

**Филиал ФГУП «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО» -
«Научно-исследовательский, проектно-конструкторский
и технологический институт бетона и железобетона»
«НИИЖБ»**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**по результатам испытаний состава «Кальматрон» в качестве защитного
покрытия на бетоне по основным показателям качества.**

договор № 1572/13-496-06/ЖБ от 21 августа 2006 г.

Москва 2006 г.

**Филиал ФГУП «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО» -
«Научно-исследовательский, проектно-конструкторский
и технологический институт бетона и железобетона»
«НИИЖБ»**

УТВЕРЖДАЮ:
Директор НИИЖБ



Семченков А. С.

2006 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

по результатам испытаний состава «Кальматрон» в качестве защитного
покрытия на бетоне по основным показателям качества.

договор № 1572/13-496-06/ЖБ от 21 августа 2006 г.

Зав. лабораторией коррозии и
долговечности бетонных и железобетонных
конструкций, проф., д.т.н.

Степанова В. Ф.

Ответственные исполнители:
Ст. научный сотрудник
Научный сотрудник

Соколова С. Е.

Полушкин А. Л.

Москва 2006 г.

Содержание

1.	Характеристика материалов и образцов, представленных на испытания	4
2.	Определение основных показателей качества состава «Кальматрон» на бетоне	7
2.1.	Водонепроницаемость	7
2.2.	Морозостойкость	8
2.3.	Прочность сцепления с бетоном	10
2.4.	Прочность на сжатие	11
2.5.	Глубина проникновения в бетон	12
3.	Общие выводы	21

Данная работа выполнена в соответствии с календарным планом хоздоговора № 1572/13-496-06/ЖБ от 21 августа 2006 г. с ООО «Кальматрон-СПб» по теме: «Проведение испытаний состава «Кальматрон» в качестве защитного покрытия на бетоне по основным показателям качества и выдача научно-технического заключения».

1. Характеристика материалов и образцов, представленных на испытания

Состав «Кальматрон» представляет собой сухую смесь цемента, фракционированного песка и специальных химических добавок и изготавливается по ТУ 5716-008-54282519-2003 «Состав цементный защитный проникающего действия «КАЛЬМАТРОН».

Состав «Кальматрон» предназначен для защиты капиллярно-пористых строительных материалов (тяжелых, легких, мелкозернистых и ячеистых бетонов и кирпича) от климатических и техногенных видов коррозии, для гидроизоляции строительных конструкций, сооружений, емкостей и т.д.

Для проведения испытаний Заказчиком был предоставлен состав «Кальматрон» из партии № 10, изготовленной в октябре 2006 г., в ООО «Кальматрон-СПб». Основные показатели качества представленного на испытания состава «Кальматрон», приведены в таблице 1.

Таблица 1.

№	Наименование показателя	Значение
1	Внешний вид	Сыпучий порошок серого цвета с беловатыми частицами
2	Массовая доля влаги, %, не более	1,0
3	Средняя насыпная плотность, кг/м ³	1300 ± 50
4	Сроки схватывания при нормальной густоте 25 %, мин начало, не менее конец, не более	30 160

5	Прочность при сжатии, МПа, не менее	25
6	Марка по морозостойкости, не менее	F300
7	Марка по водонепроницаемости, не менее	W12

Для проведения испытаний состава «Кальматрон» в качестве защитного покрытия на бетоне, исполнителем в лаборатории коррозии и долговечности НИИЖБ, были изготовлены контрольные образцы, а также образцы бетона, предназначенные для нанесения материала.

Расход материалов на 1 куб. м бетона:

Цемент – 320 кг;

Песок – 630 кг;

Щебень – 1120 кг;

Вода – 175 л.

Класс бетона по прочности В20.

Для проведения испытаний использованы следующие виды образцов:

1. бетонные образцы-кубы размером 7х7х7см для испытаний на морозостойкость, прочность на сжатие и глубину проникновения.
2. бетонные образцы-кубы размером 10х10х10см для испытаний на адгезию
3. бетонные образцы-цилиндры диаметром 15 см и высотой 5 см, для испытаний на водонепроницаемость.

После изготовления бетонные образцы были выдержаны в камере естественного твердения при температуре $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха 80 % в течение 28 суток, затем переданы заказчику для нанесения материала.

Приготовление рабочего состава на основе сухой смеси «Кальматрон» и нанесение покрытия на образцы осуществляли представители Заказчика в ООО «Кальматрон-М» в соответствии с «Инструкцией по применению защитного состава Кальматрон». Для приготовления рабочего состава сухую смесь затворяли водой в количестве 230-250 мл на 1 кг материала.

