

конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.

12. ДБН В.1.2-12-2008. СНББ. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. –К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 36 с.

13. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 86 с.

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена актуальній проблемі виконання робіт з штучного закріплення ґрунтів основи при реконструкції будівель. Основна увага приділяється питанню дослідження і врахування особливостей виконання даних робіт в щільних умовах. Розглянуто вплив розроблених організаційно-технологічних рішень на техніко-економічні показники (ТЕП) будівельних робіт. Рішення зазначеної проблеми показано на практичному прикладі реконструкції будівлі.

Ключові слова: реконструкції будівель, закріплення ґрунтів основ фундаментів, щільні умови, техніко-економічні показники будівельно-монтажних робіт.

ANNOTATION

The article is devoted the problem of performance of works on artificial consolidation of the Foundation soils for the reconstruction of buildings. Focuses on the research question and considering the peculiarities of execution of these works in cramped conditions, influence the organizational and technological solutions on technical and economic indices of construction works. The solution to this problem is shown on a practical example of reconstruction of the building.

Keywords: reconstruction of buildings, consolidation of foundation soils, cramped conditions, technical and economic indicators of construction and installation works.

УДК 691.327:666.973

**Леонович С.Н., д.т.н., проф.,
Белорусский национальный
технический университет, г. Минск
Полейко Н.Л., к.т.н., доц., Белорусский
национальный технический
университет, г. Минск**

ТЕХНОЛОГИЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОЙ И АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОСТАВОВ ПРОНИКАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ

В данной работе приводятся результаты исследований поровой структуры бетона с применением системы «Кальматрон», в зависимости от условий и сроков твердения, а также от содержания кольматирующей добавки. Подтверждены предпосылки о том, что со временем, в результате химических реакций происходит кольматация капиллярных пор, снижается водопоглощение бетона, увеличивается его водонепроницаемость и морозостойкость.

Полученные результаты нашли применение при изготовлении железобетонных конструкций, к которым предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости и морозостойкости на промышленных предприятиях строительной отрасли.

Определены конструкции, где применение системы «Кальматрон» наиболее эффективно.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, бетон, прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, пористость, структура, сцепление.

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 [1-8].

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, режим 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 вокруг арматуры и крупного заполнителя.

Постоянная миграция влаги в массиве бетона за счет капиллярного подсоса, испарения, перепада температур на различных поверхностях являются определяющим фактором процесса интенсификации разрушения цементного камня [1-8].

Целью данного исследования является установление зависимости между проницаемостью и морозостойкостью, что позволяет прогнозировать долговечность бетона конструкций.

Актуальная задача снижения проницаемости бетона конструкций достигается главным образом путем кольтматации пор и капилляров.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ. Состав цементный проникающего действия «Кальматрон» представляет собой сухую смесь: вяжущего – цемента, фракционированного песка и специальных химических добавок и изготавливается по СТБ 1543-2005 «Смеси сухие гидроизоляционные. Технические условия».

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 | Нормативное значение |
|-------|---|------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| 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 | M 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-Д0»; в качестве мелкого заполнителя применялся кварцевый песок карьера «Крапужино», крупного заполнителя – гранитный щебень фракции 5...20 мм Микашевичского карьера. Расход материалов на 1 м³ бетона: цемент – 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 покрыты составом «Кальматрон».

Приготовление рабочего состава на основе сухой смеси «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. Методы определения водонепроницаемости». Перед проведением испытаний образцы с нанесенным составом «Кальматрон» погружали рабочими поверхностями в емкость с водой на глубину 5 мм (толщина гидроизолирующего слоя состава «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 |
|---------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 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 пятипроцентном 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 | 100 | 200 | 300 | 400 |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Число ускоренных 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.

Морозостойкость образцов оценивали числом циклов замораживания-оттаивания, при котором не наблюдалось снижения прочности бетона контрольного и обработанного составом «Кальматрон» 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 F 300 и F 200 соответственно.

