



doi: 10.18720/CUBS.69.4

## Расчетные теплотехнические характеристики стен из автоклавных газобетонных блоков

### Designed thermophysical parameters of walls made of autoclaved aerated concrete blocks

С.В. Корниенко<sup>1\*</sup>, Н.И. Ватин<sup>2</sup>, А.С. Горшков<sup>3</sup>, В.Я. Ольшевский<sup>4</sup>, И.И. Пестряков<sup>5</sup>, S.V. Korniyenko<sup>1\*</sup>, N.I. Vatin<sup>2</sup>, A.S. Gorshkov<sup>3</sup>, V.Y. Olshevskiy<sup>4</sup>, I.I. Pestryakov<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

<sup>1</sup>Volgograd State Technical University, 28, Lenina Ave., Volgograd, Russia, 400005

<sup>2-5</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2-5</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

гражданское строительство;  
газобетон;  
наружные стены;  
сопротивление теплопередаче;  
теплоизоляция;  
тепловые потери;  
энергосбережение;  
энергетическая эффективность;

#### KEYWORDS

civil engineering;  
AAC;  
outer walls;  
resistance to heat transfer;  
heat insulation;  
heat losses;  
energy conservation;  
energy efficiency;

#### ИСТОРИЯ

Подана в редакцию: 14.06.2018  
Принята: 19.08.2018

#### ARTICLE HISTORY

Submitted: 14.06.2018  
Accepted: 19.08.2018

#### АННОТАЦИЯ

Объектом исследования являются многоквартирные жилые здания с применением стеновых ограждающих конструкций из автоклавного газобетона, расположенные в различных влажностно-климатических зонах территории РФ. По результатам расчета установлено, что применение теплопроводности газобетонных блоков согласно ГОСТ 31359–2007 существенно завышает расчетное сопротивление теплопередаче стеновых конструкций из газобетонных блоков и не рекомендуется к использованию при разработке проектной документации. Использование этих данных также завышает класс энергосбережения зданий. На основании выполненных расчетов показано, что значения приведенного сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций с применением изделий из автоклавного газобетона соответствуют минимально допустимым поэлементным требованиям СП 50.13330.2012. Превышение расчетных значений над измеренными обусловлено, главным образом, несовпадением расчетных теплотехнических характеристик материальных слоев, принимаемых в зависимости от условий эксплуатации ограждающих конструкций. По сравнению с ГОСТ 31359–2007 расчетные значения сопротивления теплопередаче, полученные при теплопроводности газобетона в конструкциях согласно результатам лабораторных испытаний, обеспечивают наилучшее приближение к измеренным значениям. Расчет при линейной зависимости теплопроводности от влажности занижает температуру в толще ограждения. Применение в теплотехнических расчетах экспоненциальной зависимости теплопроводности от влажности газобетона, согласно полученным результатам экспериментальных исследований, позволяет более точно оценить тепловой режим стеновых конструкций в процессе проектирования зданий.

#### ABSTRACT

The object of investigation are apartment residential buildings located in various climatic zones of the Russian Federation with application of outer walls made of autoclaved aerated concrete blocks (AAC). Based on the results of thermophysical calculation it is established that application of heat conductivity of AAC according to Russian standard (GOST 31359–2007) significantly overestimates the design total resistance to a heat

transfer (R-value) of walls made of AAC and it is not recommended to use when developing the project documentation. Use of these data also overestimates a class of energy saving of buildings. Based on the results of thermophysical calculation it is shown that values of the reduced resistance to a heat transfer of the walls made of AAC conform to minimum admissible step-by-step requirements of the Russian standard (SP 50.13330.2012). Divergence of calculated and measured R-values is caused, mainly, by a discrepancy of designed thermophysical parameters of the material layers accepted depending on operated conditions of the building components. In comparison to the Russian standard (GOST 31359-2007) the calculated R-values based on the results of laboratory researches of heat conductivity of AAC provide the best approach to the measured values in design. Calculation in an assumption of linear dependence of heat conductivity on humidity underestimates temperature in the thickness of a building component. Application in thermophysical calculations of exponential dependence of heat conductivity on humidity of AAC, according to the received results of pilot studies, allows estimating more precisely the thermal conditions of outer wall in a designing process of buildings.

## Содержание

1.	Введение	36
2.	Методы	38
3.	Результаты и обсуждение	40
4.	Заключение	55

## 1. Введение

Неармированные газобетонные блоки автоклавного твердения для стеновых ограждающих конструкций в настоящее время получили широкое распространение в Российской Федерации, а также в странах Восточной Европы. В то же время в странах Западной Европы и, особенно, в странах Скандинавии стеновые изделия из газобетона в настоящее время применяются крайне редко [1—5]. Стены, выполненные кладкой из газобетонных блоков без дополнительного утепления, не могут обеспечить современные требования к уровню теплоизоляции, принятые в этих странах [1].

Потребительские свойства стеновых изделий из автоклавного газобетона в настоящее время достаточно хорошо изучены [5]. Это позволяет объективно оценить его конкурентные преимущества и недостатки. В статьях [6, 7] обсуждаются полученные авторами (С.В. Корниенко, Н.И. Ватин, А.С. Горшков) результаты натурных теплофизических испытаний малоэтажных и высотных зданий со стенами из автоклавных газобетонных блоков. Показано, что стеновые конструкции из газобетонных блоков без дополнительной наружной теплоизоляции практически не имеют резерва по энергосбережению на большей части территории Российской Федерации. Зарубежными авторами (D. Ferretti, E. Michelini, G. Rosati, J.E. Tanner, J.L. Varela и др.) получены результаты теоретических и экспериментальных исследований механических свойств изделий из автоклавного газобетона [8—11]. Они показывают широкие возможности применения изделий в несущих стеновых конструкциях. 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 [12]. В статье [13] авторами (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. Исследованию теплопроводности изделий из газобетона посвящены статьи [14—16]. Вопросы влажностного режима ограждающих конструкций достаточно полно исследованы в статьях [17—20]. Отмечается, что высокая начальная влажность изделий делает процесс утепления газобетонных стен снаружи рискованным с точки зрения обеспечения требуемого температурно-влажностного режима наружных ограждений, даже несмотря на то, что значительная часть влаги может удаляться посредством систем вентиляции и кондиционирования. Исследованию процесса движения воздуха в навесной фасадной системе посвящена статья [21], в которой дана теоретическая оценка для воздушного потока в навесных фасадных системах при различных геометрических параметрах зазоров экрана. В статье [22] рассмотрены способы мониторинга состояния внутренней среды помещений культовых сооружений и предложены возможные решения по ее поддержанию.

Теплотехнический расчет современных ограждающих конструкций, содержащих множество различных краевых зон, необходимо производить по температурному полю. Для большинства практических задач, когда наряду с двумерностью теплового поля приходится учитывать его неоднородность, аналитические методы не могут быть использованы. В этом случае применяют численные методы расчета с применением современных компьютерных программ и программно-вычислительных комплексов [23—27], обеспечивающих высокую точность результатов.

Следует отметить, что требования к уровню теплоизоляции наружных стен в скандинавских странах существенно выше, чем в России, несмотря на сопоставимые характеристики наружного климата [5]. По этой причине в нашей стране до сих пор имеет место строительство стен из газобетонных блоков без дополнительного утепления. Однако, подробная расчетная оценка того, насколько это оправданно, до сих пор не производилась.

**Целью** данного исследования является детальное обоснование расчетных теплотехнических характеристик стеновых неармированных изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения.

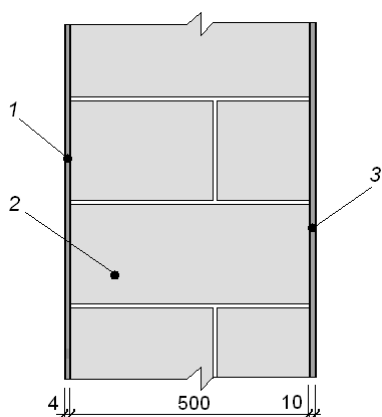
В соответствии с поставленной целью необходимо было решить следующие **задачи**:

- выполнить расчет приведенного сопротивления теплопередаче стеновой конструкции из газобетонных блоков применительно к конкретному объекту исследования для оценки теплотехнических рисков при проектировании тепловой защиты зданий;
- произвести сравнительную оценку результатов расчета сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций из автоклавных газобетонных блоков с данными натурных исследований;
- оценить влияние вида функциональной зависимости теплопроводности от влажности газобетона на тепловой режим стеновых конструкций.

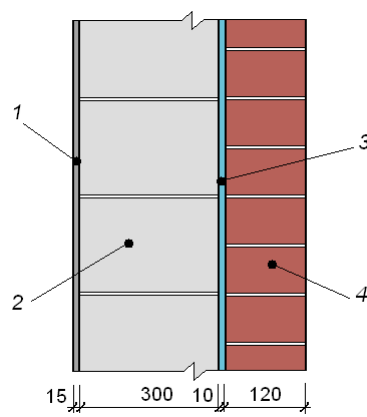
Объектом исследования являются стеновые ограждающие конструкции из автоклавных газобетонных блоков жилых зданий, расположенных в различных влажностно-климатических зонах.

С целью оценки влияния конструктивного решения ограждений на их теплозащитные свойства (с учетом условий эксплуатации) расчет выполнен для трех типов стен (рисунки 1—3):

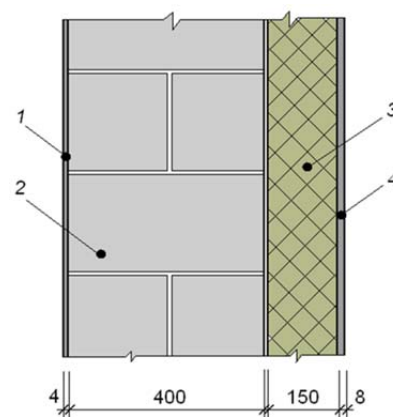
- **конструкция 1** — однослойная, из автоклавных газобетонных блоков толщиной 500 мм на клеевом составе, с внутренним и наружным штукатурными слоями (рисунок 1);
- **конструкция 2** — двухслойная, из автоклавных газобетонных блоков толщиной 300 мм на клеевом составе, с внутренней штукатуркой и лицевой кирпичной кладкой (рисунок 2);
- **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) (рисунок 3).



**Рисунок 1.** Схема конструкции 1 (Великий Новгород): 1 — внутренняя штукатурка; 2 — кладка газобетонных блоков на клеевом составе; 3 — наружная штукатурка



**Рисунок 2.** Схема конструкции 2 (Волгоград): 1 — внутренняя штукатурка; 2 — кладка газобетонных блоков на клеевом составе; 3 — технологический зазор; 4 — лицевая кирпичная кладка



**Рисунок 3.** Схема конструкции 3 (Великий Новгород): 1 — внутренняя штукатурка; 2 — кладка газобетонных блоков на клеевом составе; 3 — минераловатные теплоизоляционные плиты из каменного волокна; 4 — наружная штукатурка

Указанные конструктивные решения стен применены в жилых многоквартирных зданиях, расположенных в Новгородской и Волгоградской областях (Россия). Выбор таких регионов обусловлен различием влажностно-климатических условий строительства и эксплуатации зданий. Ввиду отсутствия необходимой климатической информации на момент проведения исследования расчет приведенного сопротивления теплопередаче указанных типов стеновых ограждающих конструкций выполнен для соответствующих административных центров — пунктов Великий Новгород (58° с.ш., 31° в.д.) и Волгоград (48° с.ш., 44° в.д.).

