Средняя по грани	Средняя по образцу	max	Средняя по грани	Средняя по образцу	max				
Контрольные	1.1	верхняя	10,2	9,5	11,0	—	—	—	$2,0 \times 10^{-4}$	—	$2,0 \times 10^{-4}$	
		нижняя	8,0			—						
		боковые	10,2			—						
	1.2	верхняя	7,0	8,9	10,5	—	—	—	$1,7 \times 10^{-4}$	—		
		нижняя	9,6			—						
		боковые	10,2			—						
	1.3	верхняя	8,4	8,6	10,0	—	—	—	$1,6 \times 10^{-4}$	—		
		нижняя	8,0			—						
		боковые	9,3			—						
	1.4	верхняя	—	—	—	12,3	13,7	15,0	—	$2,0 \times 10^{-4}$		
		нижняя	—			13,8						
		боковые	—			15,0						
	1.5	верхняя	—	—	—	13,0	13,0	13,5	—	$1,8 \times 10^{-4}$		
		нижняя	—			12,5						
		боковые	—			13,5						
	1.6	верхняя	—	—	—	12,5	13,9	15,0	—	$2,1 \times 10^{-4}$		
		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 ( $0,08 \times 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/с и  $2,0 \times 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/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  $0,32 \times 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/с и  $2,0 \times 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/с соответственно.

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

Длительность защитного действия бетона  $\tau_1$ , 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

<b>Вид бетонных образцов</b>	<b>Максимальная глубина карбонизации бетона, см</b>	<b>Эффективный коэффициент диффузии CO<sub>2</sub>, Д'см<sup>2</sup>/с</b>	<b>Длительность защитного действия бетона при толщине защитного слоя 2 см, годы</b>
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  $2,0 \times 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/с для контрольного бетона до  $0,08 \times 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/с.
- 2 Введение в состав бетонной смеси добавки «Кальматрон-Д» также понижает проницаемость бетона для углекислого газа: эффективный коэффициент диффузии углекислого газа составляет  $0,32 \times 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/с (для контрольного бетона –  $2,0 \times 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/с).
- 3 Расчеты показали, что при эксплуатации в газовоздушной 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. З  
ИНН 7810208761 КПП 783901001, ОКПО: 54282519, ОГРН: 1037821014098  
р/с 40702810455040010513 в Северо-Западный Банк ПАО Сбербанк г. Санкт-Петербург  
кор/с 3010181050000000653  
тел./факс (812)336-90-96, E-mail: [newtech@kalmatron.ru](mailto:newtech@kalmatron.ru) [www.kalmatron.ru](http://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:

- 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.

- 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/м<sup>3</sup>; щебень (ГОСТ 8267) до 16 мм 1100 кг/м<sup>3</sup>; песок (ГОСТ 8736) 0-2,5 мм 825 кг/м<sup>3</sup>; 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) °C;
- Относительная влажность (60±10) %.

#### Условия твердения образцов бетона:

В течение первых 24 ч, в формах на воздухе при температуре (20±2) °C 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) °C 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 слой толщиной 1,5-2 мм на все грани. Через 1 сут после нанесения покрытия бетонные образцы хранились при температуре воздуха (20±2) °C, 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	EN	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	Д	ГОСТ 31383-2008

Главный технолог ООО «Кальматрон-СПб»

Краснобаева С.А.

Технолог ООО «Кальматрон-СПб»

Гузенко А.К.