



doi: 10.18720/CUBS.71.3

Эксплуатационная влажность автоклавного газобетона в стеновых конструкциях**Operational humidity of autoclaved aerated concrete in outer walls**С.В. Корниенко ^{1*}, Н.И. Ватин ², А.С. Горшков ³,
В.Я. Ольшевский ⁴, И.И. Пестряков ⁵S.V. Korniyenko ^{1*}, N.I. Vatin ², A.S. Gorshkov ³,
V.Ya. Olshevskiy ⁴, I.I. Pestryakov ⁵¹Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия¹ Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia²⁻⁵Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербурге, Россия²⁻⁵Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**газобетон;
наружные стены;
теплопроводность;
паропроницаемость;
теплоизоляция;
влажность;**KEYWORDS**AAC;
outer walls;
thermal conductivity;
vapor permeability;
heat insulation;
humidity;**ИСТОРИЯ**Подана в редакцию: 28.06.2018
Принята: 30.11.2018**ARTICLE HISTORY**Submitted: 28.06.2018
Accepted: 30.11.2018**АННОТАЦИЯ**

Влажность наружных стен российских зданий представляет собой большую проблему, так как зачастую приводит к разрушению зданий и сооружений. Объектом исследования являются стеновые ограждающие конструкции из автоклавных газобетонных блоков жилых зданий, расположенных в различных влажностно-климатических зонах России. Оценка влажностного режима ограждений выполнена двумя способами: упрощенным (на основе СП 50.13330) и уточненным, в годовом цикле. По результатам расчета установлено, что систематического накопления влаги в ограждающих конструкциях за годовой период эксплуатации не происходит, переувлажнение материальных слоев конструкций за период влагонакопления отсутствует. Устройство дополнительного пароизоляционного слоя в конструкциях не требуется. Получена функциональная зависимость расчетной удельной теплозащитной характеристики здания от влажности газобетона наружных стен. Сформулирован критерий переувлажнения газобетона в конструкции по допустимой эксплуатационной влажности. Полученные результаты позволяют более точно оценить влажностный режим стеновых конструкций с применением автоклавных газобетонных блоков при проектировании зданий.

ABSTRACT

Moisture is a big problem for outer walls in Russia since it causes destruction of buildings and structures. The objects of investigation are outer walls from autoclaved aerated concrete blocks (AAC) for apartment residential buildings located in various climatic zones of the Russian Federation. The calculation of moisture conditions of outer walls is extended by two ways: by simplified method (according to National Standard SP 50.13330) and specified method on the basis of the analysis of moisture conditions of enclosing structures in an annual cycle. Calculations showed that, there is not a critical repetitive moisture accumulation on the layers of the wall, the placement of an additional vapor barrier layer in designs isn't required. The functional dependence of the specific heat-insulation characteristic of a building on humidity of AAC in outer wall is defined. The criterion of remoistening of AAC in outer wall based on the admissible operational humidity is formulated. The results of investigation allow estimating more precisely moisture conditions of AAC at design of buildings.

Содержание

1.	Введение	23
2.	Методы	24
3.	Результаты и обсуждение	25
4.	Заключение	38

1. Введение

Защита от влаги — актуальная проблема строительства. Переувлажнение строительных ограждающих конструкций приводит к ухудшению их эксплуатационных свойств. Прежде всего, снижаются теплозащитные свойства, что объясняется ростом теплопроводности строительных материалов с увеличением влажности. Накопление влаги на внутренней поверхности теплозащитной оболочки здания приводит к ухудшению микроклимата в помещениях, что связано с ростом плесневых грибов, являющихся источником аллергических заболеваний. Кроме того, влажные строительные материалы в составе ограждающей конструкции быстро разрушаются от коррозии, недостаточной морозостойкости и влагостойкости, биологических процессов, тем самым снижая долговечность конструкций. Поэтому при проектировании зданий необходимо предусматривать мероприятия и разрабатывать конструктивные решения, предотвращающие чрезмерное увеличение влажности [1—3].



Рисунок 1. Виды влаги в строительных ограждающих конструкциях

Различают следующие виды влаги в ограждающих конструкциях: строительную, грунтовую, метеорологическую (атмосферную), эксплуатационную, гигроскопическую (сорбционную) и конденсационную (рисунок 1). Наибольшую опасность для ограждающих конструкций в процессе их эксплуатации представляет конденсационное увлажнение. Оно возникает при термической конденсации водяного пара на внутренней поверхности или в толще конструкции.

Актуальные проблемы строительной теплофизики систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях отражены в работах [4—20]. В этих работах сделан акцент на исследовании влажностного состояния современных ограждающих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты.

В статье [4] (авторы Н.И. Ватин, А.С. Горшков, С.В. Корниенко, И.И. Пестряков) подробно рассмотрены достоинства и недостатки изделий из газобетонных блоков и даны рекомендации по их применению при строительстве жилых зданий на территории Российской Федерации. В статье [5] (авторы С.В. Корниенко, Н.И. Ватин, М.Р. Петриченко, А.С. Горшков) на основе разработанной методики показано, что использование в конструкциях наружных стен «хорошо вентилируемой» воздушной прослойки позволяет значительно улучшить влажностный режим ограждений в различных влажностно-климатических зонах и рекомендуется для практического применения. Автором С.В. Корниенко [6] исследованы характеристики состояния влаги, необходимые для моделирования процесса влагопереноса в материалах ограждающих конструкций. В статьях [7, 8] (авторы D.O. Sovetnikov, D.V. Varanova, A. Borodinecs, S. Korniyenko) предложены способы мониторинга состояния внутренней среды культовых зданий с учетом влажностного режима ограждающих конструкций и возможные решения по ее поддержанию. На основе полученных авторами (Г.И. Гринфельд, А.С. Горшков, Н.И. Ватин) результатов тестирования прочностных и теплофизических свойств показаны преимущества возведения стен из автоклавных газобетонных блоков на полиуретановом клее по сравнению с другими видами кладки [9]. В статье [10] (авторы А.С. Горшков, П.П. Рымкевич, Н.И. Ватин) на основе моделирования процесса нестационарного теплопереноса в ограждениях показано влияние растворных швов на сопротивление теплопередаче наружных стен из автоклавных газобетонных блоков, которое должно учитываться при теплотехническом проектировании зданий. В статье [11] (авторы M.R. Petrichenko, S.A. Subbotina, F.F. Khairutdinova и др.) дана теоретическая оценка для воздушного потока в навесных фасадных системах при различных геометрических параметрах зазоров экрана. В статьях [12—15] проведены

экспериментальные исследования влажностных характеристик изделий из газобетона, на основе которых намечены пути улучшения их потребительских свойств. Авторами работ [16, 17] (G.P. Vasil'ev, V.A. Lichman, Y.A. Tabunshchikov и др.) выполнены исследования по численному моделированию процессов взаимосвязанного тепломассопереноса в пористых материалах многослойных ограждающих конструкций и разработаны практические способы улучшения эксплуатационных свойств ограждений. Авторы G.P. Vasilyev, M.I. Kukolev, M.R. Petritchenko [18, 19] разработали оригинальные математические модели, применение которых способствует повышению качества теплотехнического проектирования зданий. Необходимость реновации зданий жилых зданий в условиях холодного климата отмечается в работе [20] (авторы A. Borodinecs, J. Zemitis, J. Sorokins и др.).

Следует отметить, что нормативные требования к уровню теплоизоляции наружных стен в России приводят к необходимости проектирования многослойных ограждающих конструкций с применением эффективных утеплителей. Однако влажностный режим таких конструкций еще недостаточно хорошо изучен. Отсутствие расчетных данных затрудняет оценку влагонакопления в ограждениях в годовом цикле и сдерживает определение допустимой эксплуатационной влажности конструкции. С этой точки зрения тема статьи, безусловно, актуальна.

Целью данного исследования является оценка влажностного режима и влагозащитных свойств стеновых неармированных изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения.

В соответствии с поставленной целью необходимо было решить следующие **задачи**:

- выполнить оценку соответствия проектного решения стеновых конструкций требованиям защиты от переувлажнения;
- сделать анализ ограждающих конструкций на влагонакопление в годовом цикле эксплуатации;
- определить допустимую эксплуатационную влажность газобетона в стеновых конструкциях.

Объектом исследования являются стеновые ограждающие конструкции из автоклавных газобетонных блоков жилых зданий, расположенных в различных влажностно-климатических зонах.

С целью оценки влияния конструктивного решения ограждений на их влажностный режим и влагозащитные свойства расчет выполнен для трех типов стен:

- **конструкция 1** — однослойная, из автоклавных газобетонных блоков толщиной 500 мм на клеевом составе, с внутренним и наружным штукатурными слоями (Великий Новгород);
- **конструкция 2** — двухслойная, из автоклавных газобетонных блоков толщиной 300 мм на клеевом составе, с внутренней штукатуркой и лицевой кирпичной кладкой (Волгоград);
- **конструкция 3** — двухслойная, из автоклавных газобетонных блоков толщиной 400 мм на клеевом составе, с внутренней штукатуркой и дополнительной теплозащитой с помощью фасадной теплоизоляционной композиционной системы (СФТК) (Великий Новгород).

2. Методы

С целью сравнительной оценки результатов расчет влажностного режима ограждающих конструкций выполнен двумя способами:

- базовым методом согласно п. 8 «Защита от переувлажнения ограждающих конструкций» СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»;
- уточненным методом в соответствии с требованиями СТО 73090654.001–2015 (ООО «КНАУФ Инсулейшн») и СТО 03984362.574100.056–2015 (ООО «ЛСР–Стеновые–СЗ»), с учетом РМД 51-25-2015 (п. 9.7), на основе анализа влажностного режима ограждений в годовом цикле.

Базовый метод. Согласно п. 8.1 СП 50.13330.2012 защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования конструкций с сопротивлением паропрооницанию внутренних слоев не менее требуемого значения, определяемого расчетом одномерного влагопереноса, осуществляемого по механизму диффузии водяного пара в ограждении.

Сопротивление паропрооницанию $R_{пн}$, м²·ч·Па/мг, ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения должно быть не менее наибольшего из следующих требуемых сопротивлений паропрооницанию:

а) требуемого сопротивления паропрооницанию $R_{пн}^{TP}$ из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации;

б) требуемого сопротивления паропрооницанию $R_{пн}^{TP}$ из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха.

