

УДК 699.86

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ, ПРОШЕДШИХ ТЕПЛОВУЮ МОДЕРНИЗАЦИЮ

Н. В. Черноиван¹, И. П. Павлова²

¹ К. т. н., доцент, заместитель декана по учебной и научной работе архитектурно-строительного факультета УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: chernoivan@inbox.ru

² К. т. н., доцент, декан архитектурно-строительного факультета УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: pavlinna@tut.by

Реферат

Сегодня жилищный сектор Республики Беларусь потребляет более 35 % энергоресурсов страны. Одна из причин этого – низкая энергетическая эффективность эксплуатируемых крупнопанельных жилых зданий, запроектированных и построенных до 1993 года, которые составляют более 40 % всей многоэтажной жилой застройки.

Постоянный рост цен на энергоносители на мировом рынке, обеспеченность Беларуси собственными энергоресурсами около 45 % от потребности активизировали работы по повышению энергоэффективности эксплуатируемых жилых зданий, в том числе панельных домов массовых типовых серий.

Для снижения энергопотребления на отопление в Беларуси выполняется тепловая реабилитация фасадов эксплуатируемых жилых зданий, как правило, устраивается «легкая штукатурная система».

В связи с введением в Беларуси в 2020 году в действие ТНП, регламентирующих оценку энергетической эффективности эксплуатируемых зданий и сооружений, в том числе претерпевших тепловую модернизацию, в публикации подробно дана методика проведения научных исследований эксплуатируемых крупнопанельных жилых зданий старых типовых серий, прошедших тепловую модернизацию фасадов по технологии «легкая штукатурная система».

Анализ результатов выполненного комплекса научных исследований позволил сделать вывод: по истечении 12...15 лет эксплуатации показатель удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период крупнопанельных жилых зданий, фасады которых утеплены по технологии «легкая штукатурная система» практически аналогичен значениям энергетической эффективности зданий до утепления фасадов.

Результаты выполненных визуальных натурных исследований технического состояния утепления фасадов и их тепловизионное обследование не позволяют дать научное обоснование причин, которые за столь короткий срок эксплуатации приводят «легкую штукатурную систему» утепления в нерабочее состояние. Для решения данной проблемы планируется выполнить лабораторные исследования образцов строительных материалов, взятых при вскрытии утепленных фасадов эксплуатируемых зданий.

Ключевые слова: керамзитобетонные стеновые панели, «легкая штукатурная система», энергетическая эффективность, эксфильтрация теплого воздуха, тепловизионное обследование.

INVESTIGATION OF THE ENERGY EFFICIENCY OF OPERATED LARGE-PANEL RESIDENTIAL BUILDINGS THAT HAVE UNDERGONE THERMAL MODERNIZATION

N. V. Chernouvan, I. P. Pavlova

Abstract

Today, the housing sector of the Republic of Belarus consumes more than 35 % of the country's energy resources. One of the reasons for this is the low energy efficiency of large-panel residential buildings in operation, designed and built before 1993, which account for more than 40 % of all multistoried residential buildings.

The constant increase in energy prices on the world market, and the provision of Belarus with its own energy resources of about 45 % of the demand, have intensified efforts to improve the energy efficiency of operated residential buildings, including panel houses of mass standard series.

To reduce energy consumption for heating in Belarus, thermal rehabilitation of facades of operated residential buildings is carried out, as a rule, a "light plaster system" is installed.

In connection with the introduction of TNPS in Belarus in 2020, regulating the assessment of the energy efficiency of operated buildings and structures, including those that have undergone thermal modernization, the publication details the methodology for conducting scientific research of operated large-panel residential buildings of old standard series that have undergone thermal modernization of facades using the "light plaster system" technology.

An analysis of the results of the performed complex of scientific studies allowed us to conclude: after 12...15 years of operation, the indicator of the specific energy consumption for heating and ventilation during the heating period of large-panel residential buildings, the facades of which are insulated using the "light plaster system" technology, is almost similar to the values of the energy efficiency of buildings before the facades were insulated.