Климатические параметры холодного периода года для указанных выше пунктов согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология», а также расчетные параметры микроклимата жилых помещений жилых зданий для холодного (отопительного) периода года в соответствии с п. п. 5.2 и 5.7 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Расчетные условия**

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Значение параметра	
		Великий Новгород	Волгоград
Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	$t_{н}, ^\circ\text{C}$	-27	-22
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}, ^\circ\text{C}$	-2,3	-2,3
Продолжительность отопительного периода	$z_{от}, \text{сут/г.}$	221	176
Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	20	20
Расчетная относительная влажность внутреннего воздуха	$\varphi_{в}, \%$	55	55
Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП, К·сут/г.	4928	3925

Условия эксплуатации ограждающих конструкций, необходимые для выбора теплотехнических показателей материалов ограждений, установлены в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности района строительства согласно п. 4.4 СП 50.13330.2012.

По таблице 1 СП 50.13330.2012 при расчетных значениях температуры внутреннего воздуха  $t_{в} = 20 ^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $\varphi_{в} = 55 \%$  влажностный режим помещений нормальный.

По карте приложения В 50.13330.2012 Великий Новгород расположен в нормальной зоне влажности территории РФ (2-я зона), Волгоград — в сухой зоне влажности (3-я зона).

На основании таблицы 2 СП 50.13330.2012 приняты условия эксплуатации ограждающих конструкций зданий: в Великом Новгороде — Б, в Волгограде — А. Указанные условия эксплуатации ограждающих конструкций использованы при выборе расчетных значений теплопроводности материалов конструкций.

## 2. Методы

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций выполнен в соответствии с требованиями СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Данный свод правил распространяется на проектирование тепловой защиты строящихся или реконструируемых жилых, общественных, производственных, сельскохозяйственных и складских зданий общей площадью более  $50 \text{ м}^2$ , в которых необходимо поддерживать определенный температурно-влажностный режим.

Согласно определению п. Б.15 СП 50.13330.2012 приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции  $R_o^{np}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , — физическая величина, характеризующая усредненную по площади плотность потока теплоты через фрагмент теплозащитной оболочки здания в стационарных условиях теплопередачи, численно равная отношению разности температур по разные стороны фрагмента к усредненной по площади плотности потока теплоты через фрагмент.

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции основан на представлении фрагмента теплозащитной оболочки здания в виде набора независимых элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент. Удельные потери теплоты, обусловленные каждым элементом, находятся на основе сравнения потока теплоты через узел, содержащий элемент, и через тот же узел, но без исследуемого элемента.

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или любой выделенной ограждающей конструкции производится согласно обязательному приложению Е СП 50.13330.2012.

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания  $R_o^{np}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , следует определять по формуле

$$R_o^{np} = \frac{1}{\frac{1}{R_o^{усл}} + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} \quad (1)$$

где  $R_o^{ysl}$  — осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции,  $m^2 \cdot K / Bt$ ;  
 $l_j$  — протяженность линейной неоднородности  $j$ -го вида, приходящаяся на  $1 m^2$  фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции,  $m/m^2$ ;  
 $\Psi_j$  — удельные потери теплоты через линейную неоднородность  $j$ -го вида,  $Bt/(m \cdot K)$ ;  
 $n_k$  — количество точечных неоднородностей  $k$ -го вида, приходящихся на  $1 m^2$  фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, шт./ $m^2$ ;  
 $\chi_k$  — удельные потери теплоты через точечную неоднородность  $k$ -го вида,  $Bt/(шт. \cdot K)$ ;  
 $a_i$  — площадь плоского элемента конструкции  $i$ -го вида, приходящаяся на  $1 m^2$  фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции,  $m^2/m^2$ ;  
 $U_i$  — коэффициент теплопередачи однородной  $i$ -й части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент  $i$ -го вида),  $Bt/(m^2 \cdot K)$ .

Коэффициент теплотехнической однородности  $r$  является вспомогательной величиной, характеризующей эффективность утепления конструкции; определяется по формуле

$$r = \frac{R_o^{np}}{R_o^{ysl}}. \quad (2)$$

Удельные добавочные потери теплоты через линейные и точечные теплотехнические неоднородности в общем случае определяют по результатам расчета соответственно двухмерного и трехмерного температурных полей узлов конструкций согласно п.п. Е.3 и Е.4 СП 50.13330.2012.

Для повышения качества проектирования тепловой защиты зданий, в развитие раздела 5 и приложения К СП 50.13330, разработан СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей». Данный свод правил распространяется на расчет приведенного сопротивления теплопередаче фрагментов ограждающих конструкций зданий, удельных потерь теплоты через теплозащитные элементы и коэффициента теплотехнической однородности, для строящихся или реконструируемых жилых, общественных, производственных, сельскохозяйственных и складских зданий, в которых необходимо поддерживать определенный температурно-влажностный режим. Основную часть свода правил составляют таблицы с расчетными характеристиками различных узлов конструкций, позволяющие частично или полностью исключить расчеты температурных полей в процессе проектирования или экспертной оценки конструкций.

Согласно п. 7.1 СП 230.1325800.2015 расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции проводят в следующей последовательности:

1. Выбирают типовую разбивку на элементы, которую корректируют с учетом особенностей ограждающей конструкции (для стен типовую разбивку следует принимать по приложению А СП 230.1325800.2015).
2. Для каждого элемента находят удельный геометрический показатель.
3. Для каждого элемента находят удельные потери теплоты по расчетам температурных полей либо по справочным материалам СП 230.1325800.2015.
4. Составляют таблицу Е.2 по приложению Е СП 50.13330.
5. Рассчитывают приведенное сопротивление теплопередаче  $R_o^{np}$  ограждающей конструкции.

Приведенный выше алгоритм использован при расчете теплозащитных свойств рассматриваемых типов стеновых ограждающих конструкций.

С целью сравнительной оценки результатов расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций 1 и 2 выполнен при теплопроводности ячеистых бетонов марки D500 при равновесной массовой влажности материалов  $w = 4\%$  и  $w = 5\%$  двумя способами:

**способ 1** — согласно результатам лабораторных испытаний, полученным авторами [28];

**способ 2** — согласно таблице А.1 справочного приложения А ГОСТ 31359–2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия».

Результатам лабораторных испытаний приведены в Отчете (Ватин Н.И., Ольшевский В.Я., Ефименко М.Н., Пестряков И.И., Корниенко С.В., Горшков А.С. Анализ условий и опыта применения стеновых неармированных изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения (газобетонных блоков) в строительстве зданий различного назначения на территории Российской Федерации. СПб, Инженерно-строительный институт ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2018).

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче конструкции 3 выполнен только при теплопроводности бетонов марки D500 при равновесной массовой влажности материалов  $w = 5\%$ , ввиду

меньшего влияния термического сопротивления кладки газобетонных блоков на сопротивление теплопередаче, по сравнению с СФТК.

Выбор марки ячеистых бетонов по средней плотности D500 обусловлен наличием наиболее надежных результатов лабораторных испытаний по теплопроводности.

### 3. Результаты и обсуждение

#### 3.1. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче конструкции 1 (Великий Новгород)

##### 3.1.1. Описание конструкции, выбранной для расчета

В соответствии с проектом наружные стены выполнены в виде кладки из неармированных газобетонных блоков автоклавного твердения толщиной 500 мм на клеевом составе. Толщина клеевого шва 2 мм. С внутренней стороны стена оштукатурена гипсовым раствором толщиной 4 мм. С наружной стороны стена имеет защитно-отделочный слой из цементно-песчаного раствора толщиной 10 мм. Стены несущие, толщина сборных железобетонных перекрытий, поэтажно опирающихся на стены, составляет 220 мм. Стыки наружных стен с плитами перекрытий содержат теплоизоляционные вкладыши. В качестве заполнения оконных проемов использованы конструкции со стеклопакетами; толщина оконной рамы 80 мм, глубина четверти оконного проема 60 мм. Чердачное перекрытие и пол по грунту имеют теплоизоляцию.

Расчетные характеристики материальных слоев рассматриваемой ограждающей конструкции приведены в таблице 2.

**Таблица 2. Характеристики материальных слоев конструкции 1**

Материал слоя	Толщина слоя $\delta$ , мм	Теплопроводность материала слоя $\lambda$ , Вт/(м·К)
Внутренняя штукатурка	4	0,41
Газобетон в кладке	500	0,182/0,147
Наружная штукатурка	10	0,93

Примечания:

1. Теплопроводность материалов внутреннего и наружного штукатурного слоев принята по условиям эксплуатации ограждающей конструкции «Б» на основании данных справочного приложения Т СП 50.13330.2012.
2. Теплопроводность газобетона марки D500 в кладке принята при расчетной массовой влажности  $w = 5\%$ : до черты — по результатам лабораторных испытаний, после черты — по данным ГОСТ 31359–2007.

##### 3.1.2. Перечисление типовых элементов, составляющих стеновую конструкцию

В качестве плоского элемента выделенного фрагмента ограждающей конструкции рассматривается стена без учета теплотехнических неоднородностей (краевых зон).

