

УДК 697.112

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАРУЖНЫХ СТЕН РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ ПОСТРОЙКИ 60-80-Х ГОДОВ XX ВЕКА

¹Макаров А.Н., ¹Муреев П.Н., ²Макаров Р.А.

¹Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола,
e-mail: MakarovAN@volgatech.net;

²Ивановский государственный политехнический университет,
Иваново, e-mail: morrich92@gmail.com

Настоящая статья посвящена проблемам теплопереноса в наружных стенах зданий, построенных в период 60–80-х годов XX века. Рассматриваются вопросы реконструкции наружных стен и не затрагиваются сложные математические расчеты, связанные с аналитическими или численными методами определения теплофизических характеристик, хотя в проводимых натурных и лабораторных исследованиях использовались научные труды А.В. Лыкова, С.В. Федосова, К.Ф. Фокина, посвященные вопросам физического анализа аналитических решений задач теплопереноса в наружных стенах зданий. В статье приводятся результаты натурных экспериментальных исследований наружных стен зданий и решается задача обеспечения санитарно-гигиенических и теплофизических комфортных условий в помещениях общежития студентов ПГТУ путем регулирования температуры внутренней поверхности наружных стен при помощи нагревательного кабеля.

Ключевые слова: реконструкция наружных стен зданий, сопротивление теплопередаче, плесень, точка росы, конденсат

THE SOLUTION TO THE PROBLEM OF INNER SURFACE TEMPERATURE REGULATION IN EXTERNAL WALLS OF RECONSTRUCTED BUILDINGS IN THE 1960–1980S

¹Makarov A.N., ¹Mureev P.N., ²Makarov R.A.

¹Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: MakarovAN@volgatech.net;

²Ivanovo State Polytechnical University, Ivanovo, e-mail: morrich92@gmail.com

The article is devoted to the problems of heat and mass transfer in external walls of buildings built in the period of the 1960–1980s. The problems of reconstruction of exterior walls are considered, without addressing complex mathematical calculations related to analytical or numerical methods for the determination of thermal characteristics, although field and laboratory studies used the work of A.V. Lykov, S.V. Fedosov, and K.F. Fokine, dedicated to the physical analysis of analytical solutions to problems of heat and mass transfer in external walls of buildings. The article presents the results of full-scale experimental studies of the exterior walls of buildings, and solves the problem of ensuring occupational health and thermal comfort in VSUT students' dorm rooms by adjusting the inner surface of the outer wall temperature with a heating cable.

Keywords: reconstruction of the exterior walls, heat resistance, mold, dew point, condensation

Обеспечение населения комфортным жильем является актуальной проблемой сегодняшнего времени. В соответствии с законодательством РФ все граждане имеют право на благоприятную среду обитания. Обеспечение комфорта – это в первую очередь соблюдение требований Сводов правил (СП) и санитарно-гигиенических требований к жилым помещениям.

В связи с увеличением физического износа, всё больше жилых зданий г. Йошкар-Олы, построенных в 60–80-х годах XX века, нуждаются в реконструкции и реставрации. Толщина кирпичных наружных стен зданий, построенных в 60–80-х годах XX века, по действующим СНиП того времени для республики Марий Эл, составляла 640 мм. До изменения СНиП 23-02-2003

«Тепловая защита зданий» требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен г. Йошкар-Олы составляло $R_{тр} = 1,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$. В результате этого наружные ограждающие конструкции выполнялись в основном однослойными (без использования эффективных утеплителей) кирпичными и железобетонными с высоким коэффициентом теплопроводности.

В настоящее время сопротивление теплопередаче таких однослойных стен меньше требуемого значения, установленного действующим сводом правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (в 2012 году требуемое сопротивление теплопередаче увеличилось в 2,24 раза по сравнению с 2003 годом по данным для г. Йошкар-Олы).

Объектом исследования стало девятиэтажное общежитие, построенное в г. Йошкар-Оле в 1975 году. В результате проведения обследования жилого общежития обнаружено, что в угловых комнатах (с двумя наружными стенами) имеются обширные образования плесени на стенах, потолке и оконных откосах.