The results of the visual field studies of the technical condition of the facade insulation and their thermal imaging examination do not allow us to provide a scientific justification for the reasons that, in such a short period of operation, lead the "light plaster insulation system" into a non-working condition. To solve this problem, it is planned to carry out laboratory studies of samples of building materials taken during the opening of insulated facades of operated buildings.

Keywords: expanded clay wall panels, "light plaster system", energy efficiency, warm air exfiltration, thermal imaging examination.

Введение

Жилищный сектор Республики Беларусь потребляет более 35 % энергоресурсов страны, что составляет около 12,5 млн тонн условного топлива [1]. Почти 75 % от потребляемых энергоресурсов приходится на жилые здания, построенные до 1993 года, когда нормируемые показатели теплозащиты оболочки зданий были значительно (почти в 3 раза) ниже существующих. Основной причиной столь высокого потребления энергоресурсов в жилищном секторе является

крайне низкая энергетическая эффективность таких зданий. Так, показатель удельного потребления тепловой энергии на отопление массово эксплуатируемых сегодня крупнопанельных жилых зданий серий 1-335, 1-335А, 1-464, 1-464А и их модификаций с однослойными наружными керамзитобетонными стеновыми панелями толщиной 300 мм, запроектированных и построенных в Беларуси до 1993 года, достигает 180–220, в отдельных случаях 270 кВт·ч/м² в отопительный период [1].

Следует отметить, что общее количество только зданий серии 1–464, эксплуатируемых не менее 40 лет, на сегодня составляет более двух тысяч [2]. В связи с постоянным ростом цен на энергоносители на мировом рынке, учитывая, что обеспеченность Беларуси собственными энергоресурсами не превышает 45 % от потребности, проблема повышения энергоэффективности эксплуатируемых панельных домов массовых серий на сегодняшний день является актуальной для нашей Республики.

Как правило, снижение энергопотребления на отопление решается повышением сопротивления теплопередаче фасадов эксплуатируемых зданий, т. е. их утеплением. Основными конструктивно-технологическими решениями утепления фасадов эксплуатируемых крупнопанельных зданий в странах СНГ являются следующие системы: «вентилируемый фасад» и «легкая штукатурная».

В Российской Федерации утепление жилых домов выполняется с применением системы «вентилируемый фасад», которая показала высокую эксплуатационную эффективность технологичность при устройстве [3, 4].

В Беларуси для утепления фасадов жилых зданий массово применяют технологию «легкая штукатурная система» [5, 6]. Основными причинами сдерживающими массовое применение системы «вентилируемый фасад» в Беларуси, являются большой расход на 1 м² утепляемой поверхности металла (дорогостоящая нержавеющей сталь) и отсутствие собственного промышленного производства металлических конструктивных элементов, закрепляемых в стене вертикальных направляющих, несущих телескопических кронштейнов, клеммеров рядовых и др.

Технология устройства системы утепления «легкая штукатурная система» достаточно трудоемкая, так как включает большую номенклатуру ручных операций [7]. В связи с этим стоимость 1 м² поверхности фасада, утепленной по этой технологии, составляет 25...30 долларов. Для снижения стоимости устройства такой системы утепления в качестве теплоизоляции применяют пенополистирольные плиты, стоимость которых почти на 30 % ниже, чем минераловатных плит. С учетом того, что расчетный коэффициент паропроницаемости пенополистирольных плит крайне низок (0,05 мг/(м·ч·Па)), можно предположить, что в процессе длительной эксплуатации крупнопанельных жилых зданий возможно переувлажнение материалов (в первую очередь, утеплителя) конструктивных слоев системы утепления «легкая штукатурная система».

Следует отметить, что результаты научных исследований позволили установить, что сопротивление теплопередаче не утепленных фасадов жилых зданий, выполненных из однослойных керамзитобетонных панелей (применены почти в 90 % всего жилого фонда Беларуси построенного до 1993 года) имеет тенденцию к снижению [1].