Все бетонные образцы, перед нанесением состава, промыты водой и доведены до полного насыщения водой поверхностных слоев бетона. Нанесение состава «Кальматрон» на образцы осуществляли ручным способом с помощью металлического шпателя за один проход, при температуре воздуха $+20^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $(65 \pm 5) \%$. Толщина нанесенного защитного слоя покрытия составила 3-5 мм. Расход материала, при толщине слоя 1 мм, составил в среднем $1,6 \text{ кг/м}^2$

Образцы с нанесенным покрытием выдерживали до испытаний в помещении с температурой воздуха $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ и относительной влажностью $(65 \pm 5) \%$ не менее 28 суток. Условия и сроки хранения образцов с покрытием на основе состава «Кальматрон» определялись рекомендациями заказчика по их испытаниям.

В соответствии с календарным планом работ по договору проведены испытания покрытия на основе состава «Кальматрон» по следующим показателям:

- определение водонепроницаемости бетона с покрытием «Кальматрон» при прямом и обратном давлении воды, по сравнению с контрольными образцами;
- определение морозостойкости бетона с покрытием «Кальматрон» по сравнению с контрольными образцами;
- определение прочности сцепления (адгезии) покрытия «Кальматрон» с бетоном;
- определение прочности на сжатие бетона, обработанного составом «Кальматрон» по сравнению с контрольными образцами.
- определение глубины проникновения состава «Кальматрон» в бетон.

2. Определение основных показателей качества состава «Кальматрон» на бетоне.

2.1. Определение водонепроницаемости

Определение водонепроницаемости бетонных образцов-цилиндров с покрытием на основе состава «Кальматрон» и бетонных образцов без защиты (контрольные образцы) проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.5-84 «Бетоны. Метод определения водонепроницаемости».

Перед проведением испытаний образцы с нанесенным составом «Кальматрон» погружали рабочими поверхностями в емкость с водой на глубину 5 мм (толщина гидроизолирующего слоя «Кальматрон») и выдерживали в течении 72 часов.

Испытания проведены на специальной шестигнездной установке, обеспечивающей возможность подачи воды к нижней торцевой поверхности образцов-цилиндров и наблюдение за верхней торцевой поверхностью бетона.

Давление поднимали ступенями по 0,2 МПа, начиная с 0,2 МПа до 1,2 МПа и выдерживали на каждой ступени в течение 6 часов. Испытания продолжали до появления признаков фильтрации воды в виде капель или мокрого пятна на верхней торцевой поверхности. Водонепроницаемость серии образцов оценивали максимальным давлением воды, при котором на четырех из шести образцов не наблюдается признаков фильтрации воды.

Для бетонных образцов с покрытием на основе состава «Кальматрон» испытания проводили при прямом (со стороны покрытия) и обратном (со стороны торца образца, необработанного покрытием) давлении воды.

Результаты испытаний на водонепроницаемость представлены в таблице 2.

Определение водонепроницаемости по ГОСТ 12730.5-84
(метод «мокрого пятна»)

Маркировка образцов	Вид материала	Направление давления	Результат по серии образцов
Серия 1а	Бетон с покрытием «Кальматрон»	прямое	W10
Серия 1б	Бетон с покрытием «Кальматрон»	обратное	W6
Серия 2	Контрольные образцы бетона	прямое	W2

В соответствии с результатами испытаний покрытие на основе состава «Кальматрон» повышает марку по водонепроницаемости бетона при прямом давлении воды - на четыре ступени, при обратном - на две ступени.

2.2. Определение морозостойкости

Определение морозостойкости бетонных образцов с покрытием на основе состава «Кальматрон» и бетонных образцов без защиты (контрольные образцы) проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 10060.2-95 «Бетоны. Методы определения морозостойкости». Морозостойкость определяли по ускоренному методу (третий метод) при многократном переменном замораживании-оттаивании в 5% растворе хлорида натрия при температуре минус $(50 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. Оттаивание образцов происходило при температуре плюс $(18 \pm 2)^{\circ}\text{C}$.

Соотношение между числом циклов испытаний по ускоренному методу, основанному на замораживании-оттаивании в растворе соли и морозостойкостью принимали по таблице 3.

Таблица 3.

Число циклов замораживания-оттаивания (морозостойкость)	100	200	300	400
Число циклов испытаний	3	5	8	12

Оценку состояния образцов с покрытием производили по изменению внешнего вида и прочности. Результаты испытаний приведены в таблице 4 и таблице 5 соответственно.

Таблица 4.

Изменение внешнего вида образцов
в процессе испытания на морозостойкость

Вид образцов	Сроки испытаний образцов			
	3 цикла	5 циклов	8 циклов	12 циклов
Бетон с покрытием «Кальматрон»	Сильное шелушение «Кальматрона»	Сильное разрушение «Кальматрона» на всех гранях, бетон без изменений	Полное разрушение Кальматрона, слабое шелушение бетона на отдельных гранях	Сильное шелушение поверхности бетона
Контрольный бетон	Шелушение поверхности бетона на отдельных гранях	Сильное шелушение поверхности бетона	Сильное поверхностное разрушение бетона на гранях, углах и ребрах, скругление углов	Практически полное разрушение образцов

Морозостойкость образцов оценивали числом циклов замораживания – оттаивания, при котором не наблюдалось снижения прочности бетона контрольного и обработанного «Кальматроном» более, чем на 5 % от исходной величины.

