

УДК 629.23:692.232:54-145.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ СОЛЕЙ
В НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**STUDY OF SALT ACCUMULATION
IN EXTERNAL FENCING CONSTRUCTIONS OF THE BUILDING
OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE**

В.Т. ЕРОФЕЕВ, Т.Ф. ЕЛЬЧИЩЕВА

V.T. EROFEEV, T.F. ELCHISHCHEVA

**(Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Тамбовский государственный технический университет)**

**(Ogarev Mordovia State University,
Tambov State Technical University)**

E-mail: al_rodin@mail.ru; elschevat@mail.ru

Наружные ограждающие конструкции зданий промышленных предприятий из каменных материалов часто содержат неорганические гигроскопи-

ческие соли и их смеси. Внутри пор и капилляров соли содержатся в двух фазах – жидкой (растворы) и твердой (кристаллы солей). Многие соли высоко гигроскопичны и способствуют повышению сорбционного влагосодержания строительных материалов. При этом изменяются физико-химические свойства, снижаются прочность и теплозащитные свойства материалов. Высокая влажность вызывает развитие биологических загрязнений (бактерий, грибов, плесени), что приводит к биологической коррозии материалов, ухудшению микроклимата и санитарного состояния производственных помещений. Представлены результаты исследования соленакопления в наружных ограждающих конструкциях зданий промышленного предприятия, производящего продукцию для текстильной промышленности.

Exterior walling of buildings of industrial enterprises made of stone materials often contain inorganic hygroscopic salts and mixtures thereof. Inside the pores and capillaries, salts are contained in two phases - liquid (solutions) and solid (salt crystals). Many salts are highly hygroscopic and contribute to an increase in the sorption moisture content of building materials. At the same time, physicochemical properties change, strength and heat-shielding properties of materials decrease. High humidity causes the development of biological contaminants (bacteria, fungi, mold), which leads to biological corrosion of materials, deterioration of the microclimate and sanitary condition of production facilities. The results of a study of salt accumulation in the external enclosing structures of buildings of an industrial enterprise manufacturing products for the textile industry are presented.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, каменные строительные материалы, коррозия, наружные ограждающие конструкции, неорганические гигроскопические соли, промышленные здания, экспериментальные исследования, текстильная промышленность.

Keywords: pollutants, stone building materials, corrosion, exterior walling, inorganic hygroscopic salts, industrial buildings, experimental studies, textile industry.

Наружные стены зданий промышленных предприятий, выполненные из каменных строительных материалов, часто содержат в поровом пространстве отдельные неорганические гигроскопические соли или их смеси. Для таких зданий характерно попадание загрязняющих веществ (ЗВ), имеющих антропогенное происхождение, в виде пыли и аэрозолей солей из воздушной производственной среды на наружные ограждающие конструкции [1]. Источниками ЗВ могут являться промышленные предприятия цветной и черной металлургии, деревообработки, тепло- и электроэнергетики, строительной, целлюлозно-бумажной, химической, нефтехимической, транспортной, текстильной промышленности, агропромышленного комплекса.

ЗВ растворяются во влаге наружного воздуха и внутреннего воздуха помещений. При этом на внешней и внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций образуются насыщенные и разбавленные растворы. Последние за счет диффузии проникают в толщу стенового материала, где практически постоянно происходит процесс превращения солей из жидкой фазы в твердую и обратно. Жидкая фаза находится в виде растворов различной концентрации, а твердая – в виде кристаллов безводных солей (молекул соли без присоединенных молекул воды) и кристаллогидратов (молекул соли с присоединенными молекулами воды).

Поровая влага с растворенными гигроскопическими солями вызывает повыше-

ние сорбционных свойств и влажности строительного материала [2]. На поверхности ограждающих конструкций на участках с наибольшим содержанием солей и влаги образуются мокрые пятна. Сушка материала в теплый период года или при включении отопления вызывает повышение концентрации поровых растворов вследствие испарения влаги, а также кристаллизацию солей в поровом пространстве [3], [4]. Наличие кристаллов солей изменяет физико-химические и теплофизические свойства строительных материалов. Их прочность и долговечность снижаются [5], [6], что связано с давлением, которое оказывает твердая структура кристаллов солей при увеличении объема на стенки пор и капилляров материала.