Следовательно, учитывая объемы эксплуатируемого жилого фонда крупнопанельных зданий старых типовых серий вопрос повышения энергетической эффективности панельных домов массовых серий на сегодняшний день является актуальной проблемой.

С учетом изложенного, основная цель настоящей публикации: базируясь на результатах выполненного комплекса научных исследований получить фактические данные по расходу тепловой энергии на отопление квартир за отопительный период для жилых крупнопанельных зданий старых типовых серий претерпевших тепловую модернизацию по технологии «легкая штукатурная система»; выполнить анализ динамики изменения фактической их энергетической эффективности в процессе эксплуатации; сформулировать предложения, позволяющие обеспечить показатели удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период классу не ниже С (С_n) [8].

Методика выполнения научных исследований

Для решения поставленной цели был выполнен комплекс научных исследований, включающий фактический удельный расход энергии на отопление за отопительный период, техническое состояние конструктивных элементов утепленных фасадов и выявление критических дефектов теплоизоляции утепленных фасадов с использованием тепловизионной съемки.

1 Исследования фактической энергетической эффективности жилых зданий

Объекты исследований – три пятиэтажных крупнопанельных жилых здания старых типовых серий, претерпевших тепловую модернизацию фасадов.

Объект «А»: г. Брест, ул. Московская, 328/1 – 1969 год постройки (тепловая модернизация проведена в 2006 году).

Объект «Б»: г. Брест, ул. Кривошеина, 9/1 – 1969 год постройки (тепловая модернизация проведена в 2009 году).

Объект «В»: г. Брест, ул. Советской Конституции, 7 – 1970 год постройки (тепловая модернизация проведена в 2013 году).

Для получения достоверных результатов научных исследований (исключения влияния коэффициента компактности) объектами исследований являются восьмисекционные крупнопанельные жилые здания старых типовых серий, фасады которых утеплены по технологии «легкая штукатурная система». Для снижения стоимости 1 м² утепляемой поверхности слой теплоизоляции выполнен из пенополистирольных плит.

Удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период определялся расчетом по следующему математическому выражению:

$$q = Q/S, \quad (1)$$

где Q – показатель потребления тепловой энергии на отопление в кВт·ч/м² в отопительный период;

S – жилая площадь здания в м².

Численные значения Q были взяты за 18 отопительных сезонов из «Журналов учета расхода тепловой энергии» соответствующих домов, находящихся на обслуживании ЖЭС 5 КУП «ЖГЭУ г. Бреста». Жилая площадь зданий (S) взята из технического паспорта объектов исследования.

Анализ результатов выполненных научных исследований позволяет сделать следующие выводы.

После утепления фасадов показатель удельного потребления тепловой энергии на отопление во всех обследуемых зданиях снизился от 35 % до 60 %. Однако уже после 8...10 лет эксплуатации наблюдается устойчивая тенденция к снижению энергоэффективности. Выполненный по результатам исследований сравнительный анализ динамики изменения значений удельного потребления тепловой энергии на отопление утепленных по технологии «легкая штукатурная система» крупнопанельных жилых зданий не позволяет построить инженерную модель прогнозирования снижения сопротивления теплопередаче утепленных фасадов в процессе эксплуатации.

Основными причинами этого являются:

- отсутствие проектно-сметной и исполнительной документации (акты на скрытые работы, сертификаты качества на примененные стройматериалы), что не позволяет объективно оценить соответствие фактического качества выполненных работ нормативным требованиям;

- различия микроклимата (температура и влажность воздуха) в жилых помещениях в зависимости от восприятия комфортности проживания квартиросъемщиками.

Для наглядности динамику снижения теплотехнических характеристик утепленных фасадов крупнопанельных жилых зданий в процессе эксплуатации проиллюстрируем на результатах выполненных научных исследований.

Объект «А». До утепления удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период был более 175 кВт·ч/м².

После шести лет эксплуатации после утепления фасада этот показатель стабилизировался и на протяжении последующих восьми лет был около 110 кВт·ч/м². Однако уже в 2021 году удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период составил около 145 кВт·ч/м², т. е. эффект утепления был уже полностью исчерпан.