Таблица 5.

Изменение прочности образцов в процессе испытания на морозостойкость

Вид образцов	До испытаний	После 3-х циклов		После 5 циклов		После 8 циклов		После 12 циклов	
	$R_{ср}$, МПа	$R_{ср}$, МПа	ΔR , %	$R_{ср}$, МПа	ΔR , %	$R_{ср}$, МПа	ΔR , %	$R_{ср}$, МПа	ΔR , %
Бетон с покрытием «Кальматрон»	25,7	–	–	25,2	– 1,9	24,7	– 3,9	23,1	–10,1
Контрольный бетон	23,5	22,8	– 2,9	22,4	– 4,7	20,6	–12,3	–	–

Контрольные образцы бетона после 12 циклов практически полностью разрушились.

Результаты испытаний на морозостойкость показали, образцы бетона с покрытием на основе состава «Кальматрон» выдержали 8 циклов замораживания-оттаивания, бетон без защиты – 5 циклов, что соответствует марке по морозостойкости F300 и F200 соответственно.

2.3. Определение прочности сцепления (адгезии) с основанием.

Определение прочности сцепления покрытия «Кальматрон» с бетоном проводили в соответствии с ГОСТ 28574-90 «Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Методы испытаний адгезии защитных покрытий». Для определения количественной величины адгезии материалов к основанию использовали метод нормального отрыва, заключающийся в измерении силы отрыва покрытия от защищаемой поверхности при помощи приклеенного к покрытию металлического штампа и динамометра.

Величину адгезии (R) материала вычисляли по формуле:

$$R = \frac{F}{A}, \text{ МПа}$$

где F – значение силы, при которой произошёл отрыв, Н;

A – площадь отрыва, м^2 .

Результаты определения адгезии покрытия «Кальматрон» к бетону показали, что покрытие обладает высокими адгезионными свойствами. Величина адгезии составляет 3,3 МПа.

2.4. Определение прочности на сжатие

Определение прочности на сжатие проводили на контрольных образцах из бетона и бетонных образцах, обработанных составом «Кальматрон», в соответствии с ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Предел прочности при сжатии вычисляется по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F},$$

где P — наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, кН;

F — площадь поперечного сечения образца, вычисляемая как среднее арифметическое значение площадей верхней и нижней его поверхностей, см^2 .

Полученные значения прочности умножают на размерный коэффициент: для бетонных образцов $7 \times 7 \times 7 \text{ см} = 0,85$.

Результаты определения прочности представлены в таблице 6.

Таблица 6.

Вид материала	Номер образца	Размеры образца	Площадь поперечного сечения, $F, \text{см}^2$	Разрушающая нагрузка, Р, кН	Прочность на сжатие	
					Прочность R, МПа	Р _{ср} , МПа
Контрольный бетон	1к	7,0х7,0	49,0	147,7	25,6	25,8
	2к	7,0х7,2	50,4	145,6	24,6	
	3к	7,0х7,0	49,0	152,9	26,5	
	4к	7,0х7,1	49,7	154,2	26,4	
Бетон, обработанный Кальматроном	1К-н	7,8х7,6	59,3	197,4	28,3	27,7
	2К-н	7,5х7,5	56,3	179,5	27,1	
	3К-н	7,7х7,6	58,5	189,3	27,5	
	4К-н	7,5х7,5	56,3	185,5	28,0	

Анализ результатов позволяет отметить повышение прочности на сжатие (около 7 %) бетонных образцов, обработанных составом «Кальматрон», по сравнению с контрольными образцами бетона без защиты.

2.5. Глубина проникновения в бетон.

Определение глубины проникновения состава «Кальматрон» в бетон проводили на образцах, одна из граней которых была обработана составом «Кальматрон». Для решения поставленной задачи проводился морфологический анализ с использованием оптической и электронной микроскопии.

Оптический морфологический анализ проводился на установке МП-3 с использованием контрастирующего высокодисперсного люминофора.

Для проведения морфологических исследований образец разрезался на 2 равные части и одна из полученных поверхностей шлифовалась и полировалась. После механических операций образец промывался, а

поверхность обрабатывалась ультразвуком в воде для полной очистки поверхности от следов шлифовальных и полировальных порошков.

Визуальный анализ срезов показал, что в обоих представленных образцах под поверхностью нанесенного слоя «Кальматрона» наблюдается область, отличающаяся более темным цветом (т.е. имеющая статистически более низкую отражательную способность примерно на 2-5%). Область распространяется на глубину до 45 мм.

Морфологический анализ слоя «Кальматрона» показал, что он имеет микропористую структуру (рис.1). Граница между слоем «Кальматрона» и бетона отсутствует, и различить их можно только по виду заполнителя (рис. 2, 3). Параметры пористости «Кальматрона» приведены на (Рис. 4).

Основная пористость распределена в интервале 10-50 мкм с центром распределения 15 мкм, относительная пористость 9,8 %.