Плесневые грибы являются провоцирующим фактором серьезных заболеваний человека [1, 3]. Основными условиями для появления плесени являются: повышенная влажность, углекислый газ;

благоприятная температура (идеальной для образования плесени считается среда с температурой воздуха 20–32 °С). Стоит отметить, что нормально функционирующая вентиляция способна устранять такие проблемы, как повышенное содержание углекислого газа и водяного пара. В данном случае имеет место выпадение сконденсированной влаги на внутренней поверхности наружных стен, которая образуется, если температура внутренней поверхности наружной стены ниже температуры точки росы [7].

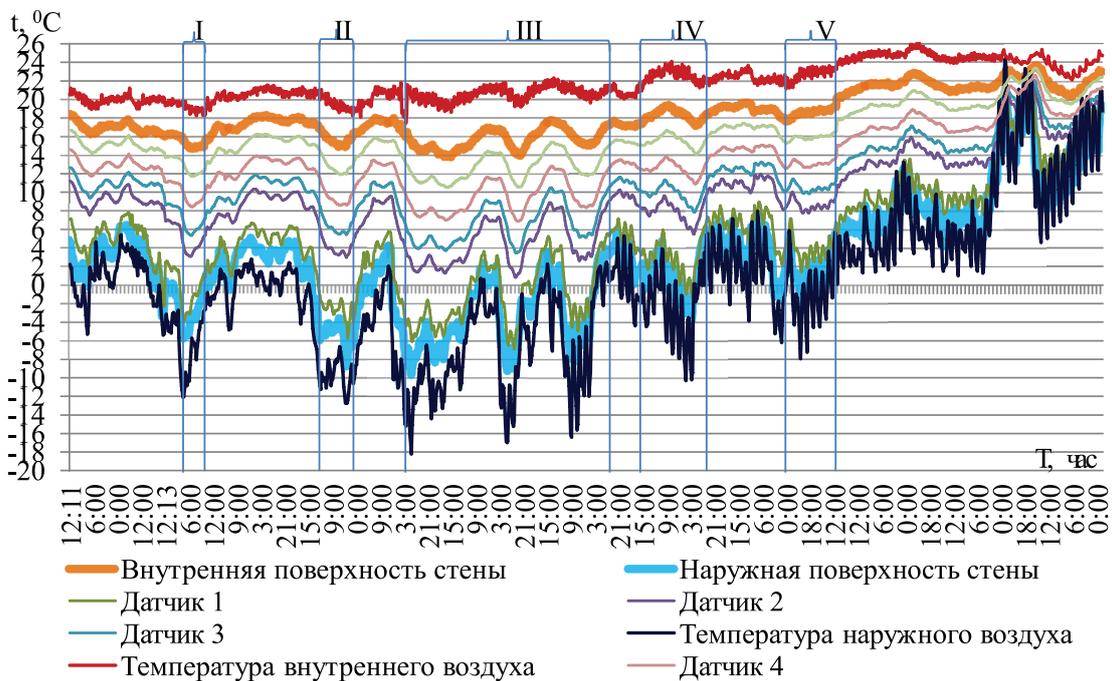


Рис. 1. График распределения температурных полей в период времени с 21.11.14 по 31.03.15. I–V – временные интервалы с $\Delta t \geq 4^\circ\text{C}$



Рис. 2. Изменение значения сопротивления теплопередаче наружной стены за отопительный период 2014–2015 гг.

Также вследствие низкого сопротивления теплопередаче наружных стен общежития температурный перепад между внутренней поверхностью стенового ограждения и воздухом внутри помещения не удовлетворяет нормам СНиП «Тепловая защита зданий» от 23.02.2003: 4°C для жилых зданий (рис. 1). Период, когда перепад $\Delta t \geq 4^{\circ}\text{C}$, за отопительный сезон 2014–2015 гг. составил 68 дней (интервалы I–V, рис. 1). Увлажнение материала стен оказывает влияние на значение фактического сопротивления теплопередаче. Значения фактического сопротивления теплопередаче определялись по методикам [5, 6]. В течение всего отопительного периода значения фактического сопротивления теплопередаче были ниже расчётного значения, определённого по методикам действующего СП (рис. 2).

Несмотря на это, стоит отметить, что в настоящее время общежитие не нуждается в капитальном ремонте. Все помещения (кроме угловых) находятся в нормальном состоянии.

Существует решение проблемы невыпадения конденсата на внутренней поверхности наружных стен путем утепления ограждающей конструкции [2, 8]. Утепление возможно как изнутри, так и снаружи. Существующие методы внутреннего утепления имеют ряд недостатков: выделение вредных веществ из материала утеплителя внутрь помещения; возникновение точки росы на внутренней поверхности теплоизоляционного материала; увеличение количества циклов замораживания-оттаивания наружного слоя ограждения и, как следствие, уменьшение его долговечности.