Расчетные формулы для определения требуемых сопротивлений паропрооницанию R_{n1}^{TP} и R_{n2}^{TP} приведены в СП 50.13330.2012.

Плоскость максимального увлажнения определяется согласно п. 8.5 СП 50.13330.2012 для периода влагонакопления, принимаемого равным периоду с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха. Относительно плоскости максимального увлажнения из уравнений баланса влаги проверяется необходимость устройства дополнительной пароизоляции в конструкции.

Уточненный метод. С целью сравнительной оценки результатов выполнен расчет влажностного режима ограждающей конструкции в годовом цикле. Указанные выше стандарты организаций разработаны с целью повышения безопасности людей в зданиях и сооружениях и сохранности материальных ценностей в соответствии с Федеральным законом № 384–ФЗ и гармонизированы с требованиями Международного стандарта ISO/FDIS 13788. В отличие от метода оценки влагозащитных свойств ограждающих конструкций, принятого в СП 50.13330.2012, разработанные и внедренные в стандарты организаций методы позволяют выполнить оценку влагонакопления в ограждающих конструкциях в годовом цикле на основе определения плоскостей конденсации влаги в ограждении в наиболее холодный месяц года с последующим анализом динамики влагонакопления в этих плоскостях конденсации по месяцам в течение года. Указанные методы инженерной оценки влажностного режима ограждающих конструкций наглядны и доступны широкому кругу проектировщиков.

Расчет влажностного режима ограждений в годовом цикле производят в следующей последовательности.

1. Определяют зоны конденсации и плоскости конденсации влаги в ограждающей конструкции в наиболее холодный месяц года.
2. Для каждого месяца года находят количество влаги, накапливаемой в плоскости конденсации, определенной в п. 1 алгоритма расчета, на основании баланса влаги для сечения, определяющего эту плоскость.
3. Определяют количество влаги, накопленной в ограждении с начала расчета.
4. По годовому балансу влаги выполняют оценку влажностного режима ограждения.

Более подробно алгоритм решения задачи изложен в работах [5, 8].

3. Результаты и обсуждение

3.1. Оценка влагозащитных свойств ограждающих конструкций по базовому методу

3.1.1. Исходные данные для расчета

Исходными данными для расчета являются:

- параметры наружного климата для различных периодов года;
- параметры микроклимата в помещении;
- расчетные теплотехнические показатели материальных слоев ограждающей конструкции (теплопроводность, паропрооницаемость);
- граничные условия тепло- и влагообмена поверхностей ограждающей конструкции с окружающей средой.

Параметры наружного климата для различных периодов года определены согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» и приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры наружного климата

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Значение параметра для пункта		
		Великий Новгород	Волгоград	
Средняя температура наружного воздуха за период влагонакопления	$t_{н,отр}, ^\circ\text{C}$	-5,7	-5,1	
Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за период влагонакопления	$e_{н,отр}, \text{Па}$	392	388	
Продолжительность периода влагонакопления	$z_0, \text{сут}$	143	122	
Средняя температура наружного воздуха для периода:	зимнего	$t_{н1}, ^\circ\text{C}$	-7,8	-6,7
	осенне-весеннего	$t_{н2}, ^\circ\text{C}$	0,6	-1,2
	летнего	$t_{н3}, ^\circ\text{C}$	13,7	17,1
Продолжительность периода:	зимнего	$z_1, \text{мес}$	3	2
	осенне-весеннего	$z_2, \text{мес}$	4	3
	летнего	$z_3, \text{мес}$	5	7
Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период	$e_n, \text{Па}$	790	800	

Примечание. Согласно СП 50.13330.2012 за период влагонакопления принимается период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха.

Параметры микроклимата в помещении определены согласно п. 5.7 санитарно-гигиенического требования СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры микроклимата жилого помещения

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Значение параметра
Температура внутреннего воздуха	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	20
Относительная влажность внутреннего воздуха	$\varphi_{в}, \%$	55
Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха	$e_{в}, \text{Па}$	1273

Примечание. Относительная влажность внутреннего воздуха принята согласно п. 5.7 СП 50.13330.2012.

Расчетные теплотехнические показатели материальных слоев рассматриваемых типов ограждающих конструкций приведены в п. 3.2.1.

Граничные условия теплообмена поверхностей рассматриваемых типов ограждающих конструкций с окружающей средой приняты согласно данным СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и приведены в таблице 3.

Таблица 3. Коэффициенты теплообмена поверхностей ограждающих конструкций с окружающей средой

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Значение параметра	
Коэффициент теплообмена:	у внутренней поверхности конструкции	$\alpha_{в}, \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$	8,7
	у наружной поверхности конструкции	$\alpha_{н}, \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$	23

В соответствии с методикой расчета п. 8 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» при оценке защиты от переувлажнения ограждающих конструкций сопротивления влагообмену у внутренней и наружной поверхностей конструкций не учитываются.

3.1.2. Анализ результатов расчета

Результаты определения плоскости максимального увлажнения для рассматриваемых типов ограждающих конструкций приведены в таблицах 4—6.

Конструкция 1 (Великий Новгород). Рассматриваемая конструкция имеет одну плоскость максимального увлажнения (таблица 4), расположенную в кладке из газобетонных блоков. Координата этой плоскости $x_{м,у} = 0,47 \text{ м}$, считая от внутренней поверхности этого слоя.

Таблица 4. Определение плоскости максимального увлажнения в конструкции 1 (Великий Новгород)

№ слоя	Комплекс $f(t_{m,y}), (°C)^2/Па$	Температура в слое $t_{m,y}, °C$	Температура на границах слоя, °C	Плоскость максимального увлажнения	
				в слое	на границах слоя
1	37,7	18	19	-	-
			18,9		-
2	154,6	-3,77	-5,22	+	-
			-5,32		-
3	13,6	18	-5,32	-	-
			-5,32		-

Примечания:

1. Нумерация слоев конструкции соответствует проектному решению.

2. Знак «+» означает наличие плоскости максимального увлажнения в конструкции, знак «-» — отсутствие плоскости.

Конструкция 2 (Волгоград). Рассматриваемая конструкция имеет одну плоскость максимального увлажнения (таблица 5), расположенную на границе технологического зазора и лицевой кирпичной кладки (на внутренней поверхности лицевого кирпичного слоя).

Таблица 5. Определение плоскости максимального увлажнения в конструкции 2 (Волгоград)

№ слоя	Комплекс $f(t_{m,y}), (°C)^2/Па$	Температура в слое $t_{m,y}, °C$	Температура на границах слоя, °C	Плоскость максимального увлажнения	
				в слое	на границах слоя
1	21,8	18	18,76	-	-
			18,53		-
2	184,1	-6,39	-0,55	-	-
			-2,15		+
4	47,9	15,32	-4,63	-	-
			-4,63		-

Примечания:

1. Нумерация слоев конструкции соответствует проектному решению.

2. Знак «+» означает наличие плоскости максимального увлажнения в конструкции, знак «-» — отсутствие плоскости.

Конструкция 3 (Великий Новгород). Рассматриваемая конструкция (с дополнительным теплоизоляционным слоем) имеет одну плоскость максимального увлажнения (таблица 6), расположенную на стыке минераловатного утеплителя с наружным штукатурным слоем.

Таблица 6. Определение плоскости максимального увлажнения в конструкции 3 (Великий Новгород)

№ слоя	Комплекс $f(t_{m,y}), (°C)^2/Па$	Температура в слое $t_{m,y}, °C$	Температура на границах слоя, °C	Плоскость максимального увлажнения	
				в слое	на границах слоя
1	18,9	18	19,5	-	-
			19,44		-
2	77,4	7,15	9,54	-	-
			-5,46		+
4	7,9	18	-5,5	-	-
			-5,5		-

Примечания:

1. Нумерация слоев конструкции соответствует проектному решению.

2. Знак «+» означает наличие плоскости максимального увлажнения в конструкции, знак «-» — отсутствие плоскости.

Расположение плоскости максимального увлажнения в исследуемых типах стеновых ограждающих конструкций показано на рисунке 2.

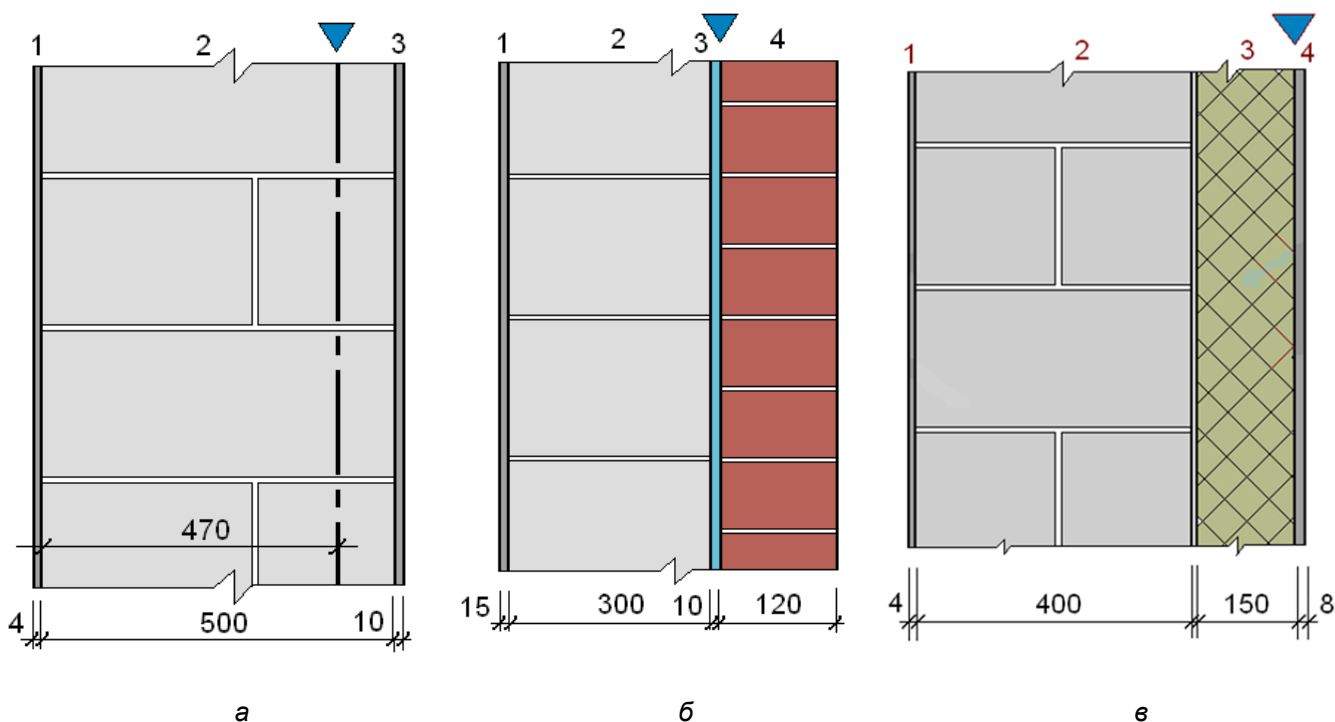


Рисунок 2. Плоскость максимального увлажнения в стеновых конструкциях: а — конструкция 1 (Великий Новгород); б — конструкция 2 (Волгоград); в — конструкция 3 (Великий Новгород)

Установление местоположения плоскости максимального увлажнения позволяет выполнить оценку влагозащитных свойств ограждающих конструкций. Расчетные параметры материала увлажняемого слоя исследуемых типов ограждающих конструкций приведены в таблице 7.

