

За допомогою трьохфакторного симплекс-центроїдного методу планування експерименту отримано оптимальний склад захисного матеріалу, що включає 40 % ГДШ (фактор X1), 10 % СП (фактор X2) при  $V/\Pi=0,3$  (фактор X3). Отриманий матеріал характеризується міцністю при вигині від 6,5 до 8,1 МПа в проміжку 2–28 діб і коефіцієнтом стійкості від 1,38 до 2,1 після витримки зразків у корозійних середовищах протягом 60 діб

Розроблений матеріал призначений для ремонту та захисту бетонних і залізобетонних конструкцій транспортного призначення в умовах агресивного міського середовища

**Ключові слова:** агресивне міське середовище, гранульований доменний шлак, захисний матеріал, коефіцієнт корозійної стійкості, міцність при вигині, портландцемент, склопорошок

С помощью трехфакторного симплекс-центроїдного метода планирования эксперимента получен оптимальный состав защитного материала, включающий 40 % ГДШ (фактор X1), 10 % СП (фактор X2) при  $V/\Pi=0,3$  (фактор X3). Полученный материал характеризуется прочностью при изгибе от 6,5 до 8,1 МПа в промежутке 2–28 суток и коэффициентом стойкости от 1,38 до 2,1 после выдержки образцов в коррозионных средах на протяжении 60 суток

Разработанный материал предназначен для ремонта и защиты бетонных и железобетонных конструкций транспортного назначения в условиях агрессивной городской среды

**Ключевые слова:** агрессивная городская среда, гранулированный доменный шлак, защитный материал, коэффициент коррозионной стойкости, прочность при изгибе, портландцемент, стеклопорошок

УДК 691:667

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56577

## РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛО- И ШЛАКСОДЕРЖАЩИХ ПОРТЛАНД-ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

**О. П. Бондаренко**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра строительных материалов\*

E-mail: bond\_olya@mail.ru

**С. Г. Гузий**

Кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

Научно-исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им. В. Д. Глуховского\*

E-mail: sguziy@ukr.net

**Е. Д. Захарченко\***

E-mail: katrina1405@ukr.net

**Е. Д. Новоселенко\***

E-mail: liza\_999@ukr.net

\*Киевский национальный университет строительства и архитектуры МОН Украины  
пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, Украина, 03037

### 1. Введение

Агрессивные факторы городской среды действуют равномерно или избирательно в одном или нескольких местах железобетонных конструкций транспортного назначения. Чаще всего они не вызывают немедленного разрушения, но сопровождаются интенсивным физическим износом материала конструкции. Интенсивность действия среды на процессы износа и разрушения материалов конструкции в значительной степени зависит от ее состояния. В одних случаях конструкции из одинаковых материалов служат надежно много лет, а в других случаях быстро выходят из строя [1].

Классификация агрессивных городских сред представлена на рис. 1 [2, 3].

По данным работ [4, 5] предприятия топливно-энергетического комплекса наряду с автомобильным транспортом следует отнести к основным искусственным источникам техногенного загрязнения атмосферы в Киеве (Украина). Тепловые электростанции (ТЭЦ-4, ТЭЦ-5, Трипольская ТЭЦ) за счет значительных выбросов в атмосферу  $SO_2$ ,  $NO_2$  и пыли способствуют выпадению кислотных осадков (рис. 2), приводящих

к кислотной коррозии железобетонных конструкций на границе раздела фаз “внешняя агрессивная среда – бетонная/железобетонная подложка”.



Рис. 1. Агрессивные городские среды, способствующие ускоренному износу железобетонных конструкций

Поэтому актуальным вопросом современного строительного материаловедения является обеспечение долговечности бетонных и железобетонных изделий и конструкций за счет их вторичной от агрессивной городской среды инновационными материалами и покрытиями.