На сегодняшний день наиболее индустриальными способами наружного утепления ограждающих конструкций являются навесные вентилируемые фасадные системы и системы штукатурных фасадов (так называемый «мокрый фасад»). Достоинством «мокрого фасада» является относительно низкая стоимость, недостатком – нарушение требования ненакопления парообразной влаги в ограждении за счет нарушения пропускной способности, т.к. не соблюдается условие расположения отдельных слоёв в многослойной конструкции в порядке возрастания пропускной способности от внутренней поверхности ограждения к наружной [4]:

$$G_{\text{в}} < G_1 < G_2 < \dots < G_{\text{н}}, \quad (1)$$

где $G_{\text{в}}$, G_i , $G_{\text{н}}$ – паропроницаемость внутреннего, i -го и наружного слоёв соответственно.

Анализ тепловых потерь показал, что в результате утепления наружных стен общежития по системе «мокрый фасад» разница потерь тепловой энергии до и по-

сле реконструкции через наружные стены за отопительный период (1 год) составит 438,56 Гкал ($1,84 \cdot 10^6$ МДж).

Таким образом, реконструкция экономически нецелесообразна, т.к. реконструкция подвергается всё здание, а проблемными являются лишь угловые комнаты, что приводит к необоснованным затратам и большому сроку окупаемости проекта (расчет срока окупаемости представлен ниже).

В качестве альтернативы для решения проблемы невыпадения конденсата и образования плесени на внутренней поверхности наружных стен разработана конструкция стенового ограждения с регулируемой температурой внутренней поверхности (рис. 3).

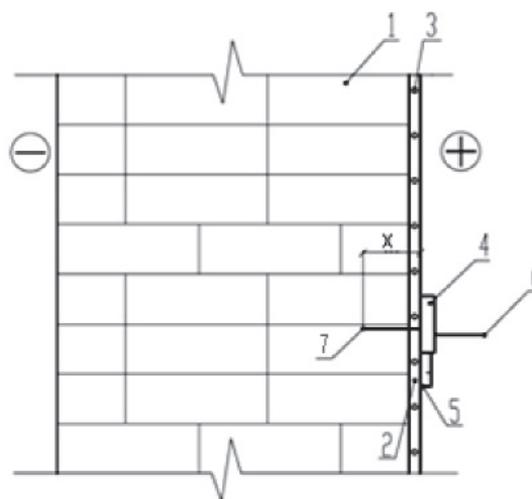


Рис. 3. Схема разработанной конструкции стены с регулируемой температурой внутренней поверхности:

- 1 – реконструируемая наружная стена;
- 2 – штукатурный слой;
- 3 – нагревательный кабель;
- 4 – терморегулятор;
- 5 – датчик температуры поверхности;
- 6 – датчик температуры и влажности внутреннего воздуха;
- 7 – датчик температуры на расстоянии x в толще стены

Основной идеей является внедрение электрического нагревательного элемента между внутренней поверхностью ограждения и отделочным слоем.

Данный тип ограждающей конструкции подойдёт для зданий, строений, сооружений, которые в соответствии с законодательством Российской Федерации отнесены к объектам культурного наследия (памятникам архитектуры), для которых не требуется приведение сопротивления теплопередаче к нормативному значению (согласно СП50.13330.2012), но необходимо соблюдение санитарно-гигиенических норм для комфортного и безопасного пребывания людей.



Рис. 4. Нагревательный кабель на внутренней поверхности стены

Включение кабеля позволит поддерживать температуру внутренней поверхности стенового ограждения выше температуры точки росы, а также снизит нормируемый температурный перепад между внутренней поверхностью стенового ограждения и воздухом внутри помещения.

Предложенный вариант конструкции апробирован и показал свою эффективность (рис. 4). Об этом свидетельствует график колебания температуры во времени, построенный по данным, собранным за две недели работы экспериментальной установки, представленный на рис. 5.

