

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

**ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
СТАНДАРТОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 22–23.05.2013)

УДК 691.327: 666.973

**ПРОЧНОСТНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ЗАЩИЩЕННЫХ СИСТЕМОЙ
«КАЛЬМАТРОН»**

ПОЛЕЙКО Н.Л., ЛЕОНОВИЧ С.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

ТЕМНИКОВ Ю.Н.

ООО «Кальматрон – Спб.»
Санкт-Петербург, Россия

ЖУРАВСКИЙ С.В.

ООО «Белкальматрон»
Минск, Беларусь

Введение

Учитывая тенденцию 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 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.

Технологический процесс изготовления конструкций, режима тепловлажностной обработки бетона сопряжены с большой вероятностью образования температурных, усадочных и силовых трещин, наличием зон контакта свежееуложенной бетонной смеси и затвердевшего бетона, наличием водных пленок под арматурой и крупным наполнителем.

Постоянная миграция влаги в массиве бетона за счет 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 конструкций. Снижение проницаемости бетонных конструкций достигается различными способами, но наиболее эффективным и радикальным, по нашему мнению, является кольтматация пор и капилляров бетона [2,3,4].

Экспериментальные исследования. Анализ результатов

Состав цементного проникающего действия «Кальматрон» представляет собой сухую смесь: вяжущего - цемента, фракционированного песка и специальных химических добавок и изготавливается по СТБ 1543-2005 «Смеси сухие гидроизоляционные. ТУ».

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.

Основные показатели состава «Кальматрон» приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-механические показатели состава «Кальматрон»

№ п/п	Наименование показателя	Нормативные значения
1	Внешний вид	Серый порошок с серыми включениями
2	Влажность, % не более	2,5
3	Сроки схватывания, мин - начало, не менее - окончание, не более	30 180
4	Прочность при сжатии, МПа не менее	М 25
5	Марка по морозостойкости, не менее	F 300
6	Марка по водонепроницаемости, не менее	W 10
7	Коррозионное состояние стальной арматуры	Устойчиво-пассивное
8	Удельная поверхность, см ² /г	2874

Для проведения испытаний состава «Кальматрон» в качестве защитного покрытия на бетоне были изготовлены контрольные образцы, а также образцы бетона, предназначенные для нанесения материала. В качестве вяжущего применялся портландцемент ОАО «Красносельскстройматериалы» «ПЦ – 400 ДО»; в качестве мелкого заполнителя применялся кварцевый песок карьера «Кальматрон», крупного заполнителя – гранитный щебень фракции 5...20 мм Микашевичского карьера. Расход материалов на 1 м³ бетона: цемента – 320 кг; песок – 630 кг; щебень – 1120 кг; вода – 175 л.

После изготовления бетонные образцы были выдержаны в камере нормально-влажностного твердения в течение 28 суток, затем покрывали составом «Кальматрон»

Приготовление рабочего состава на основе сухой смеси состава «Кальматрон» и нанесение покрытия на образцы осуществляли согласно технологической карты ТК 111/03/07 – 2004. Для приготовления рабочего состава сухую смесь затворяли водой в количестве 240...250 мл на 1 кг материала.

Все бетонные образцы перед нанесением состава «Кальматрон» насыщались водой. Нанесение состава «Кальматрон» на бетонные поверхности образцов осуществлялось с помощью шпателя за один проход. Толщина нанесенного защитного слоя покрытия составляла 3...5 мм. Образцы с нанесенным покрытием выдерживали до испытаний в камере нормально-влажностного твердения.

Определение водонепроницаемости бетонных образцов-цилиндров с покрытием на основе состава «Кальматрон» и бетонных образцов без защиты 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 5мм (толщина гидроизолирующего слоя «Кальматрон») и выдерживали в течение 72 часов. 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 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.

Таблица 2. Результаты испытаний на водонепроницаемость

Маркировка образцов	Вид материала	Направление давления	Результат по серии образцов
Серия 1а	Бетон с покрытием «Кальматрон»	прямое	W 10
Серия 1б	Бетон с покрытием «Кальматрон»	обратное	W 6
Серия 2	Контрольные образцы бетона	прямое	W 2

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.

Определение морозостойкости бетонных образцов с покрытием составом «Кальматрон» и без покрытия проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 10060.2 – 95 «Бетоны. Методы определения

морозостойкости». Морозостойкость определяли по ускоренному методу при многократном переменном замораживании – оттаивании в 5%-ом 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. Соотношение между количеством циклов испытаний и морозостойкостью

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

Таблица 5. Изменение прочности на сжатие 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 «Каль-«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	–	–

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. 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.

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

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». Установлено, что повышение прочности при сжатии бетонных образцов, обработанных составом «Кальматрон», по сравнению с контрольными образцами бетона без защиты составляет около 7%.

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 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 (Рисунок 1). Граница между слоем «Кальматрона» и бетона отсутствует, и различить их можно только по виду заполнителя (рисунок 2). Параметры пористости «Кальматрона» приведены на Рисунок 3.. 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 воздухоовлечения размером от 10 мкм до 1,5 мм (рисунок 4), с преобладанием мелкопористой структуры с центром распределения 50 мкм. Поры обособленные. Пористость бетона – 12,4%. Результаты морфологического анализа приведены на рис.5.