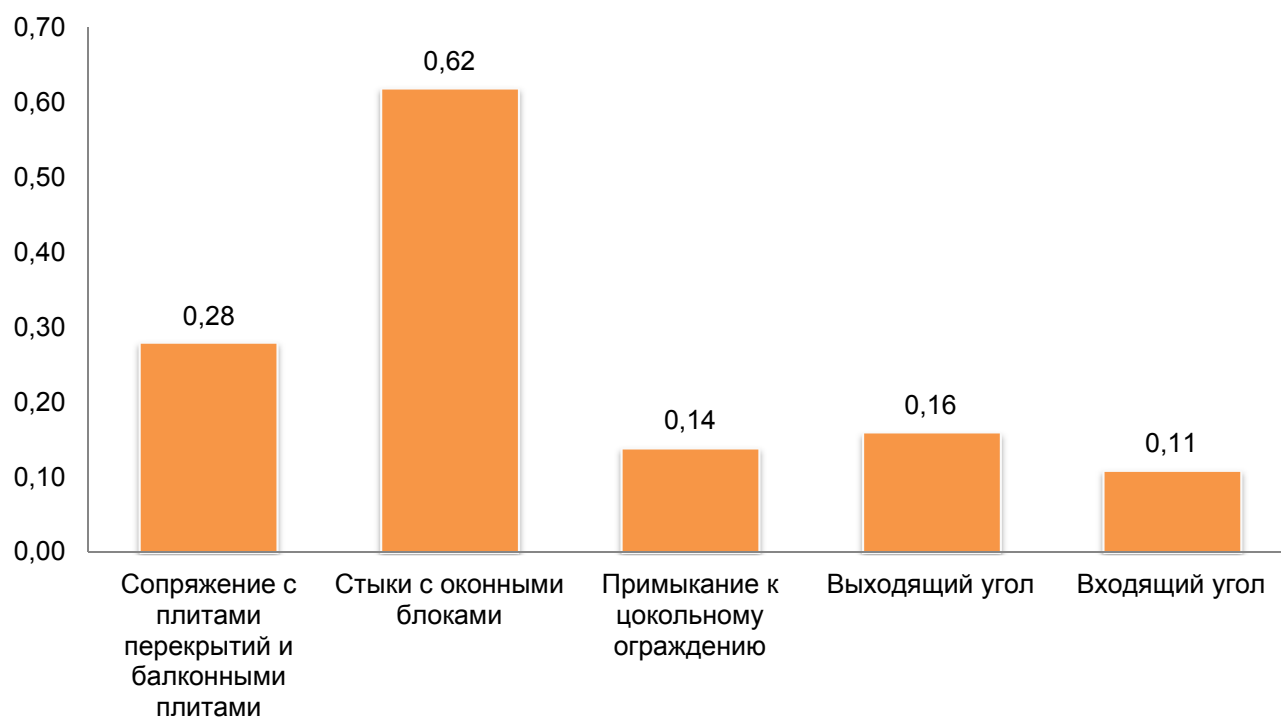
Согласно приложению А СП 230.1325800.2015 для рассматриваемых конструктивных решений стены 1 (без дополнительного теплоизоляционного слоя) приняты следующие типовые линейные элементы:

- 1) швы кладки;
- 2) сопряжение с плитами перекрытий и балконными плитами;
- 3) стыки с оконными блоками;
- 4) примыкание к цокольному ограждению;
- 5) углы.

Ввиду отсутствия данных в СП 230.1325800.2015 стыки с другими видами стеновых конструкций в расчете не учитывались. Ввиду отсутствия армирования кладки газобетонных блоков точечные элементы в конструкциях не учитывались.

##### 3.1.3 Геометрические характеристики элементов

Геометрические характеристики выделенных типовых элементов конструкции определены в соответствии с проектной документацией и представлены на рисунке 4.



**Рисунок 4. Удельные геометрические характеристики (на 1 м<sup>2</sup> площади стены) элементов конструкции 1 (Великий Новгород)**

Из рисунка 4 видно, что наибольшую протяженность в конструкции 1 (Великий Новгород) имеют стыки с оконными блоками, наименьшую протяженность — входящие в помещения углы наружных стен.

### 3.1.4. Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами

Теплозащитные характеристики плоского элемента равны:

- при теплопроводности газобетонных блоков согласно результатам лабораторных испытаний (способ 1) —

$$R_{o, \text{отчет}}^{\text{усл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,004}{0,41} + \frac{0,5}{0,182} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} = 2,93 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$U_{\text{отчет}} = \frac{1}{2,93} = 0,341 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

- при теплопроводности газобетонных блоков по данным ГОСТ 31359–2007 (способ 2) —

$$R_{o, \text{ГОСТ}}^{\text{усл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,004}{0,41} + \frac{0,5}{0,147} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,58 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$U_{\text{ГОСТ}} = \frac{1}{3,58} = 0,279 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Относительное отклонение результатов расчета условного сопротивления теплопередаче составляет:

$$O_{R_o^{\text{усл}}} = \left( \frac{R_{o, \text{ГОСТ}}^{\text{усл}}}{R_{o, \text{отчет}}^{\text{усл}}} - 1 \right) 100 = \left( \frac{3,58}{2,93} - 1 \right) 100 = +22\%.$$

Таким образом, результаты расчета условного сопротивления теплопередаче стеновой конструкции 1 при теплопроводности газобетона, определенной в соответствии с лабораторными испытаниями, **не согласуются** с результатами расчета при теплопроводности газобетона по таблице А.1 ГОСТ 31359-2007.

Удельные добавочные потери теплоты через выделенные элементы стеновой конструкции определены согласно данным СП 230.1325800.2015 и внесены в таблицу 3.

Таблица 3. Удельные добавочные потери теплоты через линейные элементы конструкции 1

Линейный элемент	Удельные добавочные потери теплоты $\Psi$ , Вт/(м·К), при теплопроводности газобетона согласно	
	лабораторным испытаниям	ГОСТ 31359–2007
Швы кладки	0	0
Сопряжение с плитами перекрытий и балконными плитами	0,146	0,153
Стыки с оконными блоками	0,0887	0,072
Примыкание к цокольному ограждению	0,121	0,101
Углы:		
выходящий из помещения	0,0929	0,076
входящий в помещение	-0,259	-0,21

Примечание. Ввиду отсутствия данных для ячеистобетонных стен со штукатурными слоями удельные добавочные потери теплоты через выделенные элементы определены для родственной группы узлов в виде кладки ячеистобетонных блоков с лицевым кирпичным слоем, приведенных в своде правил, с поправками на толщину и теплопроводность кладки.

Таким образом, определены все удельные потери теплоты, обусловленные всеми элементами в рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции.

### 3.1.5. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены

Результаты расчета удельных потерь теплоты (на 1 м<sup>2</sup> площади выделенного фрагмента стеновой конструкции) приведены в таблице 4.

Таблица 4. Удельные потери теплоты через конструкцию 1

Элемент конструкции	Удельные потери теплоты, Вт/(м <sup>2</sup> ·К), при теплопроводности газобетона согласно	
	лабораторным испытаниям	ГОСТ 31359–2007
Плоский элемент	0,341	0,279
Швы кладки	0	0
Сопряжение с плитами перекрытий и балконными плитами	0,041	0,043
Стыки с оконными блоками	0,055	0,045
Примыкание к цокольному ограждению	0,017	0,014
Углы:		
выходящий из помещения	0,015	0,012
входящий в помещение	-0,028	-0,023
Итого, по всем линейным элементам	<b>0,1</b>	<b>0,091</b>
Итого, по всей конструкции	0,441	0,37

На основании данных таблицы 4 определена структура удельных тепловых потерь через рассматриваемый фрагмент теплозащитной оболочки здания (рисунок 5).

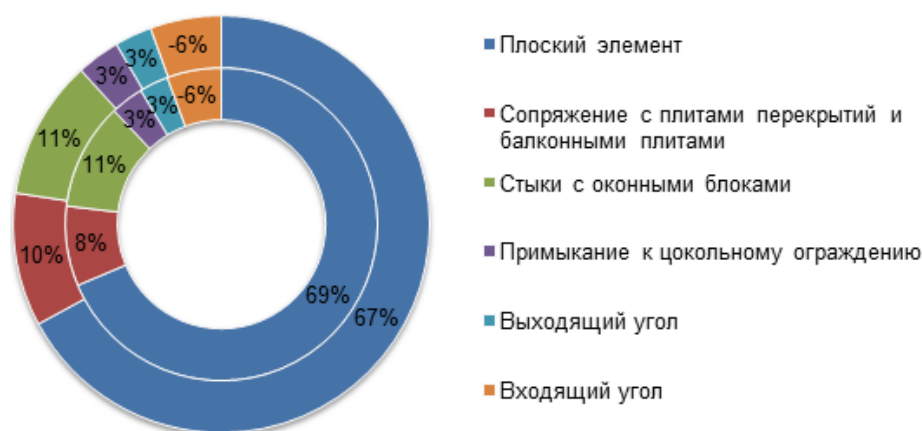


Рисунок 5. Структура удельных потерь теплоты через конструкцию 1 при теплопроводности газобетона: внешнее кольцо — согласно лабораторным испытаниям; внутреннее кольцо — по ГОСТ 31359–2007



Из рисунка 5 видно, что удельные теплотери через конструкцию 1, рассчитанные при теплопроводности газобетона согласно полученным результатам лабораторных испытаний и по ГОСТ 31359–2007, имеют сходную структуру. Наибольшая доля потерь теплоты через выделенный фрагмент оболочки здания отмечается для плоского элемента конструкции. Наибольшая доля добавочных тепловых потерь, обусловленная влиянием краевых зон стеновой конструкции, отмечается для стыков с оконными блоками, имеющих, по сравнению с другими элементами, наибольшую протяженность (за исключением швов кладки). Сравнительно меньшие теплотери через сопряжения с плитами перекрытий и балконными плитами объясняются размещением теплоизоляционных вкладышей в стыках. Предусмотренные проектом в сопряжениях стен с плитами перекрытий теплоизоляционные вкладыши, а также в стыках с оконными блоками широкой коробки толщиной 80 мм практически исключают выпадение конденсата на внутренней поверхности данных узлов при расчетных условиях. Удельные потери теплоты через швы кладки, согласно результатам расчета, близки к нулю, что объясняется использованием в данном проектом решении кладки газобетонных блоков на клеевом составе с толщиной шва 2 мм. Отрицательное значение добавочных удельных теплотери через угол (теплоступления), входящий в помещение, обусловлено геометрической особенностью угла, т.е. превышением наружной теплоотдающей поверхностью угла над внутренней тепловоспринимающей поверхностью.

Согласно результатам расчета, приведенным в таблице 4, суммарные добавочные тепловые потери через теплотехнически неоднородные участки конструкции представляют собой практически постоянную величину, равную  $\Delta U = 0,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , и не зависят от теплопроводности газобетона (в рассматриваемом интервале влажности).

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции, определенное по формуле (1), равно:

- при теплопроводности газобетонных блоков согласно результатам лабораторных испытаний (способ 1) —

$$R_{o, \text{Отчет}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0,441} = 2,28 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

- при теплопроводности газобетонных блоков по данным ГОСТ 31359–2007 (способ 2) —

$$R_{o, \text{ГОСТ}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0,37} = 2,72 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Относительное отклонение результатов расчета приведенного сопротивления теплопередаче составляет:

$$O_{R_o}^{\text{пр}} = \left( \frac{R_{o, \text{ГОСТ}}^{\text{пр}}}{R_{o, \text{Отчет}}^{\text{пр}}} - 1 \right) 100 = \left( \frac{2,72}{2,28} - 1 \right) 100 = +19,3\%.$$

Таким образом, результаты расчета приведенного сопротивления теплопередаче стеновой конструкции 1 при теплопроводности газобетона, определенной в соответствии с лабораторными испытаниями, *не согласуются* с результатами расчета при теплопроводности газобетона по таблице А.1 ГОСТ 31359–2007.

