



Комплексная оценка энергоэффективности и тепловой защиты зданий

С.В. Корниенко¹

ФГБОУ ВПО Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 400074, Россия, Волгоград, Академическая, 1.

| Информация о статье | История | Ключевые слова |
|------------------------------|---|---|
| УДК 699.86 Научная статья | Подана в редакцию 17 сентября 2014 Принята 28 октября 2014 | визуально-инструментальное обследование, тепловизионный контроль, численное моделирование, температурная аномалия, дефект |

АННОТАЦИЯ

Повышение энергоэффективности и тепловой защиты зданий является актуальной проблемой строительства и архитектуры. Решение этой проблемы необходимо на всех этапах жизненного цикла здания — при проведении инженерных изысканий, проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, капитальном ремонте, сносе.

В данной статье выполнена комплексная оценка энергоэффективности и тепловой защиты многоквартирных жилых зданий, включающая в себя: визуально-инструментальное обследование, тепловизионный контроль качества тепловой защиты, расчетную оценку теплотехнических показателей ограждающих конструкций. На основании визуально-инструментального обследования объекта, использованного для общей оценки его теплотехнического состояния, сделан вывод о несоответствии указанного объекта требованиям проектной и нормативной документации. Тепловизионный контроль качества тепловой защиты объекта позволил обоснованно выявить многочисленные дефекты теплоизоляционной оболочки зданий и наметить пути для их устранения. Расчетная оценка теплотехнических показателей ограждающих конструкций на основе численного моделирования процесса теплопередачи позволила обоснованно разработать предложения по повышению тепловой защиты элементов оболочки зданий. Комплексное применение вышеуказанных методов позволило определить теплотехническое состояние объекта в целом.

Полученные результаты дают возможность оценить ущерб, нанесенный заказчику вследствие произведенных подрядчиком работ ненадлежащего качества, и являются основой для разработки проекта реконструкции зданий с целью приведения их в соответствие с требованиями проектной и нормативной документации. Результаты исследований являются базой для разработки методологических основ проектирования, строительства, эксплуатации и реконструкции энергоэффективных зданий.

Содержание

| | |
|--------------------------|----|
| 1. Введение | 34 |
| 2. Обзор литературы | 34 |
| 3. Постановка задачи | 35 |
| 4. Описание исследования | 35 |
| 5. Заключение | 44 |

¹

Контактный автор:

+ 7 (988) 491 2459, svkorn2009@yandex.ru (Корниенко Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент)

1. Введение

Повышение энергоэффективности и тепловой защиты зданий является актуальной проблемой строительства и архитектуры. Решение этой проблемы необходимо на всех этапах жизненного цикла здания — при проведении инженерных изысканий, проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, капитальном ремонте, сносе. Минимально необходимые требования по тепловой защите и энергоэффективности зданий отражены в Федеральном законе № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Оценка тепловой защиты и энергоэффективности зданий и сооружений может выполняться различными способами. Для определения общего теплотехнического состояния зданий широко применяется визуально-инструментальное обследование. Оно позволяет на основе визуального осмотра и инструментальных измерений в натуральных условиях определить отклонение архитектурно-планировочных, конструктивных и инженерно-технических параметров обследуемого объекта от требований проектной и нормативной документации, а, следовательно, выявить явные дефекты. Скрытые дефекты теплозащитной оболочки здания, обусловленные некачественным выполнением подрядчиком работ в ходе строительства, могут быть выявлены с помощью современных неразрушающих методов тепловизионного контроля. На основе тепловизионного контроля могут быть определены места и размеры участков, подлежащих ремонту для восстановления требуемых теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Для прогноза теплового состояния элементов оболочки зданий огромную роль играют методы численного моделирования процессов теплопередачи с применением современной компьютерной техники. Расчетная оценка теплотехнических показателей ограждающих конструкций на основе численного моделирования позволяет производить калибровку моделей тепловизионного контроля. Результаты численного моделирования позволяют разработать предложения по повышению теплозащитных свойств оболочки зданий.

Каждый из вышеперечисленных методов имеет свою специфику и позволяет определить только часть параметров исследуемого объекта. Для определения теплотехнических свойств объекта в целом необходимо комплексное применение этих методов. С этой точки зрения актуальность данной проблемы очевидна.