Для анализа распространения кольматирующего вещества проводилось электронно-микроскопическое исследование скола. Ана-

лиз показал, что до глубины 1,5...2 мм под поверхностью «Кальматрона» обнаруживаются заполненные фильтрующим веществом поры (рис.6), с увеличением глубины от обработанной поверхности число заполненных пор уменьшается, и на глубине около 4мм их количество не превышает 1% общего числа пор.

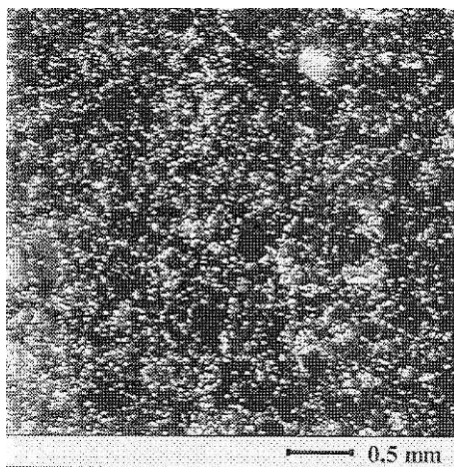


Рисунок 1. Визуализированная внедрением высокодисперсного люминофора поровая структура слоя «Кальматрона»

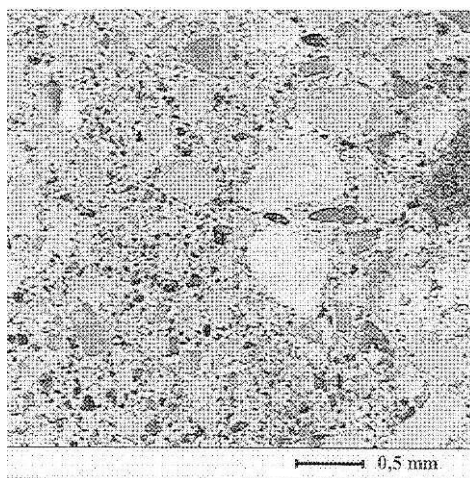


Рисунок 2. Общий вид образца в окрестности контактной области.
Слева – слой «Кальматрона», справа – бетон

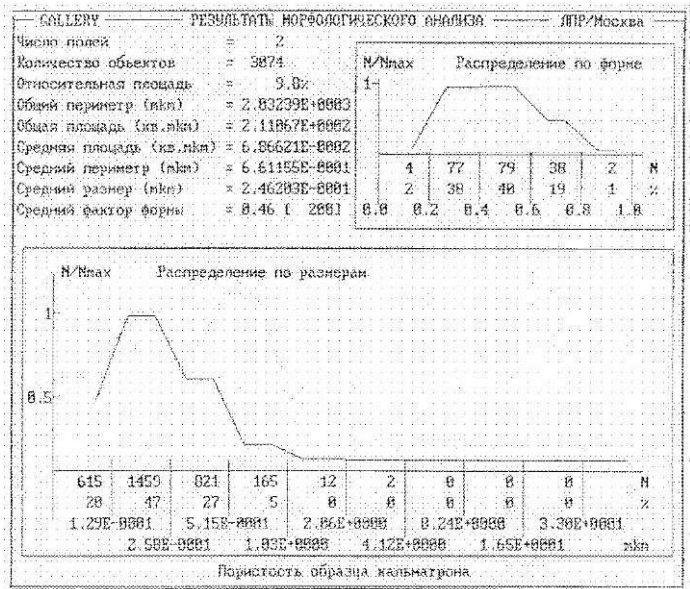


Рисунок 3. Пористость образца «Кальматрона»