Коэффициент теплотехнической однородности, определенный по формуле (2), равен:

- при теплопроводности газобетонных блоков согласно результатам лабораторных испытаний (способ 1) —

$$r_{\text{Отчет}} = \frac{2,28}{2,93} = 0,78;$$

- при теплопроводности газобетонных блоков по данным ГОСТ 31359–2007 (способ 2) —

$$r_{\text{ГОСТ}} = \frac{2,72}{3,58} = 0,76.$$

Анализ результатов показывает, что коэффициент теплотехнической однородности мало изменяется при изменении теплопроводности кладки газобетонных блоков (в рассматриваемом интервале влажности).

## 3.2. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче конструкции 2 (Волгоград)

### 3.2.1. Описание конструкции, выбранной для расчета

Согласно проекту наружные стены выполнены в виде кладки из неармированных газобетонных блоков автоклавного твердения толщиной 300 мм на клеевом составе. С внутренней стороны стена оштукатурена сложным раствором толщиной 15 мм. С наружной стороны стена облицована кирпичной кладкой толщиной 120 мм. Между кладкой газобетонных блоков и лицевой кирпичной кладкой предусмотрен технологический зазор толщиной 10 мм, представляющий собой замкнутую воздушную прослойку. Стены поэтажно опираются на монолитные железобетонные плиты перекрытий толщиной 210 мм. По внешнему контуру железобетонные плиты перекрытий имеют перфорацию, выполненную по схеме 5/1. Заполнение оконных проемов предусмотрено стеклопакетными конструкциями, толщина оконной рамы 60 мм, глубина четверти оконного проема 60 мм. Чердачное перекрытие и перекрытие над неотапливаемым подвалом имеют теплоизоляцию.

Расчетные характеристики материальных слоев рассматриваемой ограждающей конструкции приведены в таблице 5.

**Таблица 5. Характеристики материальных слоев конструкции 2**

Материал слоя	Толщина слоя $\delta$ , мм	Теплопроводность материала слоя $\lambda$ , Вт/(м·К)
Внутренняя штукатурка	15	0,7
Газобетон в кладке	300	0,169/0,141
Технологический зазор	10	0,067
Лицевая кирпичная кладка	120	0,52

Примечания:

1. Теплопроводность материалов внутреннего и наружного слоев принята по условиям эксплуатации ограждающей конструкции «А» на основании данных справочного приложения Т СП 50.13330.2012.

2. Теплопроводность газобетона марки D500 в кладке принята при расчетной массовой влажности  $w = 4\%$ : до черты — по результатам лабораторных испытаний, после черты — по данным ГОСТ 31359–2007.

3. Эквивалентная теплопроводность материала технологического зазора вычислена на основе термического сопротивления замкнутой воздушной прослойки данной толщины.

### 3.2.2. Перечисление типовых элементов, составляющих стеновую конструкцию

В качестве плоского элемента выделенного фрагмента ограждающей конструкции рассматривается стена без учета теплотехнических неоднородностей (краевых зон).

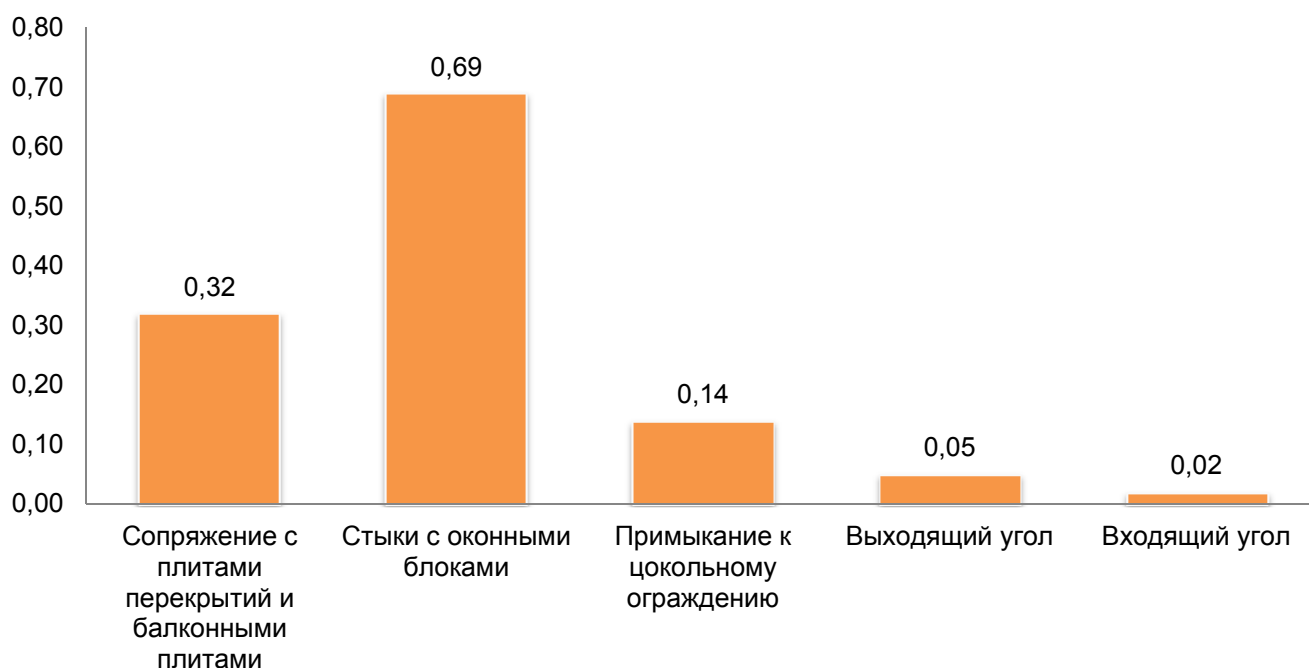
Согласно приложению А СП 230.1325800.2015 для рассматриваемого конструктивного решения стены приняты следующие типовые линейные элементы:

- 1) швы кладки;
- 2) сопряжение с плитами перекрытий и балконными плитами;
- 3) стыки с оконными блоками;
- 4) примыкание к цокольному ограждению;
- 5) углы.

Ввиду отсутствия данных в СП 230.1325800.2015 стыки с другими видами стеновых конструкций в расчете не учитывались. В силу отсутствия армирования кладки газобетонных блоков точечные элементы в конструкциях не учитывались.

### 3.2.3. Геометрические характеристики элементов

Геометрические характеристики выделенных элементов конструкции определены в соответствии с проектной документацией и представлены на рисунке 6.



**Рисунок 6. Удельные геометрические характеристики (на 1 м² площади стены) элементов конструкции 2 (Волгоград)**

Как видно из рисунка 6, наибольшую протяженность в конструкции 2 (Волгоград) имеют стыки с оконными блоками, наименьшую протяженность — входящие в помещения углы наружных стен. По сравнению с конструкцией 1 в рассматриваемом ограждении протяженность углов меньше, что обусловлено особенностями проектного решения.

### 3.2.4. Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами

Теплозащитные характеристики плоского элемента равны:

- при теплопроводности газобетонных блоков согласно результатам лабораторных испытаний (способ 1) —

$$R_{o, \text{отчет}}^{\text{усл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,3}{0,169} + \frac{0,01}{0,067} + \frac{0,12}{0,52} + \frac{1}{23} = 2,34 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$U_{\text{отчет}} = \frac{1}{2,34} = 0,427 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

- при теплопроводности газобетонных блоков по данным ГОСТ 31359–2007 (способ 2) —

$$R_{o, \text{ГОСТ}}^{\text{усл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,3}{0,141} + \frac{0,01}{0,067} + \frac{0,12}{0,52} + \frac{1}{23} = 2,69 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$U_{\text{ГОСТ}} = \frac{1}{2,69} = 0,372 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Относительное отклонение результатов расчета условного сопротивления теплопередаче составляет:

$$O_{R_o^{\text{усл}}} = \left( \frac{R_{o, \text{ГОСТ}}^{\text{усл}}}{R_{o, \text{отчет}}^{\text{усл}}} - 1 \right) 100 = \left( \frac{2,69}{2,34} - 1 \right) 100 = +15\%.$$

Таким образом, результаты расчета условного сопротивления теплопередаче стеновой конструкции 2 при теплопроводности газобетона, полученной в соответствии с лабораторными испытаниями, **не согласуются** с результатами расчета при теплопроводности газобетона по таблице А.1 ГОСТ 31359–2007.

Удельные добавочные потери теплоты через выделенные элементы стеновой конструкции определены согласно данным СП 230.1325800.2015 и внесены в таблицу 6.

Таблица 6. Удельные добавочные потери теплоты через линейные элементы конструкции 2

Линейный элемент	Удельные добавочные потери теплоты $\Psi$ , Вт/(м·К), при теплопроводности газобетона согласно	
	лабораторным испытаниям	ГОСТ 31359–2007
Швы кладки	0	0
Сопряжение с плитами перекрытий и балконными плитами	0,153	0,169
Стыки с оконными блоками	0,0506	0,042
Примыкание к цокольному ограждению	0,122	0,107
Углы:		
выходящий из помещения	0,083	0,07
входящий в помещение	–0,242	–0,203

Таким образом, определены все удельные потери теплоты, обусловленные всеми элементами в рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции.

### 3.2.5. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены

Результаты расчета удельных потерь теплоты (на 1 м<sup>2</sup> площади выделенного фрагмента стеновой конструкции) приведены в таблице 7.

Таблица 7. Удельные потери теплоты через конструкцию 2

Элемент конструкции	Удельные потери теплоты, Вт/(м <sup>2</sup> ·К), при теплопроводности газобетона согласно	
	лабораторным испытаниям	ГОСТ 31359–2007
Плоский элемент	0,427	0,372
Швы кладки	0	0
Сопряжение с плитами перекрытий и балконными плитами	0,049	0,054
Стыки с оконными блоками	0,035	0,029
Примыкание к цокольному ограждению	0,017	0,015
Углы:		
выходящий из помещения	0,004	0,004
входящий в помещение	–0,005	–0,004
Итого, по всем линейным элементам	<b>0,1</b>	<b>0,098</b>
Итого, по всей конструкции	0,527	0,47

На основании данных таблицы 7 определена структура удельных теплотерь через рассматриваемый фрагмент теплозащитной оболочки здания (рисунок 7).



Рисунок 7. Структура удельных потерь теплоты через конструкцию 2 при теплопроводности газобетона: внешнее кольцо — согласно лабораторным испытаниям; внутреннее кольцо — по ГОСТ 31359–2007

Из рисунка 7 видно, что удельные теплотери через конструкцию 2, рассчитанные при теплопроводности газобетона согласно полученным результатам лабораторных испытаний и по ГОСТ 31359–2007, имеют сходную структуру. Наибольшая доля потерь теплоты через выделенный фрагмент оболочки здания отмечается для плоского элемента конструкции. Наибольшая доля добавочных тепловых потерь, обусловленная влиянием краевых зон стеновой конструкции, отмечается для стыков с плитами перекрытий и балконными плитами, что объясняется влиянием перфорации плит перекрытий. Характерно, что тепловые потери через выходящие из помещений углы практически полностью компенсируются тепловыми поступлениями через входящие углы.