Таблица 7. Расчетные параметры увлажняемого слоя конструкций

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Значение параметра для конструкции		
		1	2	3
Плотность материала увлажняемого слоя	$\rho_w, \text{кг/м}^3$	500	1000	125
Толщина увлажняемого слоя конструкции	$\delta_w, \text{м}$	0,333	0,06	0,15
Предельно допустимое приращение влажности в материале увлажняемого слоя за период влагонакопления	$\Delta W, \%$	6	1,5	3

Примечания:

1. Толщина увлажняемого слоя конструкции 1 (Великий Новгород) принята равной 2/3 толщины кладки газобетонных блоков на основании п. 8.1 СП 50.13330.2012.
2. Толщина увлажняемого слоя конструкции 2 (Волгоград) принята равной 1/2 толщины лицевой кирпичной кладки (согласно балансу влаги на стыках различных материальных в предположении отсутствия увлажнения технологического зазор) на основании п. 8.1 СП 50.13330.2012.
3. Толщина увлажняемого слоя конструкции 3 (Великий Новгород) принята равной толщине минераловатных плит (ввиду незначительной толщины наружного штукатурного слоя) на основании п. 8.1 СП 50.13330.2012.
4. Ввиду отсутствия расчетных данных для материалов увлажняемого слоя указанных типов ограждающих конструкций предельно допустимое приращение влажности в материалах увлажняемого слоя за период влагонакопления принято согласно расчетным значениям для родственной группы материалов согласно СП 50.13330.2012.

Принятая в расчете толщина увлажняемого слоя однослойной ограждающей конструкции согласуется с полученными авторами результатами лабораторных испытаний в климатической камере.

Результаты расчета влагозащитных характеристик рассматриваемых типов ограждающих конструкций согласно СП 50.13330.2012 представлены в таблице 8.

Таблица 8. Результаты расчета влагозащитных характеристик ограждающих конструкций по СП 50.13330.2012

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Значение показателя для конструкции		
		1	2	3
Требуемое сопротивление паропрооницанию:				
из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации	$R_{п1}^{тп}$, м ² ·ч·Па/мг	0,352	-0,155	0,162
из условия ограничения влаги за период влагонакопления	$R_{п2}^{тп}$, м ² ·ч·Па/мг	0,255	1,54	2,26
Расчетное сопротивление паропрооницанию	R_n , м ² ·ч·Па/мг	2,39	1,65	2,51

На основании полученных результатов выполнена оценка влагозащитных свойств ограждающих конструкций согласно СП 50.13330.2012 (рисунок 3). За нормируемое сопротивление паропрооницанию принято наибольшее из двух сопротивлений $R_{п1}^{тп}$ и $R_{п2}^{тп}$.

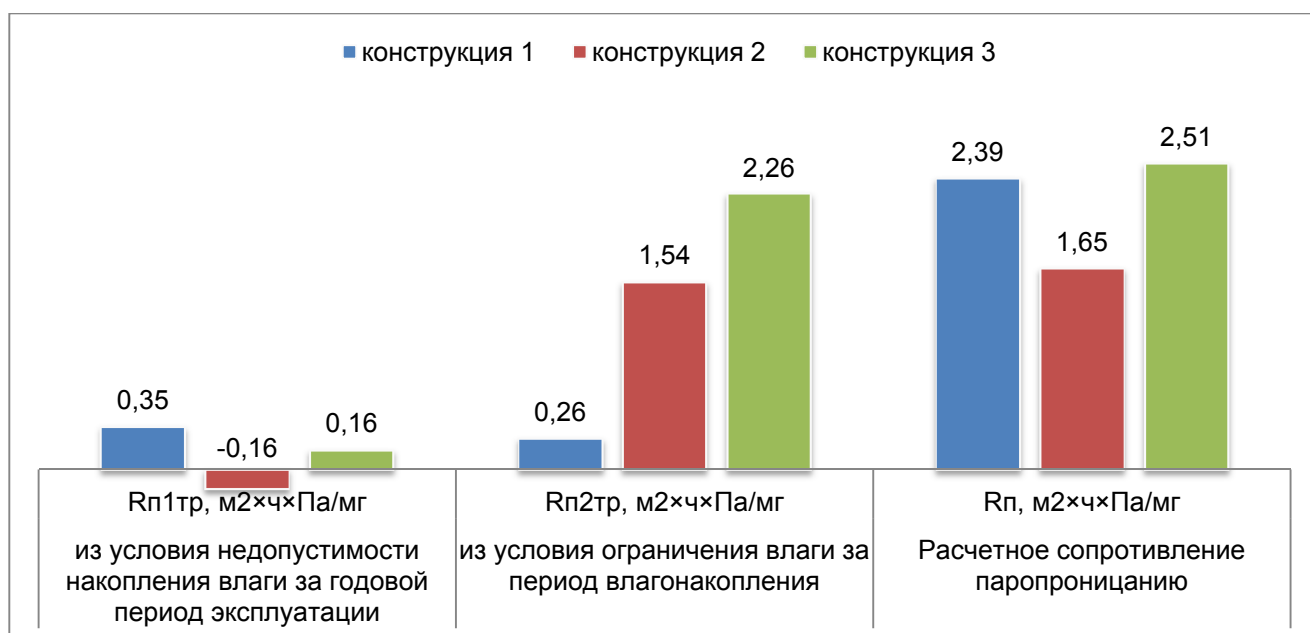


Рисунок 3. Сравнение нормируемого и расчетного сопротивлений паропрооницанию рассматриваемых типов ограждающих конструкций

Анализ результатов расчета показывает, что систематического накопления влаги в ограждающих конструкциях за годовой период эксплуатации не происходит, переувлажнение материальных слоев конструкций за период влагонакопления отсутствует.

По результатам выполненной оценки сделан вывод о соответствии проектных решений исследованных типов стеновых ограждающих конструкций требованиям защиты от переувлажнения ограждающих конструкций согласно п. 8.1 СП 50.13330.2012. Устройство дополнительного пароизоляционного слоя в конструкциях не требуется.

3.2. Оценка ограждающих конструкций на влагонакопление в годовом цикле по уточненному методу

3.2.1. Исходные данные для расчета

Исходными данными для расчета являются:

- параметры наружного климата (среднемесячные значения температуры и относительной влажности наружного воздуха пункта);
- параметры микроклимата в помещении (среднемесячные значения температуры и относительной влажности внутреннего воздуха помещения);
- расчетные теплотехнические показатели материальных слоев ограждающей конструкции (теплопроводность, паропрооницаемость);
- граничные условия тепло- и влагообмена поверхностей ограждающей конструкции с окружающей средой.

Параметры наружного климата. Среднемесячные значения температуры t_{ext} и относительной влажности наружного воздуха φ_{ext} для указанных пунктов строительства (по данным многолетних наблюдений) приведены в таблице 9.

Таблица 9. Параметры наружного климата

Месяц	Значение параметра для пункта			
	Великий Новгород		Волгоград	
	$t_{ext}, ^\circ\text{C}$	φ_{ext}	$t_{ext}, ^\circ\text{C}$	φ_{ext}
Январь	-8,7	0,86	-6,9	0,85
Февраль	-8,7	0,85	-6,5	0,85
Март	-4,3	0,81	-0,3	0,84
Апрель	3,3	0,76	10,0	0,65
Май	10,4	0,67	16,8	0,56
Июнь	15,2	0,71	21,4	0,49
Июль	17,3	0,76	23,9	0,47
Август	15,4	0,81	22,7	0,51
Сентябрь	10,3	0,85	16,3	0,57
Октябрь	4,2	0,87	8,3	0,71
Ноябрь	-0,9	0,89	1,1	0,82
Декабрь	-5,9	0,88	-4,4	0,86

Визуализация данных таблицы 9 представлена на рисунках 4, 5.

