

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2025, Том 17, № 5 / 2025, Vol. 17, Iss. 5 <https://esj.today/issue-5-2025.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/65SAVN525.pdf>

2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)

2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Пастушков, П. П. Исследование влияния ветровых воздействий на фасадные системы с применением различных теплоизоляционных материалов / П. П. Пастушков, Н. В. Павленко, Я. Э. Бегич, А. С. Кубенин // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/65SAVN525.pdf>.

For citation:

Pastushkov P.P., Pavlenko N.V., Begic Ja.E., Kubenin A.S. Research on the impact of wind on facade systems using various thermal insulation materials. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(5): 65SAVN525. Available at: <https://esj.today/PDF/65SAVN525.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 697.12; 691.17

Пастушков Павел Павлович

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук», Москва, Россия
Ведущий научный сотрудник

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия
Научно-исследовательский институт механики

Кандидат технических наук

E-mail: pavel-one@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=690327

Павленко Наталья Викторовна

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук», Москва, Россия
Старший научный сотрудник

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия
Научно-исследовательский институт механики

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: nv-pavlenko@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=556985

Бегич Ясмин Эндинович

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Инженер

E-mail: yasmin1010@yandex.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=847411

Кубенин Александр Сергеевич

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук», Москва, Россия
Ведущий научный сотрудник

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия
Научно-исследовательский институт механики

Кандидат технических наук

E-mail: kube-n@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=935093

Исследование влияния ветровых воздействий на фасадные системы с применением различных теплоизоляционных материалов

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных в климатической камере, направленных на изучение влияния эксплуатационных факторов на теплозащитные характеристики различных вариантов фасадных систем, в том числе системы фасадные теплоизоляционные композиционные и навесные фасадные системы. В ходе экспериментов были смоделированы условия эксплуатации, заключающиеся в перепаде температур по разные стороны от ограждающей конструкции и воздействии ветровых нагрузок. Актуальность проведенных исследований обусловлена рядом факторов. Это необходимость повышения энергоэффективности зданий, а теплозащитные характеристики фасадов — один из главных резервов достижения этой цели: через ограждающие конструкции теряется до 35–45 % тепловой энергии здания. Так же это климатические вызовы, по данным Росгидромета средняя скорость ветра в крупных городах РФ за последние 10 лет выросла на 15–20 %, число дней с порывами свыше 15 м/с увеличилось на 25 %. Результаты проведенных экспериментальных исследований показали значительное снижение термического сопротивления и сопротивления теплопередаче конструкции под воздействием ветровых нагрузок в различной степени, в зависимости от типа конструкции. Полученные данные подчеркивают необходимость учета всех эксплуатационных факторов при проектировании современных ограждающих конструкций зданий и после проведения дополнительных исследований внесение изменений в нормативные документы. Исследования в данном направлении закроют пробел между нормативными требованиями и реальными условиями эксплуатации, обеспечивая научно обоснованный подход к проектированию энергоэффективных зданий.

Ключевые слова: фасадные системы; условия эксплуатации; ветровые нагрузки; теплозащитные характеристики

Введение

В последние годы в строительной науке и практике отмечается повышенное внимание к изучению фактических теплозащитных характеристик ограждающих конструкций зданий в условиях реальной эксплуатации [1–3]. Этот интерес обусловлен необходимостью выявления причин систематических расхождений между фактическими показателями тепловой защиты и расчетными значениями, принятыми на стадии проектирования в соответствии с действующими нормативными требованиями. Особую актуальность подобные исследования приобретают в свете акцентирования внимания на энергоэффективности и необходимости точного прогнозирования реальных показателей энергопотребления современных зданий и сооружений [4–7].

Среди множества факторов, влияющих на эксплуатационные характеристики ограждающих конструкций и энергоэффективность в том числе, отдельного внимания заслуживают ветровые воздействия. Эти динамические нагрузки способны существенно изменять теплофизические свойства строительных систем, что в свою очередь приводит к отклонениям фактических показателей теплозащиты от проектных значений. При этом степень такого влияния может варьироваться в зависимости от типа конструктивного решения, используемых материалов и особенностей их монтажа [8–10].

