

УДК 111.222:222.111-222.55

*ЦВЕТКОВ НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
nac.tsuab@yandex.ru*

*ХУТОРНОЙ АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
khantgs@mail.ru*

*МАТВЕЕВ АНДРЕЙ ВАДИМОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
andrsv2000@rambler.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2,*

*РОДЕВИЧ ВИКТОР ВИКТОРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
rvv76@inbox.ru*

*ООО «Стройтехинновации ТДСК»,
634055, г. Томск, пр. Академический, 8/8,*

*ОВЧИННИКОВ АРТЕМ АЛЕКСАНДРОВИЧ, аспирант,
ovchinnikov2009@yandex.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАНЕСЕНИЕМ ВЫСОКОЭЛАСТИЧНЫХ КРАСОК НА ПОВЕРХНОСТИ

Приведены результаты проведенных экспериментальных исследований по определению эффективности нанесения высокоэластичных красок на поверхности бетонных конструкций, подвергающихся деформациям с образованием трещин. В отличие от заявляемых производителем областей применения высокоэластичной (резиновой) краски рассмотрены иные варианты их использования: для окрашивания открытых поверхностей несущего элемента каркаса здания – железобетонного двухполочного ригеля; для окрашивания внешней поверхности наружного слоя трехслойной железобетонной стеновой панели. В случае применения резиновой краски для трехслойной стеновой панели проведены испытания по определению паропроницаемости наружного слоя конструкции для обоснования возможности ее применения без нарушения теплотехнической эффективности конструкции, а также изменения параметров микроклимата помещений. Получены новые данные, позволяющие повысить эксплуатационную надежность рассмотренных конструкций без использования значительных и дорогостоящих конструктивных вмешательств.

Ключевые слова: железобетонные конструкции; трещины; резиновые краски; паропроницаемость; испытания.

*NIKOLAI A. TSVETKOV, DSc, Professor,
nac.tsuab@yandex.ru*

*ANDREI N. KHUTORNOI, PhD, A/Professor,
khantgs@mail.ru*

*ANDREY V. MATVEEV, PhD, A/Professor,
andrsv2000@rambler.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia,*

*VICTOR V. RODEVICH, PhD, A/Professor,
rvv76@inbox.ru
ООО 'Stroitekhinnovatsii TDSK',
8/8, Akademicheskii Ave., 634055, Tomsk, Russia,
ARTEM A. OVCHINNIKOV, Research Assistant,
ovchinnikov2009@yandex.ru
Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

IMPROVING PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES USING HIGH-ELASTICITY PIGMENTS FOR SURFACE COATING

This article presents the experimental research carried out into the efficient surface coatings made of high-elasticity pigments for concrete structures exposed to the deformation due to cracking. In contrast to application fields claimed by the manufacturer, high-elasticity (rubber) pigments can be used in such applications as coloring the exposed surfaces of bearing frame element of a building, i.e. reinforced concrete crossbar; outer layer of the three-layer concrete wall panel. Tests are conducted for the three-layer wall panel coated with a high-elasticity pigment to determine the vapor permeability of the outer layer of the structure. The rationale is shown for a possible use of the high-elasticity pigment both without disturbing the thermal efficiency of the structure and room microclimate. New information is obtained allowing to increase the operational reliability of the considered structures without significant and expensive structural modifications.

Keywords: reinforced concrete structures; cracks; rubber pigment; vapor permeability; testing.

Железобетон как материал является одним из самых популярных строительных материалов в мире. Применение его получило распространение для различных конструктивных элементов зданий.