Объект «Б». До утепления удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период был более 155 кВт·ч/м².

По истечении четырех лет эксплуатации после утепления фасада этот показатель стабилизировался и на протяжении последующих семи лет не превышал 96 кВт·ч/м². Однако уже в 2021 году удель-

ный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период был около $123 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, т. е. эффект утепления был уже полностью исчерпан.

Объект «В». До утепления удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период был около $170 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$.

По истечении двух лет эксплуатации после утепления фасада этот показатель стабилизировался и на протяжении последующих шести лет не превышал $105 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Однако уже в 2022 году удельный расход энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период был около $133 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, т. е. эффект утепления был уже полностью исчерпан.

Для выявления причин, приводящих к снижению энергоэффективности утепленных крупнопанельных жилых зданий старых типовых серий, эксплуатируемых длительное время, были выполнены натурные исследования технического состояния конструктивных элементов фасадов.

2 Результаты натурных исследований технического состояния конструктивных элементов утепленных фасадов

Натурные исследования утепленных фасадов состояли из их визуального обследования (рисунки 1–3).

По результатам выполненных исследований можно сделать следующее заключение. Дефектов (разрушение конструктивных элементов «легкой штукатурной системы»), которые могут привести к снижению теплотехнических характеристик фасадов в целом не выявлено.

Результаты выполненных натурных исследований позволяют сделать следующие выводы. Общее техническое состояние системы утепления «легкая штукатурная система» характеризуется категорией II – работоспособное (удовлетворительное) состояние. Дефекты, способные оказать негативное влияние на эксплуатационные характеристики панелей в целом, не обнаружены. Из выявленных дефектов можно отметить ухудшение эстетического вида фасадов из-за роста плесневого грибка в местах постоянного увлажнения (рисунок 2). Этот дефект обусловлен неровностями поверхности фасада и выходом теплого влажного воздуха при проветривании помещений при открывании окон. Такой дефект устраняется проведением косметического ремонта фасадов.

Для получения достоверной информации о фактической эксплуатационной эффективности (выявление критических дефектов теплоизоляции ограждающей конструкции) утепленных фасадов крупнопанельных жилых зданий была выполнена тепловизионная съемка.



Рисунок 1 – Фрагмент главного фасада здания по адресу Кривошеина 9/1



Рисунок 2 – Фрагмент дворового фасада здания по адресу Кривошеина 9/1



Рисунок 3 – Фрагмент дворового фасада здания по адресу Московская 328/1

3 Тепловизионная съемка

Объектом исследования являлся панельный пятиэтажный многоквартирный жилой дом 1969 года строительства, расположенный по адресу: Республика Беларусь, г. Брест, ул. Кривошеина, д. 9/1.

Таблица 1 – Выделение изображений (рисунок 3)

Измеряемые объекты	Темп., °С	Коэффициент теплового излучения	Отраж. темп., °С
Область измерений, Vs4	–2,8	0,92	–10,0
Область измерений, Vs5	–2,9	0,92	–10,0
Область измерений, Vs6	–2,6	0,92	–10,0
Область измерений, Vs7	–2,8	0,92	–10,0
Область измерений, Vs8	–0,8	0,92	–10,0

Обследование проведено 25 декабря 2023 года с 10:30 до 11:00. Температура наружного воздуха –10,0...–9,4 °С. Коэффициент теплового излучения здания 0,90.

Тепловизионная съемка проводилась в отсутствии осадков и ветра тепловизором Flir One pro с чувствительностью 0,1 °С.

Ограждающая конструкция стен – керамзитобетонные панели, утепленные пенополистирольными плитами.

Исследования (см. рисунок 4 и таблицу 1) показали, что значительная эксфильтрация теплого воздуха из внутренних помещений жилого дома происходит только через заполнения наружных световых проемов и по всей наружной поверхности цокольной стеновой панели (участок Vs8). Средняя температура наружной поверхности фасадов в пределах жилых этажей составляет –2,78 °С при температуре наружного воздуха –10 °С. Участки со значимым отклонением фактической температуры наружной поверхности стен от средней температуры (отклонение не превышает 0,2 °С) не выявлены. Это свидетельствует об отсутствии критических дефектов теплоизоляции ограждающей конструкции на рассматриваемом участке.