Для детальной проработки данного вопроса был организован комплекс экспериментальных исследований, проведенных в условиях специализированной климатической камеры. В ходе экспериментов изучались пять различных вариантов стеновых конструкций, относящихся к

двум основным группам современных строительных систем. Первую группу составили каркасные конструкции на основе деревянного каркаса с различными вариантами теплоизоляционных слоев. Вторая группа включала фасадные системы на основе кладки из газобетонных блоков, в том числе конструкции с навесными фасадными системами и системы фасадные теплоизоляционные композиционные. В рамках публикации представлены результаты экспериментальных исследований навесных фасадных систем и систем фасадных теплоизоляционных композиционных.

Основное внимание в исследованиях уделялось определению ключевых теплотехнических характеристик, таких как термическое сопротивление и приведенное сопротивление теплопередаче, при моделировании различных эксплуатационных условий. Особенностью экспериментальной методики стала возможность воспроизведения ветровых нагрузок различной интенсивности в условиях климатической камеры, что позволило получить данные о влиянии ветра на теплофизические характеристики конструкции в условиях, приближенных к условиям реальной эксплуатации.

Полученные результаты представляют значительный интерес как для дальнейшего развития теории теплофизики строительных конструкций, так и для практики проектирования энергоэффективных зданий.

Описание испытываемых конструкций

Для проведения работ по определению теплотехнических характеристик конструкций, в том числе с учётом влияния ветровых воздействий, на всю ширину климатической камеры были последовательно возведены и испытаны 2 конструктивных варианта наружных стен, размером 3,5×3 м каждый.

Конструкция 1

Ограждающая конструкция на основе кладки из газобетонных блоков толщиной 200 мм, и навесной фасадной системой с вентилируемой прослойкой (НФС) на подоснове SIMPLEX с двумя слоями утеплителя из минераловатных плит толщиной 100 мм и 50 мм и облицовкой из плит керамогранита. Принципиальная схема испытываемой конструкции приведена на рисунке 1

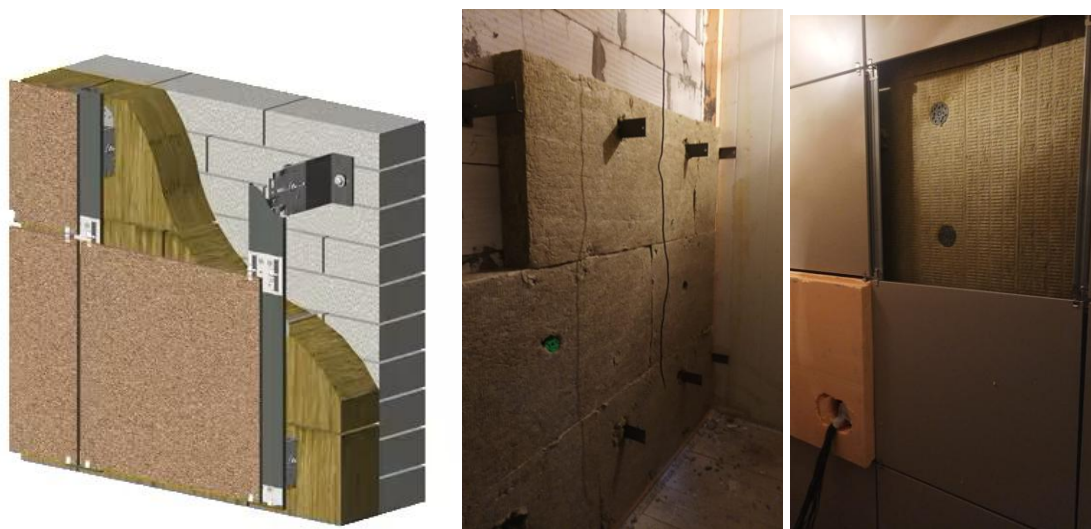


Рисунок 1. Принципиальная схема и фотографии испытываемой конструкции 1 (разработано автором, фото автора)

Конструкция 2

Ограждающая конструкция на основе кладки из газобетонных блоков толщиной 200 мм, и системой фасадной композиционной теплоизоляционной (СФТК) с утеплителем из плит экструдированного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС ФАСАД толщиной 100 мм и финишным штукатурным слоем БОЛАРС. Принципиальная схема испытуемой конструкции приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 Принципиальная схема и фотографии испытуемой конструкции 2 (разработано автором, фото автора)

Методика проведения исследований

Экспериментальная часть работы по исследованию в климатической камере теплотехнических показателей с учётом влияния ветровых воздействий на теплозащитные характеристики различных вариантов ограждающих конструкций зданий была проведена на каждой из испытуемых конструкций в несколько этапов согласно требованиям ГОСТ Р 54853-2011 «Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера».