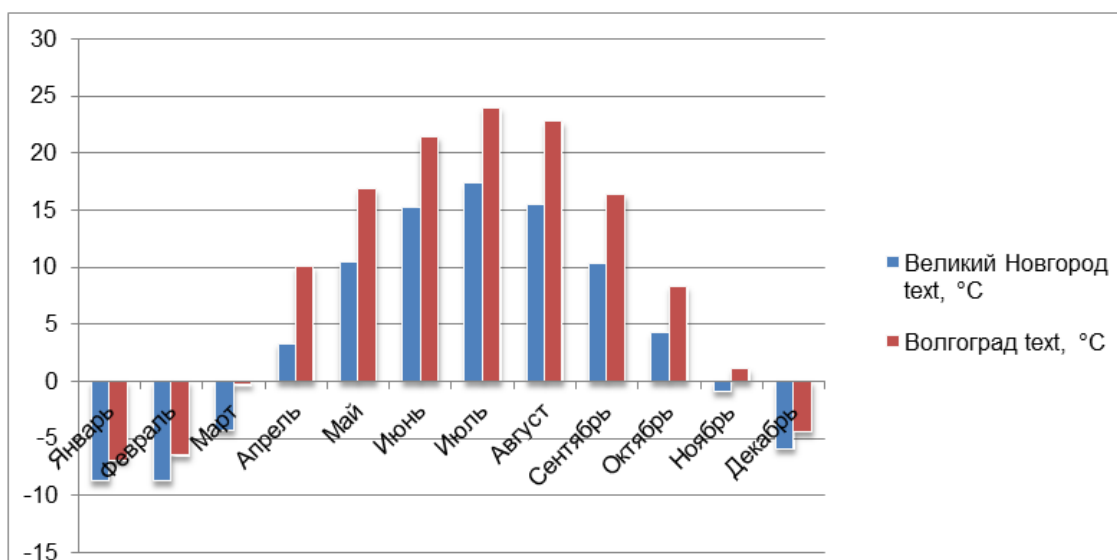


Рисунок 4. График годового хода температур ы наружного воздуха рассматриваемых пунктов

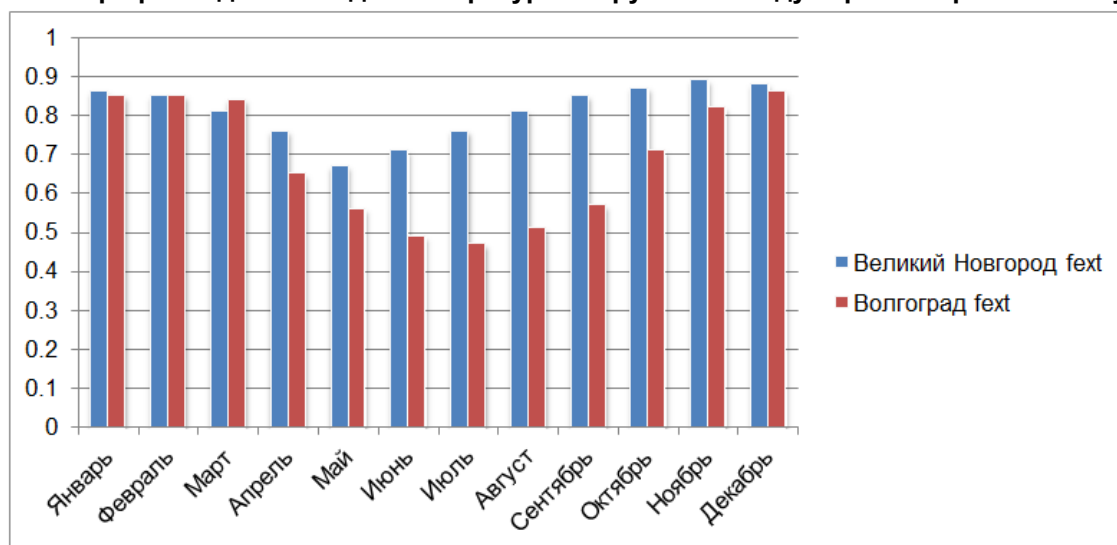


Рисунок 5. График годового хода относительной влажности наружного воздуха рассматриваемых пунктов

Параметры микроклимата в помещении. Среднемесячные значения температуры t_{int} и относительной влажности φ_{int} внутреннего воздуха вычислены в соответствии с методикой Международного стандарта ISO/FDIS 13788 в зависимости от температуры наружного воздуха и приведены в таблице 10.

Таблица 10. Параметры микроклимата в жилом помещении

Месяц	Значение параметра для пункта			
	Великий Новгород		Волгоград	
	$t_{int}, ^\circ\text{C}$	φ_{int}	$t_{int}, ^\circ\text{C}$	φ_{int}
Январь	20,0	0,31	20,0	0,33
Февраль	20,0	0,31	20,0	0,34
Март	20,0	0,36	20,0	0,40
Апрель	20,0	0,43	20,0	0,50
Май	20,2	0,50	23,4	0,57
Июнь	22,6	0,55	25,0	0,60
Июль	23,6	0,57	25,0	0,60
Август	22,7	0,55	25,0	0,60
Сентябрь	20,1	0,50	23,1	0,56
Октябрь	20,0	0,44	20,0	0,48
Ноябрь	20,0	0,39	20,0	0,41
Декабрь	20,0	0,34	20,0	0,36

Данные таблицы 10 визуализированы (рисунки 6, 7).

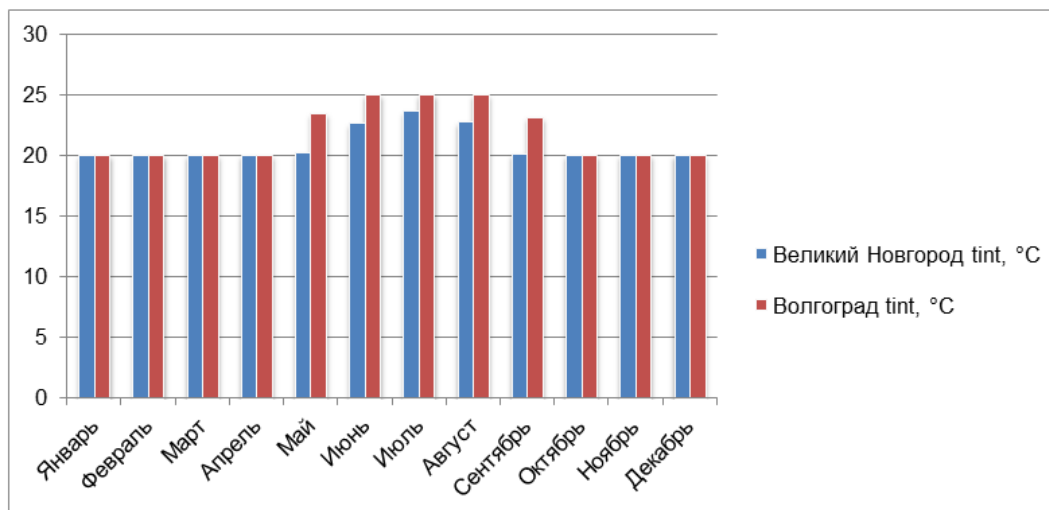


Рисунок 6. График годового хода температуры внутреннего воздуха в помещениях рассматриваемых пунктов

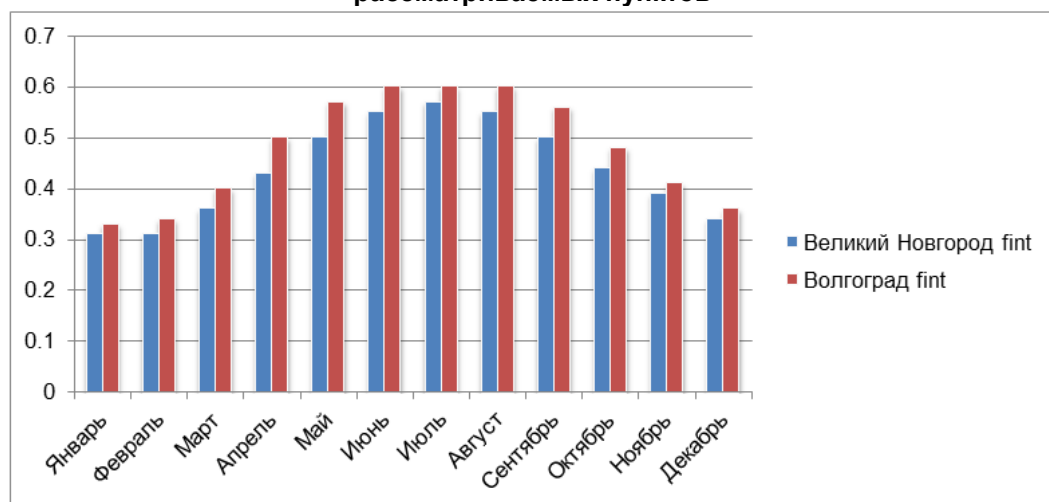


Рисунок 7. График годового хода относительной влажности внутреннего воздуха в помещениях рассматриваемых пунктов

Расчетные теплотехнические показатели материальных слоев рассматриваемых типов ограждающих конструкций приведены в таблицах 11—13.

Таблица 11. Расчетные характеристики материальных слоев конструкции 1 (Великий Новгород)

Слой	Толщина слоя δ , м	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
Внутренняя штукатурка	0,004	0,41	0,11
Газобетонный блок в кладке	0,5	0,182	0,2
Наружная штукатурка	0,01	0,93	0,09

Примечания:

1. Толщина слоев конструкции принята по проекту.
2. Теплопроводность материалов внутреннего и наружного штукатурного слоев приняты по условиям эксплуатации ограждающей конструкции «Б» на основании данных справочного приложения Т СП 50.13330.2012.
3. Теплопроводность и паропроницаемость газобетона марки D500 в кладке приняты при расчетной массовой влажности $w = 5\%$ по результатам лабораторных испытаний, полученных авторами.

Таблица 12. Расчетные характеристики материальных слоев конструкции 2 (Волгоград)

Слой	Толщина слоя δ , м	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
Внутренняя штукатурка	0,015	0,7	0,098
Газобетонный блок в кладке	0,3	0,169	0,2
Технологический зазор	0,01	0,067	—
Лицевая кирпичная кладка	0,12	0,52	0,16

Примечания:

1. Толщина слоев конструкции принята по проекту.
2. Теплопроводность материалов внутренней штукатурки и лицевой кирпичной кладки приняты по условиям эксплуатации ограждающей конструкции «А» на основании данных справочного приложения Т СП 50.13330.2012.
3. Эквивалентная теплопроводность материала технологического зазора вычислена на основе термического сопротивления замкнутой воздушной прослойки данной толщины.
4. Теплопроводность и паропроницаемость газобетона марки D500 в кладке приняты при расчетной массовой влажности $w = 4\%$ по результатам лабораторных испытаний, полученных авторами.

Таблица 13. Расчетные характеристики материальных слоев конструкции 3 (Великий Новгород)

Слой	Толщина слоя δ , м	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
Внутренняя штукатурка	0,004	0,41	0,11
Газобетонный блок в кладке	0,4	0,182	0,2
Минераловатные теплоизоляционные плиты из каменного волокна	0,15	0,045	0,32
Наружная штукатурка	0,008	0,87	0,098

Примечания:

1. Толщина слоев конструкции принята по проекту.
 2. Теплопроводность материалов внутренней штукатурки, минераловатных теплоизоляционных плит и наружной штукатурки приняты по условиям эксплуатации ограждающей конструкции «Б» на основании данных справочного приложения Т СП 50.13330.2012.
 3. Теплопроводность и паропроницаемость газобетона марки D500 в кладке приняты при расчетной массовой влажности $w = 5\%$ по результатам лабораторных испытаний, полученных авторами.
- Граничные условия тепло- и влагообмена поверхностей рассматриваемых типов ограждающих конструкций с окружающей средой приведены в таблице 14.