И одним из основополагающих факторов надежной эксплуатации железобетонной конструкции является совместная работа арматуры с бетоном на всем протяжении «жизненного» цикла конструкций. Совместная работа арматуры с бетоном обеспечивается за счет защитного слоя бетона, ограничивающего арматуру конструкций от агрессивного воздействия окружающей среды. Однако, как показывает практика, часто наблюдаются нарушения защитного слоя бетона, что активизирует процесс коррозии арматуры, снижая при этом общую надежность конструкции. Также на стадии эксплуатации в конструкциях могут образоваться трещины, допускаемые нормами, но открывающие доступ агрессивному воздействию окружающей среды на рабочую арматуру. А в случае применения железобетонных слоистых стеновых панелей с эффективным утеплителем [1] при проявлении трещин на наружном железобетонном слое открывается доступ к внутреннему утепляющему слою, вызывая замачивание и снижение эффективной работоспособности материала. Кроме того, в явном виде ухудшается эстетический вид конструкции, являющейся фасадной частью здания. Для снижения влияния трещин на поверхности железобетонных конструкций за счет снижения их видимого развития в конструкциях рассмотрен вариант применения высокоэластичных красок на латексной основе.

Заявляемыми производителями областями применения таких красок являются: гидроизоляция кровель, деревянные поверхности (краски с антисептирующими добавками), бассейны, декоративные элементы, металлические и бетонные поверхности. При этом в источниках приводится лишь перечень областей применения без результатов расчетных или экспериментальных подтверждений.

При совместном участии сотрудников ООО «Стройтехинновации ТДСК» и сотрудников Томского государственного архитектурно-строительного университета выполнены следующие исследования:

– проведены испытания железобетонных балок на прочность при изгибе, на которых верхняя поверхность, расположенная в растянутой зоне, покрашена двумя видами красок: краска на акриловой основе ВД-АК-111 и резиновая краска «Главный Технолог» производства фирмы ЗАО «Новбытхим», г. Санкт-Петербург;

– проведены испытания железобетонного двухполочного ригеля РДП 4.56-110Ат (V) на прочность, жесткость, трещиностойкость при изгибе, на котором одна боковая поверхность окрашена резиновой краской «Главный Технолог» в два слоя;

– для обоснования возможности применения резиновых красок для наружных стеновых панелей выполнен сравнительный анализ паропроницаемости наружного слоя железобетонной стеновой панели толщиной 80 мм, покрашенной фасадной краской ВД-АК-111 и резиновой краской «Главный Технолог».

Резиновая краска «Главный Технолог» производства фирмы ЗАО «Новбытхим», г. Санкт-Петербург, предназначена для окраски поверхностей из бетона, штукатурки, кирпича и т. д. Используется при внутренних и наружных работах и устойчива к растрескиванию подложки при ее деформации. Изготовление красок производится согласно ТУ 2316-078-32811438–2010. Основные характеристики резиновой краски «Главный Технолог» приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики резиновой краски «Главный Технолог»

№ п/п	Наименование показателей	Норма по ТУ
1	Расход	150–200 г/м – на однослойное покрытие
2	Способ нанесения	Кистью, валиком, распылителем
3	Растворитель	Вода, требуемая степень разведения до 5 %
4	Продолжительность высыхания при $t = 20–22\text{ }^{\circ}\text{C}$, не более, ч	2
5	Межслойная сушка при $t = 20–22\text{ }^{\circ}\text{C}$, ч	1
6	Вязкость по вискозиметру ВЗ-246, не менее, с	20

Целью испытаний лабораторных балок, покрашенных красками ВД-АК-111 и резиновой «Главный Технолог» производства ЗАО «Новбытхим», на прочность при изгибе является экспериментальное определение поведения красок при испытании железобетонных балок на изгиб с образованием трещин в растянутой зоне.

Для испытаний были изготовлены железобетонные балки двух видов: железобетонная балка № 1 для испытаний на разрушение при покраске в один слой без грунтования; железобетонная балка № 2 для испытаний на разрушение при покраске в два слоя. В обоих образцах краска наносилась на очищенную от пыли поверхность по половине ширины на всю длину образцов. В случае образца № 2 краски наносились в два слоя с выдержкой по времени перед нанесением второго слоя 24 ч. Бетонные образцы № 1 и № 2 изготовлены из тяжелого бетона класса прочности В15 и армированы пространственным каркасом с продольной рабочей арматурой класса А240 Ø 10 мм.