Термическое сопротивление каждой испытываемой конструкции, R_T , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, определялось по формуле:

$$R_T(x) = \frac{\tau_B(x) - \tau_H(x)}{q(x)}, \quad (1)$$

где:

x — время, мин;

$\tau_B(x)$ — температура внутренней поверхности конструкции, °C ;

$\tau_H(x)$ — температура наружной поверхности конструкции, °C ;

$q(x)$ — плотность теплового потока через конструкцию, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Сопротивление теплопередаче каждой испытываемой конструкции, R_o , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, определялось по формуле:

$$R_o(x) = \frac{t_B(x) - t_H(x)}{q_{cp}(x)}, \quad (2)$$

где:

x — время, мин;

$t_B(x)$ — температура воздуха в «теплой» зоне климат. камеры, °С;

$t_H(x)$ — температура воздуха в «холодной» зоне климат. камеры, °С;

$q_{cp}(x)$ — средняя плотность теплового потока через конструкцию, Вт/м².

После проведения стандартизированных измерений теплотехнических характеристик испытуемой конструкции по ГОСТ Р 54853 (продолжительностью 7 суток), в «холодной» зоне климатической камеры была активирована работа вентиляционного оборудования, что позволило создать имитацию однородного ветрового воздействия на конструкцию и при этом провести измерения теплотехнических показателей в течении 5 суток.

Результаты экспериментального исследования конструкций

Результаты измерений теплозащитных характеристик для конструкции 1 без дополнительных воздействий

Измерения проводились при средней температуре воздуха в холодной зоне климатической камеры, t_H , °С, в процессе испытаний, минус 27°С и средней температуре воздуха в помещении, t_B , °С 30°С.

На рисунке 3 представлены зафиксированные во время проведения эксперимента без дополнительных воздействий термические сопротивления в различных зонах конструкции 1 и сопротивление теплопередаче данного варианта конструкции.