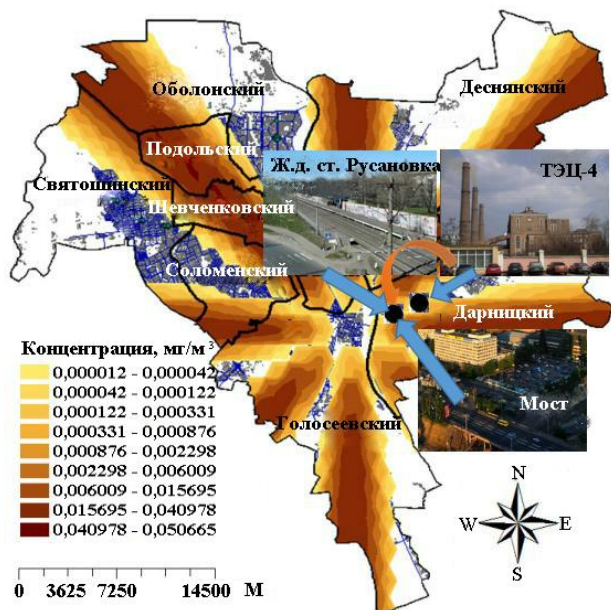


Рис. 2. Карта загрязнения приземной атмосферы г. Киева дымовыми газами, содержащими  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  и  $\text{CO}_2$ , при сочетании наиболее неблагоприятных метеорологических условий и опасной скорости ветра [5]

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Для защиты и восстановления поврежденных участков бетонных конструкций транспортного назначения используют современные материалы на органической и минеральной основах. Известна защитная полимерная композиция «Силор-р» на полиизоцианатной основе проникающего действия, которая после нанесения, полимеризации и упрочнения поверхностного слоя бетона обеспечивает надежную защиту поверхности от влаги, водных растворов солей и кислот [6]. Основным недостатком – высокая стоимость композиции. В практике антикоррозионной защиты применяют покрытия на основе перхлорвиниловых (краски и эмали марки ХВ) и хлорсульфированного полиэтилена (составы марки ХП). Такие пленкообразующие материалы обладают высокими защитными свойствами, однако основной их недостаток – отсутствие влагообмена обработанной поверхности с окружающей средой [7]. Учитывая особенности работы вышеприведенных покрытий с подложкой, автором [7] предложен защитный материал «АКР» комплексного действия, на основе модифицированного акрилатсодержащего полимера в органическом растворителе. Данный материал обладает высокими эксплуатационными свойствами (высокой адгезией к защищаемой поверхности, морозостойкостью, паропроницаемостью, высокими влагозащитными свойствами, устойчивый в агрессивных хлорсодержащих средах), характеризуется низкой стойкостью к воздействию

ультрафиолета. В работе [8] выполнено сравнение физико-механических характеристик и химической стойкости некоторых промышленных покрытий на основе полиуретанов, винил-эфирных смол и поликарбамидов в виде защитных систем для бетона. Несмотря на высокие показатели, основным недостатком является их высокая стоимость.

Известна лигнинполимерсиликатная композиция для защиты бетона от органической коррозии [9]. Несмотря на свою эффективность, данная композиция характеризуется незначительной водостойкостью вследствие высокой гидролитической активности жидкостекольной основы.

Среди ремонтно-защитных составов на минеральной основе известна цементсодержащая композиция, модифицированная фунгицидным модификатором полифункционального действия [10]. Добавка фунгицида, помимо основного своего назначения, приводит к увеличению адгезии затвердевшего состава к основанию, повышению плотности и прочности ремонтного покрытия за счет кептезирующего действия модификатора. Основным недостатком данной композиции является ее низкая стойкость в кислых средах.

Известны защитные цементные композиции, модифицированные кремнеземом [11]. Авторами установлено, что при использовании кремнезема морозостойкость увеличивается на 50 % и достигает значения, соответствующего марке F300, водонепроницаемость повышается на 33 % и достигает значения, соответствующего марке W16. Кроме основных свойств покрытия, важной характеристикой является его адгезионная прочность, например, к бетонной подложке. Адгезия покрытия тем выше, чем больше гидратных фаз образуется в покрытии и содержится в бетонной подложке, что согласуется с классом бетона подложки. Адгезионная прочность к бетонной подложке (при прочих равных условиях) в присутствии золь-добавки в защитной цементной композиции увеличивается на 47–66 % в зависимости от класса бетона подложки и повышается в следующей последовательности: V15⇒B22,5⇒B30. В присутствии коллоидного раствора кремнезема основными продуктами гидратации являются низкоосновные гидросиликаты типа CSH (I). Недостаток данного состава проявляется в его низкой стойкости в растворах серной кислоты, образующихся на поверхности бетонных конструкций вследствие растворения атмосферного  $\text{SO}_2$  в монослоях воды. Более предпочтительными защитными композициями являются наномодифицированные портландцементные [12]. Физико-механические и защитные свойства данных материалов усиливаются за счет введения в их состав наночастиц  $\text{SiO}_2$ . Однако данный прием значительно повышает их стоимость.