Таблица 14. Граничные условия тепло- и влагообмена

Сопротивление теплообмену, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$		Сопротивление влагообмену, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$	
у внутренней поверхности	у наружной поверхности	у внутренней поверхности	у наружной поверхности
0,13	0,04	$11,1 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$

Ниже представлены основные результаты расчетов.

3.2.2. Анализ результатов расчета

Результаты расчета влажностного режима рассматриваемых типов стеновых ограждающих конструкций в годовом цикле приведены на рисунке 8 и в таблице 15.

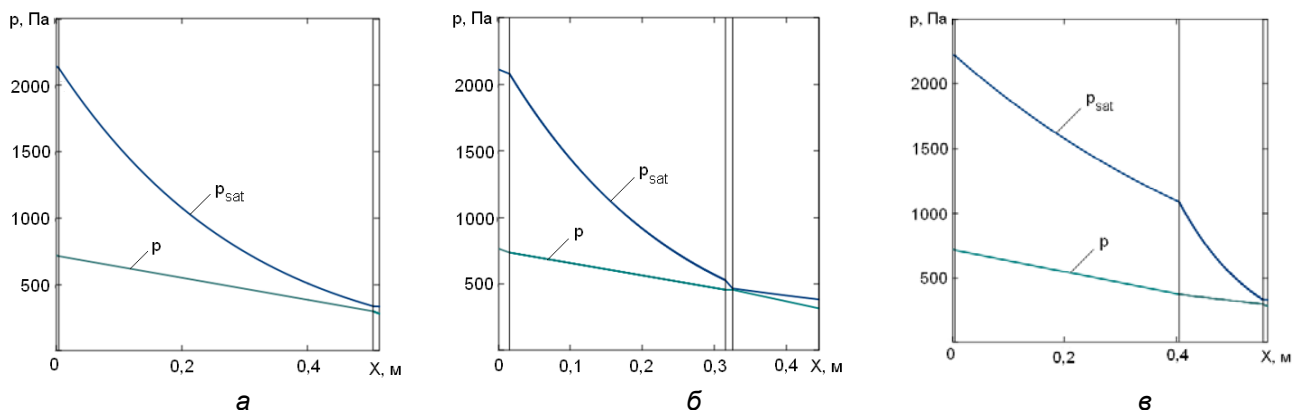


Рисунок 8. Профили парциального давления водяного пара (p) и давления насыщенного водяного пара (p_{sat}) в наиболее холодный месяц года в стеновых конструкциях: а — конструкция 1 (Великий Новгород); б — конструкция 2 (Волгоград); в — конструкция 3 (Великий Новгород)

Таблица 15. Результаты расчета влажностного режима наружных стеновых ограждающих конструкций из газобетонных блоков в годовом цикле

Месяц	Приращение влаги в течение месяца, кг/м ² , в конструкции			Количество влаги с начала расчета, кг/м ² , в конструкции		
	1	2	3	1	2	3
Январь	-0,259	-0,0146	-0,32968	0	0	0
Февраль	-0,253	-0,0112	-0,32306	0	0	0
Март	-0,532	-0,103	-0,68829	0	0	0
Апрель	-1,2	-0,567	-1,56463	0	0	0
Май	-2,79	-1,08	-3,68266	0	0	0
Июнь	-3,26	-1,6	-4,30632	0	0	0
Июль	-3,22	-2,04	-4,24166	0	0	0
Август	-2,29	-1,76	-2,99941	0	0	0
Сентябрь	-1,28	-0,999	-1,65436	0	0	0
Октябрь	-0,74	-0,447	-0,94182	0	0	0
Ноябрь	-0,4	-0,141	-0,5017	0	0	0
Декабрь	-0,286	-0,0323	-0,35957	0	0	0

Данные таблицы 15 визуализированы (рисунок 9).

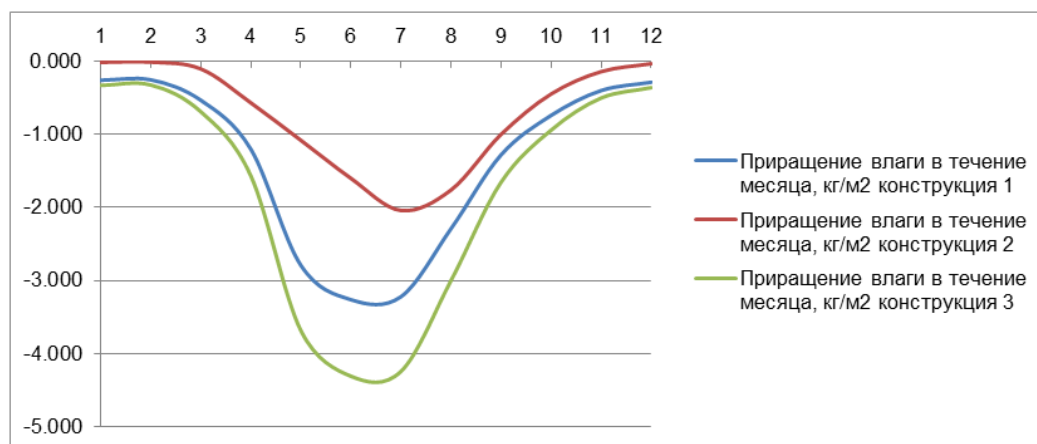


Рисунок 9. Ежемесячные приращения влаги в годовом цикле в исследованных типах конструкций

Анализ полученных результатов показывает, что во всех рассматриваемых типах ограждающих конструкций плоскость конденсации влаги в наиболее холодный месяц года отсутствует. Сближение

профилей p и p_{sat} в конструкции 2 обусловлено более высоким, по сравнению с конструкцией 1, сопротивлением паропрооницанию наружного слоя. Отрицательные ежемесячные значения приращения влажности в конструкциях указывают на отсутствие влагонакопления в течение года. Результаты расчета уточненным и базовым методами согласуются между собой.

По результатам выполненной оценки сделан вывод о соответствии проектных решений рассматриваемых типов стеновых ограждающих конструкций требованиям влажностного режима ограждающих конструкций в годовом цикле согласно СТО 73090654.001–2015 и СТО 03984362.574100.056–2015.

Поскольку влагонакопление в ограждающих конструкциях в годовом цикле согласно расчету при стационарных условиях диффузии водяного пара отсутствует, оценка ограждающих конструкций на основе моделирования процесса нестационарного влагопереноса не требуется.

3.3. Определение допустимой эксплуатационной влажности газобетона в стеновых конструкциях

Авторами выполнены лабораторные испытания ячеистых бетонов автоклавного твердения с целью определения сорбционной влажности по ГОСТ 24816. Равновесная сорбционная влажность ячеистого бетона определялась в искусственно созданных паровоздушных средах, имеющих относительную влажность воздуха 80% и 97% при температуре 20 °С. Равновесная сорбционная влажность ячеистого бетона определялась для различных марок изделий по средней плотности, заявленных производителем.

Согласно полученным результатам испытаний было установлено, что равновесная сорбционная влажность материалов при относительной влажности воздуха, равной 80% и 97%, обнаруживает заметные отличия (рисунок 10).

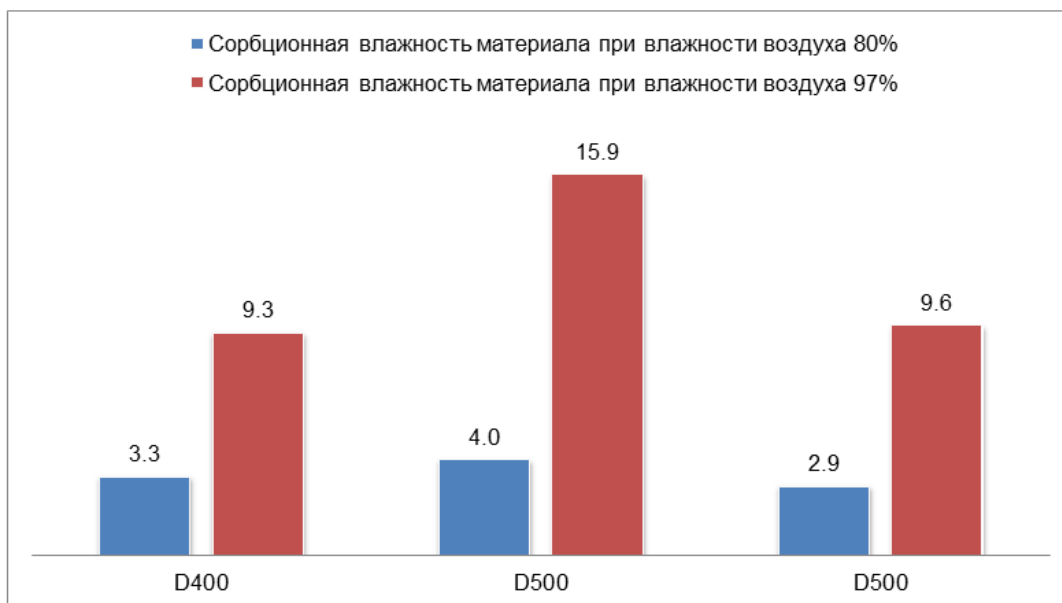


Рисунок 10. Сравнение результатов испытаний сорбционной влажности газобетона, % по массе

По мнению авторов данной научно-исследовательской работы метод определения равновесной сорбционной влажности не является корректным и в достаточной степени обоснованным для установления равновесной эксплуатационной влажности строительных материалов в составе наружных ограждающих конструкций в реальных условиях эксплуатации.

Важное практическое значение в процессе теплотехнического проектирования стеновых ограждающих конструкций теплозащитной оболочки здания имеет допустимая эксплуатационная влажность газобетонных блоков в составе стены. Такая влажность является своеобразным ориентиром для проектировщика, позволяющим контролировать эксплуатационные параметры стены и снизить риск переувлажнения ограждающих конструкций при проектировании зданий. Допустимая влажность газобетона в стеновой конструкции может быть установлена исходя из условия комплексного требования тепловой защиты здания согласно п. 5.1 СП 50.13330.2012.

По методике, разработанной авторами настоящей научно-исследовательской работы, определена допустимая эксплуатационная влажность газобетона в составе исследованных типов стеновых ограждающих конструкций.