Таблиця 4

Изменение внешнего вида образцов в процессе испытания на морозостойкость.

| Вид образцов | Сроки испытаний образцов | | | |
|---|--|---|---|--|
| | 3 цикла | 5 циклов | 8 циклов | 12 циклов |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Бетон с покрытием составом «Кальматрон» | Сильное шелушение покрытия составом «Кальматрон» | Сильное разрушение покрытия составом «Кальматрон» на всех гранях, бетон без изменений | Полное разрушение покрытия составом «Кальматрон», 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 |

Таблиця 5

Изменение прочности на сжатие образцов в процессе испытания на морозостойкость.

| Вид образцов | До испытаний | После 3 циклов | | После 5 циклов | | После 8 циклов | | После 12 циклов | |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | R_{cp} , МПа | R_{cp} , МПа | ΔR , % | R_{cp} , МПа | ΔR , % | R_{cp} , МПа | ΔR , % | R_{cp} , МПа | ΔR , % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 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 | - | - |

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 изменении 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 %.

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

Таблиця 6

Результаты испытаний

| № п/п | Наименование показателя, единица измерения | Обозначение НТД на испытание | Результаты испытаний | |
|-------|---|------------------------------|---|------------------|
| | | | Бетон с покрытием составом «Кальматрон» | Бетон без защиты |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Водонепроницаемость, МПа: - прямое давление - обратное давление | ГОСТ 1 2730.5-84 | W10 W6 | W2 - |
| 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 |

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

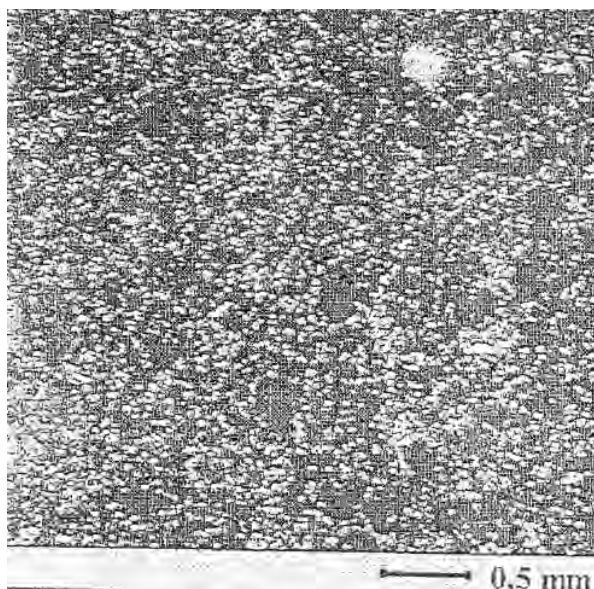


Рис. 1. Визуализированная внедрением высокодисперсного люминофора поровая структура слоя состава «Кальматрон».

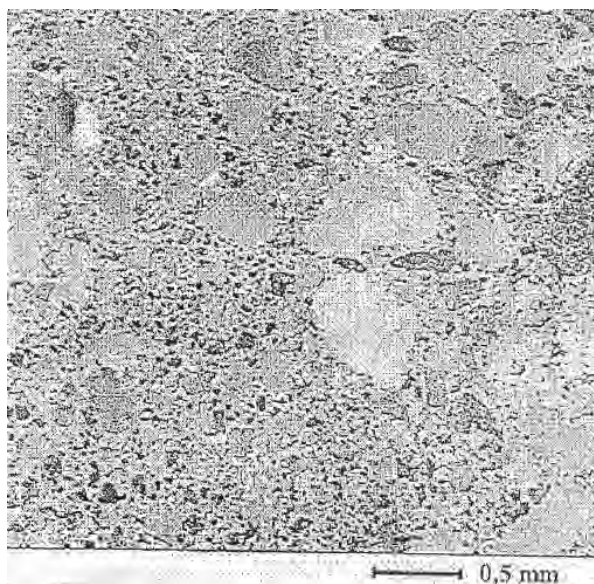


Рис. 2. Общий вид образца в окрестности контактной области. Слева – слой состава «Кальматрон», справа – бетон.