Более приемлемыми по стоимости являются защитные материалы на основе шлакопортландцемента и щелочного шлакопортландцемента [13, 14] как за счет химической стойкости шлакового стекла, так и за счет синтеза в составе продуктов гидратации кислотостойких фаз [14].

Повысить коррозионную стойкость защитных шлакостойких портландцементных композиций, предназначенных для защиты транспортных железобетонных изделий от агрессивных воздействий городской среды, возможно за счет модификации вяжущего вещества стеклопорошком от боя тарного стекла, что есть актуальным и своевременным в условиях городов.

### 3. Цель и задачи исследования

Цель данной работы заключается в разработке защитных материалов на основе стекло- и шлак содержащих портландцементных композиций. Полученные материалы предназначены для защиты железобетонных изделий транспортного назначения от агрессивных воздействий городской среды.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- изучить влияние составляющих (стеклопорошка и молотого шлака) портландцементных композиций на изменения прочности и коррозионной стойкости защитного материала;
- изучить изменения макроструктуры искусственного камня оптимального состава до и после воздействия агрессивной среды;
- провести апробацию разработанного материала на предмет определения его стойкости к воздействию атмосферной коррозии в условиях городской среды.

### 4. Материалы и методы исследований

Для получения вяжущего вещества с переменным содержанием гранулированного доменного шлака (ГДШ) и стеклопорошка (СП) в качестве сырьевых компонентов использовали: портландцемент ПЦ I-500-Н ПАО производства «Вольт-Цемент» (ГОСТ В.2.7-46:2010), ГДШ производства ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф. Э. Дзержинского» (ТУ У В.2.7.-27.1-05393043-113:2010) и бой тарного стекла.

Химический состав исходных компонентов приведены в табл. 1. По данным рентгенофазового анализа ГДШ содержит незначительное количество β-кварца (d=0,430; 0,334;0,213 нм) и мелилита Ca<sub>2</sub>(Al, Mg, Si) Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (d=0,285; 0,252; 0,193; 0,175 нм), СП представлен аморфной фазой с включением β-кварца (d=0,334;0,213 нм) [14].

Таблица 1

Химический состав исходных компонентов

Ком-по-нент	Содержание оксидов, масс. %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	п.п.п.
ПК	21,96	4,94	3,92	–	0,88	64,13	0,41	0,33	1,03	0,27
ГДШ	38,32	6,38	0,36	0,42	5,02	46,25	0,42	0,45	1,37	–
СП	72,61	2,43	2,98	–	0,59	8,64	9,36	6,64	0,2	–

Вяжущие вещества получали путем совместного помола ПЦ I-500-Н, ГДШ и боя тарного стекла по открытому циклу до удельной поверхности 3550 см<sup>2</sup>/г (по Блэйну).

Защитные покрытия изготавливали из бетонных смесей при соотношении вяжущее вещество (1): наполнитель (3). В качестве мелкого заполнителя использовали речной песок с модулем крупности M<sub>кр</sub>=1,47 [14].

Для реализации поставленной цели исследования были реализованы с помощью 7 точечного симплекс-центроидного плана для переменных смесей в математической среде Statistica 10.0 В каждой точке плана состав смеси равен 100 %.

В качестве факторов варьирования выбраны: количество гранулированного доменного шлака (ГДШ), %, (фактор X<sub>1</sub>), количество стеклопорошка (СП), %, (фактор X<sub>2</sub>) и В/Ц (фактор X<sub>3</sub>), изменение которых представлены в табл. 2.

Таблица 2

Факторы варьирования

Факторы, вид		Уровни варьирования		Интервал варьирования
		нижний 0	верхний 1	
натуральный	кодированный			
ГДШ, %	X <sub>1</sub>	20	60	40
СП, %	X <sub>2</sub>	5	15	10
В/Ц	X <sub>3</sub>	0,24	0,36	0,12

Матрица эксперимента и его математическая реализация приведена в табл. 2.

Твердение образцов осуществлялось в камере при нормальных условиях в течение 2, 7, 28 суток.

Физико-механические испытания материалов на основе стекло- и шлак содержащего портландцемента проводили согласно требованиям ДСТУ Б В.2.7-187:2009; коррозионные испытания вяжущих – согласно ДСТУ Б В.2.6-181:2011 и ДСТУ Б В.2.6-146:2010.