Кристаллизация солей внутри массива стены рядом с ее поверхностью (наружной или внутренней) вызывает шелушение или отслоение наружного слоя материала. Кристаллизация солей на наружных и внутренних поверхностях стен в виде высолов ухудшает их эстетические качества, снижает адгезию отделочных материалов. Влажный засоленный строительный материал является благоприятной средой для размножения различных видов микроорганизмов, грибков, плесени, которые вызывают ухудшение параметров внутренней среды помещений, повышение заболеваемости и снижение качества пребывания людей в таких зданиях, биоповреждение строительных материалов [7]. Продукты метаболизма грибов в виде органических кислот, окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов накапливаются в строительных материалах. При этом в большом количестве образуются лимонная, глюконовая и щавелевая кислоты. Метаболиты взаимодействуют с отдельными составляющими строительных материалов, способствуют увеличению их пористости и потери связывающей способности цемента, биодеструкции строительных материалов, которая, наряду с расклинивающим действием кристаллов солей на стенки пор и капилляров, приводит к снижению их прочности [7].

Для наружных ограждающих конструкций зданий весьма важным является определение расположения плоскости максимального увлажнения. Исходя из уравнений баланса влаги, относительно указанной плоскости проверяется необходимость устройства дополнительной пароизоляции в конструкции [8]. Соли, находящиеся в строительных материалах, изменяют их физико-химические и теплофизические характеристики – плотность, теплопроводность, паропроницаемость. Поэтому определение местоположения плоскости максимального увлажнения и выводы об устройстве дополнительной пароизоляции без учета солевого воздействия не будут корректными.

Известно, что на наружные ограждающие конструкции отрицательно действует низкая температура окружающей среды, особенно циклы замораживания и оттаивания стенового строительного материала [9], [10]. При наличии солей они сопровождаются не только фазовыми превращениями влаги в поровом пространстве стенового материала с образованием паровоздушной смеси с различными показателями влажности, жидкой поровой влаги, кристаллов льда, но и фазовыми превращениями солей. При этом происходит попеременное образование солевых растворов и кристаллов льда и солей. Последние образуются в различных концентрациях в соответствии с диаграммами растворимости водно-солевых систем в зависимости от вида соли или смеси солей и температуры внутрипорового вещества.

Присутствие солей в ограждающих конструкциях снижает их прочность и долговечность, вызывает необходимость ремонта. В работе [10] приведены данные о том, что в странах с развитой промышленностью на проведение ремонтных работ, устраняющих последствия воздействия агрессивной среды, затрачивается до 40% от всех капитальных вложений в строительство.

Целью работы является изучение качественного состава и масштабов соленакпления в материале наружных ограждающих конструкций зданий предприятия химичес-

кой промышленности ПАО "Пигмент" (г. Тамбов), выпускающего, в том числе, про-

дукцию для текстильной промышленности (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Вид продукции	Наименование и марка продукции
Красители: прямые	красно-фиолетовый СВ 3 КМ, черный С, черный 2С, оранжевый СВ 2Ж, желтый К, бордо СВ СМ
дисперсные	темно-синий СТ, черный СТ
кислотные	желтый СВ (125%), желтый К, оранжевый, оранжевый 2К, ярко-красный 4Ж, красный 2С (150%), бордо, ярко-красный антрахиноновый Н8С, фиолетовый антрахиноновый, синий 2К (150%), ярко-синий антрахиноновый (140%), зеленый антрахиноновый Н2С (125%), зеленый антрахиноновый Н4Ж (200%), темно-синий полиамидный, (125%), черный С, черный (200%)
Совеланы	желтый 3 "З"М, желтый М, оранжевый КМ, алый М, бордо М, синий М, зеленый М, оливковый СМ, оливковый М, темно-коричневый М, красно-коричневый М, черный М, черный М (150%)
Оптические отбеливатели	Белофор ОБж, Белофор ОБд, Белофор ОЦД, Белофор КД-2 конц., Белофор КД-2 mgr, Белофор КД-2 м.А, Белофор КД-2 м.Б, Белофор КД-2См, Белофор КД-2Сн
Текстильно-вспомогательные вещества	Супер-мягчитель СР, моющий препарат А, силиконовый мягчитель, антистатик, противозаломный препарат для хлопка, водомаслоотталкивающие препараты для всех видов тканей Кратан и Кратан ВО, водорастворимый замазливатель для шерсти и синтетических волокон, универсальный препарат для крашения полиэфира Кратекс, замазливатель для синтетических волокон МА-С, моющий препарат АД, диспергатор НФ, выравниватели для шерсти, полиамида и хлопка, закрепители бесформальдегидные БЗК-1, БЗК-2 и универсальный БЗК, универсальное биологически мягкое моющее средство для всех процессов обработки текстиля, УМС-1, супер-мягчитель С, смачиватель Б