Известно, что расчетное значение удельной теплозащитной характеристики здания определяется по формуле

$$k_{об} = K_{комп} K_{общ}, \quad (1)$$

где $K_{комп}$ — показатель компактности здания, m^{-1} , определяемый по проекту и содержащийся в энергетическом паспорте здания;

$K_{общ}$ — общий коэффициент теплопередачи здания, $Вт/(m^2 \cdot K)$.

Общий коэффициент теплопередачи здания может быть найден непосредственно через характеристики элементов, составляющих оболочку здания.

$$K_{общ} = \frac{\sum_{i=1}^m K_i A_i}{\sum_{i=1}^m A_i}, \quad (2)$$

где m — число элементов оболочки здания;

K_i, A_i — соответственно коэффициент теплопередачи, $Вт/(m^2 \cdot K)$, и площадь, m^2 , i -го элемента оболочки.

При необходимости в формулу (2) могут быть введены корректирующие коэффициенты, учитывающие отличие внутренней или наружной температур у конструкции от принятых в расчете.

Коэффициент теплопередачи стен $K_{ст}$, $Вт/(m^2 \cdot K)$, в общем случае определяется суммированием $K_{ст,0}$ по «глади» стены и ΔK , учитывающего добавочные тепловые потери через теплотехнически неоднородные участки (краевые зоны) стеновой конструкции:

$$K_{ст} = K_{ст,0} + \Delta K. \quad (3)$$

При определении коэффициента теплопередачи по «глади» стены учитывается усредненная экспериментальная зависимость теплопроводности газобетона от влажности, полученная авторами.

$$K_{ст,0} = \frac{1}{R_B + R_H + \sum R_j + \frac{\delta_{АГБ}}{\lambda_{АГБ}(w)}}, \quad (4)$$

где R_B, R_H — соответственно сопротивление теплообмену у внутренней и у наружной поверхностей стены, $m^2 \cdot K/Вт$;

$\sum R_j$ — сумма термических сопротивлений материальных слоев ограждения, за исключением рассматриваемого слоя из автоклавных газобетонных блоков, $m^2 \cdot K/Вт$;

$\delta_{АГБ}, \lambda_{АГБ}$ — соответственно толщина, м, и теплопроводность, $Вт/(м \cdot K)$, кладки из газобетонных блоков;

w — средняя влажность слоя стены из газобетона, % по массе.

Коэффициенты теплопередачи других типов ограждающих конструкций оболочки зданий (окон и балконных дверей, чердачных перекрытий, перекрытий над неотапливаемыми подпольями и подвалами) определены на основании базовых значений требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций согласно СП 50.13330.2012, содержащихся в энергетическом паспорте рассматриваемых зданий.

Результаты расчета удельной теплозащитной характеристики зданий по формуле (1) при различных значениях влажности газобетона стен представлены в таблице 16.

Таблица 16. Удельная теплозащитная характеристика зданий

Средняя влажность газобетона стен, %	Удельная теплозащитная характеристика $k_{об}$, $Вт/(m^2 \cdot K)$, здания (см. п. 1.1)		
	1	2	3
0	0,215	0,236	0,216
2	0,223	0,244	0,223
4	0,232	0,252	0,232
6	0,242	0,261	0,241
8	0,253	0,271	0,252
10	0,266	0,281	0,263
12	0,281	0,292	0,275
14	0,298	0,304	0,288
16	0,317	0,316	0,301
18	0,338	0,328	0,316
20	0,362	0,340	0,331

Данные таблицы 16 визуализированы и обработаны методами теории вероятностей и математической статистики (рисунки 11—13).

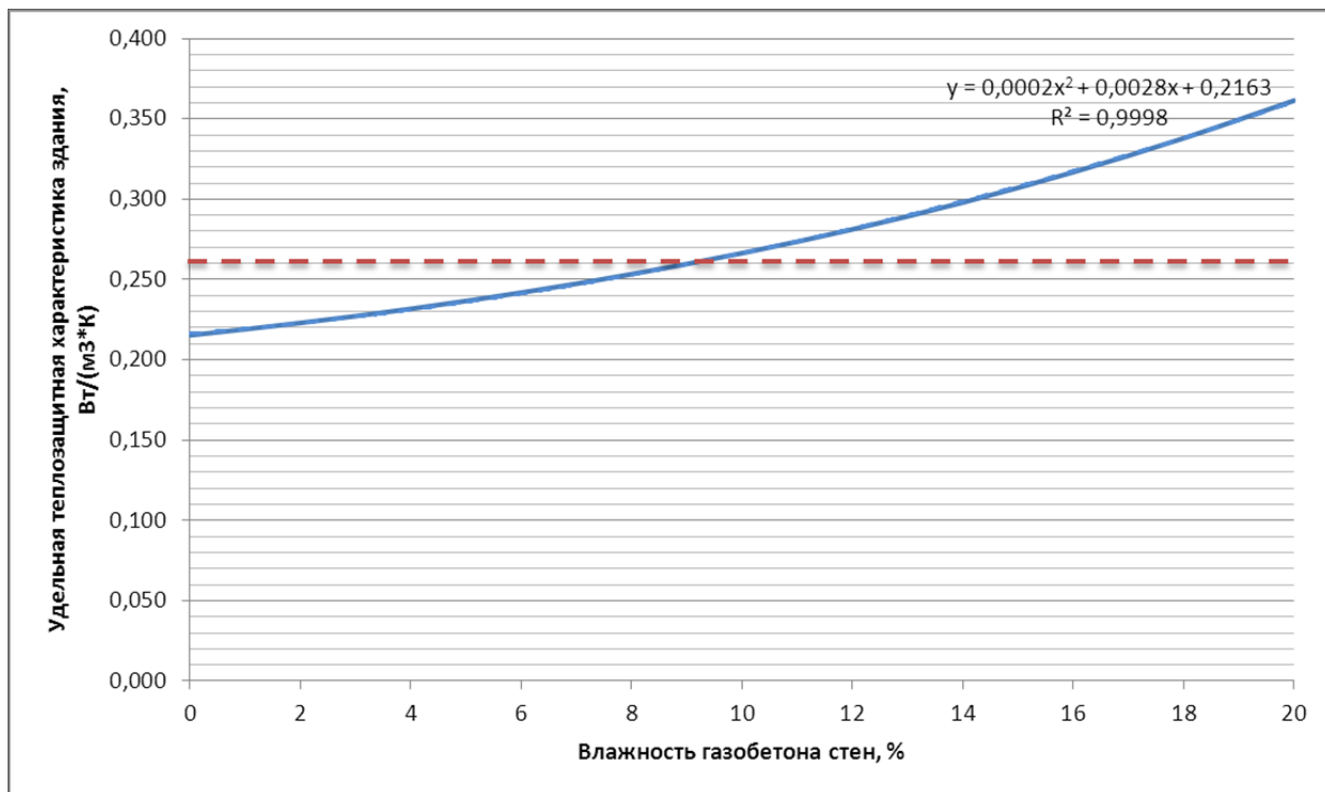


Рисунок 11. График зависимости удельной теплозащитной характеристики здания 1 от средней влажности газобетона стен (пунктирной линией показано нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики согласно п. 5.5 СП 50.13330.2012)

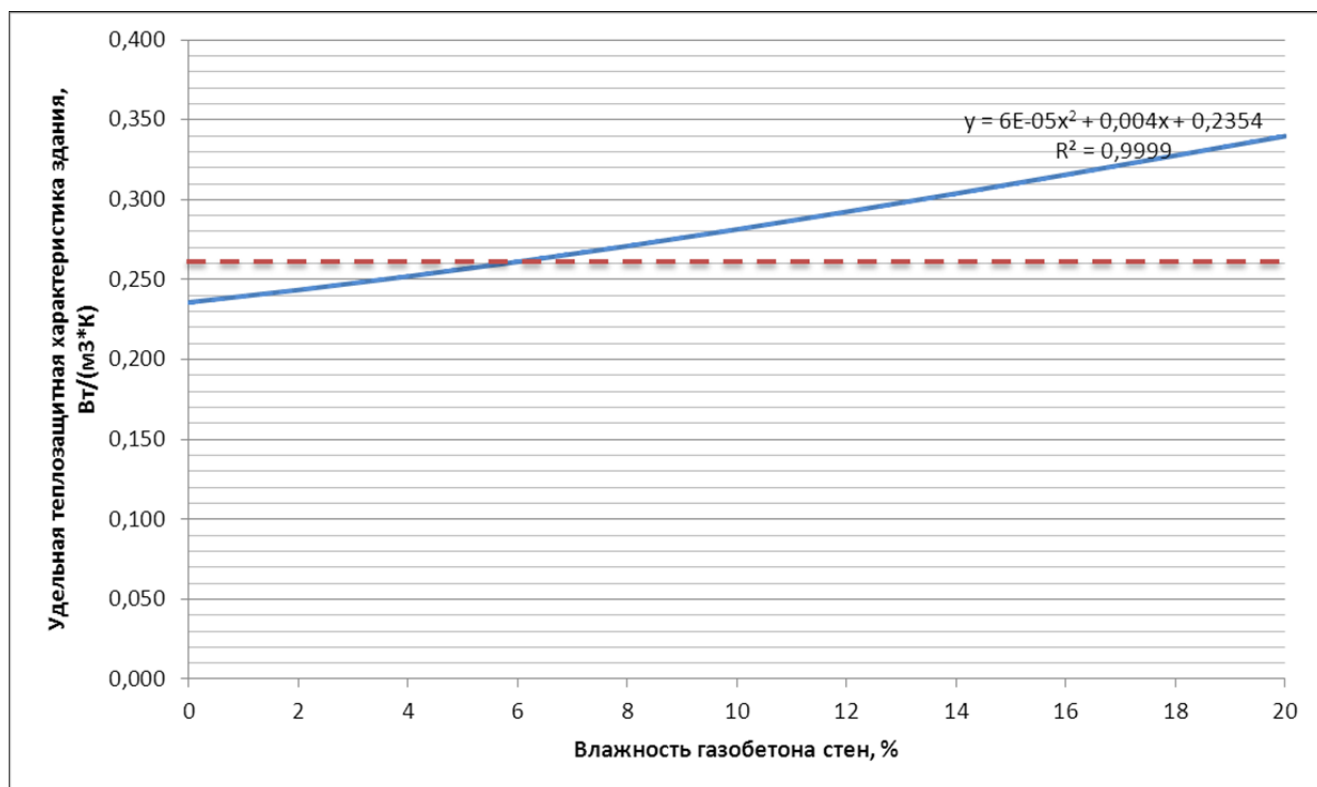


Рисунок 12. График зависимости удельной теплозащитной характеристики здания 2 от средней влажности газобетона стен (пунктирной линией показано нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики согласно п. 5.5 СП 50.13330.2012)