Коррозионную стойкость исследуемых цементов определяли по изменению прочности при сжатии образцов после выдержки в агрессивных средах по отношению к прочности образцов в воде и оценивали по коэффициенту коррозионной стойкости, который вычисляли по формуле:

$$K_{cr} = \frac{R_1}{R_2},$$

где K<sub>cr</sub> – коэффициент коррозионной стойкости; R<sub>1</sub> – прочность образцов при изгибе после их выдержки в растворах агрессивных сред в течение n дней, МПа; R<sub>2</sub> – прочность образцов при изгибе после выдержки в водной среде, МПа.

Макроструктуру искусственного камня до и после агрессивного воздействия изучали с помощью цифрового микроскопа Dino-Lite Pro-AM413T5 производства ANMO Electronics Corporation (Taiwan) с камерой 1,3 Мп при цифровом увеличении <sup>x</sup>500.

### 5. Результаты исследований показателей свойств защитных материалов на основе стекло- и шлак содержащих портландцементных композиций

После 2 суток твердения на тернарной поверхности отклика фиксируется четко выраженная оптимальная область составов максимальной прочности (рис. 3, а), ограниченная по оси X<sub>1</sub> содержанием ГДШ в композиции от 28 до 57 %, по оси X<sub>2</sub> – количеством стекло порошка от 5 до 13,5 %, по оси X<sub>3</sub> – изменением В/Ц от 0,25 до 0,34. Максимальное значение прочности при изгибе – 6,5 МПа имеет композиция, включающая 33,3 % ГДШ, 8,33 % СП при В/Ц=0,28.

На 7 сутки твердения на тернарной поверхности отклика (рис. 3, б) отмечено перераспределение изолиний максимальной прочности при изгибе при одновре-

менном сужении значений показателей варьируемых факторов: по оси  $X_1$  содержанием ГДШ в количестве от 25 до 50 %, по оси  $X_3$  – изменением В/Ц от 0,24 до 0,28 и по оси  $X_2$  – незначительным расширением содержания стекло порошка в композиции от 5 до 15 %. Максимальной прочностью – 7,8 МПа характеризуется композиция, включающая, как и в предыдущем случае, 33,3 % ГДШ, 8,33 % СП при В/Ц=0,28.

После 28 суток твердения образцов исследуемого материала отмечено радикальное изменение изолиний прочности при изгибе на тернарных поверхностях отклика (рис. 3, в). Область максимальных значений ограничивается по  $X_1$  количеством ГДШ от 32 до 45 %, по оси  $X_2$  количеством СП от 5 до 10,6 % и по оси  $X_3$  В/Ц от 0,3 до 0,34. Максимальной прочностью – 8,1 МПа характеризуется композиция, включающая 40 % ГДШ, 5 % СП при В/Ц=0,3.

Таблица 3

Матрица эксперимента и ее математическая реализация

Точки-плана	Матрица плана в нормированных величинах			Матрица плана в натуральных величинах			Выходные параметры							
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	ГДШ, %	СП, %	В/Ц	$R_{изг}$ , МПа, образцов после твердения, сут.			$K_{ст}$ после выдержки образцов, сут., в 5 % растворах				
							2	7	28	NaCl		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		
	30	60	30	60										
1	0,00	1,00	0,00	20,0	15,0	0,24	3,1	7,8	3,4	1,16	1,08	0,94	0,86	
2	0,33	0,33	0,33	33,3	8,33	0,28	6,5	7,8	6,5	1,98	1,92	1,36	1,34	
3	1,00	0,00	0,00	60,0	5,00	0,24	1,8	2,3	1,9	1,86	1,84	0,98	1,12	
4	0,50	0,50	0,00	40,0	10,0	0,24	3,9	5,8	6,9	2,1	2,0	1,38	1,38	
5	0,00	0,00	1,00	20,0	5,00	0,36	3,1	4,2	4,2	1,34	1,3	0,82	0,91	
6	0,50	0,00	0,50	40,0	5,00	0,30	5,1	6,9	8,1	1,92	1,88	1,26	1,22	
7	0,00	0,50	0,50	20,0	10,0	0,30	3,2	4,1	6,7	1,68	1,54	0,86	0,86	

Примечание: ГДШ – гранулированный доменный шлак; СП – стеклопорошок

Изменения прочности при изгибе в марочном возрасте, вероятно, можно объяснить за счет количественного перераспределения продуктов гидратации в объеме композиции в сторону увеличения содержания низкоосновных гидросиликатных и гидроалюмосиликатных фаз [14].