В текстильной промышленности используются: прямые красители для крашения целлюлозных волокон (хлопковых и вискозных), кислотные – для крашения шерсти и полиамида, дисперсные – для крашения полиамида и полиэфирной ткани; совеланы – для крашения шерсти; оптические отбеливатели – для отбеливания тканей (целлюлозных и полиамидных волокон); текстильно-вспомогательные вещества (ТВВ) – для производства хлопчатобумажных, шерстяных, смесовых и синтетических нитей и тканей.

При производстве красителей используются следующие вещества: соли – сульфат натрия Na_2SO_4 , хлорид натрия NaCl , сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, ацетат аммония $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, карбонат кальция CaCO_3 , глауберова соль (мирабилит) $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; кислоты – серная H_2SO_4 (1,83–1,857 г/см³), уксусная CH_3COOH (30%) и некоторые другие вещества.

Экспериментальные исследования наружных ограждающих конструкций зданий цехов химического предприятия включали натурные и лабораторные методы ис-

следования. Натурные состояли в осмотре и отборе проб строительных материалов из наружных ограждающих конструкций зданий. Для каждого здания цеха определялись характерные участки стенового ограждения, на которых производился отбор проб. Выявлялись места расположения высолов и пятен влаги, особенности разрушения стен в местах контакта с перекрытиями, оконными коробками и другими примыкающими конструкциями.

Лабораторные исследования заключались в определении состояния воздушной производственной среды, а также влагосодержания, количественного и качественного солесодержания строительных материалов наружных стен с помощью стандартных методов химического анализа.

Влажность воздуха замерялась аспирационным психрометром Ассмана, содержание пыли солей в воздухе – электроаспиратором, оснащенным фильтром АФА-ВП-20 гравиметрическим методом. Наличие и количество газа SO_3 определялось фотокалориметрическим методом прибором КФК-2. Содержание газов SO_2 , NO_2 , HCl и NH_3

определялось экспресс-методом с помощью универсального газоанализатора УГ-2, работа которого основана на изменении окраски слоя индикаторного порошка в индикаторной трубке после пропускания через нее воздуха рабочей зоны. Влажность строительных материалов определялась влагоанализатором AND MS-70, содержание хлоридов – универсальным иономером ЭВ-74 методом ионометрического титрования, содержание сульфатов – фотоэлектрическим фотометром КФК-3-"ЗОМЗ" нефелометрическим методом.

Исследование проводилось в конце апреля, что соответствовало в климатических условиях г. Тамбова концу периода влагонакопления в наружных стенах зданий за холодное время года. Было выбрано семь объектов – зданий цехов, наружные стены которых выполнены из керамзитобетонных панелей (объекты 5 и 6), кладки из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе (объекты 1, 2, 3 и 7) и кладки из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе (объект 4).

В результате лабораторных исследований производственной воздушной среды предприятия установлено, что она содержит: промышленные газы – оксид серы (IV) (SO_2), оксид серы (VI) (SO_3), хлороводород (HCl) и аммиак (NH_3), а также гигроскопические соли – хлорид натрия (NaCl) и сульфат натрия (Na_2SO_4) – в виде пыли и аэрозоля.

Визуальный осмотр наружных стен выявил их неудовлетворительное состояние. На поверхности стен обнаружены многочисленные трещины. Верхние слои материала в помещениях цехов и с наружной стороны зданий имели рыхлую осыпающуюся структуру. Лакокрасочное покрытие, нанесенное на внутреннюю поверхность стен, имело большие участки отслоения от основания, а в случае полного его раскрытия наблюдался выход солей на поверхность конструкций в виде кристаллических образований. В местах примыкания к стенам горизонтальных конструкций и оконных коробок наблюдались наибольшие разрушения, что объясняется накоплением в этих местах солевой пыли и стеканием конден-

сата с растворенными солями с оконного стекла на конструкцию стены в холодное время года.

