

## Экспериментальное сравнение характеристик паропроницаемости основных строительных материалов

А.И. Копылова<sup>1</sup>, Н.И. Ватин<sup>2</sup>, И.И. Пестряков<sup>3</sup>

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 691-4 Научная статья	Подана в редакцию 16 сентября 2014 Принята 24 октября 2014	материал, сопротивление паропроницанию, паропроницаемость, давление водяного пара, плотность потока водяного пара

### АННОТАЦИЯ



Одной из важных задач строительства является проектирование конструкций таким образом, чтобы избежать возникновения конденсации водяного пара в них. В зависимости от используемых материалов и типа конструкции водяные пары могут проходить через здание или задерживаться в нем. Цель работы - дополнение характеристик паропроницаемости строительных материалов, которые неполно отражаются в нормативных документах. В работе проведена серия испытаний над образцами материалов, выпускаемых фирмами производителей для современного строительства: камень стеновой бетонный марки СКЦ 1Р-1, камень полнотелый стеновой керамзитобетонный марки КСКЦ 40-20-19-50/950, глиняный обожженный полнотелый кирпич, газобетон автоклавного твердения марки D600, дерево (сосна). В результате исследования получены новые данные по материалам, которые в настоящее время используются при строительстве ограждающих конструкций..

### Содержание

Введение	99
Литературный обзор	100
Цель и задачи исследования	101
Описание исследования и обработка результатов испытания	101
Заключение	102

<sup>1</sup> Контактный автор:  
+7 (921) 647 0854, [nastya01021@mail.ru](mailto:nastya01021@mail.ru) (Копылова Анастасия Игоревна, студент)  
<sup>2</sup> +7 (921) 964 3762, [vatin@mail.ru](mailto:vatin@mail.ru) (Ватин Николай Иванович, д.т.н., профессор, директор Инженерно-строительного института)  
<sup>3</sup> +7 (921) 379 5000, [iscvisota@mail.ru](mailto:iscvisota@mail.ru) (Пестряков Игорь Иванович, инженер)

## Введение

Водяной пар является одним из компонентов атмосферного воздуха. В помещениях гражданских зданий пар образуется как результат жизнедеятельности человека (дыхание, мойка посуды, стирка, принятие душа и т.п.), как следствие наличия воды с открытой поверхностью (например, в бассейнах) и как результат различных технологических процессов. Водяные пары имеют свойство проникать из областей с более высокой абсолютной влажностью в области с более низкой абсолютной влажностью [1]. Даже при удалении избытков водяного пара из помещений системами вентиляции водяные пары будут попадать в поры ограждающих конструкций зданий, двигаясь изнутри наружу. В климатических условиях России возможна конденсация пара в ограждающих конструкциях и постепенное разрушение строительных конструкций [2]. В связи с этим, одна из важных задач строительства – спроектировать наиболее энергоэффективные конструкции таким образом, чтобы избежать конденсации водяного пара в них. В настоящее время решение данной задачи основывается на [3, 4, 5]

Наружные водяные пары могут проникнуть в здание двумя способами. Один из которых – диффузия, второй – с током воздуха [6, 7, 8]. Так как теплоизоляция, которую чаще всего применяют в современном строительстве, создает надежную защиту от нежелательных воздушных потоков, то, следовательно, диффузии следует уделять больше внимания [9-12].

При проектировании многослойных ограждающих конструкций часто руководствуются таким понятием как «паропроницаемость» строительного материала. Также имеет место понятие «сопротивление паропроницанию». При этом стремятся обеспечить принцип «паропроницаемость должна возрастать изнутри наружу».

Паропроницаемость теплоизоляционных материалов существенно влияет на влагоперенос через ограждающие конструкции. В свою очередь, это является одним из важных критериев, оказывающих влияние на термическое сопротивление конструкции [13-17].

Для определения паропроницаемости строительных материалов в испытательном центре СПбГПУ выполнена серия экспериментальных работ. Объектами исследования являются образцы размером 100x100x30мм следующих строительных материалов: камень стеновой бетонный марки СКЦ 1Р-1, изготовленный по ГОСТ 6133 [18], плотностью 2282 кг/м<sup>3</sup>; камень полнотелый стеновой керамзитобетонный марки КСКЦ 40-20-19-50/950 – по ГОСТ 6133 [18] плотностью 969 кг/м<sup>3</sup>; глиняный обожженный кирпич полнотелый – по ГОСТ 530-2012 [19] плотностью 1693 кг/м<sup>3</sup>; газобетон автоклавного твердения марки D600 – по ГОСТ 31359-2007 [20] плотностью 561 кг/м<sup>3</sup>. Также образец размером 100x100x20мм, выполненный из дерева (сосна) по ГОСТ 9463 [21], плотностью 460 кг/м<sup>3</sup>.