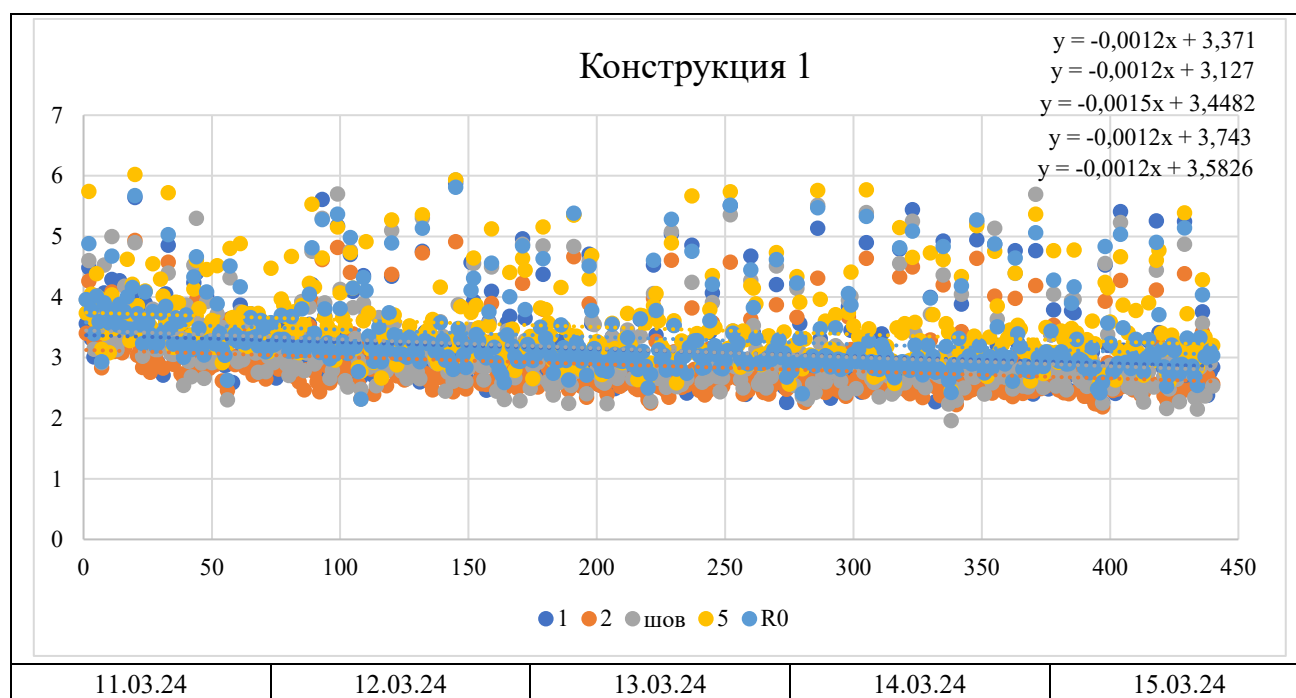


Рисунок 3. Результаты измерений теплозащитных характеристик для конструкции 1 без дополнительных воздействий (разработано автором)

Результаты определения термического сопротивления и сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции 1 на основе кладки из газобетонных блоков с утеплением минераловатными плитами 100 и 50 мм и облицовочных панелей, применяемых для НФС представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты определения теплофизических характеристик конструкции 1 (без дополнительных воздействий)

Термическое сопротивление по кладке, $R_t, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	Сопротивление теплопередаче, $R_o, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$
3,42	3,58

Составлено автором

Результаты определения теплозащитных характеристик при интенсивном движении воздуха в «холодной» зоне климатической камеры для конструкции 1

Измерения проводились с 15 по 19 марта 2024 г. Средняя температура воздуха в холодной зоне климатической камеры, $t_n, \text{°C}$, в процессе испытаний составляла минус 26°С. Средняя температура воздуха в помещении, $t_b, \text{°C}$, составляла 29°С.

На рисунке 4 представлены зафиксированные во время проведения эксперимента при интенсивном движении воздуха в «холодной» зоне климатической камеры термические сопротивления в различных зонах конструкции 1 и сопротивление теплопередаче данного варианта конструкции.