Рисунок 4 – Тепловизионное обследование участка главного фасада дома

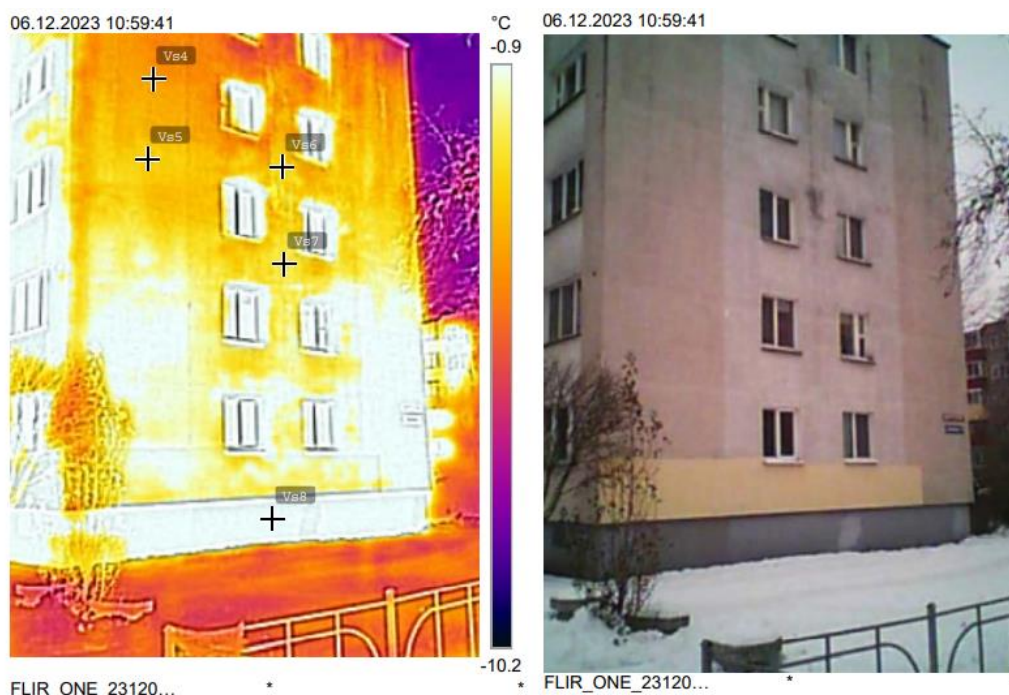


Рисунок 5 – Тепловизионное обследование участка торцевого фасада дома

Таблица 2 – Выделение изображений (рисунок 5)

Измеряемые объекты	Темп., °C	Коэффициент теплового излучения	Отраж. темп., °C
Область измерений, Vs4	-1,7	0,92	-9,4
Область измерений, Vs5	-1,4	0,92	-9,4
Область измерений, Vs6	-1,4	0,92	-9,4
Область измерений, Vs7	-1,2	0,92	-9,4
Область измерений, Vs8	-0,6	0,92	-9,4

Исследования (см. рисунок 5 и таблица 2) позволили установить, что значительная эксфильтрация теплого воздуха из внутренних помещений жилого дома имеет место только через заполнения наружных световых проемов и по всей наружной поверхности цокольной стеновой панели (участок Vs8). Средняя температура наружной поверхности стен в пределах жилых этажей составляет $-1,4^{\circ}\text{C}$ при температуре наружного воздуха $-9,4^{\circ}\text{C}$. При этом отсутствуют участки со значимым отклонением фактической температуры наружной поверхности стен от средней температуры (отклонение не превышает $0,3^{\circ}\text{C}$). Это свидетельствует об отсутствии критических дефектов теплоизоляции ограждающей конструкции на рассматриваемом участке.