Методика измерений характеристик паропроницаемости строительных материалов базируется на основании [22]. Расчет характеристик включает в себя:

- выбор материалов (объектов исследования);
- проведение испытания в лаборатории;
- вычисление плотности потока водяного пара через образец;
- обработку результатов испытания.



Рисунок 1. Образцы испытываемых материалов (слева направо): дерево (сосна), газобетон автоклавного твердения марки D600, камень полнотелый стеновой керамзитобетонный марки КСКЦ 40-20-19-50/950, камень стеновой бетонный марки СКЦ 1Р-1, глиняный обожженный полнотелый кирпич

## Литературный обзор

Изучению характеристик паропроницания в строительных материалах и ограждающих конструкциях посвящено множество работ [23-28] таких авторов как: Куприянов В.Н, Сафин И.Ш., Перехоженцев А.Г., Козлов В.В., Ильинский В.М., Гагарин В.Г., Ушков Ф.В., Тертничков Е.И., Фокин К.Ф., Вытчиков Ю.С., Богословский В.Н., Лыков А.В., Мачинский В.Д., Франчук А.У., Одельская Э.Х. и др. Исследования проникновения и переноса пара в конструкциях основываются на идеях, изложенных в СНиП всех лет изданий.

Мачинский В.Д. одним из первых рассмотрел роль диффузии и конденсации водяного пара в ограждающих конструкциях. Свои результаты он опубликовал в работе [23], где подробно описал проблему влажностного состояния ограждающих конструкций. Позже Фокин К.Ф. количественно оценил данную проблему, в статье [24] также приведен метод определения зоны конденсации, расчет паропроницаемости материалов ограждающей конструкции.

Куприянов В.Н. совместно с Петровым А. С. изучали паропроницаемость материалов в условиях, приближенных к эксплуатационным. В своей работе [25] они опубликовали закономерности переноса пара через ограждающую конструкцию, описали методику, которая учитывает движение воздуха над образцом материала, на ее основе была построена зависимость изменения коэффициента паропроницаемости от времени. Результаты эксперимента указали на актуальность продолжения исследования в связи с тем, объяснить колебания коэффициента паропроницаемости на имеющемся экспериментальном материале пока не представляется возможным.

В работе [26] Перехоженцев А.Г. на основе баланса сопротивлений теплопередаче и паропроницанию материалов определяет условия, при которых образуется плоскость конденсации, либо зона конденсации, которую в дальнейшем изучает Вытчиков Ю.С., выполняя расчет требуемого сопротивления паропроницанию от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации [21].

Статья Перехоженцева А.Г. и Жукова А.Н. [28] посвящена экспериментальному определению коэффициента паропроницаемости жидкого керамического утеплителя типа «Корунд-Классик». Результаты экспериментальных исследований показали, что коэффициент испытуемого образца близок по значению к материалам, используемых в качестве гидроизоляционных покрытий. Авторами разработаны рекомендации по применению.

Важным аспектам закономерностей паропроницания за рубежом посвятили свои публикации [29-35] авторы: Rogers T., Hartwig M., Wilkinson, Ueno K., Lstiburek J., Vinha J., Valovirta I., Gomez I., Sala M. J., Millan J.A и др.

Rogers T. в работе [29] внес одно из самых рациональных предложений при проектировании конструкции: отдельные слои в многослойных конструкциях стоит располагать таким образом, чтобы паропроницаемость возрастала от внутренней стороны к наружной, причем здание будет эксплуатироваться дольше, если паропроницаемость наружного слоя, как минимум, в 5 раз будет больше паропроницаемости внутреннего слоя.

Статья Vinha J., Valovirta I. [30] основана на свойствах перехода водяного пара и теплопроводности при различных температурах и относительной влажности в северных климатических условиях. В статье представлен расчет характеристик для разных строительных материалов, эффекты изменения характеристик паропроницаемости в зависимости от влажности и температуры.

