

Construction of Unique Buildings and Structures





doi: 10.18720/CUBS.70.1

Теплотехническое качество наружных стен из автоклавных газобетонных блоков

Thermophysical quality of outer walls made of autoclaved aerated concrete blocks

С.В. Корниенко $^{1^{*}}$, Н.И. Ватин 2 , А.С. Горшков 3 , В.Я Ольшевский 4 , И.И. Пестряков 5

¹Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

²⁻⁵Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

S.V. Korniyenko ^{1*}, N.I. Vatin ², A.S. Gorshkov ³, V.Y. Olshevskiy ⁴, I.I. Pestryakov ⁵

¹Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia ²⁻⁵Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,

St. Petersburg, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

гражданское строительство; газобетон; наружные стены; тепловизионный контроль; теплоизоляция; теплотехническое качество; энергосбережение; энергетическая эффективность;

история

Подана в редакцию: 11.06.2018

Принята: 17.08.2018

KEYWORDS

civil engineering; AAC; outer walls; heat monitoring; heat insulation; thermophysical quality; energy conservation; energy efficiency;

ARTICLE HISTORY

Submitted: 11.06.2018 Accepted: 17.08.2018

RNJATOHHA

Объектом исследования являются многоквартирные жилые здания с применением стеновых ограждающих конструкций из автоклавного газобетона, расположенные в различных влажностноклиматических зонах территории РФ. По результатам тепловизионного контроля качества теплоизоляции обследованных зданий выявлены участки стеновых ограждающих конструкций, имеющие температурные аномалии и дефекты. Сформулированы рекомендации по уточнению правил разбивки стеновых конструкций из газобетонных блоков на теплозащитные элементы. На основе разработанной методики выполнена оценка теплотехнического качества стеновых ограждающих конструкций из автоклавных газобетонных блоков. Анализ результатов показывает, что теплотехническое влияние узлов элементов конструкции без дополнительной теплоизоляции значительно и составляет от 48 до 50%. Наибольшее теплотехническое влияние имеют сопряжения стен с междуэтажными перекрытиями и балконными плитами, что обусловлено большой протяженностью данных узлов. В таком конструктивном решении эти обеспечивают требование полной теплоизоляции. Отсутствие дополнительного теплоизоляционного слоя снижает теплотехническое качество конструкции в целом (относительное сопротивление теплопередаче r = 0,7...0,71). Дополнительное утепление стены снаружи с применением высокоэффективных теплоизоляционных изделий выравнивает температурное поле, снижает теплотехническое влияние узлов до 16% и повышает теплотехническое качество конструкции (r = 0,75). По результатам контактных измерений значений температур и тепловых потоков в натурных условиях определены фактические значения сопротивления теплопередаче исследуемых типов стеновых ограждающих конструкций. Дополнительная наружная теплоизоляция существенно теплозащитные свойства «по глади» стены. Полученные результаты могут быть использованы при уточнении расчетных эксплуатационных параметров фасадных систем со стеновыми ограждающими конструкциями из автоклавных газобетонных блоков зданий различного назначения на территории Российской Федерации.

ABSTRACT

The object of research are apartment residential buildings located in various climatic zones of the Russian Federation with application of outer walls made of autoclaved aerated concrete blocks. Based on the results of thermovision quality inspection of thermal insulation the temperature anomalies and defects in outer walls are

revealed. The rules of division of wall made of autoclaved aerated concrete blocks on a heat-shielding elements are formulated. Using the original method the evaluation of thermophysical quality of the outer walls made of autoclaved aerated concrete blocks is executed. The analysis of results shows that thermophysical influence of knots of building elements without additional thermal insulation is considerable and makes from 48 to 50%. Interfaces of walls to interfloor and balcony plates have the greatest thermophysical influence that is caused by the big extent of these knots. In such constructive decision these knots don't provide the requirement of full thermal insulation. The lack of an additional heat-insulation layer reduces thermophysical quality of a design in general (relative resistance to heat transfer is 0.7...0.71). Additional thermal insulation of a wall outside with application of highly effective insulating products levels the temperature field, reduces thermophysical influence of knots to 16% and increases thermophysical quality of a design (r = 0.75). Based on the results of contact measurements of values of temperatures and thermal streams in natural conditions the actual values of resistance to a heat transfer of the studied types of walls are defined. Additional external thermal insulation significantly improves thermophysical properties on the base surface of walls. The received results can be used at specification of calculated operational parameters of facade systems with outer walls made of autoclaved aerated concrete blocks of various types of building in the Russian Federation.

Содержание

1.	Введение	2
2.	Методы	4
3.	Результаты и обсуждение	8
4.	Заключение	18

1. Введение

Автоклавный газобетон в виде стеновых блоков в настоящее время получил 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—2]. Получив толчок для развития именно в скандинавских странах, в настоящее время на территории этих стран нет ни одного крупного производства по выпуску данного типа изделий.

Пик популярности изделий из автоклавного газобетона в странах Западной Европы и Скандинавии закончился с началом реализации комплексной программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий. Стены, выполненные кладкой из газобетонных блоков без дополнительного утепления, не могут обеспечить современные требования к уровню теплоизоляции, принятые в этих странах [1].

Основные физико-технические свойства стеновых изделий из автоклавного газобетона в настоящее время достаточно хорошо изучены [3-23]. Это позволяет объективно оценить его конкурентные преимущества и недостатки. В статьях [3, 4] обсуждаются результаты теоретических и экспериментальных исследований механических свойств изделий из автоклавного газобетона. Проблеме совершенствования технологии изготовления изделий из газобетона автоклавного твердения посвящены статьи [5—7]. В статье [8] на основе полученных авторами результатов тестирования прочностных и теплофизических свойств показаны преимущества возведения стен из автоклавных газобетонных блоков на полиуретановом клее по сравнению с другими видами кладки. В статье [9] 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 [10—12]. В статьях [13, 14] на основе теоретических и экспериментальных натурных исследований выполнена комплексная оценка энергоэффективности зданий различной этажности с наружными стенами из автоклавных газобетонных блоков. Вопросы влажностного режима ограждающих конструкций исследованы в статьях [15—19]. 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 [20], в которой на основе модели Буссинеска дана теоретическая оценка для воздушного потока в навесных фасадных системах при различных геометрических параметрах зазоров экрана.

Следует отметить, что требования к уровню теплоизоляции наружных стен в скандинавских странах существенно выше, чем в России, несмотря на сопоставимые характеристики наружного климата [1]. По это причине в нашей стране до сих пор имеет место строительство стен из газобетонных блоков без

дополнительного утепления. Однако, подробный анализ того, насколько это оправданно, не производился.

Целью данного исследования является оценка теплофизических свойств стеновых конструкций из автоклавных газобетонных блоков по результатам натурных испытаний.

В соответствии с поставленной целью необходимо было решить следующие задачи:

- выполнить тепловизионный контроль качества теплоизоляции зданий со стенами из газобетонных блоков для выявления температурных аномалий, их классификации и оценки теплотехнического качества стеновых конструкций в натурных (эксплуатационных) условиях;
- определить в натурных условиях контактно измеренных значений сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций из автоклавных газобетонных блоков для установления фактических теплозащитных свойств конструкций.

1.1. Описание объекта исследования

Объектом исследования являются многоквартирные жилые здания со стеновыми ограждающими конструкциями из автоклавных газобетонных блоков, расположенные в различных влажностно-климатических зонах (рисунок 1).





Рисунок 1. Объекты исследования, расположенные на территории Новгородской (*a*) и Волгоградской (*б*) областей

Общий вид обследованных зданий приведен на рисунке 2.







Рисунок 2. Общий вид обследованных зданий: *а* — здание 1 (Новгородская область); *б* — здание 2 (Новгородская область); *в* — здание 3 (Волгоградская область)

Здание 1. Здание отдельно стоящее трехэтажное односекционное, с холодным чердаком, без подвала (рисунок 2, *a*). Количество квартир 22.