Ниже приведены данные по коррозионной стойкости исследуемых материалов в 5 % растворах хлорида и сульфата натрия (рис. 4, а-з).

После 30 суток выдержки вяжущих композиций в 5 % растворе хлорида натрия (рис. 4, а) отмечено поле максимальных значений коэффициента коррозионной стойкости, ограниченное по оси  $X_1$  содержанием ГДШ в составе композиции от 40 до 60 %, по оси  $X_2$  – СП от 6 до 11 %, по оси  $X_3$  – изменением В/Ц от 0,24 до 0,28. Максимальное значение  $K_{ст}$ =2,1 характерно для вяжущей композиции, содержащей ГДШ в количестве 40 %, СП в количестве 10 % при В/Ц=0,24.

После 60 суток выдержки вяжущих композиций в 5 % растворе хлорида натрия (рис. 4, б) отмечено поле максимальных значений коэффициента коррозионной стойкости, ограниченное по оси  $X_1$  содержанием ГДШ в составе композиции от 35 до 60 %, по оси  $X_2$  – СП от 5 до 12 %, по оси  $X_3$  – изменением В/Ц от 0,24 до 0,34. Максимальное значение  $K_{ст}$ =2,0 характерно для вяжущей композиции, содержащей ГДШ в количестве 40 %, СП в количестве 10 % при В/Ц=0,24. По данным цифровой микроскопии (рис. 5, б) макроструктура поверхности искусственного камня исследуемого состава претерпела некоторые изменения по сравнению со структурой до испытаний (рис. 5, а).

На поверхности камня отмечены отложения кристаллов хлорида натрия, а также наличие открытых пор, характеристики которых приведены в работе [14].

После 60 суток выдержки вяжущих композиций в 5 % растворе сульфата натрия (рис. 4, з) отмечено поле максимальных значений коэффициента коррозионной стойкости, ограниченное по оси  $X_1$  содержанием ГДШ в составе композиции от 40 до 60 %, по оси  $X_2$  – СП от 7 до 12 %, по оси  $X_3$  – изменением В/Ц от 0,24 до 0,32. Максимальное значение  $K_{ст}$ =1,38 характерно для вяжущей композиции, содержащей ГДШ в количестве 40 %, СП в количестве 10 % при В/Ц=0,24. По данным цифровой микроскопии (рис. 6) макроструктура поверхности искусственного камня исследуемого состава претерпела некоторые изменения по сравнению со структурой до испытаний (рис. 6, а). Отмечено незначительное разрыхление поверхностного слоя за счет образования продукта коррозии – сульфата кальция, а также наличие открытых пор, характеристики которых приведены в работе [14].

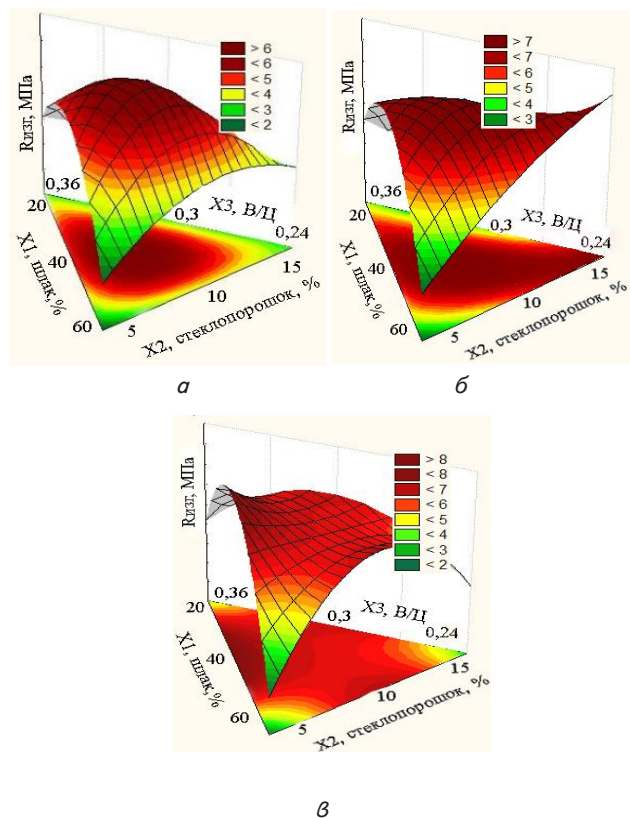


Рис. 3. Тернарные поверхности изменения прочности при изгибе (МПа) стекло- и шлак содержащих портландцементных композиций после твердения в нормальных условиях, сутки: а – 2; б – 7; в – 28