Для отбора проб использовались шлямбуры длиной 500 мм из стальных водогазопроводных труб условным диаметром 25 мм и наружным диаметром 33,5 мм по ГОСТ 3262-75 "Трубы стальные водогазопроводные. Технические условия" с заостренным зубчатым концом с одной стороны. На наружной поверхности шлямбура предварительно были нанесены засечки через 50 мм для контроля глубины его погружения в стеновой материал. Пробы материала отбирались в виде кернов через 50 мм по толщине однослойной стены, если стена имела штукатурный слой, то его проба отбиралась отдельно. Пробы для исключения их сушки помещались в стеклянные бюксы с плотно притертыми крышками. Масса проб составляла от 80 до 90 г.

С учетом мокрого влажностного режима помещений и сухой зоны влажности района строительства (в соответствии с СП 50.13330.2012 "Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003" (табл. 1, 2, приложение В) условия эксплуатации ограждающих конструкций всех обследованных объектов относятся к группе Б.

В сравнении с расчетным и предельно допустимым влагосодержанием строительных материалов для условий эксплуатации Б (СП 50.13330, табл. 3.8) оказались переувлажненными, соответственно: средний слой стены объекта №7 – 6,2 против 4,0 и 6,0 % по массе, а также средний слой стены объекта №3 – 6,1 против 4,0 и 6,0 % по массе. Превышен уровень расчетного массового влагосодержания на объектах: №1 – 4,4 против 4,0 % по массе; №4 – 2,6 против 2,0 % по массе; №2 – 5,5 против 4,0 % по массе.

Результаты исследования представлены в табл. 2. На графиках цифрами обозначено: 1 – распределение влаги (ω); 2 – то же, солей (c); 3 – концентрация растворов солей (c_p); 4 – содержание в смеси солей NaCl ; 5 – то же, Na_2SO_4 ; 6 – то же, K_2SO_4 (единицы измерения – % по массе).

Концентрация раствора большинства проб строительных материалов превышала величину концентрации насыщенного раствора, что свидетельствовало о наличии в поровом пространстве кристаллической соли. Количество твердой фазы определялось с учетом взаимной растворимости солей в тройных системах "NaCl+K₂SO₄+H₂O" и "NaCl+Na₂SO₄+H₂O" и составило: на объекте №1 – до 1,14; №2 – до 0,79; №3 – до 0,54; №4 – до 1,56; №5 – до 5,67; №6 – до 1,84; №7 – до 0,56 % по массе.

Средний уровень солесодержания в материале наружных ограждающих конструкций составлял от 0,85 до 2,65 % по массе, а максимальный – от 1,43 до 7,91 % по массе.

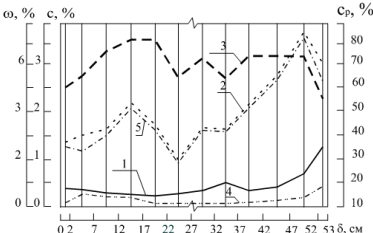
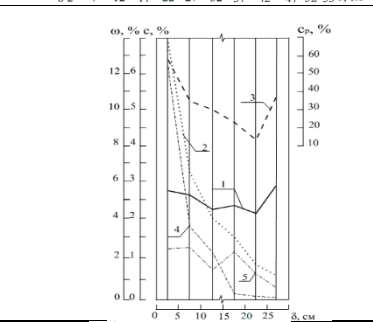
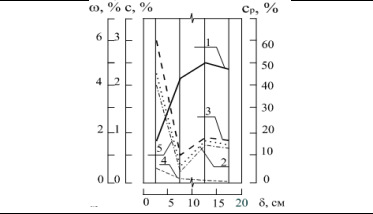
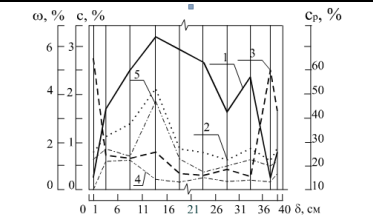
Выявленные уровни солесодержания сравнивались с величиной опасного солесодержания в строительных материалах, составляющего 0,5 % по массе (по данным, приведенным в работе D. Young [11]). По результатам химических анализов указанное значение было превышено в строитель-

ных материалах на всех объектах исследования: для среднего солесодержания в 1,7...5,3 раза, а для максимального – в 2,9...15,8 раз.