Несмотря на большое количество публикаций по данной тематике [23-35], исследование паропроницаемости строительных материалов остается актуальным и требует дальнейшего изучения. Особенно это связано с появлением новых строительных материалов, характеристики которых не включены в СНиП. Стандартные методы определения паропроницаемости материалов не моделируют условий их эксплуатации в ограждающих конструкциях, в связи с этим вопрос по изучению характеристик паропроницаемости остается открытым.

## Цель и задачи исследования

Целью наших исследований является дополнение характеристик паропроницаемости, которые неполно отражаются в нормативных документах [36]. Для составления рекомендаций по использованию данных для расчетов по СНиП паропроницаемости наружных ограждающих конструкций пользуются сравнением коэффициентов паропроницаемости основных строительных материалов, в том числе и современных.

Основные задачи исследования формулируются следующим образом:

- проведение лабораторных испытаний в соответствии с [22];
- расчет плотности потока водяного пара через образец, сопротивления паропроницанию слоя материала, коэффициента паропроницаемости материала каждого образца.

## Описание исследования и обработка результатов испытания

Объекты исследования: дерево (сосна), газобетон автоклавного твердения марки D600, камень полнотелый стеновой керамзитобетонный марки КСКЦ 40-20-19-50/950, камень стеновой бетонный марки СКЦ 1Р-1, глиняный обожженный кирпич полнотелый. Образцы материалов, подготовленные в соответствии с [22], помещают на перфорированную полку шкафа, на нижней полке которого размещен сосуд с насыщенным водным раствором шестиводного азотнокислого магния. Схема прибора для определения паропроницаемости одинакова для всех испытываемых образцов, изображена на рисунках 2, 3. В шкафу размещают термометр, термограф и гигрограф для измерения относительной влажности воздуха в шкафу температуры при проведении испытания. Шкаф плотно закрывают и через каждые семь суток после начала исследования достают и взвешивают чашку с дистиллированной водой, затем возвращают в исходное положение для продолжения испытания.

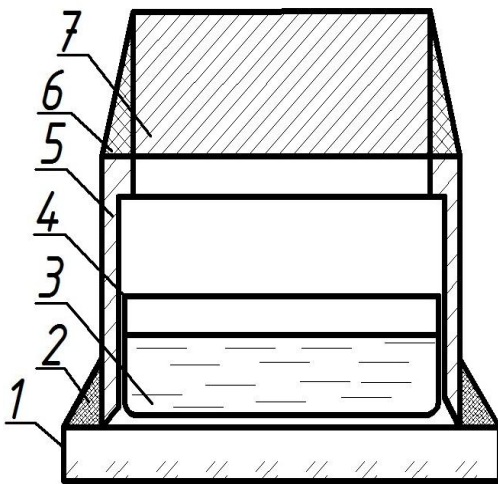


Рисунок 2. 1–стеклянная пластинка; 2–пластилин; 3–дистиллированная вода; 4–чашка для дистиллированной воды; 5–обойма для образца; 6– парафин, сверху покрытый пластилином; 7– образец испытываемого материала.



Рисунок 3. Образец стенового бетонного камня марки СКЦ 1Р-1, изъятый из шкафа для взвешивания при испытании.

По результатам каждого взвешивания для образца определяется плотность потока водяного пара  $q$  в  $\text{мг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$  по формуле [22]:

$$q = \frac{\Delta m}{\Delta \tau F}, \quad (1)$$

где  $\Delta m$  – разница массы дистиллированной воды в чашке между двумя взвешиваниями, мг;  
 $\Delta \tau$  – время между двумя последовательными взвешиваниями, ч;  
 $F$  – площадь образца,  $\text{м}^2$ ;

Испытание завершилось после того, как значения плотности потока, вычисленные по результатам нескольких последовательных взвешиваний, перестали изменяться. При расчете сопротивления паропрооницанию материала за плотность потока водяного пара принято наименьшее значение из полученных результатов.