Для анализа распространения кольматирующего вещества проводилось электронно-микроскопическое исследование скола. Анализ 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 4 мм их количество не превышает 1 % общего числа пор.

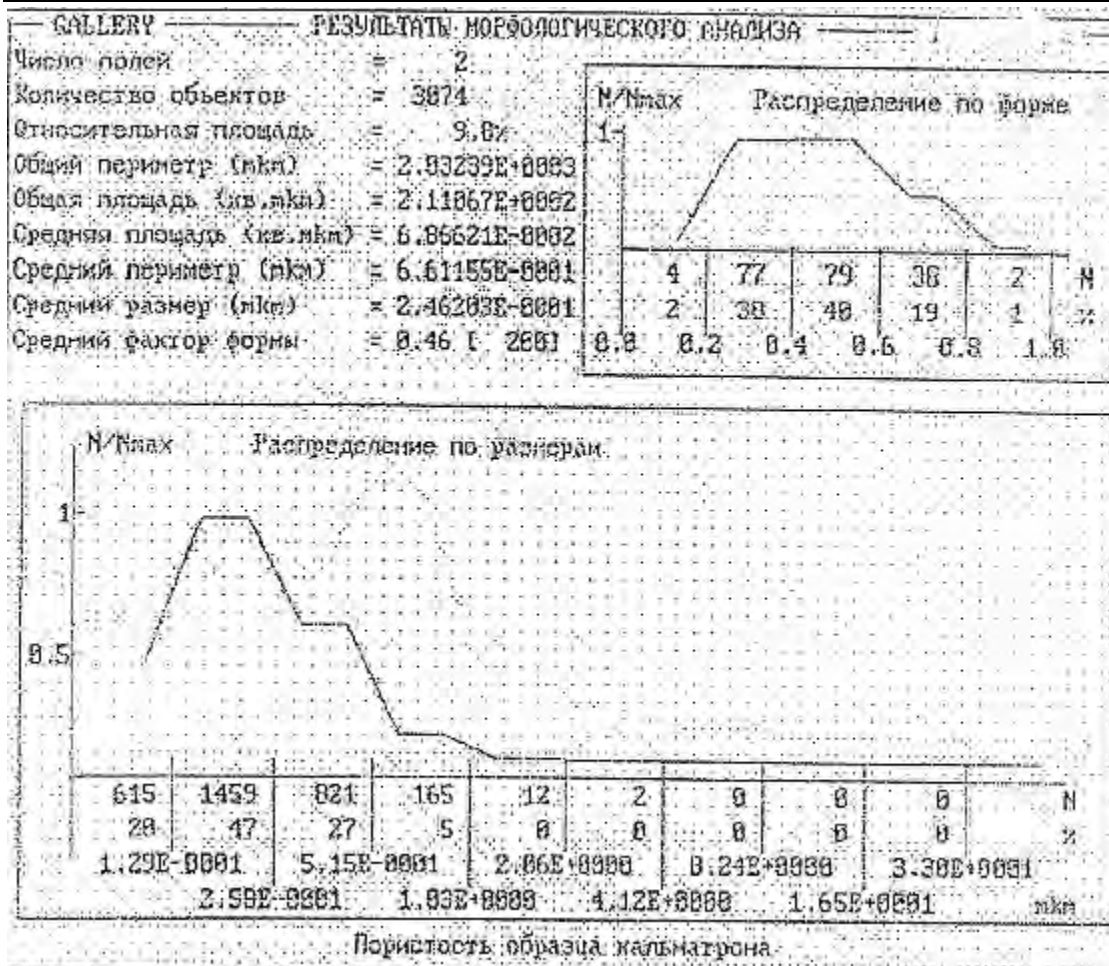


Рис. 3. Пористость образца состава «Кальматрон»