Испытания проводились поэтапным нагружением образцов горизонтальной сосредоточенной нагрузкой, приложенной с эксцентриситетом относительно центра тяжести сечения. При такой схеме испытания верхняя плоскость образцов находится в растянутой зоне, на которой фиксировалось и контролировалось трещинообразование. Схема испытания образцов приведена на рис. 1. Контроль ширины раскрытия трещин осуществлялся микроскопом МПБ-3 с ценой деления шкалы 0,02 мм.

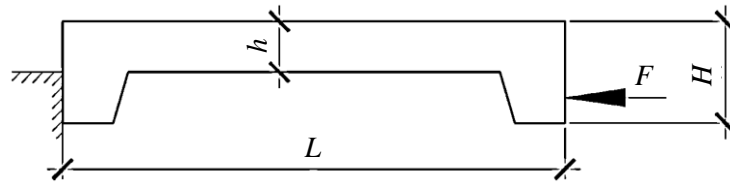


Рис. 1. Схема испытания образцов № 1 и № 2

При испытании образца № 1 первые трещины шириной 0,06 мм были зафиксированы на 3-м этапе нагружения в растянутой зоне на стороне, окрашенной акриловой краской ВД-АК-111. По стороне, окрашенной резиновой краской, трещин обнаружено не было. Первые трещины (шириной до 0,06 мм) по резиновой краске были зафиксированы на 6-м этапе нагружения образца, при этом на стороне, покрашенной краской АК-ВД-111, ширина раскрытия трещин достигла 0,12 мм.

При испытании образца № 2 первые трещины шириной 0,06 мм также были зафиксированы на 3-м этапе нагружения в растянутой зоне на стороне, окрашенной акриловой краской ВД-АК-111. На 3-м этапе по стороне, окрашенной резиновой краской, трещин обнаружено не было. На стороне, окрашенной резиновой краской, первые трещины проявились на этапе, предшествующем разрушению образца, при этом ширина раскрытия достигла 0,12 мм, тогда как раскрытие трещин по бетону составило 0,22 мм. При этом количество зафиксированных видимых трещин по покрашенной поверхности на 30 % меньше относительно соседней.

Фотофиксация разрушения образца № 2 представлена на рис. 2, в табл. 2 приведены результаты испытаний лабораторных балок.

На следующем этапе были проведены испытания двухполочного ригеля РДП 4.56-110АТ (v), покрашенного резиновой краской «Главный Технолог», на прочность, жесткость и трещиностойкость при изгибе.

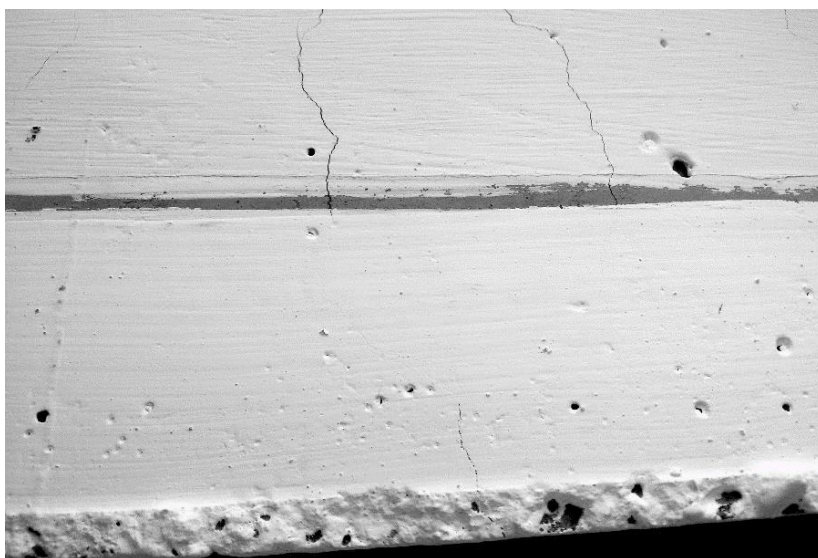


Рис. 2. Образец № 2. Этап нагружения № 8, разрушение бетонного образца. Верхняя половина окрашена краской ВД-АК-111 ($a_{cr} = 0,22$ мм), нижняя – краской «Главный Технолог» ($a_{cr} = 0,12$ мм)