Сопротивление паропрооницанию  $R$  в  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$  вычисляется по формуле:

$$R = \frac{P_1 - P_2}{q} - \frac{\delta_6}{\mu_6}, \quad (2)$$

где  $P_1$  – парциальное давление насыщенных паров воды при температуре испытания, Па;

$\delta_6$  – толщина воздушного слоя от уровня воды до нижней грани образца, м;

$\mu_6$  – паропрооницаемость воздуха в обейме с образцом, равная  $1,01 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ ;

$P_2$  – парциальное давление паров воды над образцом, Па, определяется по формуле:

$$P_2 = \frac{\varphi P_1}{100\%}, \quad (3)$$

$\varphi$  – среднее значение относительной влажности воздуха в шкафу с образцами за последние 7 суток, %

Коэффициент паропрооницаемости образца материала определяется по формуле:

$$\mu = \frac{\delta}{R}, \quad (4)$$

где  $\delta$  – толщина образца, м.

Приведем таблицу с результатами, полученными для всех образцов (с. 102)

## Заключение

По результатам проведения серии лабораторных испытаний по определению характеристик паропрооницаемости основных строительных материалов сделаны следующие выводы:

1. Образец материала стенового бетонного камня марки СКЦ 1Р-1 обладает наименьшей паропрооницаемостью, в то время как образец камня полнотелого стенового керамзито-бетонного марки КСКЦ 40-20-19-50/950 имеет паропрооницаемость на 81% больше. Значения паропрооницаемости образцов материала полнотелого глиняного кирпича и материала газобетона автоклавного твердения марки D600 близки между собой и лежат в промежутке между значениями образцов стеновых камней, что на 31% и 25% соответственно меньше паропрооницаемости образца полнотелого стенового керамзито-бетонного камня марки КСКЦ 40-20-19-50/950. Паропрооницаемость дерева отличается на 50% от паропрооницаемости материала камня стенового бетонного марки СКЦ 1Р-1;

2. Получены новые данные по материалам, которые неполно отражены в НД нормативных документах [36].

Таблица 1. Результаты измерений

Материал образца	Расчетные характеристики							Измеренные значения паропроницаемости	
	Площадь поверхности образца $F$ , м <sup>2</sup>	Толщина образца $\sigma$ , мм	Плотность потока водяного пара $q$ , мг/(ч·м <sup>2</sup> )	Толщина воздушного слоя от уровня воды до нижней грани образца $\sigma_{в.мм}$	Парциальное давление насыщенных паров воды при температуре испытания $P_1$ , Па	Среднее значение относительной влажности воздуха в шкафу с образцами за последние 7 суток $\varphi$ , %	Парциальное давление паров воды над образцом $P_2$ , Па	Сопротивление паропроницанию $R$ , (м <sup>2</sup> ·ч·Па)/мг	Паропроницаемость образца материала, $\mu$
Камень стеновой бетонный марки СКЦ 1Р-1	0,01	30	476,19	0,06	2643	81	2141	0,995	0,03
Камень полнотелый стеновой керамзитобетонный марки КСКЦ 40-20-19-50/950	0,01	30	1488,10	0,054	2925	88	2574	0,182	0,16
Глиняный обожженный кирпич полнотелый	0,01	30	1369,05	0,051	2486	82	2039	0,276	0,11
Газобетон автоклавного твердения марки D600	0,01	30	1547,62	0,049	2486	82	2039	0,241	0,12
Дерево (сосна)	0,01	20	1369,05	0,049	2643	81	2141	0,318	0,06