Анализ структуры бетона показывает, что он является крупнопористым объектом с равномерно распределенными фильтрационными и диффузионными каналами. Бетон имеет развитую структуру пор воздухововлечения размером от 10 мкм до 1,5 мм (рис. 5), с преобладанием мелкопористой структуры с центром распределения 50 мкм. Поры обособленные. Пористость бетона – 12,4 %. Результаты морфологического анализа приведены на рис. 6.

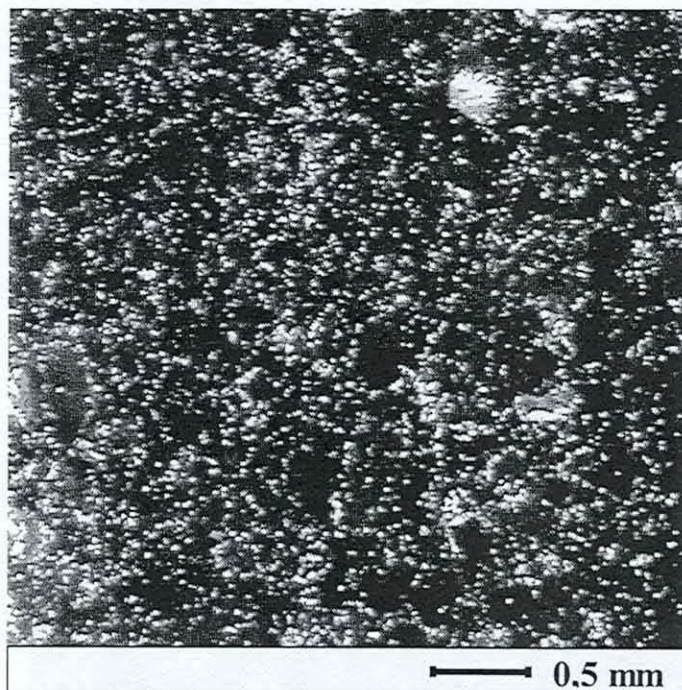


Рис. 1. Визуализированная внедрением высокодисперсного люминофора поровая структура слоя «Кальматрона».

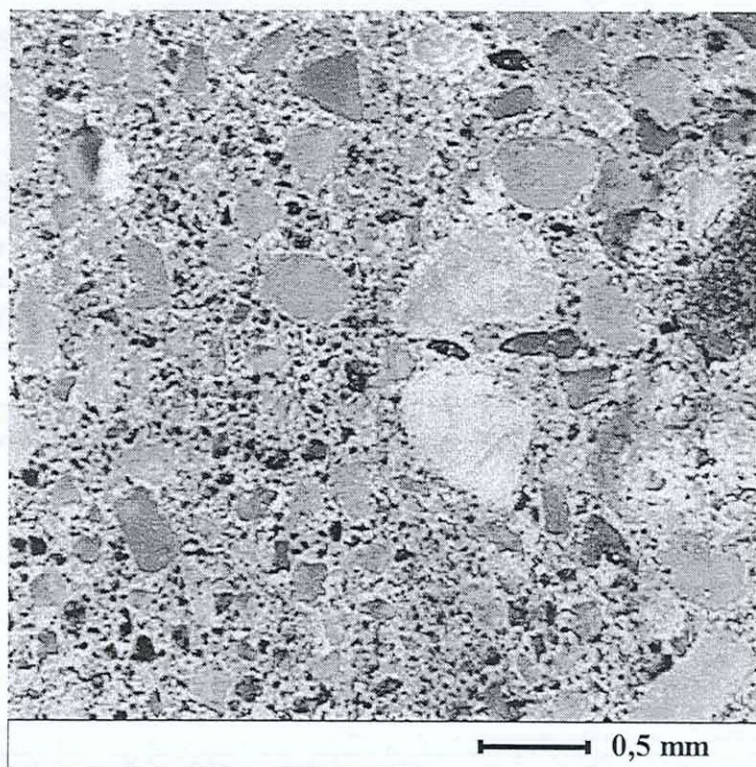


Рис. 2. Общий вид образца в окрестности контактной области.
Слева - слой «Кальматрона», справа – бетон.