Рисунок 6 – Тепловизионное обследование участка дворового фасада дома

Таблица 3 – Выделение изображений (рисунок 6)

Измеряемые объекты	Темп., °C	Коэффициент теплового излучения	Отраж. темп., °C
Область измерений, Vs4	–1,2	0,92	–9,9
Область измерений, Vs5	–1,0	0,92	–9,9
Область измерений, Vs6	–0,6	0,92	–9,9
Область измерений, Vs7	–0,9	0,92	–9,9
Область измерений, Vs8	0,6	0,92	–9,9

Исследования (см. рисунок 6 и таблицу 3), показали, что значительная эксфильтрация теплого воздуха из внутренних помещений жилого дома происходит только через заполнения наружных световых проемов и по всей наружной поверхности цокольной стеновой панели (участок Vs8). Средняя температура наружной поверхности стен в пределах жилых этажей составляет $-0,92^{\circ}\text{C}$ при температуре наружного воздуха $-9,9^{\circ}\text{C}$. При этом участки со значимым отклонением фактической температуры наружной поверхности стен от средней температуры (отклонение не превышает $0,3^{\circ}\text{C}$) отсутствуют. Это свидетельствует об отсутствии критических дефектов теплоизоляции ограждающей конструкции на рассматриваемом участке.

Предварительные выводы

Анализ результатов выполненного комплекса научных исследований энергетической эффективности эксплуатируемых крупнопанельных жилых зданий старых типовых серий, прошедших тепловую модернизацию фасадов по технологии «легкая штукатурная система» позволяет сделать следующие выводы.

1. Показатель удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период во всех обследуемых зданиях после утепления фасадов снизился почти в 1,6 раза и составил $96-110 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$.

Согласно введенному в 2020 году СН 2.04.02-2020 [8], такие значения по расходу тепловой энергии на отопление квартир за отопительный период после выполненной тепловой модернизации фасадов зданий соответствуют классам низкий (E_h) и очень низкий (F_h).

2. После 8...10 лет эксплуатации наблюдается устойчивая динамика снижения энергоэффективности, а через 12...15 лет показатель удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период зданий, претерпевших тепловую модернизацию, достиг значений до утепления фасадов.

Заключение

Объяснением столь низкой энергетической эффективности жилых зданий с утепленными фасадами является следующее.

Согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь № 720 от 14 декабря 2020 года, минимальная норма температуры в квартире в отопительный сезон составляет:

жилые комнаты – не ниже $+18^{\circ}\text{C}$, в угловых комнатах – не ниже $+20^{\circ}\text{C}$. При этом максимальная температура в квартире – до $+24^{\circ}\text{C}$. Таким образом, диапазон допустимой температуры в квартире достаточно широк (для жилых комнат составляет 6°C).

Согласно [9] разность температур даже на 3°C дает дополнительно снижение энергоэффективности жилого здания более чем на 15 % в год.

Исходя из всего изложенного выше, для обеспечения эффективного потребления тепловой энергии на отопление жилых зданий, подключенных к сетям центрального отопления, рекомендуется применять комплексный подход: утепление фасадов и применение систем автоматического регулирования температуры теплоносителя и поквартирного учета тепла.

Как показывает практика [10–14], на сегодня применение систем автоматического регулирования температуры теплоносителя поквартирного учета тепла является одним из наиболее эффективных технических решений, позволяющих рационально потреблять энергию на отопление. Наличие в Республике Беларусь всего необходимого оборудования для устройства поквартирного учета и регулирования тепла, простота его установки, невысокая стоимость позволя-

ют обеспечить комфортную для жильцов температуру в каждой комнате на любой период времени.

Для обеспечения эксплуатационной эффективности системы утепления «легкая штукатурная система» с применением пенополистирольные плит необходимо проводить мониторинг технического состояния (влажности) материалов конструктивных слоев системы утепления [20] и в теплое время года выполнять мероприятия по просушиванию материала утеплителя.