В соответствии с действующим ГОСТ 266332012 "Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия", для бетонов общее содержание хлоридов в пересчете на хлорид-ион (Cl⁻) не должно превышать: 1% по массе в неармированном бетоне, 0,4% по массе – в бетоне с ненапрягаемой арматурой и 0,1% по массе – в бетоне с напрягаемой арматурой. Наружные стены объектов №5 и №6 выполнены из керамзитобетонных панелей с ненапрягаемой арматурой, поэтому общее содержание в них Cl⁻ не должно превышать 0,4% по массе. По результатам лабораторных исследований в пересчете на Cl⁻ среднее солесодержание для объектов №5 и №6 составило, соответственно: 1,69 и 0,13% по массе, а максимальное – 5,04 и 0,28 % по массе.

Таблица 2

№ объекта	Материал наружных стен и соли, используемые в производстве	Распределение влаги и солей по толщине стены	Ориентация плоскости стены
1	Кладка из силикатного кирпича М75 на растворе М30 KCl, NaCl, Na ₂ SO ₄		В – 3, азимут 180°
2	Кладка из силикатного кирпича М75 на растворе М25 Растворы солей KCl, NaCl, Na ₂ SO ₄ , (NH ₄) ₂ SO ₃ , (NH ₄) ₂ SO ₄ , K ₂ SO ₄ ; HCl, SO ₂		ЮВ – СЗ, азимут 210°
3	Кладка из силикатного кирпича М75 на растворе М25 Растворы солей KCl, NaCl, Na ₂ SO ₄ , (NH ₄) ₂ SO ₃ , (NH ₄) ₂ SO ₄ , K ₂ SO ₄ ; HCl, SO ₂		ЮЗ – СВ, азимут 300°

4	Кладка из керамического кирпича М100 на растворе М15 NaNO_2 , Na_2SO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, NaHSO_4 , NaCl , NH_4Cl ; SO_2		СЗ – ЮВ, азимут 60°
5	Керамзитобетонная панель NaCl , Na_2SO_4 , K_2CO_3 , Ca_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$		ЮЗ – СВ, азимут 300°
6	Керамзитобетонная панель NaCl		ЮЗ – СВ, азимут 330°
7	Кладка из силикатного кирпича М75 на растворе М25 NaCl , Na_2SO_4 , K_2CO_3 , Ca_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$		В – З, азимут 20°

Таким образом, на объекте №5 наблюдалось превышение среднего содержания хлорид-иона на 1,29% по массе (в 4 раза) и максимального – на 4,64 % по массе (в 12,6 раз). На объекте №6 не наблюдалось превышение среднего и максимального содержания хлорид-ионов.

Содержание хлорид-ионов в кирпичной кладке (это объекты №№ 1 – 4 и 7) в России не нормируется.

В Ы В О Д Ы

Неорганические гигроскопические соли и их смеси, накапливающиеся в поровом пространстве наружных ограждающих конструкций из каменных строительных материалов промышленных зданий с производственной солевой средой, содержащей гигроскопические соли, изменяют их физико-химические свойства. Они также вызывают деструкцию строительных материалов вследствие давления твердых кристаллов

на стенки пор и капилляров и биологической коррозии, тем самым снижают их прочность.

Выявлены уровни влаго- и солесодержания в наружных ограждающих конструкциях зданий цехов промышленного предприятия с производственной средой, содержащей соли. В сравнении с расчетным и предельно допустимым влагосодержанием строительных материалов для условий эксплуатации Б оказались переувлажненными, соответственно: средний слой стены объекта №7 – на 2,2 и 0,2 % по массе и средний слой стены объекта №3 – на 2,1 и 0,1 % по массе. Превышен уровень расчетного массового влагосодержания на объектах: №1 – на 0,4 % по массе; №4 – на 0,6 % по массе; №2 – на 1,5 % по массе.

По результатам химических анализов выявлено превышение величины опасного солесодержания, равного 0,5 % по массе, в строительных материалах наружных ограждающих конструкций на всех объектах

исследования: для среднего содержания – до 5,3 раз, а для максимального – до 15,8 раз.

Уровень допустимого содержания хлорид-иона в стеновых панелях из керамзитобетона был превышен на величину до 4,64 % по массе (в 12,6 раз).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ельчищева Т.Ф.* Динамика содержания примесей в воздухе Центрально-Черноземного региона для проектирования наружных ограждающих конструкций зданий // *Жилищное строительство*. – 2016, №6. С. 48...51.

2. *Береговой А.М., Береговой В.А.* Температурно-влажностное состояние наружных ограждений в условиях фазовых переходов влаги и агрессивных воздействий среды // *Региональная архитектура и строительство*. – 2017, №3. С. 99...104.