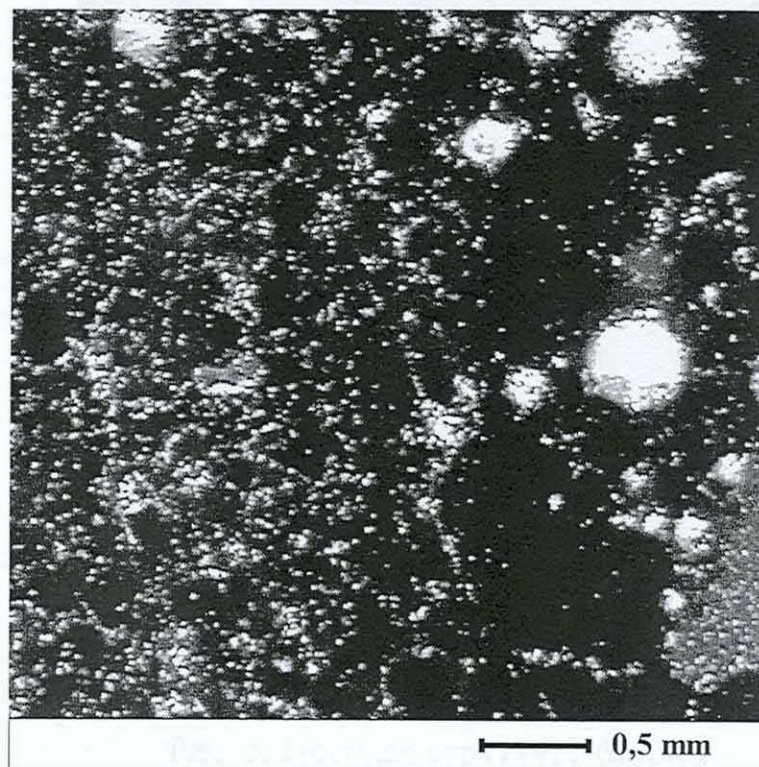


Рис. 3. То же, контрастировано люминофором.

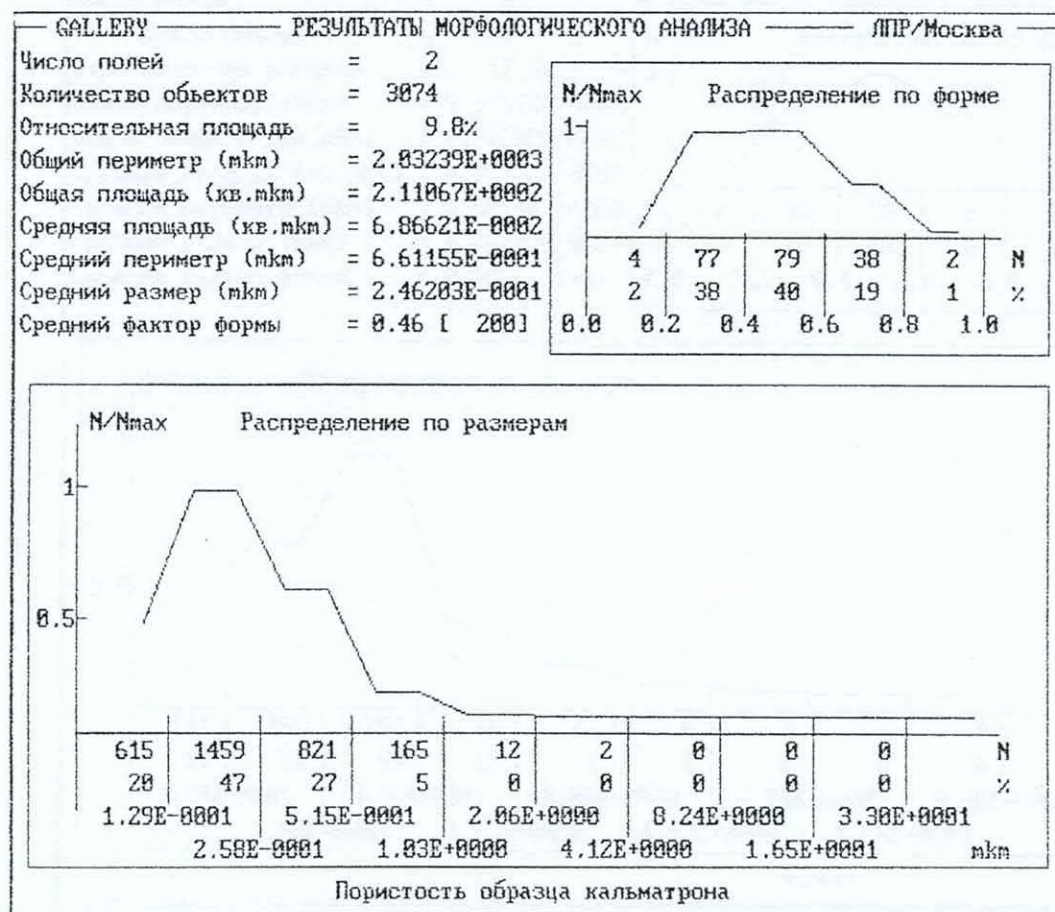


Рис. 4. Пористость образца «Кальматрона».