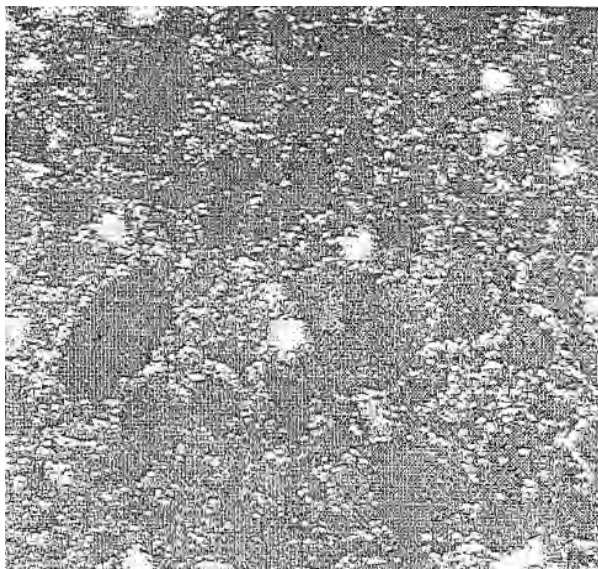


Рис. 4. Поровая структура бетона

Можно предположить, что в состав «Кальматрон» 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 составе «Кальматрон», которые блокируют большую часть фильтрационного пространства, находящегося в пограничной области между бетоном и составом «Кальматрон». Поэтому в дальнейшем распространение жидкости идет преимущественно по диффузионным каналам за счет градиента концентрации. Таким образом, раствор, образовавшийся при насыщении состава «Кальматрон» водой, будет распространяться до глубины, определяемой объемом диффундирующей жидкости.