Таблица 2

Результаты испытаний лабораторных балок

Образец	Описание образца	№ этапа нагружения	Ширина раскрытия трещин, мм		
			на бетоне	по краске ВД-АК-111	по резиновой краске
№ 1	Образцы покрашены в 1 слой красками	1	0	0	0
		2	0	0	0
		3	0,06	0,06	0
		4	0,08	0,08	0
		5	0,10	0,10	0
		6	0,12	0,12	0,06
		7	0,12	0,12	0,08
		8	Разрушение образца		
№ 2	Образцы покрашены в 2 слоя красками	1	0	0	0
		2	0	0	0
		3	0,06	0,06	0
		4	0,08	0,08	0
		5	0,12	0,12	0
		6	0,14	0,14	0
		7	0,22	0,22	0,12
		8	Разрушение образца		

Целью испытаний являлось экспериментальное определение поведения резиновой краски «Главный Технолог» при испытании натурной конструкции – железобетонного ригеля РДП 4.56-110Ат (V) – при условиях работы, максимально приближенных к реальным: на изгиб с образованием трещин в растянутой зоне. Ригель железобетонный изготовлен из тяжелого бетона класса прочности В35 длиной 5560 мм, шириной 565 мм, высотой 450 мм, армирован продольной ненапрягаемой рабочей арматурой класса А500 \varnothing 32 мм. В соответствии с рекомендациями производителя резиновой краски для бетонной поверхности окраска осуществлялась в два слоя. Окрашивание произведено на одной боковой поверхности полки ригеля. Вторая полка побелена для контроля ширины раскрытия трещин по бетону.

Схема ригеля показана на рис. 3. Общий вид испытания представлен на рис. 4.

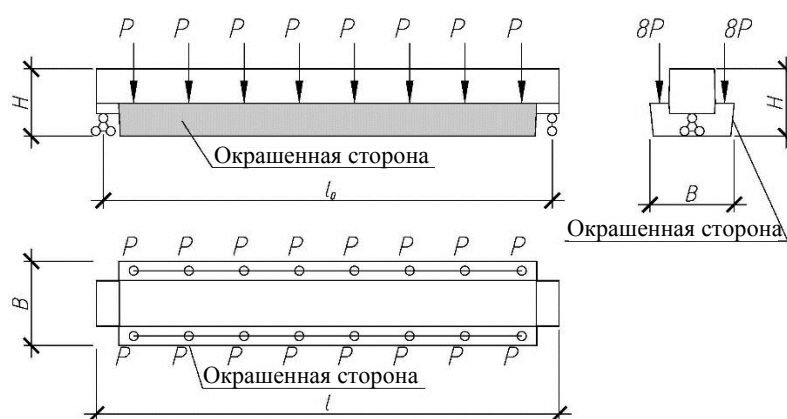


Рис. 3. Схема испытания ригеля на статическую нагрузку с нанесенной резиновой краской «Главный Технолог»



Рис. 4. Общий вид ригеля при испытании с боковой поверхностью, покрашенной резиновой краской «Главный Технолог»

Нагружение ригеля осуществлялось вертикальной статической нагрузкой через систему распределительных траверс на силовом стенде испытания конструкций ООО «Стройтехинновации ТДСК». Наблюдение за шириной раскрытия трещин осуществлялось при помощи микроскопа МПБ-2.0 со шкалой с ценой деления 0,05 мм. Первые трещины шириной раскрытия 0,1 мм были зафиксированы на побеленной поверхности ригеля на 3-м этапе нагружения при среднем прогибе ригеля 4,2 мм в середине пролета. Далее на следующих этапах по ходу увеличения нагрузки следовало развитие ширины существующих и образование новых трещин на побеленной поверхности ригеля. На 6-м этапе при прогибе ригеля 12,1 мм ширина раскрытия трещин на побеленной поверхности составила 0,25 мм, при этом на противоположной стороне, окрашенной резиновой краской, видимых трещин зафиксировано не было. Первые трещины на боковой поверхности, покрашенной резиновой краской, зафиксированы на 7-м этапе испытаний, где ширина раскрытия составила 0,05 мм. При этом по бетону (на противоположной стороне) ширина раскрытия трещин достигла 0,35 мм.