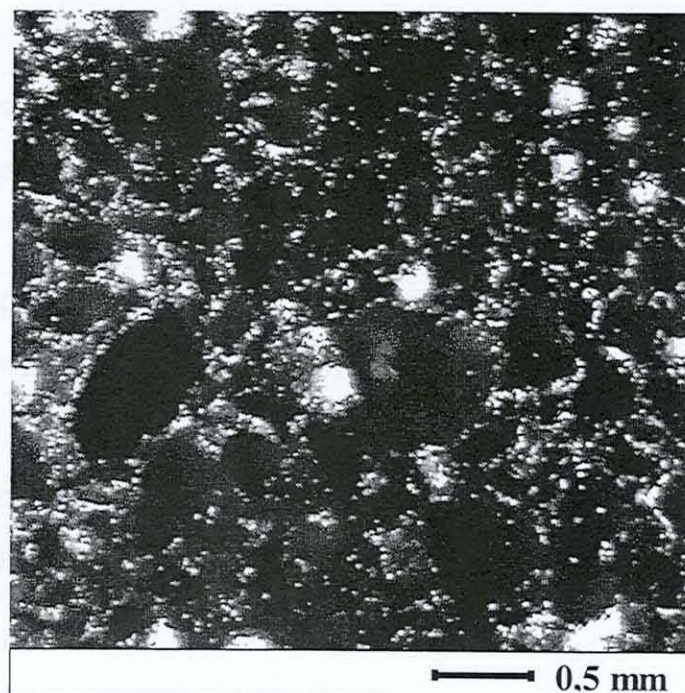


Рис. 5. Поровая структура бетона

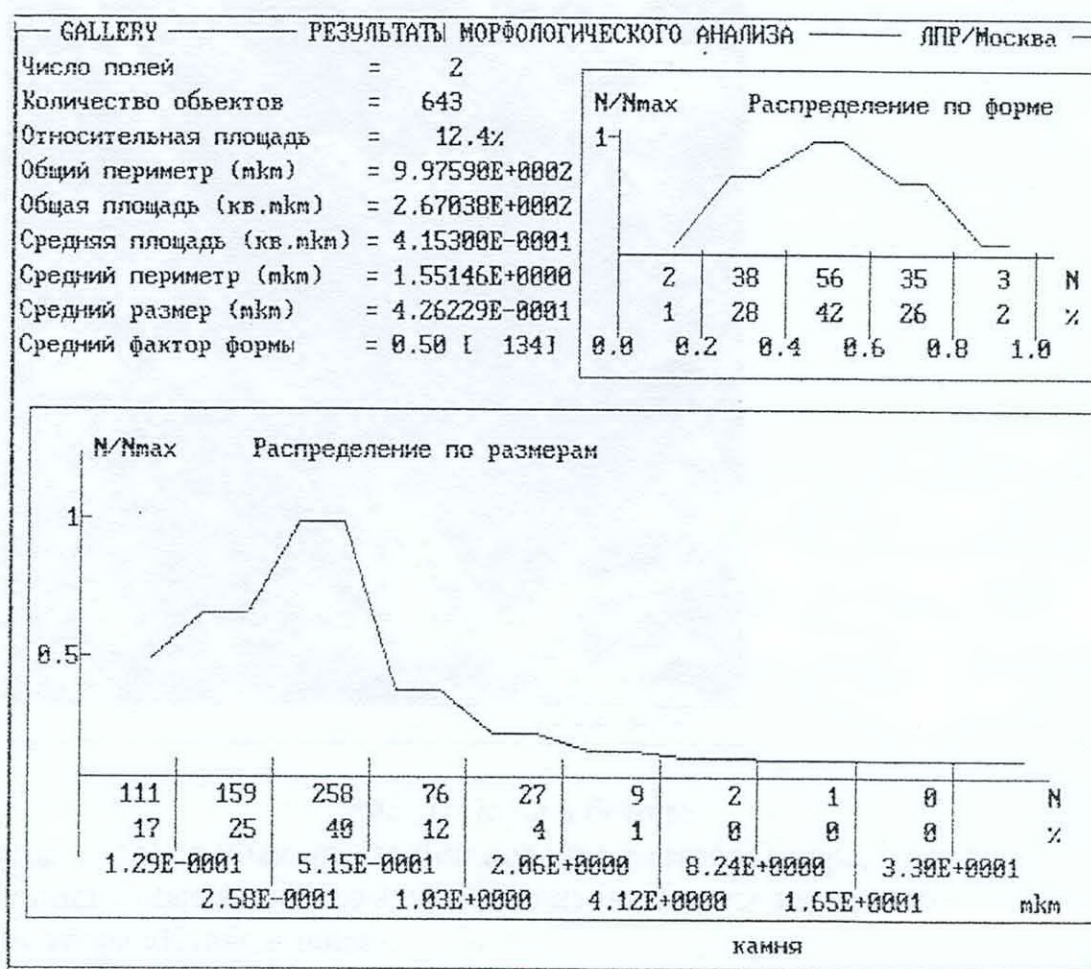


Рис. 6. Пористость образца бетона

Для анализа распространения колюматирующего вещества проводилось электронно-микроскопическое исследование скола. Анализ показал, что до глубины 1,5-2 мм под поверхностью «Кальматрона» обнаруживаются заполненные фильтрующим веществом поры (рис. 7); с увеличением глубины от обработанной поверхности число заполненных пор уменьшается, и на глубине около 4 мм их количество не превышает 1% общего числа пор.