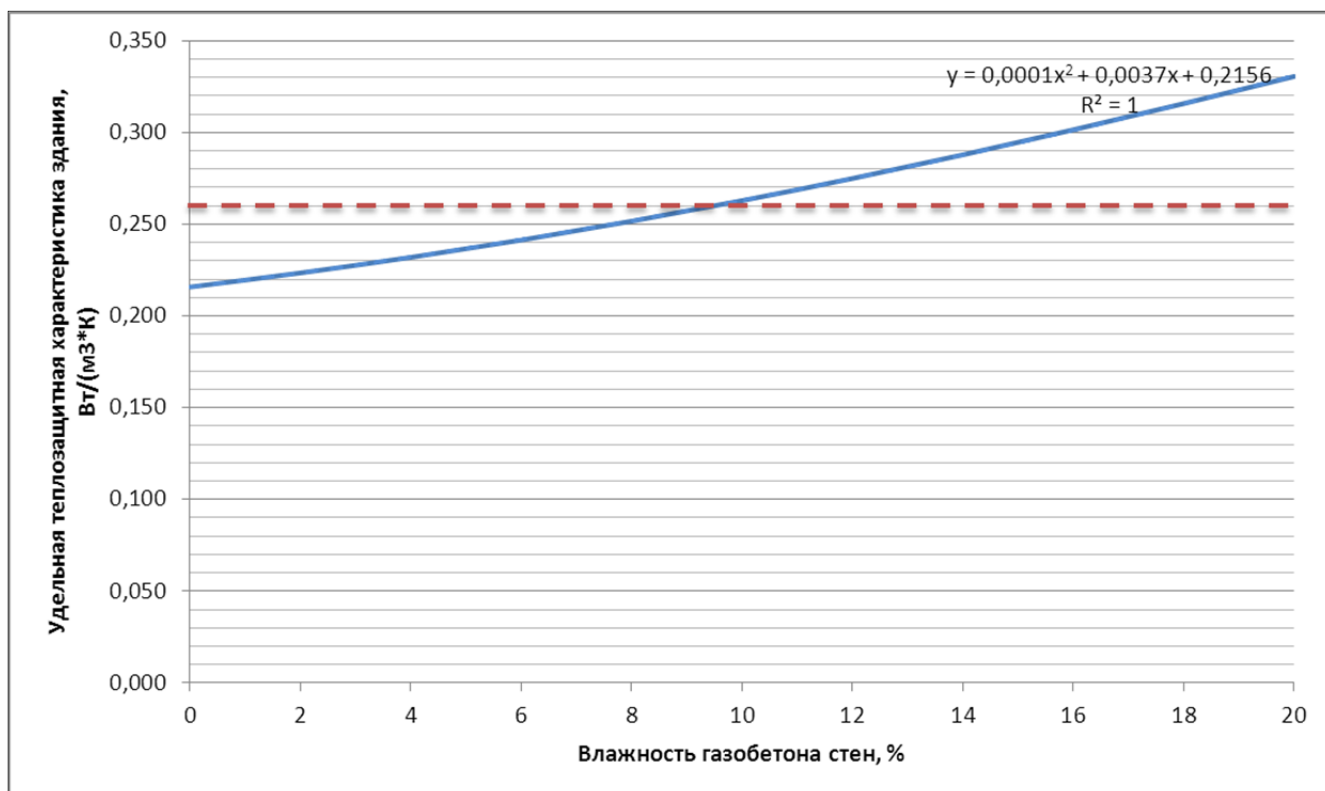


Рисунок 13. График зависимости удельной теплозащитной характеристики здания 3 от средней влажности газобетона стен (пунктирной линией показано нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики согласно п. 5.5 СП 50.13330.2012)

Результаты показывают, что полученные зависимости удельной теплозащитной характеристики рассматриваемых зданий от влажности газобетона стен хорошо аппроксимируются полиномиальной функцией вида (в интервале влажности от 0 до 20% по массе):

$$k_{об} = aw^2 + bw + c, \quad (5)$$

где a , b и c — эмпирические коэффициенты, равные:

- для здания 1 — $a = 0,0002$; $b = 0,0028$; $c = 0,2163$;
- для здания 2 — $a = 6 \cdot 10^{-5}$; $b = 0,004$; $c = 0,2354$;
- для здания 3 — $a = 0,0001$; $b = 0,0037$; $c = 0,2156$.

Максимальный коэффициент детерминации (R^2) соответствует полиномиальной функции второй степени.

На основании полученных результатов определены максимально допустимые значения эксплуатационной влажности газобетона в рассматриваемых стеновых конструкциях (рисунок 14).

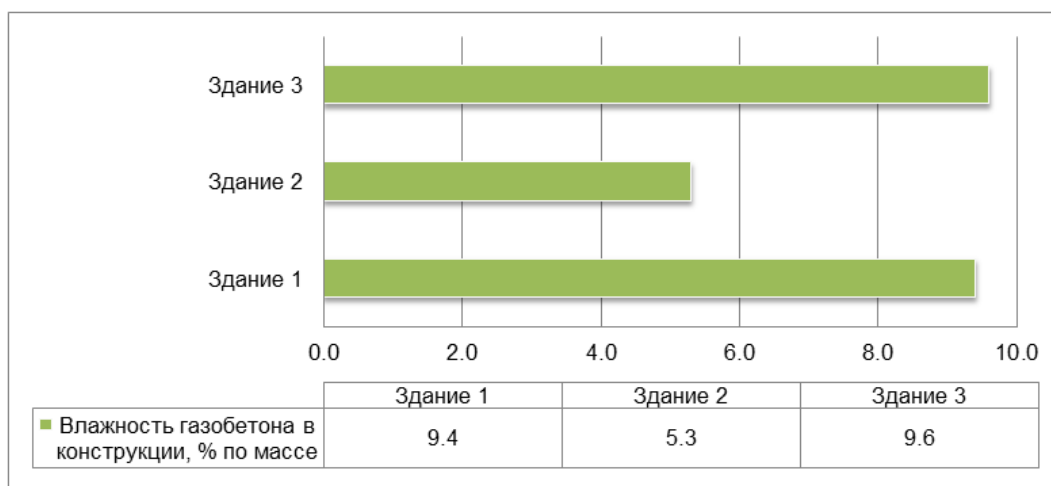


Рисунок 14. Максимально допустимая эксплуатационная влажность газобетона в стеновых конструкциях зданий

Из рисунка 14 видно, что конструкции 1 и 3, находящиеся в одних и тех же условиях эксплуатации (нормальная зона влажности территории России), имеют близкие значения допустимой эксплуатационной влажности газобетона. Конструкция 3 в сухой зоне влажности имеет более низкое значение допустимой эксплуатационной влажности.

Таким образом, в процессе проектирования зданий со стенами из газобетонных блоков критерием отсутствия переувлажнения газобетона в конструкции по средней эксплуатационной влажности является выполнение следующего условия:

$$w_{\text{АГБ}} \leq w_{\text{АГБ}}^{\text{доп}}, \quad (6)$$

где $w_{\text{АГБ}}$ — расчетная эксплуатационная влажность газобетона в составе наружной стены, %;

$w_{\text{АГБ}}^{\text{доп}}$ — допустимая эксплуатационная влажность газобетона, %.

При невыполнении условия (6) существует риск переувлажнения газобетонных изделий в конструкции в процессе эксплуатации зданий.

Наряду с условием (6) необходимо выполнить проверку по максимальной влажности газобетона в зоне конденсации исходя из условия отсутствия влагонакопления в конструкции за годовой период.

Выбор конкретных значений влажности газобетона в стеновых конструкциях, соответствующих условиям эксплуатации ограждающих конструкций А или Б, с учетом допустимой эксплуатационной влажности согласно условию (6), осуществляется проектировщиком и контролируется в процессе разработки проектной документации.

4. Заключение

На основании выполненных авторами научных исследований сформулированы следующие **основные выводы**:

1. Анализ результатов расчета влагозащитных свойств стеновых ограждающих конструкций согласно базовому методу СП 50.13330.2012 с применением изделий из газобетона автоклавного твердения для условий эксплуатации в сухой и нормальной зонах влажности территории России показывает, что систематического накопления влаги в ограждающих конструкциях за годовой период эксплуатации не происходит, переувлажнение материальных слоев конструкций за период влагонакопления отсутствует. Проектные решения исследованных типов стеновых конструкций отвечают требованиям защиты от переувлажнения ограждающих конструкций согласно п. 8.1 СП 50.13330.2012. Устройство дополнительного пароизоляционного слоя в конструкциях не требуется.
2. Уточненный расчет стеновых ограждающих конструкций из автоклавных газобетонных блоков на влагонакопление в годовом цикле согласно СТО 73090654.001–2015 и СТО 03984362.574100.056-2015 позволяет конкретизировать результаты расчета по СП 50.13330.2012. Во всех рассматриваемых типах ограждений плоскость конденсации влаги в наиболее холодный месяц года отсутствует. Отрицательные ежемесячные значения приращения влажности в конструкциях указывают на отсутствие влагонакопления в течение года. Применение в стеновых конструкциях из газобетона дополнительного теплоизоляционного слоя в виде минераловатных плит из каменного волокна не приводит к ухудшению влажностного режима конструкций.
3. По методике, разработанной авторами научно-исследовательской работы, определена допустимая эксплуатационная влажность газобетона в составе исследованных типов стеновых ограждающих конструкций. Получена функциональная зависимость расчетной удельной теплозащитной характеристики здания от влажности газобетона стен. Максимальный коэффициент детерминации (R^2) соответствует полиномиальной функции второй степени.
4. Показано, что здания, находящиеся в одних и тех же условиях эксплуатации, имеют близкие значения допустимой эксплуатационной влажности газобетона в стеновых конструкциях. Допустимая влажность газобетона в стене здания, расположенного в сухой зоне влажности территории России, ниже по сравнению с нормальной влажностно-климатической зоной.
5. Сформулирован критерий переувлажнения газобетона в конструкции по допустимой эксплуатационной влажности.
6. Полученные результаты позволяют более точно оценить влажностный режим стеновых конструкций с применением автоклавных газобетонных блоков при проектировании зданий.