Результаты наблюдений за образованием и раскрытием трещин при проведении испытаний натурального ригеля РДП 4.56-110Ат (V) на статическую нагрузку представлены в виде графика на рис. 5.

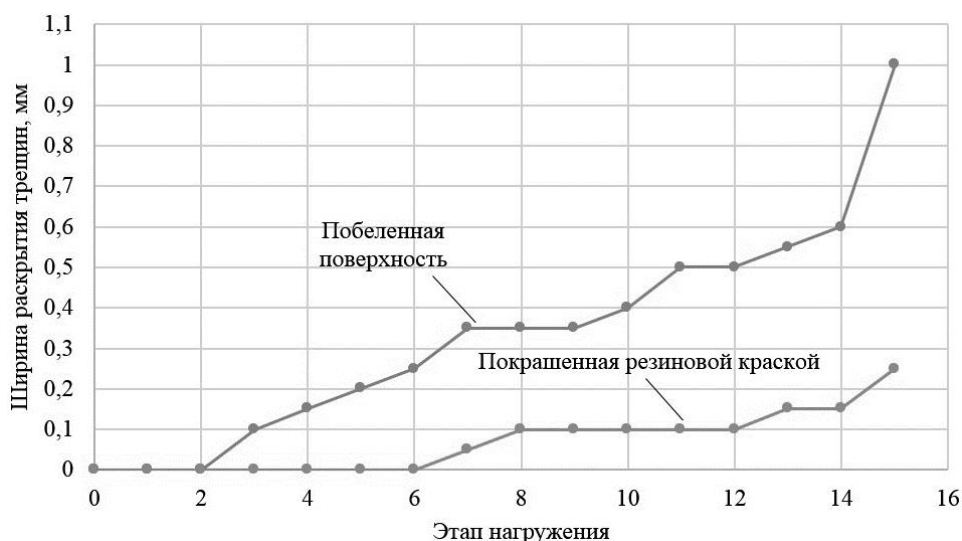


Рис. 5. График образования и раскрытия трещин по боковым поверхностям ригеля: по побеленной поверхности и по поверхности, покрашенной резиновой краской «Главный Технолог»

Разрушение ригеля зафиксировано на 15-м этапе испытаний. Общий прогиб конструкции в середине пролета составил 32,1 мм, ширина раскрытия трещин на поверхностях составила: на побеленной стороне – 1,0 мм, на поверхности, покрашенной краской «Главный Технолог», – 0,25 мм. При этом стоит отметить и количество зафиксированных трещин. Для побеленной поверхности количество зафиксированных трещин составило 26, тогда как для

стороны, покрашенной резиновой краской, данное количество составило 16, что меньше более чем на 40 %.

По ходу проведения испытаний замечено, что при образовании новых трещин на бетонной поверхности под резиновой краской «Главный Технолог» адгезия краски с бетоном не нарушается, краска от бетонной поверхности не отслаивается, что сохраняет изначальный внешний вид конструкции.

По результатам проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. При нанесении резиновой краски в один слой на бетонную поверхность видимое трещинообразование по поверхности краски начинает проявляться при реальном образовании трещин по бетону величиной до 0,12 мм.

2. При нанесении резиновой краски в два слоя на бетонную поверхность видимое трещинообразование по поверхности краски начинает проявляться при реальном образовании трещин по бетону величиной до 0,25 мм. При этом количество трещин снижается до 40 %.

Исследованию паропроницаемости строительных материалов посвящено множество работ [2–6]. На третьем этапе нашей работы также проводилось исследование сопротивления паропроницанию резиновой краски «Главный Технолог» и краски ВД-АК-111. Общеизвестно, что для обеспечения удовлетворительного тепловлажностного режима работы наружных ограждающих конструкций зданий материалы, имеющие малые значения паропроницаемости, лучше располагать ближе к внутренней поверхности стены [7, 8]. В противном случае внутри конструкции возможно накопление влаги с последующим ухудшением теплозащитных свойств стены и ее разрушением. Краски, как правило, обладают малыми значениями паропроницаемости и могут использоваться в качестве пароизоляционных барьеров, устраиваемых на внутренней поверхности стены [7]. В настоящей же работе предлагается использовать краски для окрашивания внешней поверхности трехслойной железобетонной стеновой панели с целью защиты бетона и арматуры от агрессивного воздействия окружающей среды.