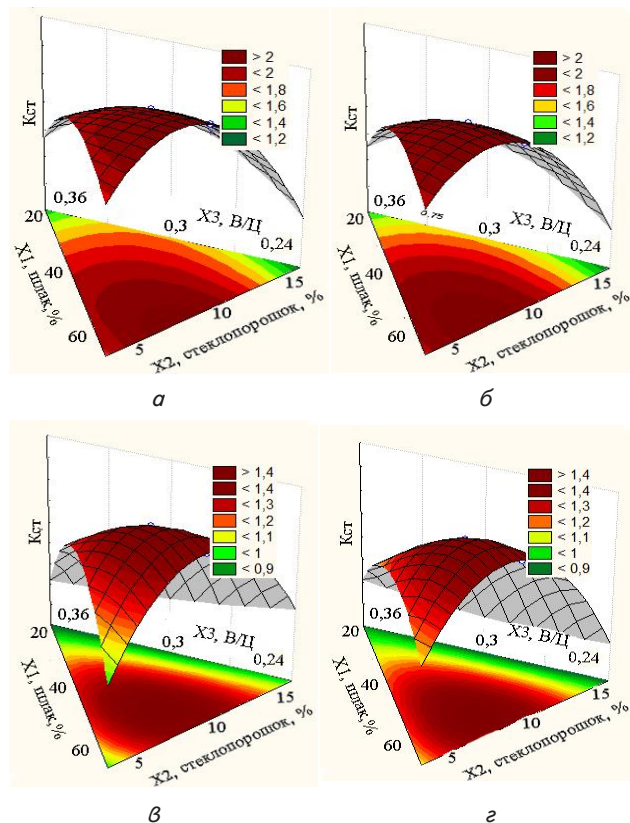


Рис. 4. Тернарные поверхности изменения коэффициента коррозионной стойкости стекло- и шлак содержащих портландцементных композиций после агрессивных воздействий: а, б – в 5 % растворах NaCl и в, г – Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в течение; а, в – 30 и б, г – 60 суток

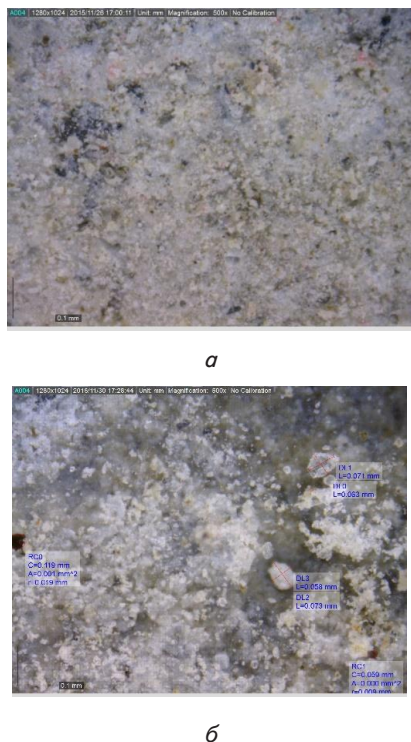


Рис. 5. Макроструктура поверхности защитной композиции оптимального состава: а – до и б – после 60 суток воздействия 5 % раствора NaCl

За счет совмещения тернарных поверхностей изменений прочности при изгибе в период 2–28 суток получена оптимальная область составов максимальной прочности при изгибе от 6,5 до 8,1 МПа и максимальных значений коэффициента коррозионной стойкости от 1,38 до 2,1, ограниченная по оси X<sub>1</sub> содержанием ГДШ от 25 до 50 %, по оси X<sub>2</sub> – количеством СП от 5 до 10 %, по оси X<sub>3</sub> – изменением В/Ц от 0,24 до 0,3.

Исходя из данных оптимизации, для исследований коррозионной стойкости искусственного камня в условиях реальных агрессивных воздействий городской среды г. Киева (рис. 1), выбран состав композиции, включающий в стекло- и шлак содержащий портландцемент (40 % ГДШ, 10 % СП) 1 весовая часть и три весовых части речного песка ( $M_{кр}=1,2$ ).