## Литература

- [1]. Шильд Е., Кассельман Х.-Ф., Дамен Г., Поленц Р. Пер. с нем. Бердичевского; под ред. Дешко Э. Л. Строительная физика. М.: Стройиздат, 1982. 296 с.
- [2]. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1982. 415 с.
- [3]. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
- [4]. Аверьянов В.К., Байкова С.А., Горшков А.С., Гришкевич А.В., Кочнев А.П., Леонтьев Д.Н., Мележик А.А., Михайлов А.Г., Рымкевич П.П., Тютюнников А.И. Региональная концепция обеспечения энергетической эффективности жилых и общественных зданий// Жилищное строительство. 2012. № 3. С. 2-4.
- [5]. Ватин Н.И., Горшков А.С., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 3(8). С. 1-11.
- [6]. Куприянов В.Н., Сафин И.Ш. Проектирование ограждающих конструкций с учетом диффузии и конденсации парообразной влаги// Известия КазГАСУ. 2011. № 1(15). С. 93-103.
- [7]. Straube J.F. Moisture in Buildings. ASHRAE Journal. 2002. Pp.1-6.
- [8]. Glaser H. Grafisches Verfahren zur Unterschuhung von Diffusionsvorgangen. Wärmeschutz-Kaltechutz-Schallchutz-Brandchutz. Sonderausgabe, 1985. S 42–49.
- [9]. Ильинский В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий). М.: Высшая школа, 1974. 320 с.
- [10]. Куприянов В.Н., Сафин И.Ш., Хабибулина А. Г. К вопросу о паропроницаемости ограждающих конструкций// РААСН ACADEMIA. Строительство и архитектура. 2009. № 5. С. 504-507.
- [11]. Ranaivomanana H., Verdier J., Sellier A., Bourbon X. Prediction of relative permeabilities and water vapor diffusion reduction factor for cement-based materials. Cement and Concrete Research. 2013. Vol. 48. Pp.53-63.
- [12]. Baroghel-Bouny V. Water vapour sorption experiments on hardened cementitious materials. Part II: Essential tool for assessment of transport properties and for durability prediction. Cement and Concrete Research. Vol. 37. Issue 3. Pp.438-454.
- [13]. Куприянов В.Н., Сафин И.Ш. Паропроницаемость и проектирование ограждающих конструкций// РААСН ACADEMIA. Строительство и архитектура. 2010. № 3. С. 385-390.
- [14]. Емельянов Г. Применение паропроницаемой теплоизоляции в строительстве// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 7. С. 31-33.
- [15]. Ватин Н.И., Горшков А.С., Глузов А.В. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков// Инженерно-строительный журнал. 2011. № 1. С. 28-33.
- [16]. Šadauskienė J., Stankevičius V., Bliudžius R., Gailius A. The impact of the exterior painted thin-layer render's water vapour and liquid water permeability on the moisture state of the wall insulating system. Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. Issue 8. Pp.2788-2794.
- [17]. Ватин Н.И., Гринфельд Г.И. Теплопередача и паропроницаемость ограждающих конструкций из газобетона с облицовкой из силикатного кирпича// Стройпрофиль. 2007. № 6. С. 46-48.
- [18]. ГОСТ 6133-99. Камни бетонные стеновые. Технические условия.
- [19]. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.
- [20]. ГОСТ 31359-2007. Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия.
- [21]. ГОСТ 9463-88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия.
- [22]. ГОСТ 25898-83. Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропрооницанию.
- [23]. Мачинский В.Д. О конденсации паров воздуха в строительных ограждениях // Строительная промышленность. 1927. №1. С. 60–62.
- [24]. Фокин К.Ф. Расчет влажностного режима наружных ограждений. М.: Главная редакция строительной литературы. 1935. 173 с.
- [25]. Куприянов В.Н., Петров А.С. Паропроницаемость материалов в условиях, приближенных к эксплуатационным // Известия КГАСУ. 2013. № 2(24). С.126-131.

- [26]. Перехоженцев А.Г. Теоретические основы и методы расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий. Волгоград: ВолгГАСУ. 2008. 212с.
- [27]. Вытчиков Ю.С. Определение плоскости конденсации для многослойных ограждающих конструкций// Строительные материалы. 2006. № 4. С. 92-94.
- [28]. Жуков А.Н., Перехоженцев А.Г. Экспериментальное определение коэффициента паропроницаемости жидкого керамического утеплителя типа «Корунд-Классик»// Вестник ВолГАСУ. № 26(45). С.144-147.
- [29]. Роджерс Т.С. Проектирование тепловой защиты зданий. Пер с англ. М.: СИ, 1966. 228с.
- [30]. Valovirta I., Vinha J. Water Vapor Permeability and Thermal Conductivity as a Function of Temperature and Relative Humidity. ASHRAE. 2004. Pp. 1-16.
- [31]. Gomez I., Sala M. J., Millan J.A. Characterization of moisture transport properties for lightened Clay brick – comparison between two manufactures. Journal of Building Physics. 2007. Vol. 31. No 2.
- [32]. Raji S., Jannot Y. , Lagièrre P., Puiggali J.R. Thermophysical characterization of a laminated solid-wood pine wall. Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. Issue 10. Pp. 3189-3195.
- [33]. Mills R.H. Mass transfer of water vapour through concrete. Cement and Concrete Research. 1985. Vol. 15. Pp. 74-82.
- [34]. Scheffler G.A. Introduction of a full range model for liquid and vapour transport properties of AAC // 5th International conference on Autoclaved Aerated Concrete «Securing a sustainable future»: Bydgoszcz, Poland, September, 14–17, 2011. Pp. 311–323.
- [35]. Klopfer H. Wassertransport durch Diffusion in Feststoffen. Bauverlag GmbH. 1974. Wiesbaden. 235 pp.
- [36]. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.