Общий вид структур, образующихся при кристаллизации из истинного раствора «Кальматрона» в воде, приведен на рис. 8.

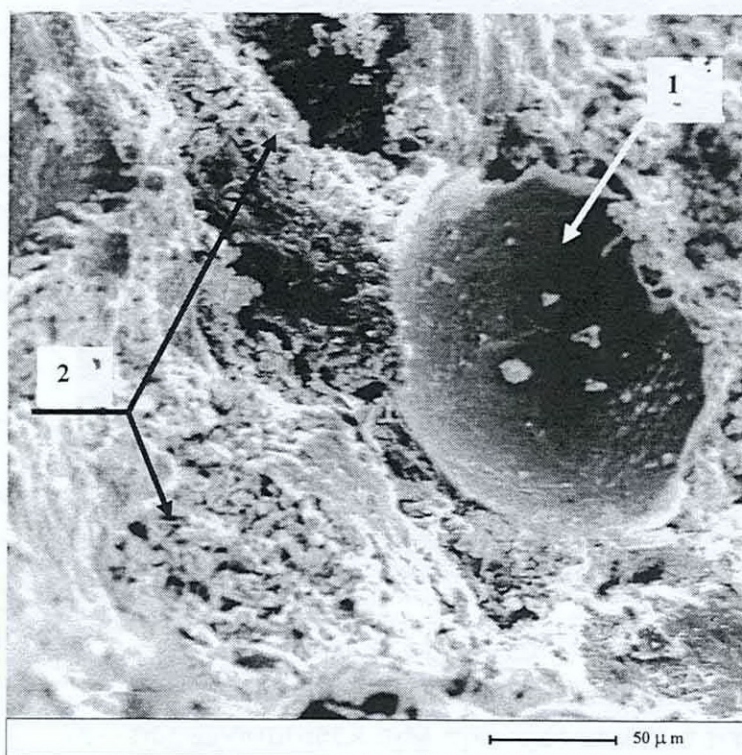
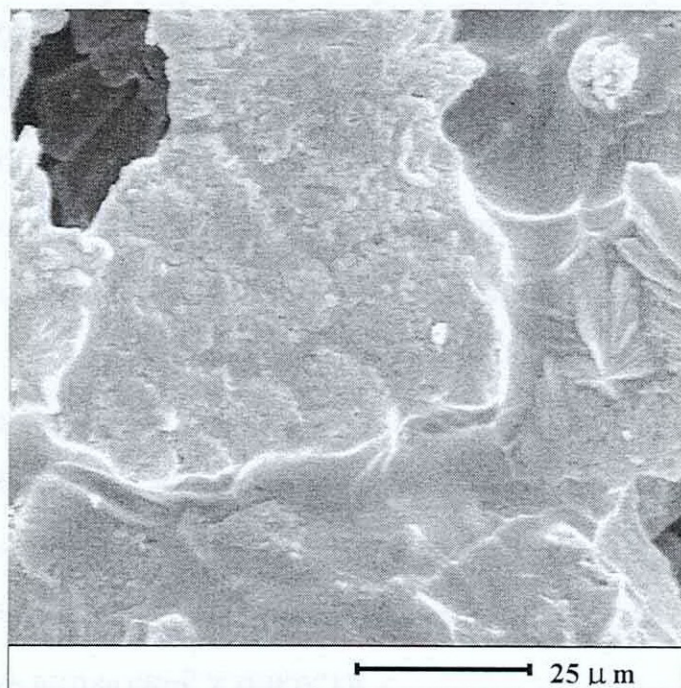
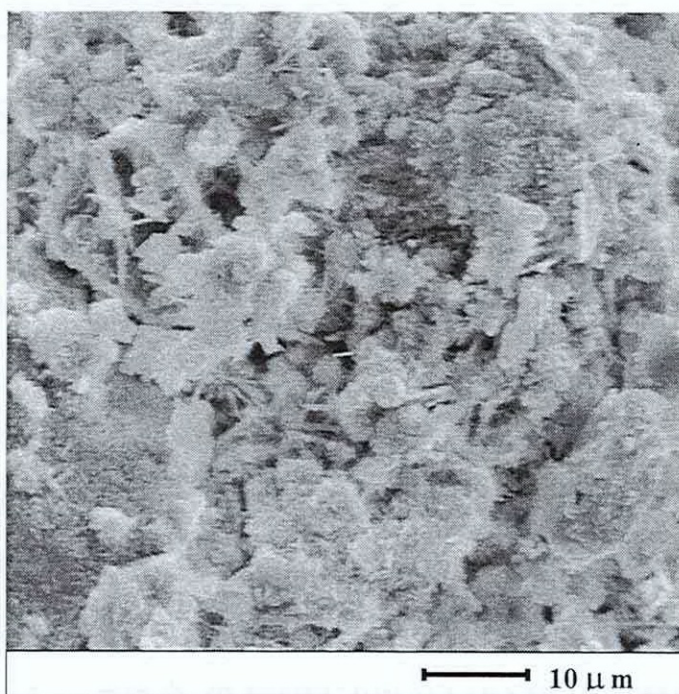


Рис. 7. Поры в бетоне.