Конструктивная система здания бескаркасная, с продольными несущими стенами. Наружные стеновые ограждающие конструкции здания выполнены из газобетонных блоков автоклавного твердения на клеевом составе плотностью 400...500 кг/м³ общей толщиной 500 мм. С внутренней стороны стены

оштукатурены гипсовым раствором толщиной 4 мм, с наружной стороны — цементно-песчаным раствором толщиной 10 мм. Перекрытия над квартирами — из сборных железобетонных многопустотных плит толщиной 220 мм, над помещениями общего пользования — из сборных железобетонных полнотелых плит толщиной 160 мм. Теплоизоляция чердачного перекрытия выполнена из минераловатных плит толщиной 100 мм. В качестве заполнения проемов окон и балконных дверей использованы светопропускающие ограждающие конструкции из двухкамерных стеклопакетов в ПВХ профилях; наружные двери имеют теплоизоляцию.

Зона влажности территории РФ — нормальная.

Здание 2. Здание отдельно стоящее трехэтажное односекционное, с холодным чердаком, без подвала (рисунок 2, *б*). Количество квартир 22.

Конструктивная система здания бескаркасная, с продольными несущими стенами. Наружные стеновые ограждающие конструкции здания выполнены из газобетонных блоков автоклавного твердения на клеевом составе плотностью 500 кг/м³ толщиной 400 мм. С наружной стороны стены имеют дополнительное утепление из минераловатных плит марки «ФАСАД БАТТС» толщиной 150 мм. С внутренней стороны стены оштукатурены гипсовым раствором толщиной 4 мм, с наружной стороны — цементным раствором толщиной 8 мм. Теплоизоляция чердачного перекрытия выполнена из минераловатных плит толщиной 200 мм. В качестве заполнения проемов окон и балконных дверей использованы светопропускающие ограждающие конструкции из двухкамерных стеклопакетов с заполнением аргоном, с уширенной рамой.

Зона влажности территории РФ — нормальная.

Здание 3. Здание трехэтажное двухсекционное, имеет техническое подполье и чердак (рисунок 2,в).

Главной конструктивной особенностью здания является разделение функций несущих и ограждающих конструкций.

Несущей основой исследуемых зданий является рамно-связевый сборно-монолитный каркас с плоскими дисками перекрытий, образованными многопустотными плитами. Плиты в каждом перекрытии объединены монолитными железобетонными ригелями, скрытыми в плоскости перекрытий и опирающимися на сборные колонны. Согласно проекту для снижения потерь теплоты в холодный период года по наружному контуру ригели имеют перфорацию в виде отверстий, заполненных теплоизоляционными вкладышами из пенополистирола.

Теплозащитная оболочка состоит из различных видов ограждающих конструкций. Согласно проекту наружные стеновые ограждающие конструкции выполнены в виде кладки автоклавных газобетонных блоков толщиной 300 мм с внутренней штукатуркой сложным раствором толщиной 15 мм, снаружи облицованы кирпичной кладкой толщиной 120 мм. Наружные стены поэтажно опираются на диски перекрытий. Соединение кирпичной кладки с газобетонными блоками предусмотрено на гибких связях. Окна и балконные двери — из ПВХ-профилей с заполнением однокамерными стеклопакетами. Перекрытие над техническим подпольем и чердачное перекрытие имеют теплоизоляцию. Для повышения теплозащитных свойств оболочки в узлах сопряжений ограждающих конструкций по проекту предусмотрены вкладыши из эффективных теплоизоляционных материалов.

Зона влажности территории РФ — сухая.

2. Методы

2.1. Тепловизионный контроль качества теплоизоляции зданий

Тепловизионный контроль качества теплоизоляции указанных зданий выполнен на основании требований ГОСТ Р 54852–2011 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций».

Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций основан на дистанционном измерении тепловизором полей температур поверхностей ограждающих конструкций, между внутренними и наружными поверхностями которых существует перепад температур, и визуализации температурных аномалий для определения дефектов в виде областей повышенных теплопотерь, связанных с нарушением теплоизоляции, а также участков внутренних поверхностей ограждающих конструкций, температура которых в процессе эксплуатации может опускаться ниже точки росы.

В ходе тепловизионного контроля объектов исследования было использовано современное эффективные оборудование, отвечающее требованиям ГОСТ Р 54852–2011.

4

Тепловизионная съемка зданий 1 и 2 проведена 31.01.2017. Во время тепловизионного обследования средняя температура наружного воздуха составляла –3,5 °C, температура воздуха в помещениях — от +15 до +27 °C (здание 1) и от +19 до +25 °C (здание 2). Погодные условия: пасмурно, слабый ветер. Тепловизионные измерения проведены при отсутствии атмосферных осадков, тумана, задымленности. Поверхность обследуемых ограждающих конструкций сухая. Продолжительность временного интервала до начала обследования составляла 5...7 суток, что соответствует режиму теплопередачи, близкому к стационарному. В процессе тепловизионного контроля обследуемые поверхности ограждающих конструкций не подвергались прямому и отраженному солнечному облучению в течение 12 ч до проведения измерений. Снаружи выполнено тепловизионное обследование 100% площади фасадов здания. Изнутри тепловизионное обследование выполнено не менее чем на 10% внутренней поверхности стен, перекрытий, что удовлетворяет требованиям п. 5.7.3 ГОСТ 31937–2011.

Тепловизионная съемка здания 3 выполнена в середине января — начале февраля 2015 года. На момент проведения обследования здание эксплуатируется около 5 лет. Во время тепловизионного обследования средняя температура наружного воздуха составляла от -1,7 до -5,5 °C, температура воздуха в помещениях — от +15 до +23 °C. Продолжительность временного интервала до начала обследования составляла около 7 суток, что соответствует режиму теплопередачи, близкому к стационарному. Тепловизионные измерения проведены при отсутствии атмосферных осадков, тумана, задымленности. В процессе тепловизионного контроля обследуемые поверхности ограждающих конструкций не подвергались прямому и отраженному солнечному облучению в течение 12 ч до проведения измерений.

Анализ термограмм представляет собой процедуру, направленную на выявление причин возникновения температурных аномалий с целью установления нарушения теплоизоляции ограждающих конструкций или снижения ее качества.

При анализе термограмм наружной поверхности ограждающей конструкции ее следует разбивать на участки, для которых температурные условия на внутренней поверхности близки к постоянным (отсутствуют локальные источники тепла, заметно влияющие на температуру внутренней поверхности).

На стадии анализа используют обработанные (или необработанные) термограммы для компьютерной визуализации температурных полей на поверхности ограждающей конструкции с возможностью выделения отдельных участков ограждающих конструкций для проведения компьютерных оперативных расчетов перепадов температур, построения гистограмм линейных и поверхностных распределений температур.

Основным критерием сравнения различных участков поверхности ограждающей конструкции является *величина температурной аномалии*, определяемая как разность температур в выбранной точке на сравниваемом и базовом участках поверхности.

Для сравнения может быть дополнительно проведена оценка относительного сопротивления теплопередаче в различных точках ограждающей конструкции. Значения сопротивления теплопередаче r (x, y) рассчитывают по отношению к базовым участкам ограждающей конструкции:

для внутренних обследований — по формуле

$$r(x,y) = 1 + \frac{\theta(x,y)}{t_0 - t_0^0 - \theta(x,y)},\tag{1}$$

для наружных обследований — по формуле

$$r(x,y) = 1 + \frac{\theta(x,y)}{t_H - \tau_H^6 - \theta(x,y)},$$
 (2)

где $t_{\text{\tiny B}},\ t_{\text{\tiny H}}$ — температуры внутреннего и наружного воздуха соответственно в зоне исследуемого фрагмента, °C;

 $\tau_{\rm B}^{\ \ \ \ }$, $\tau_{\rm H}^{\ \ \ \ }$ — температура поверхности базового участка при внутренних и наружных обследованиях соответственно, °C;

 $\theta(x, y)$ — разность между температурой $\tau(x, y)$ изотермы, проходящей через точку с координатами x, y на соответствующей поверхности, и температурой поверхности базового участка, °C.