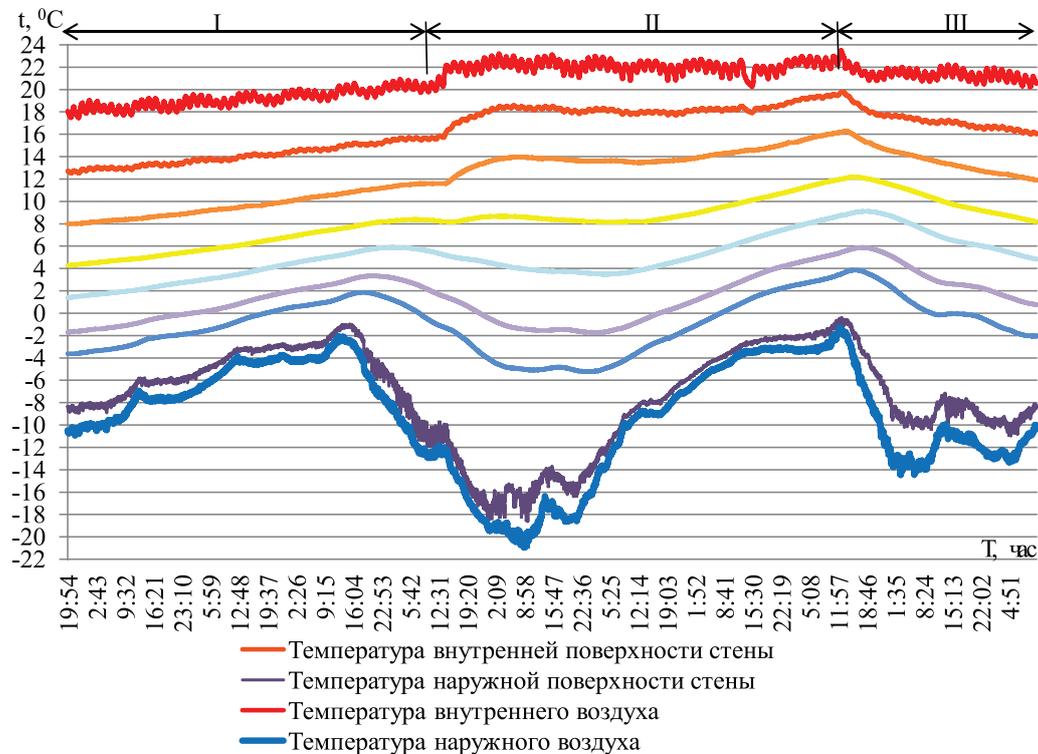


Рис. 5. Влияние работы нагревательного элемента на значения температур на поверхности и в толще стеновой конструкции:
I, III – интервалы с выключенным нагревательным элементом;
II – интервал с включенным нагревательным элементом

Интегральные показатели эффективности проекта

Наименование показателя	Значение	
	Предложенная конструкция	«Мокрый фасад»
Единовременные затраты на внедрение	2847266 руб.	15842593 руб.
Дисконтированный период окупаемости	2 года 4 месяца	16 лет 6 месяцев
Чистый дисконтированный доход	4140,6 тыс. руб.	-6386,1 тыс. руб.
Средняя норма рентабельности	12,11 %	–
Индекс доходности	1,45	–

Перепад между температурой внутреннего воздуха и внутренней поверхностью стены до включения нагревательного элемента составлял 3–5°C (интервал I, рис. 5), после включения установки перепад сократился до 2–3°C (II интервал, рис. 5), после отключения – перепад температур принимал значения до 4–5°C (интервал III, рис. 5). Стоит отметить, что локальный минимум величины температуры наружного воздуха пришелся именно на период с включенным нагревательным элементом, что позволило избежать резкого снижения температуры поверхности ограждения. При этом для 3, 4 и 5 слоёв толщи ограждения характерно падение температуры при резком снижении температуры наружного воздуха, а для 1 и 2 слоёв возрастание температуры, связанное с работой нагревательного элемента. Но при выключенной установке (интервалы I и III, рис. 5) изменение температуры всех слоёв толщи ограждения (включая температуру внутренней поверхности) аналогично поведению температуры наружного воздуха.

Сравнение разработанной конструкции и системы «мокрого фасада» показало, что предложенная конструкция экономически целесообразнее (таблица).

Для оценки экономической эффективности применения разработанной конструкции стенового ограждения учитывались расходы на ремонт комнат, который требуется производить каждый год из-за последствий выпадения конденсата (образование плесени на внутренних поверхностях ограждающих конструкций).