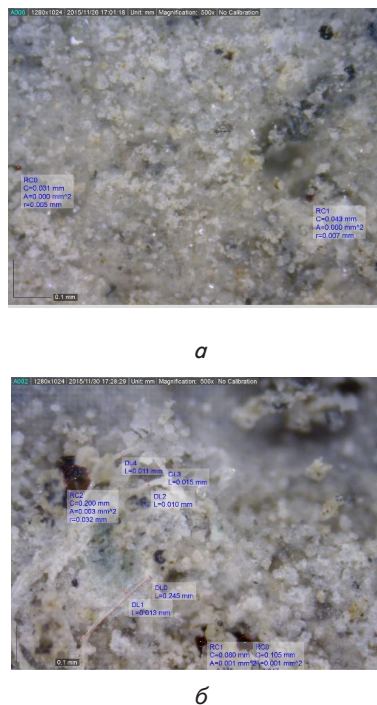


Рис. 6. Макроструктура поверхности защитной композиции оптимального состава: а – до 60 суток воздействия 5% раствора Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, б – после 60 суток воздействия 5 % раствора Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Фрагмент поврежденной плиты на платформе “Киевская Русановка” приведен на рис. 7, а. Повреждения плиты вызваны: вибрационными нагрузками, создающимися от движения товарных составов; поднимаемой пылью с частичками серы; карбонизацией верхнего слоя бетонной плиты вследствие выброса CO и CO<sub>2</sub> выхлопных газов с близ расположенной автострады (пр-т Воссоединения) и дымовых газов с ТЭЦ-4; кислотной коррозией вследствие наличия в дымовых газах Дарницкой ТЭЦ оксидов SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S. Поврежденный участок очистили от пыли и кусков поврежденного бетона; арматуру очистили от явных очагов ржавчины. Далее на арматуру плиты нанесли защитный слой материала без наполнителя (рис. 7, б), а после него, по достижении высыхания (отверждения) материала до степени 3, нанесли основной слой ремонтного материала, содержащего наполнитель (рис. 7, в). Ремонтно-восстановительные работы проводились 28.11.2015 г. при среднесуточных

показателях: температура воздуха (-)3,5 °С, влажность 87 %, без осадков, скорость ветра 3,75 м/с, ветер северный, давление 746,5 мм рт.ст.

После нанесения разработанного состава защитного материала на поврежденный участок бетонной плиты не отмечено сползаний материала с вертикальной поверхности. Наблюдения за твердением и состоянием восстановленного участка железобетонной плиты в

переменных атмосферных условиях городской среды проводили в течение 7 суток (табл. 4).

Как видно с данных табл. 4, твердение разработанной стекло- и шлак содержащей портландцементной композиции происходило в достаточно сложных погодных условиях и после 7 суток твердения не отмечено каких-либо изменений на поверхности защитного материала (рис. 7, з).



Рис. 7. Восстановление поврежденной участка плиты на платформе “Киевская Русановка” разработанной стекло- и шлак содержащей портландцементной композицией: а – поврежденный участок; б – защита арматуры; в – выравнивание повреждённого участка по плоскости плиты; г – внешний вид защитной композиции после 7 суток твердения

Таблица 4

Метеосводка погоды на ноябрь-декабрь 2015 г.

Показатели	Даты наблюдений							
	28.11	29.11	30.11	1.12	2.12	3.12	4.12	5.12
T, °C	-3,5	0	1,75	2	1,5	3	7,5	5,5
W, %	87	94,75	91,5	89,75	85,25	93,5	81,5	81,75
v, м/с	3,75	3,5	6	4,75	7	6,25	7,5	9,25
Ветер	W	O/WN	WN/W	W/WS	WN	N/NO	N	N/WN
Осадки	-	дождь со снегом	Слабый дождь	Ливневый снег	Дождь со снегом	Слабый снег	Без осадков	Слабый дождь
P, мм рт.ст.	746,75	741,25	739	737,75	743,5	758,81	755,63	756,19

### 6. Выводы

1. Доказана возможность использования порошка тарного стекла в качестве активного модификатора для получения защитных материалов на основе шлак содержащих портландцементах.

2. В результате оптимизации получен оптимальный состав защитного материала, включающий 40 % ГДШ (фактор X<sub>1</sub>), 10 % СП (фактор X<sub>2</sub>) при В/Ц=0,3 (фак-

тор X<sub>3</sub>), характеризующийся прочностью при изгибе от 6,5 до 8,1 МПа в промежутке 2–28 суток и коэффициентом стойкости от 1,38 до 2,1 после выдержки образцов в коррозионных средах на протяжении 60 суток.