Нарушение теплоизоляции по результатам анализа считают обнаруженным, если исключены иные причины возникновения температурной аномалии.

В случае если не удается точно установить, является ли обнаруженная температурная аномалия следствием нарушения теплоизоляции, рекомендуется провести измерение температуры в данных участках контактным методом на внешней и внутренней поверхностях ограждающей конструкции.

2.2. Методика оценки теплотехнического качества стеновых ограждающих конструкций

Разработана методика оценки теплотехнического качества стеновых ограждающих конструкций из газобетонных блоков на основании тепловизионного контроля.

Согласно данной методике критерием количественной оценки теплотехнического качества ограждающих конструкций является относительное сопротивление теплопередаче в различных точках ограждающей конструкции и конструкции в целом.

Теплотехническое качество конструкции оценивают исходя из двух требований:

- 1) недопустимости конденсации влаги на внутренней поверхности конструкции (санитарногигиенический минимум), при этом относительное сопротивление теплопередаче каждого теплотехнически неоднородного участка в границах выделенного фрагмента конструкции должно быть не менее критического значения относительного сопротивления теплопередаче;
- 2) обеспечения нормативного температурного перепада между внутренним воздухом и внутренней поверхностью конструкции (полная теплоизоляция), при этом относительное сопротивление теплопередаче каждого теплотехнически неоднородного участка (в границах выделенного фрагмента конструкции) должно быть не менее целевого значения относительного сопротивления теплопередаче.

Для поэлементной оценки теплотехнического качества ограждающих конструкций предлагаются классы теплотехнического качества (КТК), приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Классы теплотехнического качества стен

Обозначение КТК	Характеристика КТК	Условие
Α	Полная теплоизоляция	$r(x, y) > r_{\perp}$
В	Температурная аномалия	$r_{KP} < r(x, y) \le r_{LL}$
С	Теплотехнический дефект	$r(x, y) \leq r_{\kappa p}$

При поэлементной оценке по вышеуказанным условиям необходимо контролировать сопротивление теплопередаче базового участка ограждающей конструкции.

Критическое относительное сопротивление теплопередаче $r_{\kappa p}$ определяется по формуле

$$r_{\rm Kp} = \frac{(t_{\rm B}^{\rm p} - t_{\rm H}^{\rm p})}{\alpha_{\rm B} R_{\rm 0.0}^{\rm q}(t_{\rm B}^{\rm p} - t_{\rm p})},\tag{3}$$

где $t_{\rm B}^{\ \rho}, t_{\rm H}^{\ \rho}$ — соответственно расчетная температура внутреннего и наружного воздуха, °C;

 $\alpha_{\rm B}$ — расчетный коэффициент теплообмена у внутренней поверхности конструкции, Вт/(м²·К);

 $R_{\text{o},\text{п}}^{-6}$ — проектное значение сопротивления теплопередаче базового участка конструкции, м².К/Вт;

 $t_{\rm p}$ — точка росы при расчетных параметрах внутреннего воздуха.

Целевое относительное сопротивление теплопередаче $r_{\scriptscriptstyle
m L}$ определяют по формуле

$$r_{\rm II} = \frac{(t_{\rm B}^{\rm p} - t_{\rm H}^{\rm p})}{\alpha_{\rm B} R_{\rm 0, II}^{\rm G} (t_{\rm B}^{\rm p} - t_{\rm BII}^{\rm II})},\tag{4}$$

где $t_{\rm вn}^{\ \ \ \ \ \ \ }$ — целевая температура на внутренней поверхности наружной, принимаемая равной 16 °C.

Граничные значения относительного сопротивления теплопередаче, рассчитанные по формулам (3), (4) при определении КТК обследованных типов стен зданий, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Граничные значения относительного сопротивления теплопередаче стен

ктк	Граничное относительное сопротивление теплопередаче стены здания		
	1	2	3
A — Полная теплоизоляция			
	0,38	0,24	0,45
В — Температурная аномалия	0.40	0.4	0.40
C — Теплотехнический дефект	0,16	0,1	0,19

Примечания:

^{1.} Согласно СП 50.13330.2012 расчетная температура внутреннего воздуха принята равной 20 °C.

^{2.} Согласно СП 131.13330.2012 расчетная температура наружного воздуха принята равной: для Волгограда — $t_{\rm H}^{\rm p}$ = -22 °C, для Великого Новгорода — $t_{\rm H}^{\rm p}$ = -27 °C.

^{3.} Согласно данным проектной документации сопротивление теплопередаче базовых участков стен составляет: здание 1 — $R_{\text{o,n1}}^6$ = 3,58 м²-К/Вт; здание 2 — $R_{\text{o,n2}}^6$ = 5,71 м²-К/Вт; здание 3 — $R_{\text{o,n3}}^6$ = 2,69 м²-К/Вт.

- 4. На основании СП 50.13330.2012 расчетный коэффициент теплообмена у внутренней поверхности конструкции принят равным $\alpha_{\rm B}$ = 8,7 Bт·м $^{-2}$ ·K $^{-1}$.
- 5. Точка росы определена при расчетных параметрах внутреннего воздуха: t_p = 10,7 °C при t_B^p = 20 °C и ϕ_B = 55%.

Для общей оценки теплотехнического качества стеновых конструкций используется приближенная формула

$$r = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m} \frac{d_i}{r_i}},\tag{5}$$

где r — относительное сопротивление теплопередаче конструкции;

m — число теплотехнически неоднородных участков ограждающей конструкции, определяемых по тепловизионному обследованию;

 d_i — «весовой коэффициент» i-го неоднородного участка конструкции, характеризующий долю этого участка в составе общей площади конструкции; определяется согласно проектной документации;

 r_i — среднее относительное сопротивление теплопередаче i-го неоднородного участка родственной группы.

Очевидно, чем больше значение r, определяемое формулой (5), тем выше теплотехническое качество ограждающей конструкции. При r = 1 конструкция теплотехнически однородна.

Преимуществом предлагаемой методики является возможность получения из одного цикла тепловизионных измерений всех необходимых параметров, характеризующих теплотехническое качество стеновых конструкций, включая класс теплотехнического качества конструкций в натурных (эксплуатационных) условиях. Разработанная методика удобна для количественной оценки теплотехнического качества стеновых ограждающих конструкций и их элементов.

Определение сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций указанных зданий выполнено на основании требований ГОСТ Р 54853–2011 «Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера».

Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции здания заключается в том, что на поверхностях и в примыкающих воздушных средах испытуемого ограждения, находящегося в эксплуатационных условиях (в отапливаемом здании, функционирующем в холодный период года), установлены датчики температур (термопары), которые фиксируют в течение определенного времени значения этих тепловых характеристик, желательно при стационарных условиях сред, окружающих ограждение. Сопротивление теплопередаче ограждения определяется как отношение разности усредненных за период испытаний температур внутреннего и наружного воздуха к усредненной плотности теплового потока, прошедшего через ограждение.

Контактные измерения плотности теплового потока и температуры выполнены многоканальным прибором ИТП МГ4.03 «Поток».

Натурные испытания ограждающих конструкций зданий 1 и 2 были выполнены в период с 01 по 02 февраля 2017 года. На период испытаний зарегистрированы следующие условия:

здание 1 — температура воздуха в помещении — от 15,3 до 15,7 °C; температура атмосферного воздуха — от -1,8 до -0,1 °C;

здание 2 — температура воздуха в помещении — от 21,2 до 21,5 °C; температура атмосферного воздуха — от -1,2 до 0,0 °C.

Натурные испытания ограждающих конструкций здания 3 были проведены в период с 26 января по 10 февраля 2015 года. На период испытаний зарегистрированы следующие условия: средняя температура воздуха в помещении — 24,6 °C; средняя температура наружного воздуха — минус 2,4 °C.

При проведении испытаний указанных зданий осуществлялся автоматизированный сбор и компьютерная обработка экспериментальных данных.

Для сравнительной оценки теплотехнических свойств стены и окна также выполнены контактные измерения сопротивления теплопередаче в центре стеклопакета.