Таким образом, задача по определению сопротивления паропроницанию указанных выше красок и возможности их применения для окрашивания внешней поверхности железобетонных стеновых панелей становится актуальной и обусловленной объективной необходимостью.

Определение сопротивления паропроницанию красок производилось в соответствии с ГОСТ 25898 «Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропроницанию».

Для каждого типа краски было подготовлено три одинаковых образца: бетонные кубики без краски, изготовленные из керамзитобетона класса В15 по прочности на сжатие, со средней плотностью 1500 кг/м³, размером 100×100×30 мм.

Образцы с красками были разделены на две группы. Группа № 1 – это три образца бетонных кубиков с нанесенной в соответствии с технологическим регламентом резиновой краской «Главный Технолог». Группа № 2 – три образца бетонных кубиков с краской ВД-АК-111.

Проведение испытаний и обработка результатов экспериментов осуществлялась в соответствии с ГОСТ 25898. Для измерения температуры и влажности воздуха в шкафу во время испытаний использовался измерительный комплекс «Терем-4м». Взвешивание чашек с дистиллированной водой производилось один раз в 7 сут.

Согласно ГОСТ 25898, испытания должны проводиться до тех пор, пока значения плотности потока водяного пара через образец, вычисленные по результатам трех последовательных взвешиваний, остаются без изменения или начинают увеличиваться.

В нашем исследовании значения плотности потока водяного пара через образцы группы № 1 стали увеличиваться после пяти недель испытаний, а через образцы группы № 2 – после четырех недель испытаний.

Итоговые результаты испытаний бетонных образцов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний бетонных образцов на паропроницаемость

Группа образцов	Бетонный образец	Плотность бетона, кг/м ³	Сопротивление паропрооницанию бетонной основы с краской $R_{б, кр}$	Паропроницаемость образца, мг/(м·ч·Па)	Сопротивление паропрооницанию слоя краски $R_{кр}$, м ² ·ч·Па/мг
Группа № 1	Без краски	1500,40	1,07	0,032	
	С краской «Главный Технолог»	1516,24	1,15	0,030	0,089
Группа № 2	Без краски	1503,10	1,11	0,031	
	С краской ВД-АК-111	1511,11	1,28	0,026	0,097

Как показали результаты проведенных исследований, краска ВД-АК-111 и резиновая краска «Главный Технолог» имеют невысокие значения сопротивления паропрооницанию, что при соответствующем теплотехническом обосновании позволяет рекомендовать их для окрашивания внешней поверхности железобетонных стеновых панелей.

Выводы по результатам проведенного комплекса исследований:

1. Применение резиновых красок на латексной основе при двухслойном нанесении снижает количество трещин, образованных на бетонной поверхности, до 40 %. При этом ширина раскрытия образованных трещин снижается с 1,0 мм (по бетону) до 0,25 мм (по резиновой краске).

2. Применение резиновых красок на латексной основе при однослойном нанесении снижает количество трещин, образованных на бетонной поверхности, до 30 %.

3. При образовании трещин, пересекающих резиновую краску, не происходит отслаивания самой краски, что сохраняет общий вид конструкции.

4. В случае если резиновая краска была применена для нанесения по уже образованным трещинам, при дальнейшем раскрытии трещин она не будет препятствовать доступу для наблюдений за конструкцией, при этом будет сохранен эстетический вид.