3. Отмечено незначительное разрыхление поверхностного слоя защитного материала оптимального состава в среде 5 % раствора сульфата натрия за счет образования продукта коррозии – сульфата кальция. Макроструктура скола камня исследуемого состава, выдержанного в течение 60 суток в растворах 5 % хлорида и сульфата натрия не изменилась.

4. Проведена апробация защитного материала оптимального состава на предмет определения его стойкости к агрессивным воздействиям городской среды при восстановлении поврежденного участка железобетонной плиты на платформе “Киевская Русановка”.

5. Показано, что после 7 суток твердения в сложных погодных условиях на поверхности разработанного защитного материала не отмечено каких-либо изменений его поверхности, а также отставания материала от бетонной основы.

## Литература

1. Влияние активности (агрессивности) окружающей среды на разрушение материала [Электронный ресурс]. – Информационный строительный портал «Стройинформ». 2004–2015 г. – Режим доступа: <http://www.stroyinform.ru/techno/2814/103598>
2. Экология Киева [Электронный ресурс]. – Vita Mag. Жизненный путь. – Режим доступа: <http://www.vitamarg.com/eco/article/424-ecology-kieva>
3. Долгополов, В. Н. О выбросах в атмосферу токсичных дымовых газов угольной энергетики (по Киевской области) и о мерах по снижению выбросов. Предложения по малозатратному сокращению выбросов [Текст] / В. Н. Долгополов. – К.: Академия строительства Украины; Институт АкадемРесурсоЭнергоПроект, 2013. – 4 с. – Режим доступа: <http://www.dalsica.com/images/triptesemiss.PDF>
4. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря в Києві та містах Київської області [Текст]. – К.: Центральна геофізична обсерваторія, 2005–2007.
5. Каменева, И. П. Математико-картографическое моделирование техногенных нагрузок на атмосферу [Текст]: сб. науч. пр. / И. П. Каменева, А. А. Попов, А. В. Яцишин // Моделивання та інформаційні технології. – 2009. – Вип. 51. – С. 58–64.
6. Полимерные защитные композиции для строительства [Электронный ресурс]. – ТОС. – Режим доступа: [http://www.toshim.ru/catalog\\_9.php](http://www.toshim.ru/catalog_9.php)
7. Паткина, И. А. Новые виды защитных материалов для дорожного и мостового строительства [Текст] / И. А. Паткина // Дороги и мосты. – 2009. – № 2. – С. 296–306. – Режим доступа: <http://www.rosdornii.ru/UserFiles/File/dim/22-2/21.pdf>
8. Ульченко, Т. В. Сравнительная характеристика защитных полимерных покрытий при ремонте бетонных конструкций [Текст] / Т. В. Ульченко, Ю. Г. Берегий, Б. Г. Клочко // Наука и прогресс транспорта. Вестник ЖНУЖТ. – 2010. – № 34. – С. 150–153. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/sravnitel'naya-harakteristika-zaschitnyh-polimernyh-pokrytiy-pri-remonte-betonnyh-konstruktsiy>
9. Шурышева, Г. В. Лигнополимерсиликатная композиция для защиты бетона от органической коррозии [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Г. В. Шурышева. – Красноярск, 2008. – 141 с.
10. Косухин, М. М. Ремонтно-защитные покрытия для бетонных и железобетонных элементов очистных сооружений [Текст] / М. М. Косухин, О. Н. Шаронов, Л. В. Апалькова, К. С. Комарова, Н. Д. Комарова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9 (9). – С. 1942–1945. – Режим доступа: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35166>
11. Соловьева, И. В. Защитные покрытия нового поколения для транспортных строительных конструкций [Текст] / В. Я. Соловьева, И. В. Степанова, А. В. Касаткина // Транспортное строительство. – 2010. – № 2 (27). – С. 56–58.
12. Высококачественные бетоны, защитные покрытия и клеевые композиции с нанодисперсным модификатором [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bardakhanov.com/buildingtechnology.pdf>
13. Бондаренко, О. П. Швидкотверднучі лужні шлакопортландцементи та бетони на їх основі [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. / О. П. Бондаренко. – Київ, 2009. – 21 с.
14. Бондаренко, О. П. Стеклодержащие шлакопортландцементные материалы [Текст] / О. П. Бондаренко, С. Г. Гузий, Е. Д. Захарченко // ScienceRise. – 2015. – Т. 11, № 2 (16). – С. 34–40. doi: 10.15587/2313-8416.2015.54099