Литература

- [1]. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
- [2]. Богословский В.Н. Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий. М.: МГСУ, 2013. 112 с.
- [3]. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 200 с.
- [4]. Ватин Н.И., Горшков А.С., Корниенко С.В., Пестряков И.И. Потребительские свойства стеновых изделий из автоклавного газобетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 1. С. 78–101.
- [5]. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Горшков А.С. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 6. С. 19–33.
- [6]. Корниенко С.В. Характеристики состояния влаги в материалах ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 74–78.
- [7]. Sovetnikov D.O., Baranova D.V., Borodinecs A., Korniyenko S.V. (2018). Technical problems in churches in different climatic conditions. Construction of Unique Buildings and Structures. 2018. No. 1 (64). Pp. 20–35.
- [8]. Korniyenko S. (2016). Advanced hygrothermal performance of building component at reconstruction of S. Radonezhskiy temple in Volgograd. MATEC Web of Conferences. 2016. 53, 01003.
- [9]. Grinfeld G.I., Gorshkov A.S., Vatin N.I. (2014). Tests results strength and thermophysical properties of aerated concrete block wall samples with the use of polyurethane adhesive. Advanced Materials Research. 2014. No. 941–944. Pp. 786–799.
- [10]. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Vatin N.I. (2014). Simulation of non-stationary heat transfer processes in autoclaved aerated concrete-walls. Magazine of Civil Engineering. 2014. No. 52 (8). Pp. 38–48 and 65–66.
- [11]. Petrichenko M.R., Subbotina S.A., Khairutdinova F.F., Reich E.V., Nemova D.V., Olshevskiy V.Ya., Sergeev V.V. (2017). Effect of rustication joints on air mode in ventilated façade. Magazine of Civil Engineering. 2017. No. 73 (5). Pp. 40–48.
- [12]. Jin H.-Q., Yao X.-L., Fan L.-W., Xu X., Yu Z.-T. (2016). Experimental determination and fractal modeling of the effective thermal conductivity of autoclaved aerated concrete: Effects of moisture content. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2016. No. 92. Pp. 589–602.
- [13]. Rubene S., Vilnitis M., Noviks J. (2015). Frequency Analysis and Measurements of Moisture Content of AAC Masonry Constructions by EIS. Procedia Engineering. 2015. No. 123. Pp. 471–478.
- [14]. Huang J., Lü H., Feng W., Chen Y., Zhou T. (2015). Coupled heat & moisture transmission characteristics of autoclaved aerated concrete block wall. Journal of Building Materials. 2015. No. 18 (1). Pp. 88–94.
- [15]. Rubene S., Vilnitis M. (2015). Application of electrical impedance spectrometry for measurements of humidity distribution in aerated concrete masonry constructions. International Journal of Mechanics. 2015. No. 9. Pp. 213–219.
- [16]. Vasil'ev G.P., Lichman V.A., Peskov N.V., Semendyaeva N.L. (2015). Numerical modeling of heat and moisture diffusion in porous materials. Computational Mathematics and Modeling. 2015. Vol. 26. No. 4. Pp. 501–513.
- [17]. Vasilyev G.P., Lichman V.A., Kolesova M.V., Peskov N.V., Brodach M.M., Tabunshchikov Y.A. (2015). Simulation of heat and moisture transfer in a multiplex structure. Energy and Buildings. 2015. No. 86. Pp. 803–807.
- [18]. Vasilyev G.P., Gornov V.F., Lichman V.A., Yurchenko I.A.

References

- [1]. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ogradhdayushchikh chastei zdaniy [Thermophysics of building components]. Moscow: ABOK-PRESS, 2006. 256 p. (rus)
- [2]. Bogoslovskiy V.N. Osnovy teorii potentsiala vlazhnosti materiala primenitelno k naruzhnym ogradhdeniyam obolochki zdaniy [The moisture potential theory for building envelope]. Moscow: MGSU, 2013. 112 p. (rus)
- [3]. Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M., Shilkin N.V. Energoeffektivnyye zdaniya [Energy-efficient buildings]. Moscow: ABOK-PRESS, 2003. 200 p. (rus)
- [4]. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Korniyenko S.V., Pestryakov I.I. Potrebitel'skiye svoystva stenovykh izdeliy iz avtoklavnogo gazobetona [The consumer properties of wall products from AAC]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2016. No. 1. Pp. 78–101. (rus)
- [5]. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Petrichenko M.R., Gorshkov A.S. Otsenka vlazhnostnogo rezhima mnogosloynnoy stenovoy konstruksii v godovom tsikle [Evaluation of hygrothermal performance of multilayered wall design in annual cycle]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2015. No. 6. Pp. 19–33. (rus)
- [6]. Korniyenko S.V. Kharakteristiki sostoyaniya vlagi v materialakh ogradhdayushchikh konstruksiy zdaniy [The moisture condition parameters in building envelope]. Construction materials. 2007. No. 4. Pp. 74–78. (rus)
- [7]. Sovetnikov D.O., Baranova D.V., Borodinecs A., Korniyenko S.V. (2018). Technical problems in churches in different climatic conditions. Construction of Unique Buildings and Structures. 2018. No. 1 (64). Pp. 20–35.
- [8]. Korniyenko S. (2016). Advanced hygrothermal performance of building component at reconstruction of S. Radonezhskiy temple in Volgograd. MATEC Web of Conferences. 2016. 53, 01003.
- [9]. Grinfeld G.I., Gorshkov A.S., Vatin N.I. (2014). Tests results strength and thermophysical properties of aerated concrete block wall samples with the use of polyurethane adhesive. Advanced Materials Research. 2014. No. 941–944. Pp. 786–799.
- [10]. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Vatin N.I. (2014). Simulation of non-stationary heat transfer processes in autoclaved aerated concrete-walls. Magazine of Civil Engineering. 2014. No. 52 (8). Pp. 38–48 and 65–66.
- [11]. Petrichenko M.R., Subbotina S.A., Khairutdinova F.F., Reich E.V., Nemova D.V., Olshevskiy V.Ya., Sergeev V.V. (2017). Effect of rustication joints on air mode in ventilated façade. Magazine of Civil Engineering. 2017. No. 73 (5). Pp. 40–48.
- [12]. Jin H.-Q., Yao X.-L., Fan L.-W., Xu X., Yu Z.-T. (2016). Experimental determination and fractal modeling of the effective thermal conductivity of autoclaved aerated concrete: Effects of moisture content. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2016. No. 92. Pp. 589–602.
- [13]. Rubene S., Vilnitis M., Noviks J. (2015). Frequency Analysis and Measurements of Moisture Content of AAC Masonry Constructions by EIS. Procedia Engineering. 2015. No. 123. Pp. 471–478.
- [14]. Huang J., Lü H., Feng W., Chen Y., Zhou T. (2015). Coupled heat & moisture transmission characteristics of autoclaved aerated concrete block wall. Journal of Building Materials. 2015. No. 18(1). Pp. 88–94.
- [15]. Rubene S., Vilnitis M. (2015). Application of electrical impedance spectrometry for measurements of humidity distribution in aerated concrete masonry constructions. International Journal of Mechanics. 2015. No. 9. Pp. 213–219.
- [16]. Vasil'ev G.P., Lichman V.A., Peskov N.V., Semendyaeva N.L. (2015). Numerical modeling of heat and moisture diffusion in porous materials. Computational Mathematics and Modeling. 2015. Vol. 26. No. 4. Pp. 501–513.
- [17]. Vasilyev G.P., Lichman V.A., Kolesova M.V., Peskov N.V., Brodach M.M., Tabunshchikov Y.A. (2015). Simulation of heat and moisture transfer in a multiplex structure. Energy and Buildings. 2015. No. 86. Pp. 803–807.
- [18]. Vasilyev G.P., Gornov V.F., Lichman V.A., Yurchenko I.A.

- (2015). A method of assessing energy consumption of buildings during commissioning. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015. Vol. 10. No. 15. Pp. 6509–6512.
- [19]. Statsenko E.A., Ostrovaia A.F., Musorina T.A., Kukolev M.I., Petritchenko M.R. The elementary mathematical model of sustainable enclosing structure. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 8 (68). Pp. 86–91.
- [20]. Borodinecs A., Zemitis J., Sorokins J., Baranova D.V., Sovetnikov D.O. (2016). Renovation need for apartment buildings in Latvia. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 68(8). Pp. 58–64.
- moisture transfer in a multiplex structure. *Energy and Buildings*. 2015. No. 86. Pp. 803–807.
- [18]. Vasilyev G.P., Gornov V.F., Lichman V.A., Yurchenko I.A. (2015). A method of assessing energy consumption of buildings during commissioning. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015. Vol. 10. No. 15. Pp. 6509–6512.
- [19]. Statsenko E.A., Ostrovaia A.F., Musorina T.A., Kukolev M.I., Petritchenko M.R. The elementary mathematical model of sustainable enclosing structure. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 8 (68). Pp. 86–91.
- [20]. Borodinecs A., Zemitis J., Sorokins J., Baranova D.V., Sovetnikov D.O. (2016). Renovation need for apartment buildings in Latvia. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 68(8). Pp. 58–64.

Контактная информация

- 1.* +7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Корниенко Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент)
2. +7(921)9643762, vatin@mail.ru (Ватин Николай Иванович, д.т.н., профессор)
3. +7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Горшков Александр Сергеевич, к.т.н., директор учебно-научного центра «Мониторинг и реабилитация природных систем»)
4. +7(911)9199526, 79119199526@yandex.ru (Ольшевский Вячеслав Янушевич, аспирант)
5. +7(812)5356334, iscvisola@mail.ru (Пестряков Игорь Иванович, руководитель центра)

Contact information

- 1.* +7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Sergey Korniyenko, Ph.D., Associate Professor)
2. +7(921)9643762, vatin@mail.ru (Nikolai Vatin, Ph.D., Professor)
3. +7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Alexander Gorshkov, Ph.D., Director of the Training and Research Centre)
4. +7(911)9199526, 79119199526@yandex.ru (Vyacheslav Olshevskiy, Assistant)
5. +7(812)5356334, iscvisola@mail.ru (Igor Pestryakov, Head of the Center)

© Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Ольшевский В.Я., Пестряков И.И., 2018