Обработка и анализ результатов, полученных в натурных условиях с помощью автоматизированного сбора и компьютерной обработки экспериментальных данных, выполнялись с помощью стандартного метода усреднения. Этот метод повышает критерий качества измерения и может сократить продолжительность испытаний для фрагментов со средней и большой тепловой инерцией при различных внутренних и наружных температурах.

Метод усреднения предполагает, что теплотехнические характеристики ограждающих конструкций можно получить на основе средних значений удельного теплового потока и разности температур,

получаемых за достаточно длительный период времени. В этом случае сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции можно получить из формулы

$$R_{0} = \sum_{i=1}^{n} (t_{int,j} - t_{ext,j}) / \sum_{i=1}^{n} q_{j},$$
(6)

где *j* — порядковый номер измерений;

n — число измерений;

 $t_{int, j}, t_{ext, j}$ — соответственно температура внутреннего и наружного воздуха при j-м измерении;

 q_i — плотность теплового потока при j-м измерении.

Если данный результат подсчитывать после каждого измерения, то полученные результаты асимптотически приближаются к реальному значению теплотехнической характеристики.

3. Результаты и обсуждение

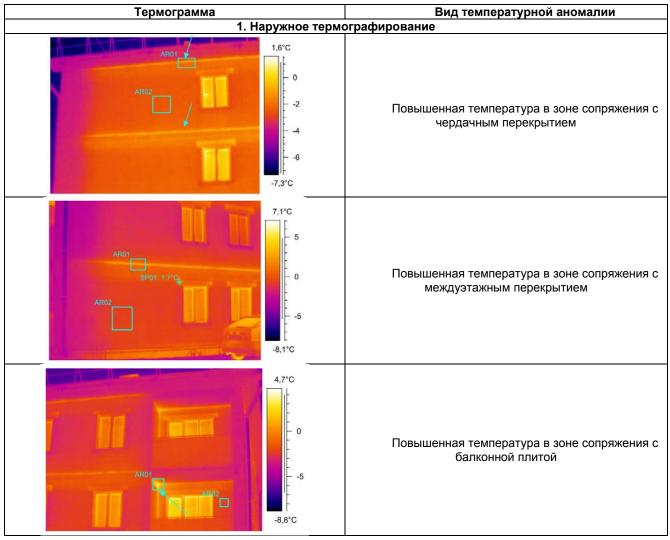
По результатам тепловизионного контроля качества теплоизоляции обследованных зданий выявлены участки стеновых ограждающих конструкций, имеющие температурные аномалии и дефекты.

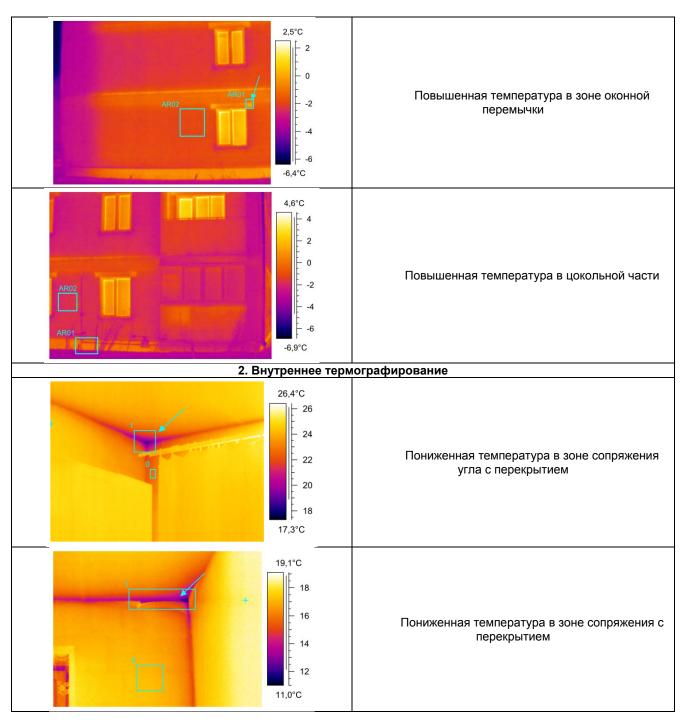
Полученные в данной научно-исследовательской работе количественные результаты позволяют разработать общую классификацию обнаруженных температурных аномалий и дефектов применительно к исследованным объектам и оценить их теплотехническое качество.

3.1. Классификация температурных аномалий и дефектов

В таблице 3 приведена обобщенная классификация выявленных температурных аномалий стеновой конструкции здания 1.

Таблица 3. Температурные аномалии стеновой конструкции здания 1





Из таблицы 3 видно, что наиболее значимыми, с точки зрения формирования температурных аномалий, элементами данной стеновой конструкции являются:

- сопряжение с междуэтажным перекрытием;
- сопряжение с перекрытием балкона (лоджии);
- сопряжение с чердачным перекрытием;
- стыки с оконными блоками;
- примыкание к цокольному ограждению;
- углы.

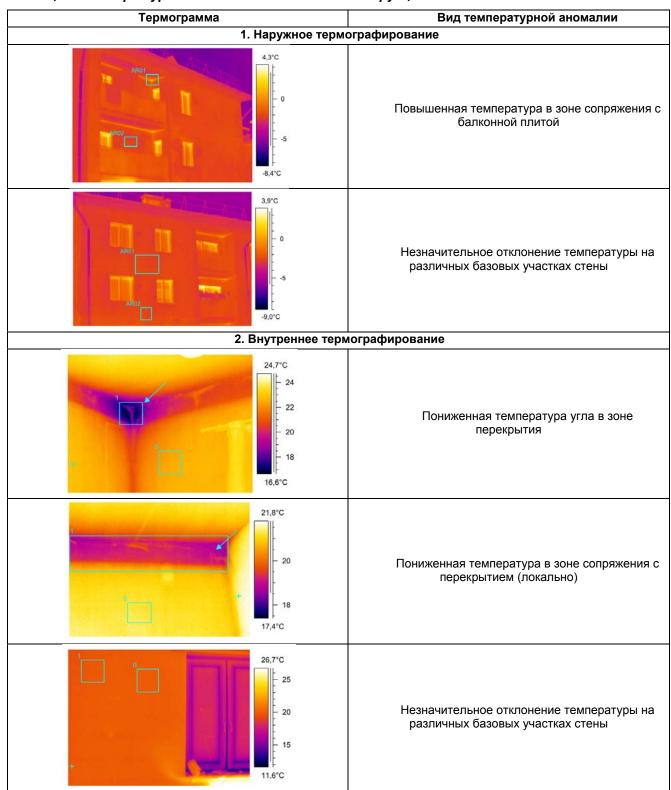
Снижение теплотехнической однородности швов кладки из газобетонных блоков, а также за счет сквозной воздухопроницаемости стен согласно полученным результатам тепловизионного обследования не выявлено. Температурные аномалии различных элементов не зависят друг от друга. Температурные аномалии, обнаруженные при наружном термографировании, подтверждаются при внутреннем, более детальном, термографировании.

Понижение температуры в зоне сопряжения угла с перекрытием носит локализованный характер. Такое понижение температуры мало влияет на тепловые потери, но может снизить теплотехническую безопасность объекта при понижении температуры на внутренней поверхности угла ниже санитарногигиенического минимума.

Аналогичные температурные аномалии выявлены при обследовании стеновой конструкции здания 3 [13].

В таблице 4 приведена обобщенная классификация выявленных температурных аномалий стеновой конструкции здания 2.

Таблица 4. Температурные аномалии стеновой конструкции здания 2



Из таблицы 4 видно, что наиболее значимыми, с точки зрения формирования температурных аномалий, элементами данной стеновой конструкции являются:

- сопряжение с перекрытием балкона (лоджии);
- углы.