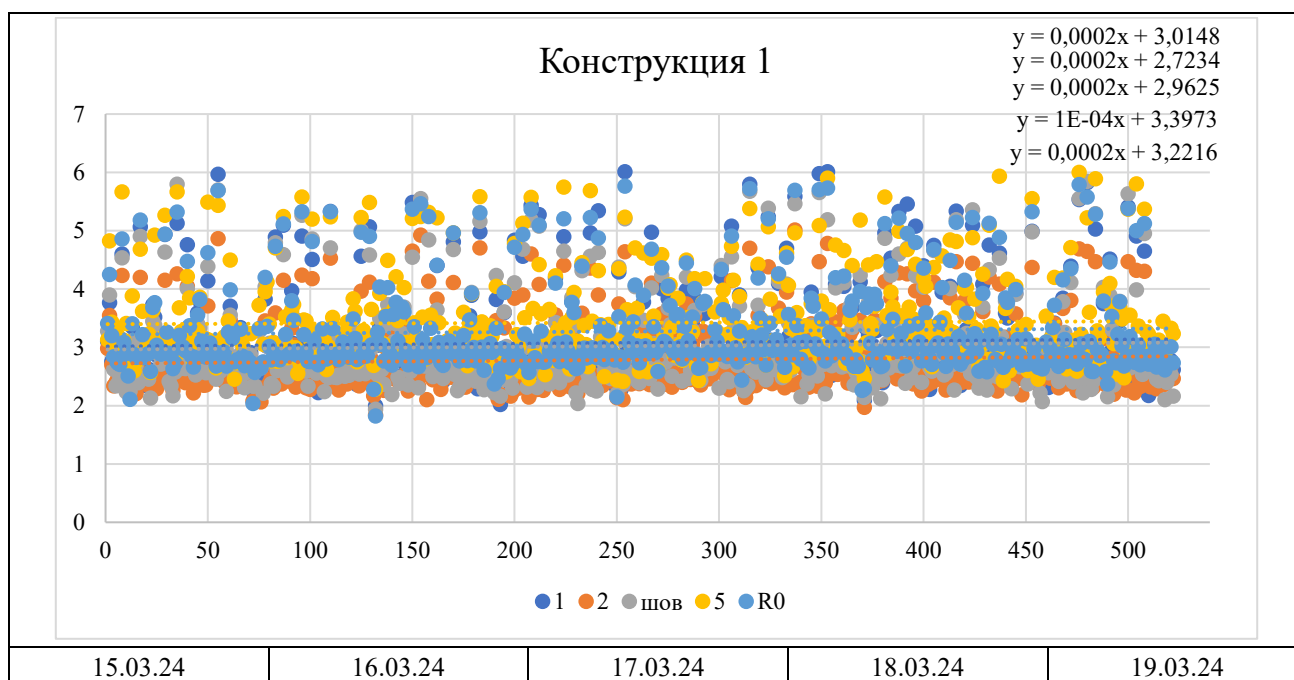


Рисунок 4. Результаты измерений теплозащитных характеристик для конструкции 1 при ветровых воздействиях (разработано автором)

Результаты определения термического сопротивления и сопротивления теплопередаче (интенсивном движении воздуха в «холодной» зоне климатической камеры) ограждающей конструкции 1 на основе кладки из газобетонных блоков с утеплением минераловатными плитами 100 и 50 мм и НФС представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты определения теплозащитных характеристик конструкции 1 (при интенсивном движении воздуха в «холодной» зоне климатической камеры)

Термическое сопротивление по кладке, $R_t, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	Сопротивление теплопередаче, $R_o, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$
3,02	3,22

Составлено автором

Результаты измерений теплозащитных характеристик для конструкции 2 без дополнительных воздействий

Измерения проводились с 26 марта по 01 апреля 2024 г. Средняя температура воздуха в холодной зоне климатической камеры, t_n , °С, в процессе испытаний составляла минус 27°С. Средняя температура воздуха в помещении, t_b , °С, составляла 29°С.

На графике рисунка 5 представлены зафиксированные во время проведения эксперимента термические сопротивления в различных зонах конструкции 2 и сопротивление теплопередаче данного варианта конструкции.