По сравнению с конструкцией 1 (рисунок 5) доля добавочных потерь теплоты в рассматриваемой конструкции снижается.

Предусмотренное проектом в сопряжениях с плитами перекрытий теплозащитное мероприятие в виде перфорации плит перекрытий с заполнением отверстий высокоэффективными теплоизоляционными материалами практически исключает выпадение конденсата на внутренней поверхности узла. Риск конденсации влаги на внутренней поверхности узла сопряжения оконного блока со стеновым проемом при малой толщине рамы (60 мм) снижается ввиду предусмотренной проектом установки оконных блоков с дополнительным утеплением узла примыкания.

Согласно результатам расчета, представленным в таблице 7, суммарные добавочные тепловые потери через теплотехнически неоднородные участки конструкции 2 представляют собой практически постоянную величину  $\Delta U = 0,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , что совпадает с данными, полученными для конструкции 1.

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции, определенное по формуле (1), равно:

- при теплопроводности газобетонных блоков согласно результатам лабораторных испытаний (способ 1) —

$$R_{o, \text{Отчет}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0,527} = 1,90 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

- при теплопроводности газобетонных блоков по данным ГОСТ 31359–2007 (способ 2) —

$$R_{o, \text{ГОСТ}}^{\text{пр}} = \frac{1}{0,47} = 2,13 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Относительное отклонение результатов расчета приведенного сопротивления теплопередаче составляет:

$$O_{R_o^{\text{пр}}} = \left( \frac{R_{o, \text{ГОСТ}}^{\text{пр}}}{R_{o, \text{Отчет}}^{\text{пр}}} - 1 \right) 100 = \left( \frac{2,13}{1,9} - 1 \right) 100 = +12,1\%.$$

Таким образом, результаты расчета приведенного сопротивления теплопередаче стеновой конструкции 2 при теплопроводности газобетона, полученной в соответствии с лабораторными испытаниями, *не согласуются* с результатами расчета при теплопроводности газобетона по таблице А.1 ГОСТ 31359–2007.

Коэффициент теплотехнической однородности, определенный по формуле (2), равен:

- при теплопроводности газобетонных блоков согласно результатам лабораторных испытаний (способ 1) —

$$r_{\text{Отчет}} = \frac{1,90}{2,34} = 0,81;$$

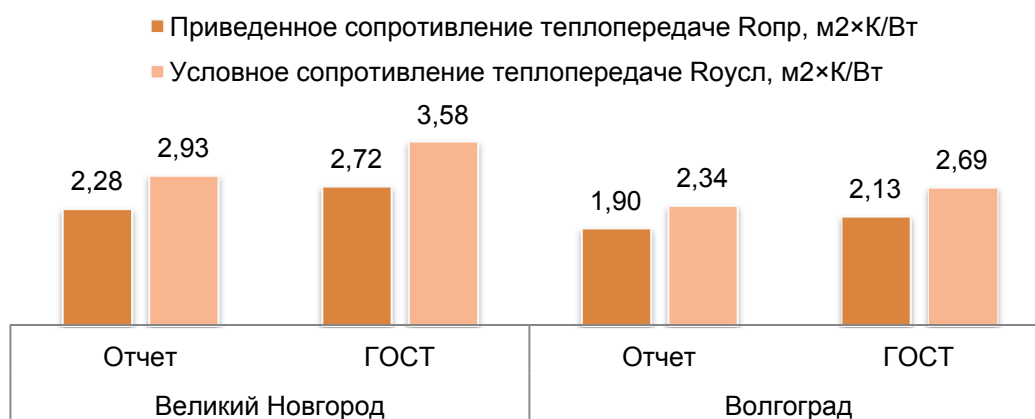
- при теплопроводности газобетонных блоков по данным ГОСТ 31359–2007 (способ 2) —

$$r_{\text{ГОСТ}} = \frac{2,13}{2,69} = 0,79.$$

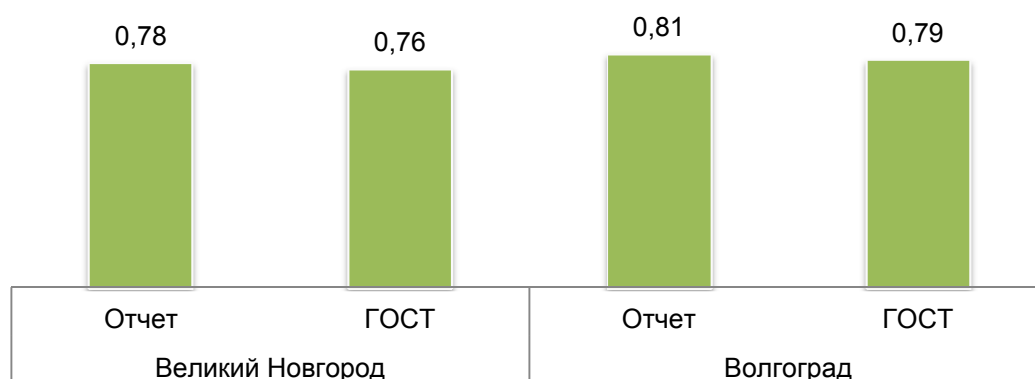
Анализ результатов показывает, что коэффициент теплотехнической однородности мало изменяется при изменении теплопроводности кладки газобетонных блоков (в рассматриваемом интервале влажности).

Сравнение полученных результатов с данными для конструкции 1 показывает некоторое повышение теплотехнической однородности рассматриваемой стены.

Общая сравнительная оценка расчетных теплотехнических показателей стеновых конструкций из газобетонных блоков без дополнительной теплоизоляции приведена на рисунках 8, 9.



**Рисунок 8. Сравнение сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций из газобетонных блоков без дополнительной теплоизоляции**



**Рисунок 9. Сравнение коэффициента теплотехнической однородности стеновых ограждающих конструкций из газобетонных блоков без дополнительной теплоизоляции**

Полученные результаты использованы при оценке уровня теплоизоляции стеновых ограждающих конструкций из газобетонных блоков.

### 3.3. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче конструкции 3 (Великий Новгород)

#### 3.3.1. Описание конструкции, выбранной для расчета

В качестве выделенного фрагмента теплозащитной оболочки здания рассматривается стеновая ограждающая конструкция с дополнительной теплоизоляцией.

Расчетные характеристики материальных слоев рассматриваемой ограждающей конструкции приведены в таблице 8.

**Таблица 8. Характеристики материальных слоев конструкции 3**

Материал слоя	Толщина слоя $\delta$ , мм	Теплопроводность материала слоя $\lambda$ , Вт/(м·К)
Внутренняя штукатурка	4	0,41
Газобетон в кладке	400	0,182
Плиты минераловатные теплоизоляционные из каменного волокна	150	0,045
Наружная штукатурка	8	0,87

Примечания:

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

### 3.3.2. Перечисление типовых элементов, составляющих стеновую конструкцию

В качестве плоского элемента выделенного фрагмента ограждающей конструкции рассматривается стена без учета теплотехнических неоднородностей (краевых зон).

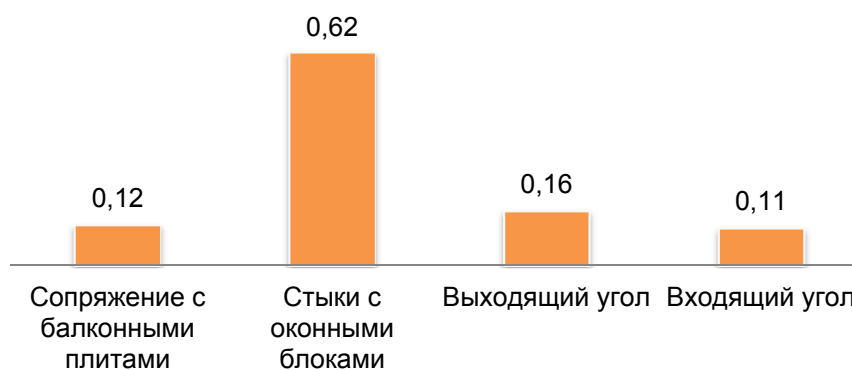
Согласно приложению А СП 230.1325800.2015 для рассматриваемого конструктивного решения стены 3 (с дополнительным теплоизоляционным слоем) приняты следующие типовые линейные элементы:

- 1) сопряжение с балконной плитой;
- 2) стыки с оконными блоками;
- 3) углы.

Согласно проекту примыкание к цокольному ограждению имеет высокий уровень теплоизоляции, поэтому в данном расчете не учитывалось. Ввиду отсутствия данных в СП 230.1325800.2015 стыки с другими видами стеновых конструкций в расчете не учитывались.

### 3.3.3. Геометрические характеристики элементов

Геометрические характеристики выделенных типовых элементов конструкции определены в соответствии с проектной документацией и представлены на рисунке 10.



**Рисунок 10. Удельные геометрические характеристики (на 1 м<sup>2</sup> площади стены) элементов конструкции 3 (Великий Новгород)**

Из рисунка 10 видно, что наибольшую протяженность в конструкции 3 (Великий Новгород) имеют стыки с оконными блоками. Ввиду наружной теплозащиты учитываются только сопряжения с балконными плитами.

### 3.3.4. Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами

Теплозащитные характеристики плоского элемента равны:

$$R_o^{всл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,004}{0,41} + \frac{0,4}{0,182} + \frac{0,015}{0,045} + \frac{0,008}{0,87} + \frac{1}{23} = 5,71 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$U = \frac{1}{5,71} = 0,175 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Удельные добавочные потери теплоты через выделенные элементы стеновой конструкции определены согласно данным СП 230.1325800.2015 и внесены в таблицу 9.

**Таблица 9. Удельные добавочные потери теплоты через линейные элементы конструкции 3**

Линейный элемент	Удельные добавочные потери теплоты $\Psi$ , Вт/(м·К)
Сопряжение с балконными плитами	0,527
Стыки с оконными блоками	0,026
Углы:	
выходящий из помещения	0,059
входящий в помещение	-0,138

Таким образом, определены все удельные потери теплоты, обусловленные всеми элементами в рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции.

### 3.3.5. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены

Результаты расчета удельных потерь теплоты (на 1 м<sup>2</sup> площади выделенного фрагмента стеновой конструкции) приведены в таблице 10.

**Таблица 10. Удельные потери теплоты через конструкцию 3**

Элемент конструкции	Удельные потери теплоты, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Плоский элемент	0,175
Сопряжение с балконными плитами	0,063
Стыки с оконными блоками	0,016
Углы:	
выходящий из помещения	0,009
входящий в помещение	-0,016
Итого, по всем линейным элементам	<b>0,072</b>
Итого, по всей конструкции	0,247

На основании данных таблицы 10 определена структура удельных тепловых потерь через рассматриваемый фрагмент теплозащитной оболочки здания (рисунок 11).