На основании полученных данных можно сделать вывод: новая конструкция стенового ограждения с регулируемой температурой внутренней поверхности решит проблему невыпадения конденсата и, как следствие, образования плесени на внутренней поверхности ограждающей конструкции и позволит соблюсти нормируемый температурный перепад между внутренней поверхностью наружного ограждения и воздухом внутри помещения, таким образом обеспечив комфортные условия для проживания людей в общежитии. Анализируемый проект внедрения конструкции наружной стены с регулируемой температурой внутренней поверхности является не только необходимым, но и эффективным с принятием во внимание целей его реализации.

Список литературы

1. Бержец В.М., Хлгатян С.В., Коренева Е.А. и др. Изучение распространенности сенсibilизации к плесневым грибам у жителей Москвы и Московской области // Иммунопатология, аллергология, инфектология. – 2012. – № 3. – С. 18–22.
2. Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е. Повышение теплозащитных характеристик строительных ограждающих конструкций зданий и сооружений культурного и исторического наследия // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 3. – С. 52–55.
3. Губернский Ю.Д., Беляева Н.Н., Калинина Н.В. и др. К вопросу распространения и гигиенического нормирования грибкового загрязнения воздушной среды жилых и общественных зданий // Гигиена и санитария. – 2013. – № 5. – С. 98–104.
4. Куприянов В.Н., Сафин И.Ш. Проектирование ограждающих конструкций с учетом диффузии и конденсации паробразной влаги // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 1 (15). – С. 93–103.
5. Макаров Р.А., Муреев П.Н., Макаров А.Н. Определение поправки к термическому сопротивлению при квазистационарном режиме теплопередачи в наружных стенах, выполненных из кирпича // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19427>.
6. Макаров Р.А., Муреев П.Н., Макаров А.Н. Определение фактического сопротивления теплопередаче наружных стен, выполненных из кирпича, зданий постройки 60–80-х годов XX // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–18. – С. 3960–3965.
7. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / под ред. Ю.А. Табуншикова, В.Г. Гагарина. – 5-е изд., пересмотр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
8. Якубов С.А. Прогрессивные технологии утепления для российского ЖКХ // Промышленный электрообогрев и электроотопление. – 2013. – № 1. – С. 52–55.

References

1. Berzhec V.M., Hlgatjan S.V., Koreneva E.A. i dr. Izuchenie rasprostranennosti sensibilizacii k plesnevym gribam u zhitel'ej Moskvy i Moskovskoj oblasti // Immunopatologija, allergologija, infektologija. 2012. no. 3. pp. 18–22.
2. Vytcikov Ju.S., Saparjov M.E. Povyshenie teplozashitnyh karakteristik stroitelnyh ogradzdajushihh konstrukcij zdaniij i sooruzhenij kulturnogo i istoricheskogo nasledija // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. 2014. no. 3. pp. 52–55.
3. Gubernskij Ju.D., Beljaeva N.N., Kalinina N.V. i dr. K voprosu rasprostraneniya i gigienicheskogo normirovaniya gribovogo zagrijazneniya vozduшной sredi zhilyh i obshchestvennyh zdaniij // Gigiena i sanitarija. 2013. no. 5. pp. 98–104.
4. Kuprijanov V.N., Safin I.Sh. Proektirovanie ogradzdajushihh konstrukcij s uchetom diffuzii i kondensacii parobraznoj vlagi // Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2011. no. 1 (15). pp. 93–103.
5. Makarov R.A., Mureev P.N., Makarov A.N. Opredelenie popravki k termicheskomu soprotivleniju pri kvazistacionarnom rezhime teploperedachi v naruzhnyh stenah, vypolnennyh iz kirpicha // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. no. 1–1. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19427>.
6. Makarov R.A., Mureev P.N., Makarov A.N. Opredelenie fakticheskogo soprotivlenija teploperedache naruzhnyh sten, vypolnennyh iz kirpicha, zdaniij postrojki 60–80-h godov HH // Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 2–18. pp. 3960–3965.
7. Fokin K.F. Stroitel'naja teplo tehnika ogradzdajushihh chastej zdaniij / pod red. Ju.A. Tabunshhikova, V.G. Gagarina. 5-e izd., peresmotr. M.: AVOK-PRESS, 2006. 256 p.
8. Jakubov S.A. Progressivnyje tehnologii utepleniya dlja rossijskogo ZhKH // Promyshlennyj jelektroobogrev i jelektrootoplenie. 2013. no. 1. pp. 52–55.