Можно отметить высокую теплотехническую однородность «по глади» стены. Температурные аномалии в зоне сопряжения с оконными блоками не выявлены. Снижение теплотехнической однородности за счет сквозной воздухопроницаемости стен согласно полученным результатам тепловизионного обследования не выявлено. Температурная аномалия в зоне сопряжения угла с междуэтажным перекрытием носит локальный характер. Температурные аномалии различных элементов не зависят друг от друга. Температурные аномалии, обнаруженные при наружном термографировании, подтверждаются при внутреннем термографировании.

Применение дополнительной наружной теплоизоляции стен из газобетонных блоков способствует выравниванию температурного поля и повышению теплотехнического качества конструкции.

Снижение теплотехнического качества отдельных элементов в процессе строительства, обусловленное несанкционированными отступлениями от проектного решения, приводит к резкому ухудшению теплотехнического качества ограждающих конструкций (рисунок 3), что несет существенные риски, связанные с нарушением теплотехнической безопасности всего здания.





Рисунок 3. Конденсация влаги и образование плесневых грибов на внутренней поверхности элементов ограждающих конструкций (здание 3) в холодный период года: *а* — в зоне сопряжения с колонной и перекрытием; *б* — на стыке с оконным блоком

Выявленные теплотехнически неоднородные участки следует учитывать при проектировании зданий со стенами из газобетонных блоков без дополнительной теплоизоляции.

При необходимости актуализации СП 230.1325800.2015 рекомендуется уточнить разбивку стеновых конструкций из газобетонных блоков на теплозащитные элементы (п. А.3.2), а также дополнить свод правил данными по удельным добавочным тепловым потерям через сопряжение с чердачным перекрытием и стык с оконным блоком в зоне перемычки.

Ввиду чрезвычайной практической значимости с целью оценки соответствия стеновых ограждающих конструкций из газобетонных блоков требованию санитарно-гигиенического минимума рекомендуется дополнить свод правил методикой расчета температуры на внутренней поверхности теплотехнически неоднородных участков ограждений.

3.2. Оценка теплотехнического качества стеновых конструкций

Оценка теплотехнического качества рассматриваемых типов стеновых ограждающих конструкций выполнена на основе относительного сопротивления теплопередаче согласно разработанной методике.

Здание 1. На рисунках 4, 5 показаны графики относительного сопротивления теплопередаче обследованных участков ограждающей конструкции, определенного по формулам (1) и (2), при внутреннем и наружном термографировании. Граничные значения относительного сопротивления теплопередаче показаны пунктирными линиями и соответствуют данным таблицы 2.

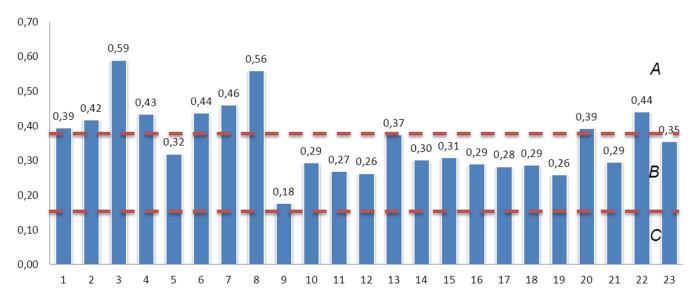


Рисунок 4. Относительное сопротивление теплопередаче участков стеновой конструкции здания 1 (наружное термографирование): 1–3 — сопряжение с чердачным перекрытием; 4–6 — сопряжение с междуэтажным перекрытием; 7–8 — сопряжение с оконным блоком; 9–21 — сопряжение с балконной плитой; 22–23 — цокольный узел; КТК: А — полная теплоизоляция; В — температурная аномалия; С — теплотехнический дефект

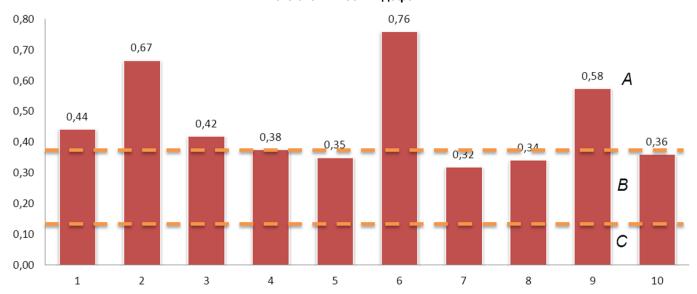


Рисунок 5. Относительное сопротивление теплопередаче участков стеновой конструкции здания 1 (внутреннее термографирование): 1–5 — угол в зоне перекрытия; 6–10 — сопряжение с перекрытием; КТК: А — полная теплоизоляция; В — температурная аномалия; С — теплотехнический дефект

Из рисунков 4 и 5 видно, что фактические значения относительного сопротивления теплопередаче всех рассматриваемых узлов, полученные как при наружном, так и внутреннем термографировании объекта, выше критического значения, следовательно, данные конструктивные узлы отвечают требованию санитарно-гигиенического минимума и не имеют, согласно принятой классификации (таблица 1), теплотехнических дефектов. Узел сопряжения стены с балконной плитой находится в зоне риска.

61% узлов при наружном термографировании и 40% узлов при внутреннем термографировании имеют температурные аномалии, связанные с повышением температуры на наружной поверхности узлов и с понижением температуры на внутренней поверхности узлов. Выявленные температурные аномалии свидетельствует о повышении добавочных потерь теплоты через теплотехнически неоднородные участки стен, что приводит к росту общих трансмиссионных тепловых потерь через стеновые конструкции. В данном конструктивном решении (без дополнительного теплоизоляционного слоя) сопряжения с междуэтажными перекрытиями и балконными плитами не обеспечивают требование полной теплоизоляции.

В таблице 5 приведены результаты расчета теплотехнических показателей стеновой конструкции здания 1 (при наружном термографировании).

Таблица 5. Теплотехнические показатели стеновой конструкции (здание 1)

Элемент	Среднее относительное сопротивление теплопередаче элемента <i>r</i>	«Весовой» коэффициент элемента d	Коэффициент теплотехнического влияния элемента d/r
Базовый участок стены	1,00	0,73	0,73
Сопряжение с междуэтажным перекрытием	0,40	0,10	0,25
Сопряжение с балконной плитой	0,29	0,04	0,14
Сопряжение с оконным блоком (в зоне перемычки)	0,51	0,08	0,16
Цокольный узел	0,40	0,03	0,06
Сопряжение с чердачным перекрытием	0,47	0,03	0,05

Данные таблицы 5 визуализированы (рисунок 6).

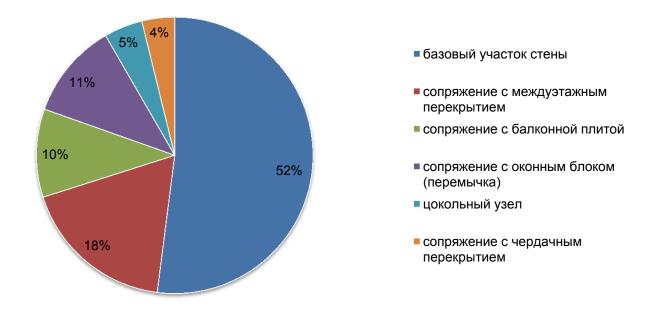


Рисунок 6. Теплотехническое влияние элементов конструкции (здание 1)

Анализ результатов показывает, что теплотехническое влияние узлов конструкции без дополнительной теплоизоляции значительно (48%). Из рассматриваемых узлов наибольшее теплотехническое влияние имеет сопряжение с междуэтажным перекрытием, что обусловлено большой протяженностью данного узла по сравнению с балконными плитами. Относительное сопротивление теплопередаче конструкции, вычисленное по формуле (5), составляет r = 0,71. Полученное значение указывает на достаточно низкое теплотехническое качество конструкции в целом.

Здание 2. На рисунках 7, 8 показаны графики относительного сопротивления теплопередаче обследованных участков ограждающей конструкции, определенного по формулам (1) и (2), при внутреннем и наружном термографировании. Граничные значения относительного сопротивления теплопередаче показаны пунктирными линиями и соответствуют данным таблицы 2.