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

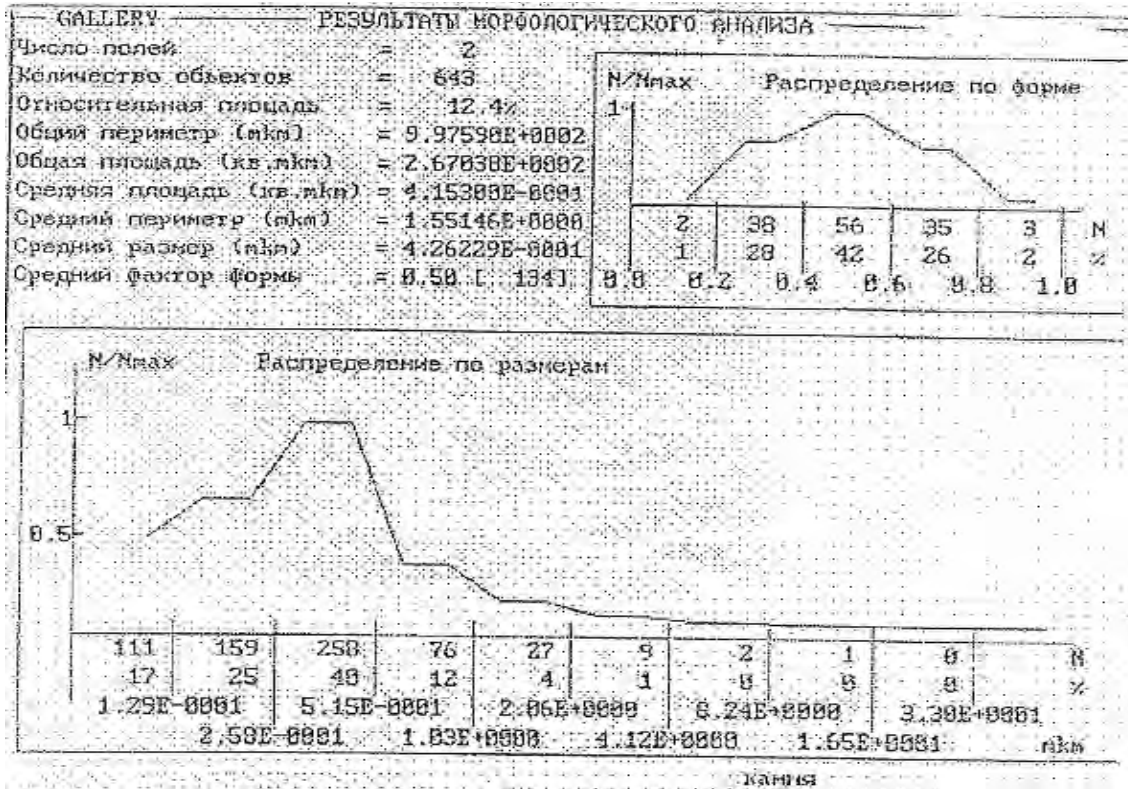


Рис. 5. Пористость образца бетона

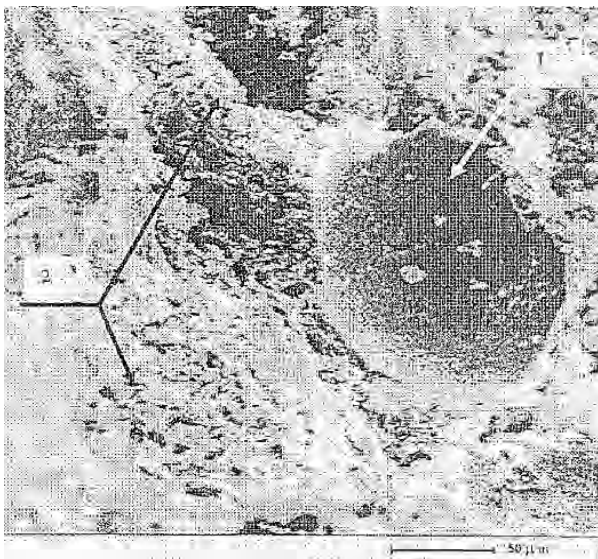


Рис. 6. Поры в бетоне:

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

Взаимодействие состава «Кальматрон» с бетоном происходит поэтапно. При затворении водой состава «Кальматрон» образуются гидраты клинкерных минералов и водный раствор. На первом этапе формируется контактная область, в которой состав «Кальматрон»

занимает все свободное пространство доступных пустот бетона, блокируя фильтрационные каналы. На втором этапе протекает диффузионный перенос раствора в глубь 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 состава «Кальматрон».

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

До глубины 1,5÷2 мм под поверхностью состава «Кальматрон» 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 состава «Кальматрон» с бетоном (толщиной до 0,5 мм) монолитна,

в слое бетона до глубины 2 мм от поверхности поры частично заполнены фильтрующим веществом, а зона влияния проникновения растворимой части состава «Кальматрон» прослеживается до глубины 45 мм от поверхности.

ВЫВОДЫ.

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

2. Нанесение покрытия на основе состава «Кальматрон» на бетон позволяет увеличить марку бетона по водонепроницаемости на 4 ступени (с W 2 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%.

3. В слое бетона до глубины 2 мм от поверхности поры заполнены фильтрующим веществом, а зона влияния проникновения растворимой части состава «Кальматрон» прослеживается до глубины 45 мм от поверхности.

4. Промышленная апробация (очистные сооружения ОАО «Красносельскмстройматериалы»; резервуары РУП «Беларуськалий»; дымовые трубы ТЭЦ-5; градирни ТЭЦ-4; очистные сооружения ТЭЦ-3; транспортные эстакады ОАО «Нафтан») подтвердила эффективность использования состава «Кальматрон» в качестве защитного покрытия проникающего действия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях: Монография [в 2-х ч.] / Леонович С.Н., Литвиновский Д.А., Чернякевич О.Ю., Степанова А.В.; под ред. д.т.н., проф. С.Н. Леоновича. – Минск: БНТУ, 2016. – 597 с.

2. 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.

3. Герчин, Д.В. Особенности применения защитного состава «Кальматрон» для повышения долговечности бетонов зданий и сооружений / Д.В. Герчин // Материалы Международной конференции «Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве». – СПб.: РНФ «Роза мира», 2007. – С. 338-343.