## Experimental comparison of the characteristics of water vapor permeability of the main construction materials

A.I. Kopylova<sup>1</sup>, N.I. Vatin<sup>2</sup>, I.I. Pestryakov<sup>3</sup>

Saint-Petersburg Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.

### ARTICLE INFO

Original research article

### Article history

Received 16 September 2014  
Accepted 24 October 2014

### Keywords

material,  
water vapor permeability resistance,  
vapor permeability,  
water vapor pressure,  
water vapour transmission rate

### ABSTRACT



One of major problems of building is to design the construction of structures such as to avoid the occurrence of fluid therein. Depending on the type of construction and used materials the water vapor can pass through a building or trapped therein. The purpose of this article is to add some important characteristics of water vapor permeability of building materials which are reflected incompletely in the regulations. Much attention was given to a series of tests conducted on samples of materials which were produced by firms manufacturers for modern construction: stone walling concrete of the brand SKTS 1R-1, sandstone stone wall of brand KSKTS 40-20-19-50/950, calcined clay brick, tong of brand D600, wood (pine). As a result of research new data of materials used nowadays in construction of protecting designs are obtained. These data can be applied in thermotechnical calculations of buildings and constructions.

1

Corresponding author:

+7 (921) 647 0854, nastya01021@mail.ru (Anastasia Igorevna Kopylova, Student)

2

+7 (921) 964 3762, vatin@mail.ru (Nikolay Ivanovich Vatin, D.Sc., Professor, Director of Civil Engineering Institute)

3

+7 (921) 379 5000, iscvisola@mail.ru (Igor Ivanovich Pestryakov, Engineer)