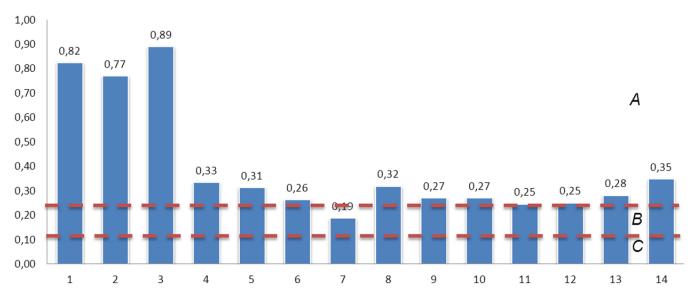


Рисунок 7. Относительное сопротивление теплопередаче участков стеновой конструкции здания 2 (наружное термографирование): 1–3 — стена «по глади»; 4–14 — сопряжение с балконной плитой; КТК: *А* — полная теплоизоляция; *В* — температурная аномалия; *С* — теплотехнический дефект

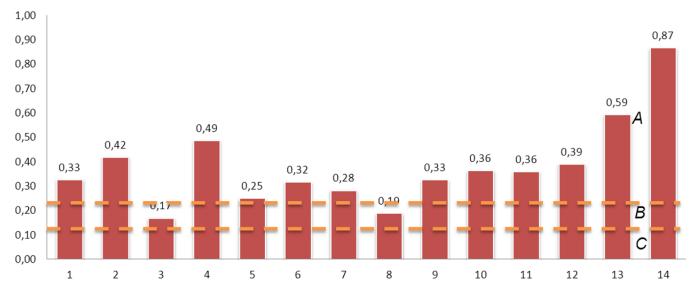


Рисунок 8. Относительное сопротивление теплопередаче участков стеновой конструкции здания 2 (внутреннее термографирование): 1–8 — угол в зоне перекрытия; 9–13 — сопряжение с перекрытием; 14 — стена «по глади»; КТК: А — полная теплоизоляция; В — температурная аномалия; С — теплотехнический дефект

Из рисунков 7, 8 видно, что фактические значения относительного сопротивления теплопередаче всех рассматриваемых узлов, полученные при наружном и внутреннем термографировании объекта, выше критического значения, следовательно, данные узлы отвечают требованию санитарногигиенического минимума, а, следовательно, не имеют теплотехнических дефектов. В целом дополнительная наружная теплоизоляция повышает относительное сопротивление теплопередаче «по глади» стены. Однако в зонах сопряжений с балконными плитами по-прежнему имеют место достаточно низкие значения относительного сопротивления теплопередаче. По сравнению со стеновой конструкцией здания 1 доля элементов, обеспечивающих полную теплоизоляцию, повышается (93% при наружном термографировании и 86% при внутреннем термографировании). Дополнительное утепление стены снаружи выравнивает температурное поле конструкции.

В таблице 6 приведены результаты расчета теплотехнических показателей стеновой конструкции здания 2 (при наружном термографировании).

Таблица 6. Теплотехнические показатели стеновой конструкции (здание 2)

Элемент	Среднее относительное сопротивление теплопередаче элемента <i>r</i>	«Весовой» коэффициент элемента <i>d</i>	Коэффициент теплотехнического влияния элемента <i>dlr</i>
Базовый участок стены	0,84	0,94	1,12
Сопряжение с балконной плитой	0,28	0,06	0,21

Данные таблицы 6 визуализированы (рисунок 9).

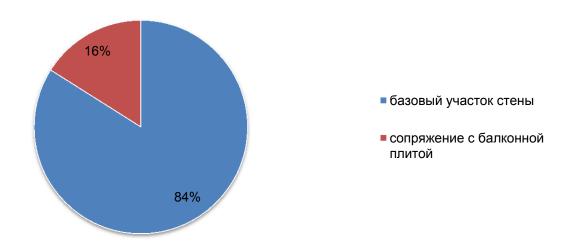


Рисунок 9. Теплотехническое влияние элементов конструкции (здание 2)

Анализ результатов показывает, что по сравнению с конструкцией 1 теплотехническое влияние узлов резко снижается (16%). Это обусловлено наружной дополнительной теплоизоляцией стеновой конструкции. Относительное сопротивление теплопередаче конструкции, вычисленное по формуле (5), составляет r = 0.75. По сравнению с конструкцией 1 полученное значение r выше, что указывает на более высокое теплотехническое качество рассматриваемой конструкции в целом.

Здание 3. На рисунках 10, 11 показаны графики относительного сопротивления теплопередаче обследованных участков ограждающей конструкции, определенного по формулам (1) и (2), при внутреннем и наружном термографировании. Граничные значения относительного сопротивления теплопередаче показаны пунктирными линиями и соответствуют данным таблицы 2.

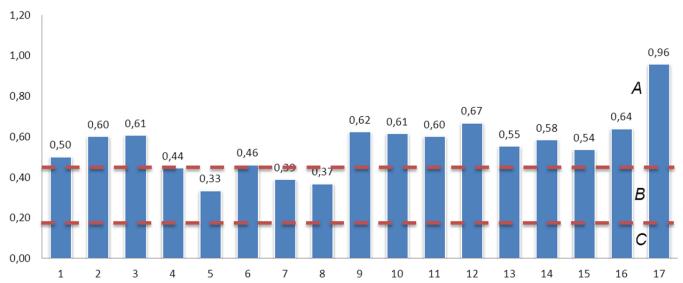


Рисунок 10. Относительное сопротивление теплопередаче участков стеновой конструкции здания 3 (наружное термографирование): 1–12 — сопряжения с междуэтажными перекрытиями и балконными плитами; 13–16 — цокольный узел; 17 — стена «по глади»; КТК: А — полная теплоизоляция; В — температурная аномалия; С — теплотехнический дефект

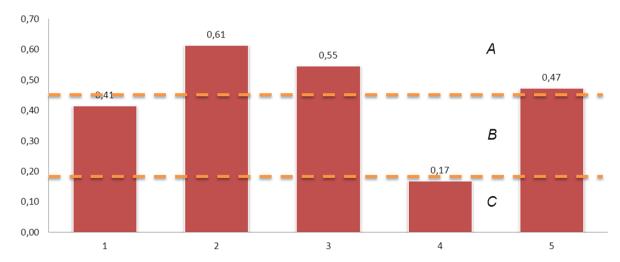


Рисунок 11. Относительное сопротивление теплопередаче участков стеновой конструкции здания 3 (внутреннее термографирование): 1–3 — угол в зоне перекрытия; 4–5 — сопряжение с колонной; КТК: *А* — полная теплоизоляция; *В* — температурная аномалия; *С* — теплотехнический дефект

Из рисунка 11 видно, что фактическое значение относительного сопротивления теплопередаче узла сопряжения стены с колонной ниже критического значения, следовательно, данный узел не отвечает требованию санитарно-гигиенического минимума и имеет теплотехнический дефект. Наличие теплотехнического дефекта обусловлено, прежде всего, низким качеством строительно-монтажных работ (рисунок 3), так как согласно проектному решению узел отвечает теплотехническому требованию. Для повышения теплотехнического качества данного узла необходимо реализованное в натуре конструктивное решение привести в соответствие с проектным решением.

В таблице 7 приведены результаты расчета теплотехнических показателей стеновой конструкции здания 3.

Таблица 7. Теплотехнические показатели стеновой конструкции (здание 3)

Элемент	Среднее относительное сопротивление теплопередаче элемента <i>r</i>	«Весовой» коэффициент элемента <i>d</i>	Коэффициент теплотехнического влияния элемента d/r
Базовый участок стены	0,96	0,69	0,71
Сопряжение с плитами перекрытий и балконными плитами	0,52	0,14	0,28
Сопряжение с колонной	0,20	0,04	0,18
Стык с оконным блоком	0,51	0,07	0,14
Цокольный узел	0,58	0,06	0,11

Примечание. Ввиду отсутствия надежных данных для стыка с оконным блоком приведены оценочные данные, взятые по конструкции здания 1 родственной группы.