4. Полейко, Н.Л. Повышение долговечности бетона с применением состава «Кальматрон» / Н.Л. Полейко, Р.Ф. Осос, Д.Н. Полейко, С.В. Журавский // Материалы Международной конференции «Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве». – СПб.: РНФ «Роза мира», 2007. – С. 377-383.

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

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

7. Полейко, Н.Л. Структура порового пространства бетона с добавкой «Кальматрон» / Н.Л. Полейко, Р.Ф. Осос, Д.Н. Полейко // Сборник статей Международного научно-практического семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь». – Минск: БНТУ, 2006. – С. 126–131.

8. Полейко, Н.Л. Повышение эксплуатационных характеристик бетона строительных конструкций с применением системы «Кальматрон» / Н.Л. Полейко, С.В. Журавский, Ю.Н. Темников // Сборник статей II Международного симпозиума «Проблемы современного бетона и железобетона» (г. Минск, 21-23 октября 2009 г.). – Минск: Минсктиппроект, 2009. – С. 365-375.

АНОТАЦІЯ

У даній роботі наводяться результати досліджень порової структури бетону з застосуванням системи «Кальматрон», в залежності від умов і термінів твердіння, а також від змісту кольматуючої добавки. Підтверджено передумови про те, що з часом, в результаті хімічних реакцій відбувається кольматація капілярних пор, знижується водопоглинання бетону, збільшується його водонепроникність і морозостійкість.

Отримані результати знайшли застосування при виготовленні залізобетонних конструкцій, до яких пред'являються підвищені вимоги по водонепроникності і морозостійкості на промислових підприємствах будівельної галузі.

Визначено конструкції, де застосування системи «Кальматрон» найбільш ефективно.

Ключові слова: залізобетонні конструкції, бетон, міцність, водонепроникність, морозостійкість, пористість, структура, зчеплення.

ANNOTATION

In this work results of research of concrete structures with application of «Kalmatron» system, depending on conditions and terms of solidification, and also from the maintenance colmatizing additives are presented. Preconditions are confirmed that in due course, as a result of chemical reactions occurs in colmatation a capillary time, concrete water absorption decreases and its watertightness and frost-resistance increases.

The results of application at manufacturing of reinforced concrete structures with increased requirements on watertightness and frost resistance at the industrial enterprises of building industry are shown.

Structures, where «Kalmatron» system is applied are most effective.

Keywords: reinforced concrete structures, concrete, strength, water-proofing, frost-resistance, porosity, structure, adhesion.

УДК 624.03:681.3

Банніков Д.О., д.т.н., проф., ДНУЗТ, м. Дніпро

ОЦІНКА ПРАКТИЧНОЇ ЗБІЖНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ АНАЛІЗУ ПЛАСТИНЧАСТИХ МОДЕЛЕЙ В МЕТОДІ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У практиці розрахунку будівельних конструкцій методом скінченних елементів із застосуванням пластинчастих моделей для коригування результатів в особливих зонах останнім часом використовується Hot-Spot-Stress процедура. Для уточнення технології її застосування автором проведені спеціальні дослідження на тестових моделях та моделях реальних конструкцій. В роботі наведені результати оцінки збіжності напружень в особливих зонах для пластинчастих моделей будівельних конструкцій, що розраховувалися із використанням методу скінченних елементів на базі ПОК SCAD for Windows. Їх аналіз свідчить про те, що використання пластинчастих скінченно-елементних моделей при врахуванні статичних навантажень є досить некоректним, та навіть заявлена процедура HSS виявляється недостатньою для отримання практично прийняттого рівня напружень. Тому пошук більш коректного підходу або процедури апроксимації має бути продовжений для різних випадків співвідношень жорсткісних характеристик розраховуваних елементів.

Ключові слова: метод скінченних елементів, пластинчаста модель, збіжність напружень, сингулярність.

Актуальність проблеми. В останні десятиріччя в галузі проектування будівельних конструкцій, так само як і машин та механізмів, практично безальтернативним методом розрахунку став один з чисельних методів будівельної механіки – метод скінченних елементів (МСЕ). Він був теоретично розроблений завдяки роботам О. Зенкевича [1], Г.