- 1 – замкнутая (недоступная для проникновения раствора) пора,
- 2 – поры, заполненные веществом, кристаллизовавшимся из водного раствора «Кальматрона».



а



б

Рис. 8. Виды кристаллизационных структур
 а – образующиеся при кристаллизации из водного раствора,
 б – образующиеся при кристаллизации «Кальматрона».

Можно предположить, что в состав «Кальматрона» входят вещества, образующие в воде истинный раствор. Раствор распространяется по телу бетона по капиллярам. На глубине до 1,5-2 мм наблюдается частичное или полное заполнение пор дисперсными продуктами, содержащимися в «Кальматроне», которые блокируют большую часть фильтрационного пространства, находящегося в пограничной области между бетоном и «Кальматроном». Поэтому в дальнейшем распространение жидкости идет преимущественно по диффузионным каналами за счет градиента концентрации. Таким образом раствор, образовавший при насыщении «Кальматрона» водой, будет распространять до глубины, определяемой объемом диффундирующей жидкости.

Обобщение результатов морфологического анализа, проведенного оптическим и электронно-микроскопическим методами, позволяет сделать вывод, что слой «Кальматрона», нанесенный на поверхность бетона, представляет собой микропористую структуру, фильтрационные каналы в которой практически отсутствуют. Область контакта между «Кальматроном» и бетоном монолитна за счет проникновения дисперсных составляющих «Кальматрона» в структуру бетона.

Взаимодействие «Кальматрона» с бетоном происходит поэтапно. При затворении водой «Кальматрона» образуются гидраты клинкерных минералов и водный раствор. На первом этапе формируется контактная область, в которой «Кальматрон» занимает все свободное пространство доступных пустот бетона, блокируя фильтрационные каналы. На втором этапе протекает диффузионный перенос раствора вглубь бетона, лимитированный объемом образовавшегося раствора. Кольматирующий эффект защитного состава определяется блокированием фильтрационного объема веществами, кристаллизующимися из раствора, проникшего в тело бетона, и купированием диффузионного объема при повторном смачивании поверхности слоя «Кальматрона».

Установлено, что под поверхностью нанесенного слоя «Кальматрона» отчетливо имеется область, распространяющаяся до глубины до 45 мм, более темная по цвету (имеющая статистически более низкую отражательную способность).

До глубины 1,5-2 мм под поверхностью «Кальматрона» обнаруживаются заполненные фильтрующимся веществом поры; с увеличением глубины от обработанной поверхности число заполненных пор уменьшается, и на глубине более 4 мм их нет.

Таким образом, установлено, что область контакта «Кальматрона» с бетоном (толщиной до 0,5 мм) монолитна, в слое бетона до глубины 2 мм от поверхности поры частично заполнены фильтрующимся веществом, а зона влияния проникновения растворимой части «Кальматрона» прослеживается до глубины 45 мм от поверхности.

3. Общие выводы.

Результаты испытаний бетона с покрытием на основе состава «Кальматрон» (ТУ 5716-008-54282519-2003) по основным показателям качества по сравнению с бетоном без защиты приведены в обобщенной таблице 5.

Таблица 5.

№	Наименование показателя, единица измерения	Обозначение НТД на испытание	Результаты испытаний	
			Бетон с покрытием «Кальматрон»	Бетон без защиты
1	Водонепроницаемость, МПа: - прямое давление - обратное давление	ГОСТ 12730.5-84	W 10 W 6	W 2 —
2	Морозостойкость, циклы	ГОСТ 10060.2 – 95	300	200
3	Прочность сцепления с бетоном (адгезия), МПа	ГОСТ 28574 – 90	3,3	—
4	Прочность на сжатие, МПа	ГОСТ 10180-90	27,7	25,8

Результаты проведенных испытаний позволяют сделать следующие выводы.

Покрытие на основе состава «Кальматрон» обладает высокими адгезионными свойствами к бетонной поверхности (3,3 МПа).

Нанесение покрытия на основе состава «Кальматрон» на бетон позволяет увеличить марку бетона по водонепроницаемости на 4 ступени (с W2 до W 10) при прямом давлении воды, на 2 ступени при обратном

давлении, повысить морозостойкость бетона с 200 до 300 циклов и повысить прочность бетона на 7 %.

Результаты физико-химических исследований показали, что область контакта состава «Кальматрон» с бетоном монолитна, в слое бетона до глубины 2 мм от поверхности поры заполнены фильтрующимся веществом, а зона влияния проникновения растворимой части «Кальматрона» прослеживается до глубины 45 мм от поверхности.

Таким образом, покрытие на основе состава «Кальматрон» на бетоне обладает высокими эксплуатационными свойствами и может быть рекомендовано для гидроизоляции бетонных и железобетонных конструкций в практике гражданского и промышленного строительства.