**Рисунок 11. Структура удельных потерь теплоты через конструкцию 3**

Наибольшая доля потерь теплоты через выделенный фрагмент оболочки здания отмечается для плоского элемента конструкции. При дополнительной теплозащите влияние краевых зон увеличивается. Наибольшая доля добавочных тепловых потерь отмечается для стыков с балконными плитами.

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции, определенное по формуле (1), равно:

$$R_o^{np} = \frac{1}{0,247} = 4,05 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Коэффициент теплотехнической однородности, определенный по формуле (2), равен:

$$r = \frac{4,05}{5,71} = 0,71.$$

Таким образом, дополнительная теплозащита стеновых конструкций из газобетона приводит к уменьшению коэффициента теплотехнической однородности.

### 3.4. Оценка уровня теплоизоляции стеновых конструкций из газобетонных блоков

Согласно п. 5.1 СП 50.13330.2012 поэлементная оценка тепловой защиты здания производится на основании приведенного сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций.

Расчетное приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции должно быть не менее нормируемого значения  $R_o^{норм}$ , м<sup>2</sup>·К/Вт, определяемого по формуле

$$R_o^{норм} = m_p R_o^{тп}, \quad (3)$$

где  $R_o^{тп}$  — базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>·К/Вт, определяемое в зависимости от градусо-суток отопительного периода (ГСОП), К·сут/г., региона строительства по таблице 3 СП 50.13330.2012;

$m_p$  — коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. В расчете по формуле (3) принимается равным 1. Допускается снижение значения коэффициента  $m_p$  в случае, если при выполнении



расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания по методике приложения Г выполняются требования п. 10.1 к данной удельной характеристике. Значения коэффициента  $m_p$  для стен должно быть не менее 0,63.

С целью обоснования возможности снижения значения коэффициента  $m_p$  в формуле (3) выполнен расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию указанных зданий при проектных параметрах, с использованием онлайн-калькулятора.

Онлайн калькулятор расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий и заполнения на основании выполненного расчета энергетического паспорта разработан коллективом авторов в составе: Горшков А.С., Корниенко С.В., Ольшевский В.Я., Артыков А.Р. Правообладателем является Закрытое акционерное общество «ТехноНИКОЛЬ», Россия.

Онлайн-калькулятор предназначен для определения расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий согласно обязательному приложению Г СП 50.13330.2012.

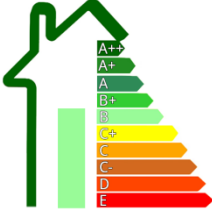



Онлайн-калькулятор обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- расчет удельных характеристик с учетом трансмиссионных теплопотерь через оболочку здания, теплопотерь за счет вентиляции и инфильтрации воздуха, внутренних бытовых тепловыделений в здании, теплопоступлений в здание от солнечной радиации;
- определение структуры тепловых потерь и энергозатрат в здании за отопительный период;
- определение класса энергоэффективности здания;
- заполнение энергетического паспорта здания в автоматизированном режиме;
- расчет срока окупаемости энергосберегающих мероприятий, предусмотренных проектным решением.

Онлайн-калькулятор имеет Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017661115 от 04.10.2017 г.

Результаты расчета энергетических показателей и заполнения энергетического паспорта проектируемых зданий сведены в таблицу 11.

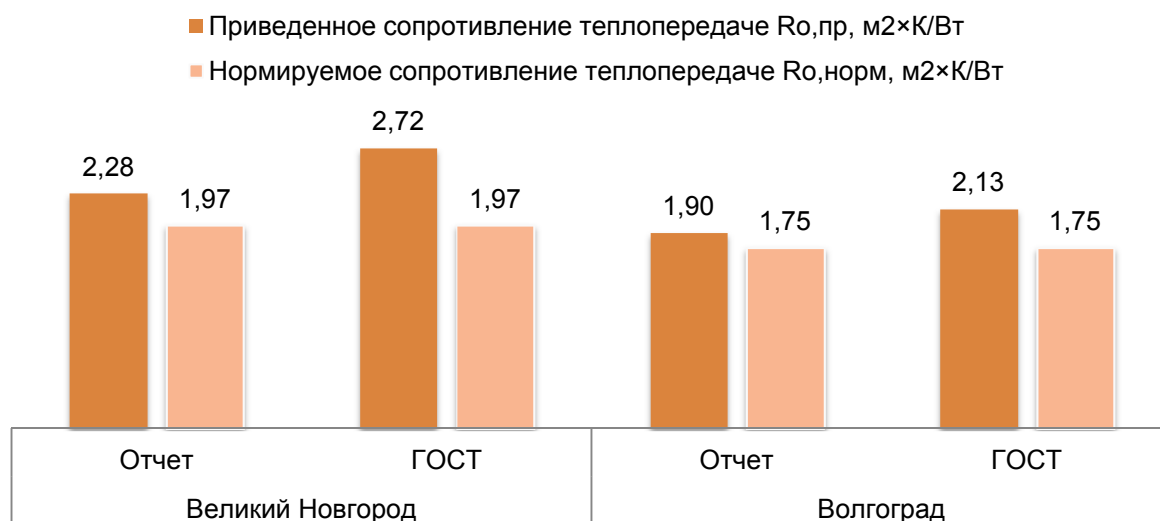
**Таблица 11. Комплексные энергетические показатели проектируемых зданий за отопительный период**

Показатель	Значение показателя			
	Пункт			
	Великий Новгород		Волгоград	
	Теплопроводность газобетона согласно			
	лабораторным испытаниям	ГОСТ 31359–2007	лабораторным испытаниям	ГОСТ 31359–2007
Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, Вт/(м <sup>3</sup> ·К)	0,28	0,27	0,35	0,34
То же, нормируемая величина, Вт/(м <sup>3</sup> ·К)	0,37		0,37	
Класс энергосбережения				

Детальный анализ полученных комплексных энергетических показателей зданий выходит за рамки данной работы.

Как видно из таблицы 11, требование п. 10.1 СП 50.13330.2012 к удельной характеристике расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию выполнено для рассматриваемых проектов зданий, что указывает на возможность снижения значения коэффициента  $m_p$  при определении нормируемого сопротивления теплопередаче стеновых конструкций. На основе комплексной оценки энергетических показателей зданий за отопительный период, выполненной в соответствии с обязательным приложением Г СП 50.13330.2012, установлено, что использование данных по теплопроводности

автоклавнога газобетона согласно ГОСТ 31359–2007 в стеновых конструкциях *завышает* класс энергосбережения здания в Волгограде.

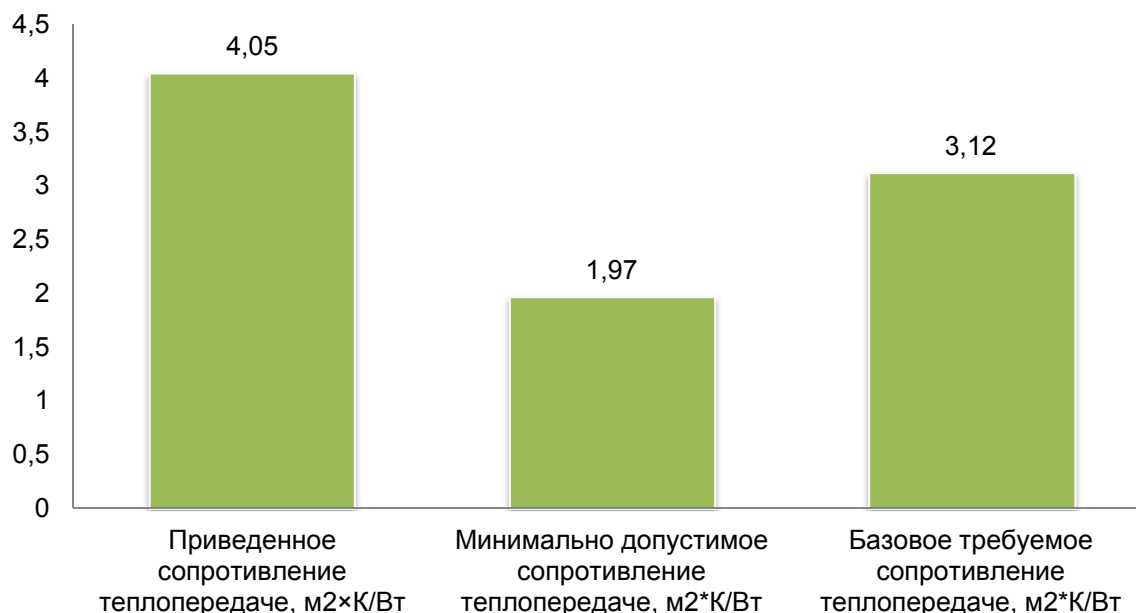


**Рисунок 12. Поэлементная оценка тепловой защиты стеновых ограждающих конструкций с изделиями из газобетона автоклавнога твердения без дополнительной теплозащиты**

По результатам выполненных на основании проектной документации расчетов установлено (рисунок 12), что значения приведенного сопротивления теплопередаче стеновых конструкций из автоклавных газобетонных блоков без дополнительной теплозащиты соответствуют **минимально допустимым** поэлементным требованиям п. 5.2 СП 50.13330.2012.

Анализ полученных результатов показывает, что теплотехнические риски при проектировании зданий повышаются при учете других теплозащитных элементов оболочки здания, не предусмотренных расчетом согласно СП 230.1325800.2015 при разбивке на типовые элементы. Проектные решения стен из автоклавных газобетонных блоков без дополнительной теплозащиты практически не имеют резерва по уровню теплоизоляции на большей части территории России (при ГСОП  $\geq 4000$  К·сут/г.).

Использование СФТК значительно повышает уровень теплоизоляции наружных стен (рисунок 13).



**Рисунок 13. Поэлементная оценка тепловой защиты стеновых ограждающих конструкций из газобетонных блоков с дополнительной теплоизоляцией**

Применение двухслойных стеновых конструкций из автоклавного газобетона с дополнительной наружной теплоизоляцией (с нормализованной влажностью газобетонных блоков) снижает теплотехнические риски при проектировании зданий и распространяется на большую часть территории России.

### 3.5. Сравнение результатов расчета сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций из автоклавных газобетонных блоков с данными натурных исследований

С целью обоснования расчетных значений сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций из автоклавных газобетонных блоков выполнено сравнение результатов расчета с данными натурных исследований.

Для верификации расчетных данных использованы результаты контрольных натурных испытаний, полученные авторами для ограждающих конструкций многоквартирных жилых зданий, расположенных по адресу:

здание 1 — Новгородская область, р.п. Парфино, ул. Мира, д. 14 Б;

здание 2 — Волгоградская область, р.п. Средняя Ахтуба, 1-й микрорайон, 39 А.

Ввиду невозможности прямого измерения приведенного сопротивления теплопередаче стен верификация расчетных данных выполнялась на фактических данных по условному сопротивлению теплопередаче стен указанных зданий.

Согласно результатам измерений сопротивление теплопередаче базового участка наружной стены составляет:

для здания 1 —  $R_{o,1}^{изм} = 2,53 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ ;

для здания 2 —  $R_{o,3}^{изм} = 2,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ .

По результатам расчета условное сопротивление теплопередаче стены составляет:

для здания 1 — при теплопроводности газобетонных блоков согласно результатам лабораторных испытаний —  $R_{o,усл,1}^{Отчет} = 2,93 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ ; то же, по ГОСТ 31359–2007 —  $R_{o,усл,1}^{ГОСТ} = 3,58 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ ;

для здания 2 —  $R_{o,усл,2}^{Отчет} = 2,34 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ ; то же, по ГОСТ 31359–2007 —  $R_{o,усл,2}^{ГОСТ} = 2,69 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ .

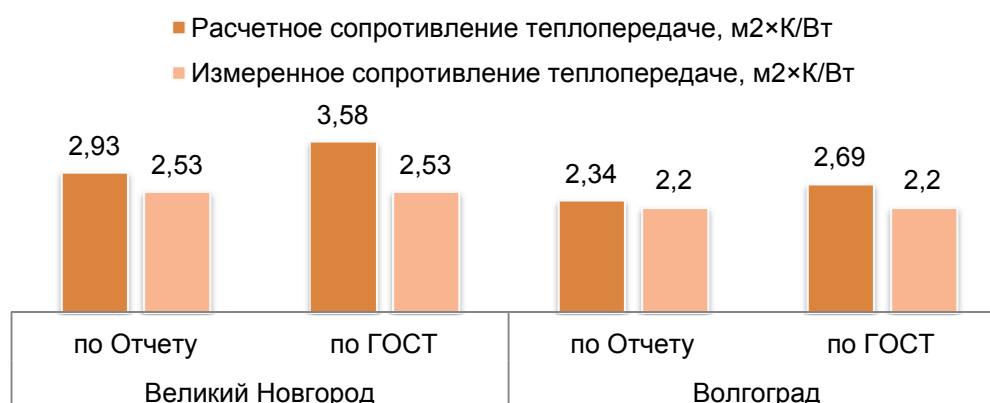
Поскольку ГОСТ 31359–2007 распространяется на ячеистые бетоны автоклавного твердения, предназначенные для изготовления изделий, и не распространяется на другие типы теплоизоляционных материалов, в том числе высокоэффективных, верификация расчетных данных для стеновых конструкций, дополнительно теплоизолированных снаружи минераловатными плитами, не проводилась.

Сравнение результатов расчета сопротивления теплопередаче с данными натурных испытаний стеновых конструкций приведено в таблице 12.

**Таблица 12. Верификация расчетных данных на результатах натурных испытаний**

Показатель	Значение показателя для пункта при теплопроводности газобетонных блоков			
	Великий Новгород		Волгоград	
	по способу 1	по способу 2	по способу 1	по способу 2
Расчетное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$	2,93	3,58	2,34	2,69
Измеренное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$	2,53		2,3	
Относительное отклонение расчетного сопротивления теплопередаче от измеренного, %	+15,8	+41,5	+1,7	+17

Данные таблицы 12 визуализированы (рисунок 14).



**Рисунок 14. Сравнение результатов расчета сопротивления теплопередаче стен с данными натурных испытаний**

Анализ полученных результатов показывает, что расчетные значения сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций из газобетонных блоков больше измеренных значений. Превышение расчетных значений над измеренными обусловлено, главным образом, несовпадением расчетных теплотехнических характеристик материальных слоев, принимаемых в зависимости от условий эксплуатации ограждающих конструкций.

Расчетные значения сопротивления теплопередаче, полученные при теплопроводности газобетона в конструкциях согласно результатам лабораторных испытаний, обеспечивают наилучшее приближение к измеренным значениям, по сравнению с ГОСТ 31359–2007. Минимальное значение относительного отклонения расчетного сопротивления теплопередаче от измеренного отмечается для стеновой конструкции здания 2 в Волгограде (+1,7%), при теплопроводности газобетона согласно результатам лабораторных испытаний; максимальное значение — для стеновой конструкции здания 1 в Великом Новгороде (+41,5%), при теплопроводности газобетона согласно ГОСТ 31359–2007. Применение в теплотехническом расчете теплопроводности газобетонных блоков согласно таблице А.1 ГОСТ 31359–2007 существенно завышает расчетное сопротивление теплопередаче стеновых конструкций из газобетонных блоков и не рекомендуется к использованию при разработке проектной документации.

### 3.6. Влияние вида функциональной зависимости теплопроводности от влажности газобетона на тепловой режим стеновых конструкций

Для оценки влияния вида функциональной зависимости теплопроводности от влажности на тепловой режим стеновых конструкций воспользуемся полученными авторами результатами лабораторных испытаний фрагмента кладки в климатической камере и определения функциональной зависимости теплопроводности ячеистых бетонов от равновесной влажности согласно.

На рисунке 15 показан профиль влажности фрагмента испытанной конструкции (в небольшом интервале влажности). Начало координат совпадает с внутренней поверхностью конструкции.

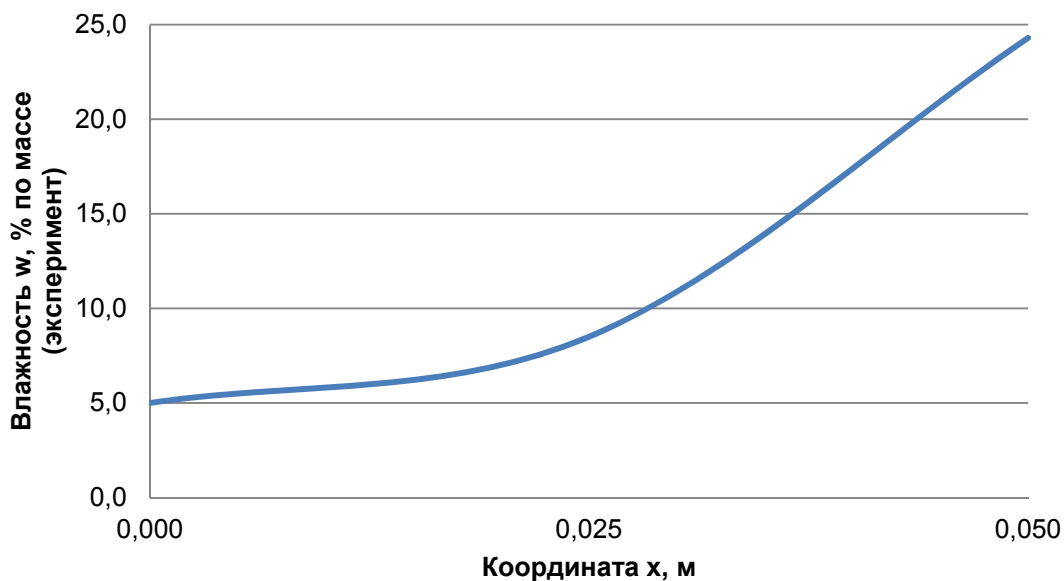


Рисунок 15. Профиль влажности фрагмента испытанной конструкции

Для оценки влияния нелинейности использованы следующие функциональные зависимости теплопроводности газобетона от влажности, полученные авторами:

линейная —

$$\lambda_{\text{лин}}(w) = 0,0118w + 0,123;$$

экспоненциальная (эксперимент) —

$$\lambda_{\text{экс}}(w) = 0,1243 \exp(0,0764w).$$

Плотность теплового потока, проходящего через конструкцию, принята по результатам измерений при установившихся условиях теплопередачи —  $q = 70 \text{ Вт/м}^2$ .

На основе вышеприведенных данных построены профили температуры (рисунок 16), соответствующие различным зависимостям  $\lambda(w)$ .

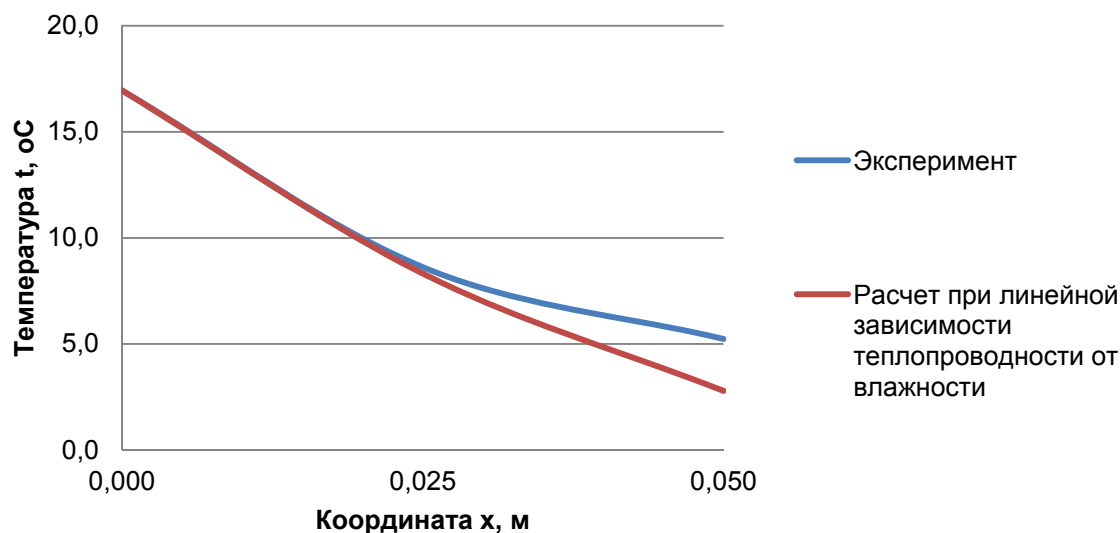


Рисунок 16. Профили температуры фрагмента испытанной конструкции

Из рисунка 16 видно, что распределение температуры по сечению ограждения нелинейно ввиду переменной величины  $\lambda$  по сечению. В поверхностном слое ограждения (примерно от 0 до 0,025 м) вид функциональной зависимости  $\lambda(w)$  практически не оказывает влияние на тепловой режим стены. Влажность в поверхностном слое конструкции меняется незначительно. Максимальное относительное отклонение температур, полученных при линейной и экспоненциальной зависимостях  $\lambda(w)$ , в сечении с координатой  $x = 0,025$  м составляет минус 3,5%. По мере удаления от внутренней поверхности расхождение между расчетным и экспериментальными профилями температуры возрастает, достигая максимума в сечении  $x = 0,05$  м —  $O_{\text{макс}} = -46,7\%$ . Расчет при линейной зависимости теплопроводности от влажности занижает температуру в толще ограждения.

Таким образом, применение в теплотехнических расчетах экспоненциальной зависимости теплопроводности газобетона от влажности, согласно результатам экспериментальных исследований, позволяет более точно оценить тепловой режим стеновых конструкций в процессе проектирования зданий.