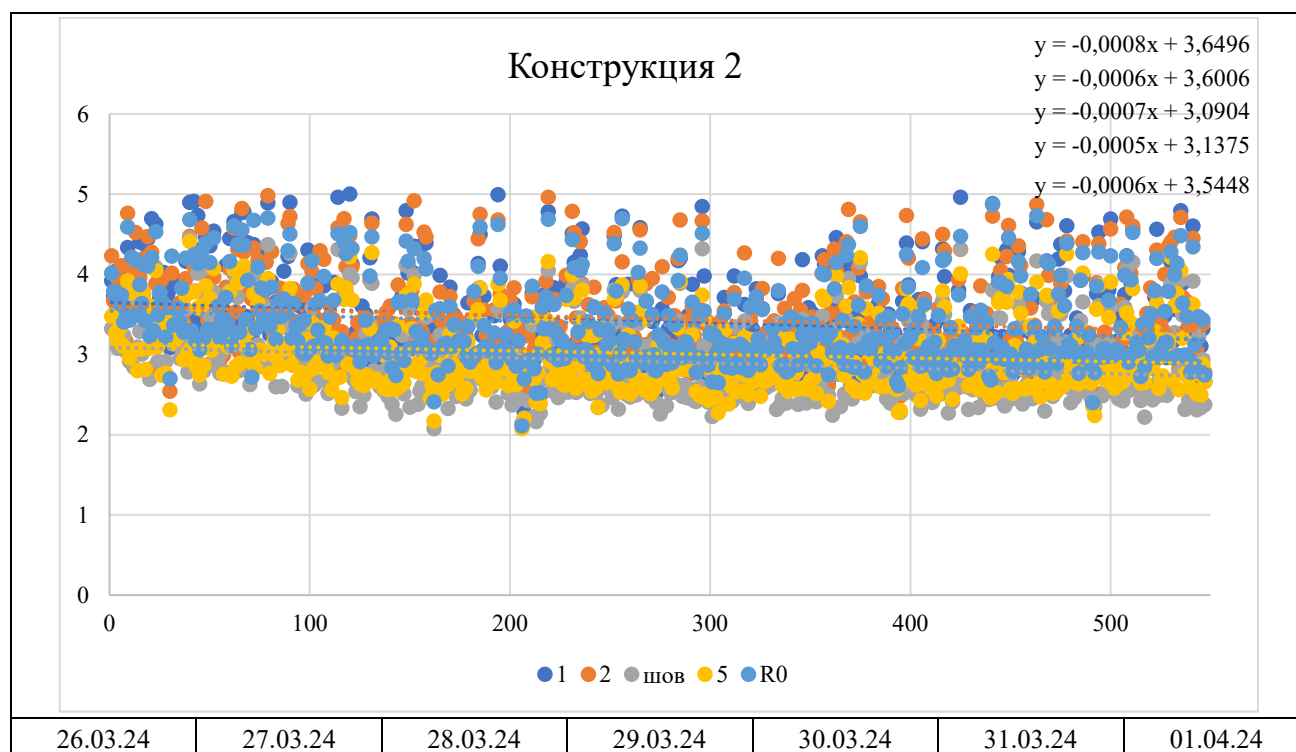


Рисунок 5. Результаты измерений теплозащитных характеристик для конструкции 2 без дополнительных воздействий (разработано автором)

Результаты определения термического сопротивления и сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции 2 на основе кладки из газобетонных блоков с утеплением плитами ПЕНОПЛЭКС ФАСАД толщиной 100 мм и тонким штукатурным слоем представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты определения теплофизических характеристик конструкции 2 (без дополнительных воздействий)

Термическое сопротивление по глади, $R_T, \text{м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$	Сопротивление теплопередаче, $R_0, \text{м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$
3,37	3,54

Составлено автором

Результаты определения теплозащитных характеристик при интенсивном движении воздуха в «холодной» зоне климатической камеры для конструкции 2

Измерения проводились с 01 по 04 апреля 2024 г. Средняя температура воздуха в холодной зоне климатической камеры, t_n , °С, в процессе испытаний составляла минус 27°С.

Средняя температура воздуха в помещении, t_b , °С, составляла 29°С. На рисунке 6 представлены зафиксированные во время проведения эксперимента термические сопротивления в различных зонах при интенсивном движении воздуха в «холодной» зоне климатической камеры конструкции 2 и сопротивление теплопередаче данного варианта конструкции при интенсивном движении воздуха в «холодной» зоне камеры.