Данные таблицы 7 визуализированы (рисунок 12).

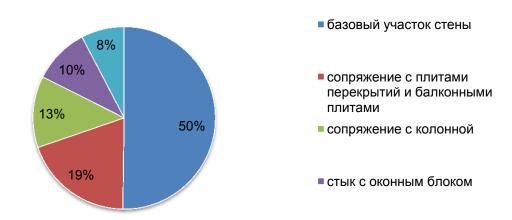


Рисунок 12. Теплотехническое влияние элементов конструкции (здание 3)

Анализ результатов показывает, что теплотехническое влияние узлов конструкции без дополнительной теплоизоляции весьма значительно (50%). Из рассматриваемых узлов наибольшее теплотехническое влияние имеет сопряжение с плитами перекрытий и балконными плитами, что обусловлено большой протяженностью узла.

Относительное сопротивление теплопередаче конструкции, вычисленное по формуле (5), составляет r = 0,7. Полученное значение указывает на достаточно низкое теплотехническое качество конструкции в целом.

На рисунке 13 показана сравнительная поэлементная оценка теплотехнического качества рассматриваемых типов стеновых конструкций из автоклавных газобетонных блоков.

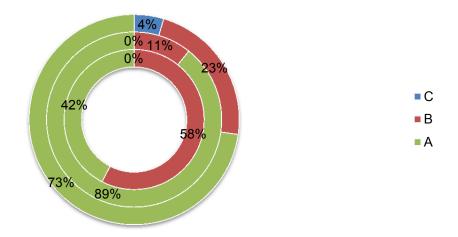


Рисунок 13. Поэлементная оценка теплотехнического качества стеновых ограждающих конструкций из автоклавных газобетонных блоков: внутреннее кольцо — здание 1; центральное кольцо — здание 2; внешнее кольцо — здание 3; КТК: А — полная теплоизоляция; В — температурная аномалия; С — теплотехнический дефект

Анализ полученных результатов показывает, что наиболее низкое теплотехническое качество имеет стена без дополнительной теплоизоляции с кирпичным облицовочным слоем (здание 3). Наличие теплотехнического дефекта в данном случае обусловлено низким качеством строительства. Наивысшее теплотехническое качество имеет стена с дополнительной наружной теплоизоляцией (здание 2).

На рисунке 14 приведена общая оценка теплотехнического качества стеновых конструкций обследованных зданий.

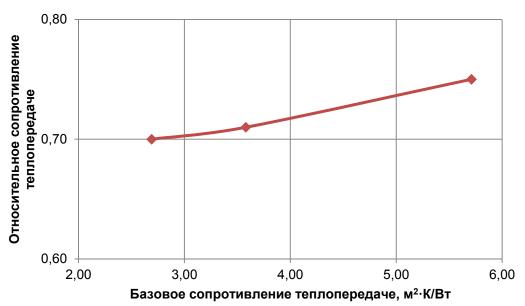


Рисунок 14. График зависимости относительного сопротивления теплопередаче от базового сопротивления теплопередаче стен

Базовые сопротивления теплопередаче стеновых конструкций приняты согласно проектной документации. Из рисунка 14 видно, что минимальное значение $r_{\text{мин}} = 0,7$ отмечается для стены без дополнительного теплоизоляционного слоя с наружной кирпичной облицовкой. С ростом базового сопротивления теплопередаче среднее относительное сопротивление теплопередаче стен повышается. Максимальное значение $r_{\text{макс}} = 0,75$ отмечается для стены с дополнительным теплоизоляционным слоем. По сравнению с конструкцией без дополнительной теплоизоляции данная конструкция имеет более высокое теплотехническое качество.

3.3. Определение фактических значений сопротивлений теплопередаче ограждений

Результаты определения фактических значений сопротивления теплопередаче фрагментов ограждающих конструкций обследованных зданий приведены на рисунке 15.

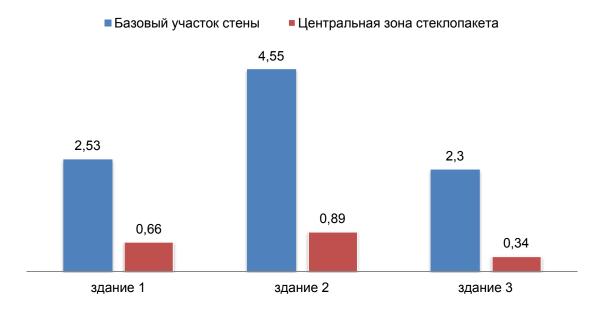


Рисунок 15. Результаты измерения сопротивления теплопередаче фрагментов ограждающих конструкций обследуемых зданий

Рисунок 15 показывает, что минимальное сопротивление теплопередаче базового участка стены (R_o^6 = 2,3 м²·К/Вт) отмечается для кладки газобетонных блоков с лицевым кирпичным слоем (здание 3). Максимальное сопротивление теплопередаче базового участка стены (R_o^6 = 4,55 м²·К/Вт) имеет стена из газобетонных блоков с дополнительной наружной теплоизоляцией (здание 2). Дополнительная наружная теплоизоляция существенно улучшает теплозащитные свойства «по глади» стены.

Теплоизоляционные свойства стеклопакетов ниже, чем стен. Минимальное сопротивление теплопередаче центральной зоны стеклопакета ($R_{\rm o}^{\rm ct}$ = 0,34 м²-К/Вт) отмечается в здании 3. Данное изделие несет существенные теплотехнические риски в конструкции. Максимальное сопротивление теплопередаче центральной зоны стеклопакета ($R_{\rm o}^{\rm ct}$ = 0,89 м²-К/Вт) отмечается в здании 2.

Полученные результаты могут быть использованы при уточнении расчетных эксплуатационных параметров фасадных систем со стеновыми ограждающими конструкциями из автоклавных газобетонных блоков зданий различного назначения на территории Российской Федерации.

4. Заключение

На основании выполненных исследований сформулированы следующие основные выводы:

- 1. Объектом исследования являются многоквартирные жилые здания с применением стеновых ограждающих конструкций из автоклавного газобетона, расположенные в различных влажностно-климатических зонах территории РФ.
- 2. По результатам тепловизионного контроля качества теплоизоляции обследованных зданий выявлены участки стеновых ограждающих конструкций, имеющие температурные аномалии и дефекты.