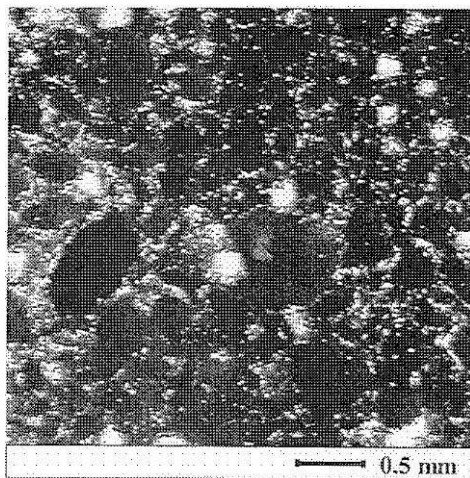


Рисунок 4. Поровая структура бетона

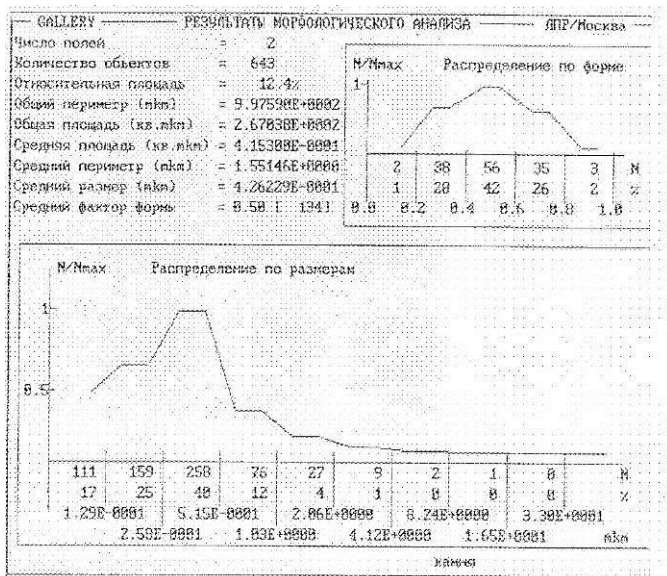


Рисунок 5. Пористость образца бетона

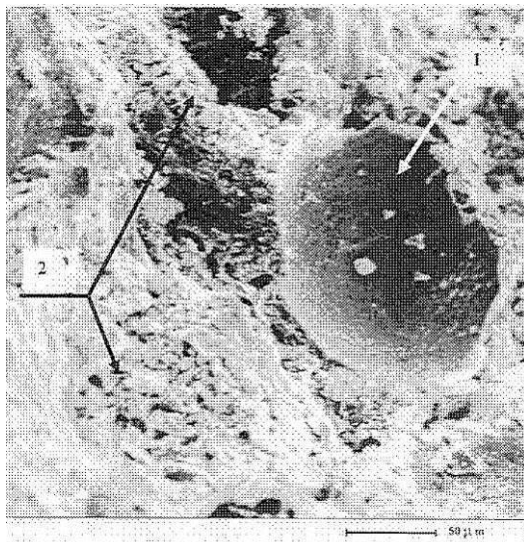


Рисунок 6. Поры в бетоне

1 – замкнутая (недоступная для проникновения раствора) пора;
 2 – поры, заполненные веществом, кристаллизовавшимся из водного раствора «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 каналам за счет градиента концентрации. Таким образом, раствор, образовавшийся при насыщении «Кальматрона» водой, будет распространяться 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 уве-

личением 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.

Заключение

Результаты испытаний бетона с покрытием на основе состава «Кальматрон» по основным показателям качества по сравнению с бетоном без защиты приведены в обобщенной таблице 6.

Таблица 6. Результаты испытаний

№	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 W10) 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.

Промышленное применение кольматирующих составов проведено на ряде объектов Республики Беларусь:

- ремонт и восстановление очистных сооружений ОАО «Красносельскстройматериалы»;
- ремонт резервуаров РУП «Беларуськалий»;
- ремонт дымовой трубы ТЭЦ – 5, градирни ТЭЦ – 4 и очистных сооружений ТЭЦ – 3;
- восстановление транспортной эстакады ОАО «Нафтан»;
- ремонт и восстановление «Августовского канала» и ряд других сооружений.

Промышленная апробация и применение состава «Кальматрон» подтвердили эффективность использования состава «Кальматрон» в подземном и наземном транспортном строительстве, защите канализационных и водопроводных систем, резервуаров, сооружений и ремонте строительных конструкций в качестве защитного покрытия проникающего действия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розенталь Н.К., Степанова В.Ф., Чехний Г.В. Защитные материалы проникающего действия для повышения долговечности конструкций./ «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.: РНФ «Роза мира», 2007. – С.338- 343.
3. Полейко Н.Л., Осос Р.Ф., Полейко Д.Н., Журавский С.В. Повышение долговечности бетона с применением состава “Кальматрон”./ Материалы Международной конференции “Проблемы

долговечности зданий и сооружений в современном строительстве”. – СПб.: РНФ “Роза мира”, 2007. – С.377-383.

4. Полейко Н.Л., Осос Р.Ф., Полейко Д.Н. Гидроизоляционный материал «Кальматрон» – перспективы применения./ Архитектура и строительство. 2005., №5. – С.94-97.

5. Полейко Н.Л., Осос Р.Ф., Полейко Д.Н. Применение гидрофобизатора типа «Кальматрон» в производстве железобетонных труб методом виброгидропрессования. / Материалы МНТК «Наука и технология строительных материалов. Состояние и перспективы развития» - Минмк: БГТУ, 2005. – С. 216-219.

6. Смеси сухие гидроизоляционные. Технические условия: СТБ 1543 – 2005. – Введ. 01.01.2006.

7. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180 – 90. – Введ. 01.01.1991.

8. Бетоны. Метод определения водопоглощения. ГОСТ 12730.3 – 78. – Введ. 01.01.1980.

9. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости: ГОСТ 12730.5 – 84. – Введ. 01.07.1985.

10. Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многократном замораживании и оттаивании: ГОСТ 10060.2 – 95. – Введ. 01.04.1997.

11. Бетоны. Методы определения показателей пористости: ГОСТ 12730.4 – 78. – Введ. 01.01.1980.

12. Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Методы испытаний адгезии защитных покрытий: ГОСТ 28574 – 90. – Введ. 01.01.1991.