## 4. Заключение

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

1. Результаты расчета сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций при значениях теплопроводности газобетона марки по средней плотности D500, определенных в соответствии с лабораторными испытаниями, не согласуются с результатами расчета при теплопроводности газобетона по таблице А.1 ГОСТ 31359–2007.
2. Завышение условного и приведенного сопротивлений теплопередаче стеновых ограждающих конструкций из автоклавных газобетонных блоков при использовании данных по теплопроводности согласно ГОСТ 31359–2007 приводит к занижению проектных значений трансмиссионных потерь теплоты через конструкции. Использование в расчетах данных по теплопроводности газобетона согласно лабораторным испытаниям позволяет минимизировать риски несоответствия проектных и фактических уровней теплозащиты наружных стен, а также классов энергосбережения проектируемых зданий.
3. Наибольшая доля потерь теплоты отмечается для плоского элемента конструкции. Наибольшая доля добавочных тепловых потерь, обусловленная влиянием краевых зон стеновой конструкции, имеет место для стыков с оконными блоками, а также стыков с плитами перекрытий и балконными плитами.
4. Коэффициент теплотехнической однородности однослойной стеновой конструкции мало изменяется при изменении теплопроводности кладки газобетонных блоков (в рассматриваемом интервале массовой влажности 4–5%) и составляет  $r = 0,76–0,81$ .
5. Использование данных по теплопроводности автоклавного газобетона марки D500 согласно ГОСТ 31359–2007 в стеновых ограждающих конструкциях завышает класс энергосбережения зданий.

6. По результатам выполненных на основании проектной документации расчетов установлено, что значения приведенного сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций с применением изделий из автоклавного газобетона соответствуют минимально допустимым поэлементным требованиям п. 5.2 СП 50.13330.2012. Применение двухслойных стеновых конструкций из автоклавного газобетона с дополнительной наружной теплоизоляцией (с нормализованной влажностью газобетонных блоков) снижает теплотехнические риски при проектировании зданий и распространяется на большую часть территории России.
7. Расчетные значения сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций из газобетонных блоков больше измеренных значений. Превышение расчетных значений над измеренными обусловлено, главным образом, несопадением расчетных теплотехнических характеристик материальных слоев, принимаемых в зависимости от условий эксплуатации ограждающих конструкций.
8. По сравнению с ГОСТ 31359–2007 расчетные значения сопротивления теплопередаче, полученные при теплопроводности газобетона в конструкциях согласно результатам лабораторных испытаний, обеспечивают наилучшее приближение к измеренным значениям.
9. Применение в теплотехническом расчете теплопроводности газобетонных блоков согласно таблице А.1 ГОСТ 31359–2007 существенно завышает расчетное сопротивление теплопередаче стеновых конструкций из газобетонных блоков и не рекомендуется к использованию при разработке проектной документации.
10. Оценка влияния вида функциональной зависимости теплопроводности от влажности газобетона на тепловой режим стеновых конструкций показала, что расчет при линейной зависимости  $\lambda(w)$  занижает температуру в толще ограждения. Применение в теплотехнических расчетах экспоненциальной зависимости теплопроводности от влажности газобетона, согласно полученным результатам экспериментальных исследований, позволяет более точно оценить тепловой режим стеновых конструкций в процессе проектирования зданий.

## Литература

- [1]. Van Boggelen W., Völker K. (2004). New opportunities for autoclaved aerated concrete [Neue Chancen für Porenbeton] Betonwerk und Fertigteil-Technik/Concrete Precasting Plant and Technology. 2004. No. 70 (3). pp. 60–64.
- [2]. Suhasini R. (2014). Autoclaving cement concrete: A review. International Journal of Applied Engineering Research. 2014. No. 9(11). pp. 1603–1617.
- [3]. Schramm R. (2005). Autoclaved aerated concrete — Chronicle of a development [Porenbeton — Chronik einer Entwicklung]. Betonwerk und Fertigteil-Technik / Concrete Precasting Plant and Technology. 2005. No. 71 (12). pp. 50–55.
- [4]. Narayanan N., Ramamurthy K. (2000). Structure and properties of aerated concrete: A review. Cement and Concrete Composites. 2000. No. 22 (5). pp. 321–329.
- [5]. 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.
- [6]. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. (2016). Thermophysical field testing of residential buildings made of autoclaved aerated concrete blocks. Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 4 (64). pp. 10–25.
- [7]. Korniyenko S. (2015). Evaluation of thermal performance of residential building envelope. Procedia Engineering. 2015. No. 117. pp. 191–196.
- [8]. Ferretti D., Michelini E., Rosati G. (2015). Mechanical characterization of autoclaved aerated concrete masonry subjected to in-plane loading: Experimental investigation and FE modeling. Construction and Building Materials. 2015. No. 98. pp. 353–365.
- [9]. Tanner J.E., Varela J.L., Klingner R.E., Brightman M.J., Cancino U. (2005). Seismic testing of autoclaved aerated concrete shearwalls: A comprehensive review. ACI Structural Journal. 2005. No. 102 (3). pp. 374–382.

## References

- [1]. Van Boggelen W., Völker K. (2004). New opportunities for autoclaved aerated concrete [Neue Chancen für Porenbeton] Betonwerk und Fertigteil-Technik/Concrete Precasting Plant and Technology. 2004. No. 70 (3). pp. 60–64.
- [2]. Suhasini R. (2014). Autoclaving cement concrete: A review. International Journal of Applied Engineering Research. 2014. No. 9(11). pp. 1603–1617.
- [3]. Schramm R. (2005). Autoclaved aerated concrete — Chronicle of a development [Porenbeton — Chronik einer Entwicklung]. Betonwerk und Fertigteil-Technik / Concrete Precasting Plant and Technology. 2005. No. 71 (12). pp. 50–55.
- [4]. Narayanan N., Ramamurthy K. (2000). Structure and properties of aerated concrete: A review. Cement and Concrete Composites. 2000. No. 22 (5). pp. 321–329.
- [5]. 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)
- [6]. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. (2016). Thermophysical field testing of residential buildings made of autoclaved aerated concrete blocks. Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 4 (64). pp. 10–25.
- [7]. Korniyenko S. (2015). Evaluation of thermal performance of residential building envelope. Procedia Engineering. 2015. No. 117. pp. 191–196.
- [8]. Ferretti D., Michelini E., Rosati G. (2015). Mechanical characterization of autoclaved aerated concrete masonry subjected to in-plane loading: Experimental investigation and FE modeling. Construction and Building Materials. 2015. No. 98. pp. 353–365.
- [9]. Tanner J.E., Varela J.L., Klingner R.E., Brightman M.J., Cancino U. (2005). Seismic testing of autoclaved aerated concrete shearwalls: A comprehensive review. ACI Structural

- [10]. Pehlivanli Z.O., Uzun I., Demir I. (2015). Mechanical and microstructural features of autoclaved aerated concrete reinforced with autoclaved polypropylene, carbon, basalt and glass fiber. *Construction and Building Materials*. 2015. No. 96. pp. 428–433.
- [11]. Fried A.N., Marrocchino E., Bradsell C., Roberts J.J. (2005). Unreinforced solid dense concrete block walls constructed using thin joint technology. *Structural Engineer*. 2005. No. 83(12). pp. 33–37.
- [12]. 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.
- [13]. 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.
- [14]. Yao X.-L., Yi S.-Y., Fan L.-W., Xu X., Yu Z.-T., Ge J. (2015). Effective thermal conductivity of moist aerated concrete with different porosities. *Zhejiang Daxue Xuebao (Gongxue Ban)/Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*. 2015. No. 49 (6). pp. 1101–1107.
- [15]. 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.
- [16]. Campanale M., Moro L. (2015). Autoclaved aerated concrete: Experimental evaluation of its thermal properties at high temperatures. *High Temperatures – High Pressures*. 2015. No. 44 (5). pp. 369–382.
- [17]. 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.
- [18]. 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.
- [19]. Huang J., Lü H., Feng W., Chen Y., Zhou T. (2015). Coupled heat & moisture transmission characteristics of autoclaved aerated concrete block wall. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*. 2015. No. 18 (1). pp. 88–94.
- [20]. 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.
- [21]. 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.
- [22]. 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.
- [23]. 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.
- [24]. 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.
- [25]. 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. No. 102 (3). pp. 374–382.
- [10]. Pehlivanli Z.O., Uzun I., Demir I. (2015). Mechanical and microstructural features of autoclaved aerated concrete reinforced with autoclaved polypropylene, carbon, basalt and glass fiber. *Construction and Building Materials*. 2015. No. 96. pp. 428–433.
- [11]. Fried A.N., Marrocchino E., Bradsell C., Roberts J.J. (2005). Unreinforced solid dense concrete block walls constructed using thin joint technology. *Structural Engineer*. 2005. No. 83 (12). pp. 33–37.
- [12]. 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.
- [13]. 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.
- [14]. Yao X.-L., Yi S.-Y., Fan L.-W., Xu X., Yu Z.-T., Ge J. (2015). Effective thermal conductivity of moist aerated concrete with different porosities. *Zhejiang Daxue Xuebao (Gongxue Ban)/Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*. 2015. No. 49 (6). pp. 1101–1107.
- [15]. 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.
- [16]. Campanale M., Moro L. (2015). Autoclaved aerated concrete: Experimental evaluation of its thermal properties at high temperatures. *High Temperatures – High Pressures*. 2015. No. 44 (5). pp. 369–382.
- [17]. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Petrichenko M.R., Gorshkov A.S. Otsenka vlazhnostnogo rezhima mnogosloynnoy stenovoy konstruktssii 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)
- [18]. 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.
- [19]. Huang J., Lü H., Feng W., Chen Y., Zhou T. (2015). Coupled heat & moisture transmission characteristics of autoclaved aerated concrete block wall. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*. 2015. No. 18 (1). pp. 88–94.
- [20]. 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.
- [21]. 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.
- [22]. 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.
- [23]. 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.
- [24]. 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.
- [25]. 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. No. 102 (3). pp. 374–382.

2015. Vol. 26. No. 4. Pp. 501–513.
- [26]. 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.
- [27]. 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.
- [28]. Горшков А.С., Пестряков И.И., Корниенко С.В., Ватин Н.И., Ольшевский В.Я. Фактические теплотехнические характеристики ячеистых бетонов автоклавного твердения // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2018. № 5(68). С. 75–104. DOI: 10.18720/CUBS.68.7
- (2015). Numerical modeling of heat and moisture diffusion in porous materials. *Computational Mathematics and Modeling*. 2015. Vol. 26. No. 4. Pp. 501–513.
- [26]. 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.
- [27]. 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.
- [28]. Gorshkov A.S., Pestryakov I.I., Korniyenko S.V., Vatin N.I., Olshevskiy V.Va. Actual thermal insulation properties of cellular autoclave curing concretes. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2018. No. 5. Pp. 75–104. DOI: 10.18720/CUBS.68.7

**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 Educational and Scientific Centre "Monitoring and Rehabilitation of Natural Systems")
4. +7(911)9199526, 79119199526@yandex.ru (Vyacheslav Olshevskiy, Postgraduate)
5. +7(812)5356334, iscvisola@mail.ru (Igor Pestryakov, Head of the Centre)

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