Список цитированных источников

1. Пилипенко, В. М. Анализ рынка жилищного строительства / В. М. Пилипенко // ПРООН/ГЭФ. Проект № 00077154 «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь». – 2018. – URL: <https://energoeffect.gov.by/effbuild/download/429.pdf> (дата обращения: 24.02.2025).
2. Серия 1-464А. Панельные жилые дома. PhotoBuildings. Архитектурная фотобаза. – URL: <https://photobuildings.com/projects/163> (дата обращения: 12.03.2025).
3. Попова, Е. Е. Повышение энергоэффективности домов с помощью навесных вентилируемых фасадов / Е. Е. Попова, А. Е. Городилова, М. И. Куколев // Ростовский научный журнал. – 2017. – № 12. – С. 367–378.
4. Типовая технологическая карта на монтаж вентилируемого фасада с облицовкой композитными панелями. ТК-23: ФГУП ЦПП. – Москва, 2006. – 22 с.
5. Пилипенко, В. М. К вопросу создания и эксплуатации легких штукатурных систем зданий / В. М. Пилипенко, В. Н. Черноиван, Н. В. Черноиван // Архитектура и строительство. – 2012. – № 1. – С. 62–67.
6. Черноиван, В. Н. Тепловая реабилитация фасадов эксплуатируемых панельных зданий / В. Н. Черноиван, Н. В. Черноиван // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 6. – С. 511–516.
7. Технологическая карта на устройство легкой штукатурной системы «Илмакс»: ТК-100289293.1211-2020. – Введ. 03.08.2020. – Минск: ОАО «Стройкомплекс», 2020. – 174 с.
8. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность: СН 2.04.02-2020. – Введ. 30.03.21. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 21 с.
9. Пилипенко, В. М. Проектирование и опыт эксплуатации энергоэффективных жилых домов с учетом типовых схем теплоснабжения / В. М. Пилипенко // ПРООН/ГЭФ. Проект № 00077154 «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь». – 2015. – URL: <https://energoeffect.gov.by/effbuild/download/283.pdf> (дата обращения: 12.03.2025).
10. Борисов, К. Б. Классы энергетической эффективности и капитальный ремонт многоквартирных домов. Часть 1 / К. Б. Борисов // Энергосбережение. – 2020. – № 2. – С. 48–53.
11. Борисов, К. Б. Классы энергетической эффективности и капитальный ремонт многоквартирных домов. Часть 2 / К. Б. Борисов // Энергосбережение. – 2020. – № 3. – С. 58–63.
12. Смирнова, Ю. О. Влияние энергоэффективных мероприятий на теплотехнические и экономические характеристики многоквартирных жилых домов / Ю. О. Смирнова, В. В. Логинова // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 4 (33). – С. 96–101.
13. Прогнозирование экономии денежных средств при энергоэффективном капитальном ремонте многоквартирных домов / Э. В. Сазонов, Р. А. Шепс, А. В. Шашин, О. Е. Фролова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 3 (14). – С. 87–93.
14. Кононова, М. С. Оценка энергосберегающего потенциала жилой застройки на основе анализа теплотехнических паспортов зданий / М. С. Кононова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 10. – С. 105–109.
15. Кононова, М. С. К вопросу оценки экономии теплоты при автоматическом регулировании температуры теплоносителя в системах централизованного теплоснабжения / М. С. Кононова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – № 7. – С. 46–52.