3. *Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Евсяков А.С.* Кольматация: явление, теория, перспективы применения для управления процессами коррозии бетонов // *Строительные материалы*. – 2017, № 10. С. 10...17.

4. *Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S., Evsyakov A.S.* Mathematical modelling of the colmataion of concrete pores during corrosion // *Magazine of Civil Engineering*. – 2017, № 7. P. 198...207.

5. *Trofimovich Y.V., Petrovich F.A., Ignatyevich N.P., Dmitrievich B.A., Ivanovich R.V.* Dencity of structure and extent of saturation by water of composites as a factor of change of their durability when freezing and thawing // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2015, №10. P. 25711...25720.

6. *Shafigullin L.N., Treshev A.A., Romashina A.V., Erofeev V.T.* Concentration of stress on holes in a plate of different resistant material // *Astra Salvensis*. – 2017. P. 213...225.

7. *Erofeev V., Rodin A., Rodina N., Kalashnikov V., Erofeeva I.* Biocidal Binders for the Concretes of Underground Constructions // *Procedia Engineering*. – 2016. P. 1448...1454. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.878.

8. *Gagarin V.G., Kozlov V.V., Zubarev K.P.* Determination of maximum moisture zone on enclosing structures // *Cold Climate HVAC 2018: Sustainable Buildings in Cold Climates*. – 2018. S. 925...932. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00662-4_78.

9. *Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т.* О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // *Архитектура и строительство*. – 2015, № 1. С.93...102.

10. *Александровский С.В.* Долговечность наружных ограждающих конструкций. – М.: Стройиздат, 2004.

11. *Young D.* Salt attack and rising damp. A guide to salt damp in historic and older buildings. Heritage Council of NSW, Heritage Victoria, South Australian

Department for Environment and Heritage, Adelaide City Council. – 1991. P. 79.

REFERENCES

1. *El'chishcheva T.F.* Dinamika sodержaniya primesey v vozdukh Tsentral'no-Chernozemnogo regiona dlya proektirovaniya naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. – 2016, №6. S. 48...51.

2. *Beregovoy A.M., Beregovoy V.A.* Temperaturno-vlazhnostnoe sostoyanie naruzhnykh ograzhdeniy v usloviyakh fazovykh perekhodov vlagi i agresivnykh vozdeystviy sredy // *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. – 2017, №3. S. 99...104.

3. *Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Konovalova V.S., Evsyakov A.S.* Kol'matatsiya: yavlenie, teoriya, perspektivy primeneniya dlya upravleniya protsessami korrozii betonov // *Stroitel'nye materialy*. – 2017, № 10. S. 10...17.

4. *Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S., Evsyakov A.S.* Mathematical modelling of the colmataion of concrete pores during corrosion // *Magazine of Civil Engineering*. – 2017, № 7. P. 198...207.

5. *Trofimovich Y.V., Petrovich F.A., Ignatyevich N.P., Dmitrievich B.A., Ivanovich R.V.* Dencity of structure and extent of saturation by water of composites as a factor of change of their durability when freezing and thawing // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2015, №10. P. 25711...25720.

6. *Shafigullin L.N., Treshev A.A., Romashina A.V., Erofeev V.T.* Concentration of stress on holes in a plate of different resistant material // *Astra Salvensis*. – 2017. P. 213...225.

7. *Erofeev V., Rodin A., Rodina N., Kalashnikov V., Erofeeva I.* Biocidal Binders for the Concretes of Underground Constructions // *Procedia Engineering*. – 2016. P. 1448...1454. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.878.

8. *Gagarin V.G., Kozlov V.V., Zubarev K.P.* Determination of maximum moisture zone on enclosing structures // *Cold Climate HVAC 2018: Sustainable Buildings in Cold Climates*. – 2018. S. 925...932. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00662-4_78.

9. *Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T.* O sovremennykh metodakh obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruksiy // *Arkhitektura i stroitel'stvo*. – 2015, № 1. S.93...102.

10. *Aleksandrovskiy S.V.* Dolgovechnost' naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksiy. – М.: Stroizdat, 2004.

11. *Young D.* Salt attack and rising damp. A guide to salt damp in historic and older buildings. Heritage Council of NSW, Heritage Victoria, South Australian Department for Environment and Heritage, Adelaide City Council. – 1991. P. 79.

Рекомендована кафедрой строительных материалов и технологий архитектурно-строительного факультета НИМГИ. Поступила 11.03.20.