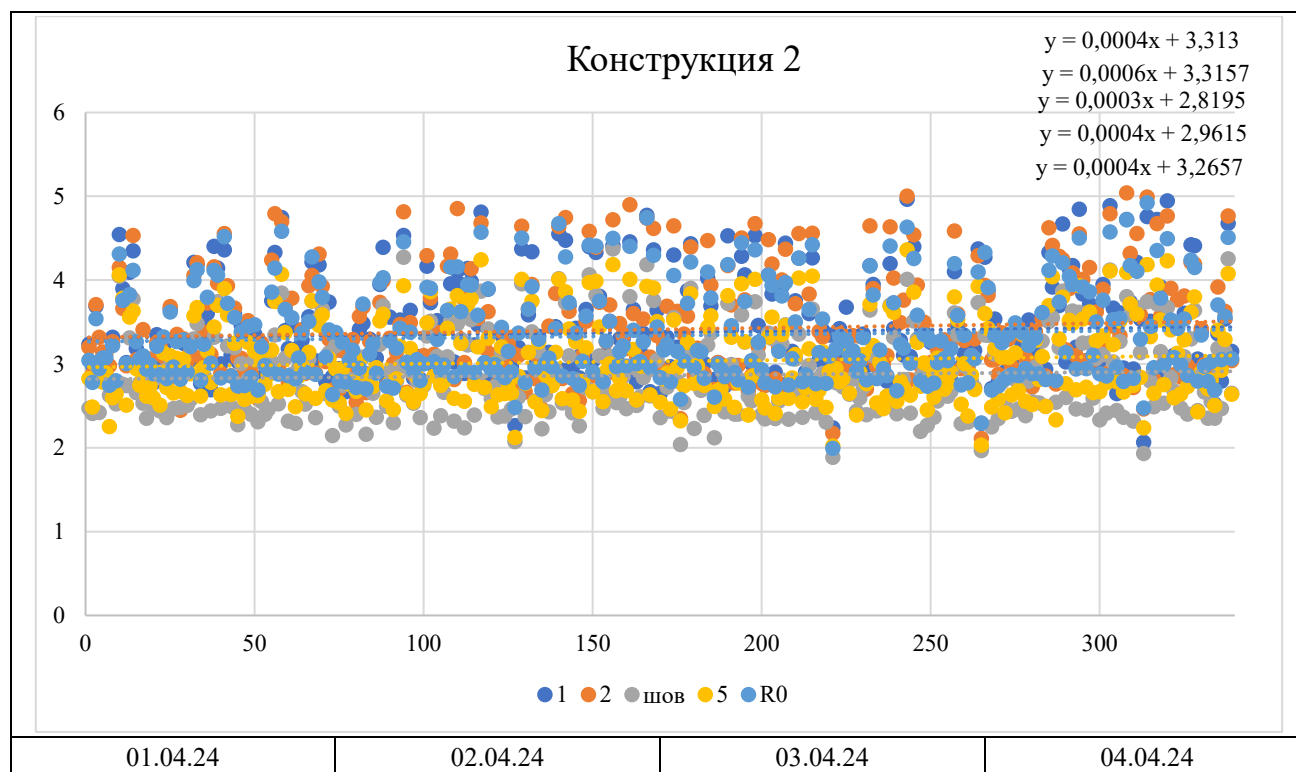


Рисунок 6 Результаты измерений теплозащитных характеристик для конструкции 2 при ветровых воздействиях (разработано автором)

Результаты определения термического сопротивления и сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции 2 при интенсивном движении воздуха в «холодной» зоне климатической камеры на основе кладки из газобетонных блоков с утеплением плитами ПЕНОПЛЭКС ФАСАД толщиной 100 мм и тонким штукатурным слоем представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты определения теплозащитных характеристик конструкции 2 (при интенсивном движении воздуха в «холодной» зоне климатической камеры)

Термическое сопротивление по глади, R_T , м ² ·°С/Вт	Сопротивление теплопередаче, R_0 , м ² ·°С/Вт
3,05	3,26

Составлено автором

Заключение

В ходе испытаний, проведенных в климатической камере НИИСФ РААСН, были получены количественные данные о влиянии эксплуатационных факторов, заключающихся в повышенных ветровых нагрузках, на теплозащитные характеристики наружных ограждающих конструкций.

Результаты испытаний продемонстрировали снижение теплотехнических показателей конструкций под воздействием внешних факторов. В стандартных условиях (без ветрового

воздействия) конструкция 1 показала термическое сопротивление на уровне $3,42 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и сопротивление теплопередаче $3,58 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, конструкция 2 продемонстрировала значения $3,37$ и $3,54 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ соответственно. При моделировании ветровых нагрузок с использованием вентилятора, установленного в «холодной» зоне камеры, было зафиксировано заметное снижение теплозащитных свойств. Для конструкции 1 термическое сопротивление снизилось до $3,02 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, а сопротивление теплопередаче уменьшилось до $3,22 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, для конструкции 2 термическое сопротивление составило $3,05 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, а сопротивление теплопередаче — $3,26 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Полученные данные свидетельствуют о том, что ветровые воздействия оказывают значительное влияние на теплозащитные характеристики ограждающих конструкций, приводя к их заметному снижению. Степень этого влияния может быть количественно оценена в рассматриваемых случаях снижение показателей термического сопротивления и сопротивления теплопередаче для ограждающей конструкции на основе кладки из газобетонных блоков и навесной фасадной системой с вентилируемой прослойкой (НФС) с двумя слоями утеплителя из минераловатных плит толщиной 100 мм и 50 мм и облицовкой из плит керамогранита составляет 12 % и 10 % соответственно, для ограждающей конструкции на основе кладки из газобетонных блоков и системой фасадной композиционной теплоизоляционной (СФТК) с утеплителем из плит экструдированного пенополистирола и финишным штукатурным слоем составляет 10 % и 8 % соответственно. Однако следует признать, что моделируемые ветровые нагрузки не в полной мере соответствуют таким нагрузкам при реальной эксплуатации конструкций, но полученные результаты позволяют однозначно установить факт снижения термического сопротивления и сопротивления теплопередаче при ветровых воздействиях на конструкцию, что является заделом для дальнейших исследований в данной области. Эти результаты подчеркивают необходимость учета всех эксплуатационных факторов при проектировании современных энергоэффективных ограждающих конструкций зданий и отражения этих факторов и степень их влияния в нормативных документах после проведения дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пастушков П.П., Павленко Н.В., Жеребцов А.В. Натурные исследования теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов в составе фасадных систем // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 12. С. 56–60.
2. Пастушков П.П. О проблемах определения теплопроводности строительных материалов // Строительные материалы. 2019. № 4. С. 57–64.
3. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Удельная теплозащитная характеристика общественных зданий и ее влияние на удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию // В сборнике: Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Материалы XXIII Международной научной конференции. Волгоград, 2025. С. 3–12.
4. Гагарин В.Г. О показателях потребления энергии // В сборнике: Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Материалы XX Международной научной конференции. Волгоград, 2022. С. 24–30.
5. Xu H., Yu S., Chen Y. Experimental and theoretical modelling of fluctuating internal wind pressures on a ventilated double skin facade of a building // Energy and Buildings. 2024. Т. 323. С. 114795.