16. Виктор, Д. А. Анализ влияния теплоэнергетических характеристик на энергоэффективность жилых зданий на примере серии 1-335 / Д. А. Виктор // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 3. – С. 9–15.
17. Лукинов, В. А. Реконструкция зданий старой застройки с применением инновационных энергосберегающих технологий / В. А. Лукинов, Л. А. Манухина, Ю. А. Малова // Недвижимость: экономика, управление. – 2016. – № 2. – С. 32–35.
18. Корниенко, С. В. Повышение энергоэффективности зданий за счет совершенствования методов расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций : специальность 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Корниенко Сергей Валерьевич. – Волгоград, 2018. – 380 с.
19. Малыгина, О. А. Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов во влажном состоянии / О. А. Малыгина, В. В. Засько // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2024. – № 5. – С. 5–14.
20. Пастушков, П. П. Натурные исследования теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов в составе фасадных систем / П. П. Пастушков, Н. В. Павленко, А. В. Жеребцов // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 12. – С. 56–60.
9. Pilipenko, V. M. Proektirovanie i opyt ekspluatatsii energoeffektivnyh zhilyh domov s uchetom tipovyh skhem teplosnabzheniya / V. M. Pilipenko // PROON/GEF. Proekt № 00077154 «Povyshenie energeticheskoy effektivnosti zhilyh zdaniy v Respublike Belarus». – 2015. – URL: <https://energoeffect.gov.by/effbuild/download/283.pdf> (data obrashcheniya: 12.03.2025).
10. Borisov, K. B. Klassy energeticheskoy effektivnosti i kapital'nyy remont mnogokvartirnyh domov. CHast' 1 / K. B. Borisov // Energoberezhenie. – 2020. – № 2. – С. 48–53.
11. Borisov, K. B. Klassy energeticheskoy effektivnosti i kapital'nyy remont mnogokvartirnyh domov. CHast' 2 / K. B. Borisov // Energoberezhenie. – 2020. – № 3. – С. 58–63.
12. Smirnova, YU. O. Vliyaniye energoeffektivnyh meropriyatij na teplotekhnicheskie i ekonomicheskie harakteristiki mnogokvartirnyh zhilyh domov / YU. O. Smirnova, V. V. Loginova // Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. – 2017. – № 4 (33). – С. 96–101.
13. Prognozirovaniye ekonomii denezhnyh sredstv pri energoeffektivnom kapital'nom remonte mnogokvartirnyh domov / E. V. Sazonov, R. A. Sheps, A. V. SHashin, O. E. Frolova // ZHilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura. – 2020. – № 3 (14). – С. 87–93.
14. Kononova, M. S. Ocenka energoberegayushchego potentsiala zhiloy zastroyki na osnove analiza teploenergeticheskikh pasportov zdaniy / M. S. Kononova // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Stroitel'stvo. – 2009. – № 10. – С. 105–109.
15. Kononova, M. S. K voprosu ocenki ekonomii teploty pri avtomaticheskoy regulirovaniy temperatury teplonositelya v sistemah centralizovannogo teplosnabzheniya / M. S. Kononova // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Stroitel'stvo. – 2016. – № 7. – С. 46–52.
16. Viktorov, D. A. Analiz vliyaniya teploenergeticheskikh harakteristik na energoeffektivnost' zhilyh zdaniy na primere serii 1-335 / D. A. Viktorov // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturo-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2013. – № 3. – С. 9–15.
17. Lukinov, V. A. Rekonstrukciya zdaniy staroy zastroyki s primeneniem innovatsionnyh energoberegayushchih tekhnologiy / V. A. Lukinov, L. A. Manuhina, YU. A. Malova // Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie. – 2016. – № 2. – С. 32–35.
18. Kornienko, S. V. Povyshenie energoeffektivnosti zdaniy za schet sovershenstvovaniya metodov rascheta temperaturno-vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchih konstrukcij : special'nost' 05.23.03 «Teplosnabzhenie, ventilyaciya, kondicionirovanie vozduha, gazosnabzhenie i osveshchenie» : dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Kornienko Sergej Valer'evich. – Volgograd, 2018. – 380 s.
19. Malygina, O. A. Eksperimental'noye opredeleniye koefficienta teploprovodnosti teploizolyatsionnyh materialov vo vlazhnom sostoyanii / O. A. Malygina, V. V. Zas'ko // Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury. – 2024. – № 5. – С. 5–14.
20. Pastushkov, P. P. Naturnye issledovaniya teplofizicheskikh harakteristik teploizolyatsionnyh materialov v sostave fasadnyh sistem / P. P. Pastushkov, N. V. Pavlenko, A. V. Zherebcov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2019. – № 12. – С. 56–60.

References

Материал поступил 28.03.2025, одобрен 06.04.2025, принят к публикации 07.04.2025