5. Проведенные исследования показали, что испытуемые краски имеют невысокие значения сопротивления паропрооницанию. Для краски ВД-АК-111 эта величина составляет $0,097 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, для резиновой краски «Главный Технолог» – $0,089 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, что при соответствующем теплотехническом обосновании позволяет рекомендовать их для окрашивания внешней поверхности железобетонных стеновых панелей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвеев, А.В. Разработка энергоэффективных крупнопанельных ограждающих конструкций / А.В. Матвеев, А.А. Овчинников // Жилищное строительство. – 2014. – № 10. – С. 19–23.
2. Копылова, А.И. Экспериментальное сравнение характеристик паропрооницаемости основных строительных материалов / А.И. Копылова, Н.И. Ватин, И.И. Пестряков // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 10 (25). – С. 98–108.
3. Куприянов, В.Н. Паропрооницаемость материалов в условиях, приближенных к эксплуатационным / В.Н. Куприянов, А.С. Петров // Известия КГАСУ. – 2013. – № 2 (24). – С. 126–131.
4. Исследование паропрооницаемости растворов из сухих строительных смесей / Л.А. Аниканова, О.В. Волкова, А.Н. Хуторной, Л.О. Дорошенко, А.И. Курмагалиева // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 3. – С. 146–156.
5. Scheffler, G.A. Introduction of a full range model for liquid and vapour transport properties of AAC / G.A. Scheffler // 5th International conference on Autoclaved Aerated Concrete «Securing a sustainable future»: Bydgoszcz, Poland, 14–17 September, 2011. – P. 311–323.
6. Numerical and experimental study of the hygric inertia of a hemp-lime concrete / С. Maalouf, М. Lachi, Т. Н. Mai, Е. Wurtz // International journal of mathematical models and methods in applied sciences. – 2013. – Т. 7. – Вып. 2. – P. 149–156.
7. Фокин, К.Ф. Расчет влажностного режима наружных ограждений / К.Ф. Фокин. – М.: Главная редакция строительной литературы, 1935. – 173 с.
8. Роджерс, Т.С. Проектирование тепловой защиты зданий: пер с англ. / Т.С. Роджерс. – М.: СИ, 1966. – 228 с.

REFERENCES

1. Matveev A.V., Ovchinnikov A.A. Razrabotka ehnergoehffektivnyh krupnopanel'nyh ograzhdayu-shchih konstrukcii [Development of energy-efficient wall panels]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2014. No. 10. Pp. 19–23. (rus)
2. Kopylova A.I., Vatin N.I., Pestryakov I.I. Eksperimental'noe sravnenie kharakteristik paropronitsaemosti osnovnykh stroitel'nykh materialov [Experimental comparison of water vapor permeability of main construction materials]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii*. 2014. No. 10 (25). Pp. 98–108. (rus)
3. Kupriyanov V.N., Petrov A.S. Paropronitsaemost' materialov v usloviyakh, priblizhennykh k ekspluatatsionnym [Water vapor permeability of materials in conditions close to operational]. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2013. No. 2 (24). Pp. 126–131. (rus)
4. Anikanova L.A., Volkova O.V., Khutornoi A.N., Doroshenko L.O., Kurmagaliyeva A.I. Issledovanie paropronitsaemosti rastvorov iz sukhikh stroitel'nykh smesei [Vapor permeability of dry

- mix mortars]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 3. Pp. 146–156. (rus)
5. Scheffler G.A. Introduction of a full range model for liquid and vapour transport properties of AAC. *Proc. 5th Int. Conf. on autoclaved aerated concrete 'Securing a Sustainable Future'*, Bydgoszcz, Poland, 14–17 September, 2011. Pp. 311–323.
 6. Maalouf C., Lachi M., Mai T.H., Wurtz E. Numerical and experimental study of the hygric inertia of a hemp-lime concrete. *International journal of mathematical models and methods in applied sciences*. 2013. No. 7. V. 2. Pp. 149–156.
 7. Fokin K.F. Raschet vlazhnostnogo rezhima naruzhnykh ograzhdenii [Calculation humidity conditions outside fences]. Moscow : Glavnaya redaktsiya stroitel'noi literatury, 1935. 173 p. (rus)
 8. Rogers T.S. Proektirovanie teplovoi zashchity zdanii [Design of thermal protection of buildings]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1966. 228 p. (transl. from Engl.)