## References

- [1]. Shild Ye., Kasselmann Kh.-F., Damen G., Polents.R. per. s nem. Berdichevskogo; pod red. Deshko E. L. *Stroitel'naya fizika* [Building Physics]. Moscow: Stroyizdat. 1982. 296 p. (rus)
- [2]. Bogoslovskiy V.N. *Stroitel'naya teplofizika. Uchebnik dlya vuzov* [Building thermal physics]. Moscow: Vysshaya shkola. 1982. 415 p. (rus)
- [3]. SNiP 23-02-2003. *Teplovaya zashchita zdaniy*.
- [4]. Averyanov V.K., Baykova S.A., Gorshkov A.S., Grishkevich A.V., Kochnev A.P., Leontyev D.N., Melezhik A.A., Mikhaylov A.G., Rymkevich P.P., Tyutyunnikov A.I. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2012. No 3. Pp. 2-4.
- [5]. Kupriyanov V.N., Safin I.Sh. *Izvestiya KazGASU*. 2011. No 1(15). Pp. 93-103. (rus)
- [6]. Straube J.F. Moisture in Buildings. *ASHRAE Journal*. 2002. Pp.1-6.
- [7]. Glaser H. Grafisches Verfahren zur Unterschuhung von Diffusionsvorgangen. *Wärmeschutz-Kaltechutz-Schallchutz-Brandchutz. Sonderausgabe*, 1985. S. 42–49.
- [8]. Ilinskiy V.M. *Stroitel'naya teplofizika (ograzhdayushchiye konstruktzii i mikroklimat zdaniy)* [Building thermal physics (Enclosure structures and the microclimate of buildings)]. Moscow: Vysshaya shkola, 1974. 320 p. (rus)
- [9]. Zhukov A.N., Perekhozhentsev A.G. *Vestnik VolgGASU*. 2012. No 26(45). Pp.144-147. (rus)
- [10]. Kupriyanov V.N., Safin I.Sh., Khabibulina A. PAACH ACADEMIA. *Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2009. No 5. Pp. 504-507. (rus)
- [11]. Ranaivomanana, H., Verdier, J., Sellier, A., Bourbon, X. Prediction of relative permeabilities and water vapor diffusion reduction factor for cement-based materials. *Cement and Concrete Research*. 2013. Vol. 48. Pp. 53-63.
- [12]. Baroghel-Bouny V. Water vapour sorption experiments on hardened cementitious materials. Part II: Essential tool for assessment of transport properties and for durability prediction. *Cement and Concrete Research*. Vol. 37. Issue 3. Pp.438-454.
- [13]. Kupriyanov V.N., Safin I.Sh. PAACH ACADEMIA. *Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2010. No 3. Pp. 385-390. (rus)
- [14]. Yemelyanov G. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XX veka*. 2013. No 7. Pp. 31-33. (rus)
- [15]. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Glumov A.V. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No 1. Pp. 28-33. (rus)
- [16]. Šadauskiene J., Stankevičius V., Bliudžius R., Gailius A. The impact of the exterior painted thin-layer render's water vapour and liquid water permeability on the moisture state of the wall insulating system. *Construction and Building Materials*. 2009. Vol. 23. Issue 8. Pp.2788-2794.
- [17]. Vatin N.I., Grinfeld G.I. *Stroyprofil*. 2007. No 6. Pp. 46-48. (rus)
- [18]. GOST 6133-99. *Kamni betonnyye stenovyye. Tekhnicheskiye usloviya* [Stones concrete wall. Specifications]. (rus)
- [19]. GOST 530-2012. *Kirpich i kamen keramicheskoye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya* [Brick and stone, ceramic. General specifications]. (rus)
- [20]. GOST 31359-2007. *Betony yacheistyye avtoklavno tverdeniya. Tekhnicheskiye usloviya* [Cellular autoclaved concrete. Specifications]. (rus)
- [21]. GOST 9463-88. *Lesomaterialy kruglyye khvoynykh porod. Tekhnicheskiye usloviya* [Roundwood softwood. Specifications]. (rus)
- [22]. GOST 25898-83. *Materialy i izdeliya stroitel'nyye. Metody opredeleniya soprotivleniya paropronitsaniyu* [Building materials and products. Methods for determination of resistance to water vapor transmission]. (rus)
- [23]. Machinskiy V.D. *Stroitel'naya promyshlennost*. 1927. No 1. Pp. 60–62. (rus)
- [24]. Fokin K.F. *Raschet vlazhnostnogo rezhima naruzhnykh ograzhdeniy* [Calculation of humidity conditions external protections]. Moscow: Glavnaya redaktsiya stroitel'noy literatury. 1935. 173 p. (rus)
- [25]. Kupriyanov V.N., Petrov A.S. *Izvestiya KGASU*. 2013. No 2(24). Pp. 126-131. (rus)
- [26]. Perekhozhentsev A.G. *Teoreticheskiye osnovy i metody rascheta temperaturno-vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruktsey zdaniy* [Theoretical basis and methods of calculation of temperature and humidity of building envelopes]. Volgograd: VolgGASU. 2008. 212p. (rus)
- [27]. Vytchikov Yu.S. *Stroitel'nyye materialy* [Building materials]. 2006. No 4. Pp. 92-94. (rus)

- [28]. Zhukov A.N., Perekhozhentsev A.G. *Vestnik VolGASU*. No 26(45). Pp.144-147. (rus)
- [29]. Rodzhers T.S. *Proyektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy* [Design of thermal protection of buildings]. Per s angl. Moscow: SI, 1966. 228p. (rus)
- [30]. Valovirta I., Vinha J. Water Vapor Permeability and Thermal Conductivity as a Function of Temperature and Relative Humidity. ASHRAE. 2004. Pp. 1-16.
- [31]. Gomez I., Sala M. J., Millan J.A. Characterization of moisture transport properties for lightened Clay brick – comparison between two manufactures. *Journal of Building Physics*. 2007. Vol. 31. No 2.
- [32]. Raji S., Jannot, Y., Lagièrre P., Puiggali J.R. Thermophysical characterization of a laminated solid-wood pine wall. *Construction and Building Materials*. 2009. Vol. 23. Issue 10. Pp. 3189-3195.
- [33]. Mills R.H. Mass transfer of water vapour through concrete. *Cement and Concrete Research*. 1985. Vol. 15. Pp. 74-82.
- [34]. Scheffler G.A. Introduction of a full range model for liquid and vapour transport properties of AAC. 5th International conference on Autoclaved Aerated Concrete "Securing a sustainable future": Bydgoszcz, Poland, September, 14–17, 2011. Pp. 311–323.
- [35]. Klopfer H. *Wassertransport durch Diffusion in Feststoffen*. Bauverlag GmbH. 1974. Wiesbaden. 235 pp.
- [36]. SP 23-101-2004. *Proyektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy* [Design of thermal protection of buildings]. (rus).