- 3. Разработана методика оценки теплотехнического качества стеновых ограждающих конструкций из газобетонных блоков на основании тепловизионного контроля. Преимуществом методики является возможность получения из одного цикла тепловизионных измерений всех необходимых параметров, характеризующих теплотехническое качество стеновых конструкций в натурных (эксплуатационных) условиях. Критерием количественной оценки теплотехнического качества ограждающих конструкций является относительное сопротивление теплопередаче в различных точках ограждающей конструкции и конструкции в целом. Сформулированы требования по теплотехническому качеству конструкции исходя из недопустимости конденсации влаги на внутренней поверхности конструкции (санитарно-гигиенический минимум) и обеспечения нормативного температурного перепада между внутренним воздухом и внутренней поверхностью конструкции (полная теплоизоляция). Приведены формулы для определения критического и целевого значений относительного сопротивления теплопередаче стеновых конструкций, характеризующих минимально допустимый и повышенный уровень теплоизоляции. Для поэлементной оценки теплотехнического качества ограждающих конструкций предложены классы теплотехнического качества (КТК). Предложена приближенная формула для общей оценки теплотехнического качества стеновых конструкций. Разработанная методика удобна для оценки теплотехнического качества стеновых ограждающих конструкций и их элементов.
- 4. Предложена общая классификация обнаруженных температурных аномалий и дефектов применительно к исследованным объектам. Определены наиболее значимые элементы стеновых конструкций. Выявленные теплотехнически неоднородные участки следует учитывать при проектировании зданий со стенами из газобетонных блоков. Сформулированы рекомендации по уточнению правил разбивки стеновых конструкций из газобетонных блоков на теплозащитные элементы.
- 5. На основе разработанной методики выполнена оценка теплотехнического качества стеновых ограждающих конструкций из автоклавных газобетонных блоков. Выявленные температурные аномалии свидетельствуют о повышении добавочных потерь теплоты через теплотехнически неоднородные участки стен, что приводит к росту общих трансмиссионных тепловых потерь через стеновые конструкции. Анализ результатов показывает, что теплотехническое влияние узлов элементов конструкции без дополнительной теплоизоляции значительно и составляет от 48 до 50%. Наибольшее теплотехническое влияние имеют сопряжения стен с междуэтажными перекрытиями и балконными плитами, что обусловлено большой протяженностью данных узлов. В таком конструктивном решении эти узлы не обеспечивают требование полной теплоизоляции. Отсутствие дополнительного теплоизоляционного слоя снижает теплотехническое качество конструкции в целом (относительное сопротивление теплопередаче r = 0,7...0,71). Дополнительное утепление стены снаружи с применением высокоэффективных теплоизоляционных изделий выравнивает температурное поле, снижает теплотехническое влияние узлов до 16% и повышает теплотехническое качество конструкции (r = 0.75).
- 6. Снижение теплотехнического качества отдельных элементов в процессе строительства, обусловленное несанкционированными отступлениями от проектного решения, приводит к резкому ухудшению теплотехнического качества ограждающих конструкций, что несет существенные риски, связанные с нарушением теплотехнической безопасности всего здания.
- 7. По результатам контактных измерений значений температур и тепловых потоков в натурных условиях определены фактические значения сопротивления теплопередаче исследуемых типов стеновых ограждающих конструкций из автоклавных газобетонных блоков, находящихся в эксплуатации в различных влажностно-климатических зонах. Дополнительная наружная теплоизоляция существенно улучшает теплозащитные свойства «по глади» стены.
- 8. Полученные результаты могут быть использованы при уточнении расчетных эксплуатационных параметров фасадных систем со стеновыми ограждающими конструкциями из автоклавных газобетонных блоков зданий различного назначения на территории Российской Федерации.

Литература

[1]. 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.

- [2]. Suhasini R. (2014). Autoclaving cement concrete: A review. International Journal of Applied Engineering Research. 2014. No. 9 (11). pp. 1603–1617.
- [3]. Ferretti D., Michelini E., Rosati G. (2015). Mechanical

References

- [1]. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Korniyenko S.V., Pestryakov I.I. Potrebitelskiye 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)
- [2]. Suhasini R. (2014). Autoclaving cement concrete: A review. International Journal of Applied Engineering Research. 2014. No. 9 (11). pp. 1603–1617.

- 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.
- [4]. 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.
- [5]. Koudelka T., Kruis J., Maděra J. (2015). Coupled shrinkage and damage analysis of autoclaved aerated concrete. Applied Mathematics and Computation. 2015. No. 267. pp. 427–435.
- [6]. Muthu Kumar E., Ramamurthy K. (2015). Effect of fineness and dosage of aluminium powder on the properties of moistcured aerated concrete. Construction and Building Materials. 2015. No. 95. pp. 486–496.
- [7]. Penna A., Mandirola M., Rota M., Magenes G. (2015). Experimental assessment of the in-plane lateral capacity of autoclaved aerated concrete (AAC) masonry walls with flattruss bed-joint reinforcement. Construction and Building Materials. 2015. No. 82. pp. 155–166.
- [8]. 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.
- [9]. 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.
- [10]. 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.
- [11]. 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. Journal of Zhejiang University (Engineering Science). 2015. No. 49 (6). pp. 1101–1107.
- [12]. 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.
- [13]. 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.
- [14]. Korniyenko S. (2018). Complex analysis of energy efficiency in operated high-rise residential building: Case study. E3S Web of Conferences. 2018. 33,02005.
- [15]. 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.
- [16]. 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.
- [17]. 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.
- [18]. 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.

- [3]. 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.
- [4]. 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.
- [5]. Koudelka T., Kruis J., Maděra J. (2015). Coupled shrinkage and damage analysis of autoclaved aerated concrete. Applied Mathematics and Computation. 2015. No. 267. pp. 427–435.
- [6]. Muthu Kumar E., Ramamurthy K. (2015). Effect of fineness and dosage of aluminium powder on the properties of moist-cured aerated concrete. Construction and Building Materials. 2015. No. 95. pp. 486–496.
- [7]. Penna A., Mandirola M., Rota M., Magenes G. (2015). Experimental assessment of the in-plane lateral capacity of autoclaved aerated concrete (AAC) masonry walls with flat-truss bed-joint reinforcement. Construction and Building Materials. 2015. No. 82. pp. 155–166.
- [8]. 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.
- [9]. 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.
- [10]. 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.
- [11]. 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. Journal of Zhejiang University (Engineering Science). 2015. No. 49 (6). pp. 1101–1107.
- [12]. 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.
- [13]. 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.
- [14]. Korniyenko S. (2018). Complex analysis of energy efficiency in operated high-rise residential building: Case study. E3S Web of Conferences. 2018. 33,02005.
- [15]. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Petrichenko M.R., Gorshkov A.S. Otsenka vlazhnostnogo rezhima mnogosloynoy stenovoy konstruktsii 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)
- [16]. 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.
- [17]. 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.
- [18]. Rubene S., Vilnitis M. (2015). Application of electrical impedance spectrometry for measurements of humidity distribution in aerated concrete masonry constructions. International Journal of

- [19]. 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.
- [20]. 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.
- [21]. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С. Оценка влажностного режима стен с фасадными теплоизоляционными композиционными системами // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 6(45). С. 34-54.
- [22]. Горшков А.С., Пестряков И.И., Корниенко С.В., Ватин Н.И., Ольшевский В.Я. Фактические теплотехнические характеристики ячеистых бетонов автоклавного твердения // Строительство vникальных зданий C. 75-104. сооружений. 2018. № 5(68). DOI: 10.18720/CUBS.68.7
- [23]. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Ольшевский В.Я., Пестряков И.И. Расчетные теплотехнические характеристики стен из автоклавных газобетонных блоков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 6(69). С. 35–58. DOI: 10.18720/CUBS.69.4

- Mechanics. 2015. No. 9. pp. 213-219.
- [19]. 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.
- [20]. 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.
- [21]. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. Assessment of moisture conditions of walls with fasade's thermoinsulation composite systems with external mortar layers. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 6 (45). Pp. 34-54. (rus)
- [22]. Gorshkov, A.S., Pestryakov, I.I., Korniyenko, S.V., Vatin, N.I., Olshevskiy, V.Ya. Actual thermal insulation properties of cellular autoclave curing concretes. Construction of Unique Buildings and Structures. 2018. 68(5). Pp. 75-104. (rus) DOI: 10.18720/CUBS.68.7
- [23]. Korniyenko, S.V., Vatin, N.I., Gorshkov, A.S., Olshevskiy, V.Y., Pestryakov, I.I. Designed thermophysical parameters of walls made of autoclaved aerated concrete blocks. Construction of Unique Buildings and Structures. 2018. 69 (6).Pp. 35-58. (rus) DOI: 10.18720/CUBS.69.4

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 учебнонаучного центра "Мониторинг и реабилитация природных систем")
- +7(911)9199526,
 79119199526@yandex.ru
 (Ольшевский Вячеслав Янушевич, аспирант)
- 5. +7(812)5356334, iscvisota@mail.ru (Пестряков Игорь Иванович, Руководитель Центра)

Contact information

- 1*. +7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Sergey Korniyenko, Ph.D., Associate Professor)
- +7(921)9643762, vatin@mail.ru (Nikolai Vatin, Ph.D., Professor)
- +7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Alexander Gorshkov, Ph.D., Director of the Educational and Scientific Centre "Monitoring and Rehabilitation of Natural Systems")
- +7(911)9199526, 79119199526@yandex.ru (Vyacheslav Olshevskiy, Postgraduate)
- +7(812)5356334, iscvisota@mail.ru (Igor Pestryakov, Head of the Centre)

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