6. Кашуркин А.Ю., Козлов В.В. Влияние нестационарности климатических условий на точность измерения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 12 (780). С. 52–61.
7. Amani-Beni M. и др. Effects of facades positioned at different angles on building thermal performance and flow behaviors // *Frontiers of Architectural Research*. 2025. Т. 14, № 1. С. 267–281.
8. Sierra-Pérez J., Boschmonart-Rives J., Gabarrell X. Environmental assessment of façadebuilding systems and thermal insulation materials for different climatic conditions // *Journal of Cleaner Production*. 2016. Т. 113. С. 102–113.
9. Soudian S., Berardi U. Impact of future climate scenarios on thermal performance and resilience of building façades: Canadian climate case study // *Building and Environment*. 2025. Т. 267. С. 112245.
10. Бегич Я.Э., Турнаев Е.Е., Еникеев А.И. Эксплуатационные свойства штукатурных фасадов с теплоизоляционным слоем из минеральной ваты и экструзионного пенополистирола // В сборнике: Неделя науки инженерно-строительного института — 2025. Сборник материалов Всероссийской конференции. Санкт-Петербург, 2025. С. 418–420.

Pastushkov Pavel Pavlovich

Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia
Moscow State University named after M.V. Lomonosova, Moscow, Russia
Research Institute of Mechanical Engineering
E-mail: pavel-one@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=690327

Pavlenko Natalya Viktorovna

Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia
Moscow State University named after M.V. Lomonosova, Moscow, Russia
Research Institute of Mechanical Engineering
E-mail: nv-pavlenko@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=556985

Begic Jasmin Endinovic

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia
E-mail: yasmin1010@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=847411

Kubenin Aleksandr Sergeevich

Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia
Moscow State University named after M.V. Lomonosova, Moscow, Russia
Research Institute of Mechanical Engineering
E-mail: kube-n@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=935093

Research on the impact of wind on façade systems using various thermal insulation materials

Abstract. The article presents the results of experimental studies conducted in a climate chamber aimed at studying the influence of operational factors on the thermal protection characteristics of various types of facade systems, including facade thermal insulation composite systems and curtain facade systems. During the experiments, the operating conditions were simulated, which included temperature differences on either side of the building structure and the impact of wind loads. The relevance of these studies is driven by several factors. This is a necessity to improve the energy efficiency of buildings, and the thermal protection properties of facades are one of the main ways to achieve this goal: up to 35–45 % of a building's thermal energy is lost through its envelope. Additionally, there are climate challenges, as the average wind speed in major Russian cities has increased by 15–20 % over the past 10 years, and the number of days with wind gusts exceeding 15 m/s has increased by 25 %. The results of the conducted experimental studies showed a significant decrease in the thermal resistance and heat transfer resistance of the structure under the influence of wind loads, to varying degrees, depending on the type of structure. The obtained data emphasize the need to take into account all operational factors when designing modern building envelopes, and to make changes to regulatory documents after conducting additional studies. Research in this area will bridge the gap between regulatory requirements and actual operating conditions, providing a scientifically sound approach to the design of energy-efficient buildings.

Keywords: facade systems; operating conditions; wind loads; and thermal protection characteristics