2. Обзор литературы

Общие вопросы повышения тепловой защиты и энергоэффективности зданий различного функционального назначения рассмотрены в статьях [1–5]. В статье [6] описана новая методика неразрушающего контроля теплотехнического состояния ограждающих конструкций, которая позволяет в натуральных условиях определить их теплозащитные свойства, влажность и теплопроводность отдельных слоев конструкции. Общие вопросы мониторинга физико-технических характеристик ограждающих конструкций зданий отражены в статье [7]. В статье [8] рассмотрен комбинированный метод термографирования и компьютерного моделирования для исследования и оценки дефектов строительных ограждающих конструкций фасадов зданий, который позволяет повысить точность тепловизионного контроля. В статье [9] приведен новый подход к 3D термографированию для оценки энергетической эффективности зданий, что является совершенствованием традиционных технологий. Статья [10] посвящена повышению качества строительного контроля в процессе возведения зданий с применением термографирования объектов. В статье [11] показана применимость инфракрасной термографии (IRT) для исследования и выявления дефектов в наружной облицовке фасадов зданий из тонких каменных плит. В статье [12] на основе мультидисциплинарного подхода рассмотрен метод прогноза различных «сбоев» при эксплуатации зданий посредством реального анализа потребления энергии. В статье [13] рассмотрена новая технология «HeatWave» для оперативного 3D термографирования с целью энергетического аудита объектов. Статья [14] посвящена использованию инфракрасной термографии для количественной оценки температуры внутреннего воздуха в зданиях. В статье [15] рассмотрены вопросы повышения точности тепловизионных измерений с использованием математической обработки термограмм на основе аппроксимационных приближений точного решения уравнения теплового баланса. В статье [16] рассмотрены основные факторы, влияющие на точность тепловизионных измерений. Результаты теоретических и практических исследований по применению тепловизоров для термографического обследования объектов с акцентом на повышение точности тепловизионных методов обобщены в монографии [17]. В статье [18] приведены результаты комплексной оценки энергоэффективности многоквартирного жилого дома на основе натуральных исследований и расчета теплоэнергетических характеристик и намечены дальнейшие пути энергосбережения. В статье [19] разработана новая экспресс-методика расчетно-экспериментального контроля энергосбережения, на основе которой выполнена оценка эффективности комплекса энергосберегающих мероприятий,

реализованных в эксплуатируемом многоквартирном жилом здании. В статье [20] показана необходимость комплексной оценки теплозащиты оболочки здания на основе натурных измерений и численного моделирования теплового переноса в ограждающих конструкциях. В статье [21] приведены результаты натурных измерений параметров микроклимата жилых помещений, которые использованы для тестирования метода расчета температурно-влажностного режима в трехмерных областях ограждающих конструкций [20]. Обобщение регионального опыта проектирования и строительства энергоэффективных зданий дано в статье [22].

Проведенный обзор литературы позволил сформулировать цель и задачи исследования.

3. Постановка задачи

Целью данной работы является комплексная оценка энергоэффективности и теплозащиты зданий.

Из поставленной цели вытекают следующие задачи:

- провести визуально-инструментальное обследование зданий для общей оценки их теплотехнического состояния;
- на основании имеющихся результатов тепловизионного обследования выполнить контроль качества тепловой защиты зданий с количественной оценкой дефектов в теплозащитной оболочке;
- на основе численного моделирования процесса теплопередачи выполнить расчетную оценку теплотехнических показателей ограждающих конструкций и разработать предложения по повышению тепловой защиты элементов оболочки зданий.

4. Описание исследования

Объект исследования

Объектом исследования являются три однотипных многоквартирных жилых здания в Волгоградской области. Каждое из рассматриваемых зданий имеет 3 этажа, 2 секции, 36 квартир. В зданиях предусмотрены техническое подполье, предназначенное для размещения ИТП и прокладки инженерных коммуникаций, и стропильная крыша (рисунок 1).



Рисунок 1. Общий вид здания

Здания построены в рамках региональной целевой программы по переселению граждан из аварийного и ветхого жилья.

Конструктивная система здания каркасная, из сборных железобетонных колонн и перекрытий. Наружные стены здания ненесущие, из кладки газосиликатных блоков с внутренней штукатуркой и наружной облицовкой кирпичной кладкой. Окна и балконные двери из ПВХ профилей с заполнением двухкамерными стеклопакетами (по проекту). Перекрытие над техническим подпольем и чердачное перекрытие имеют теплоизоляцию. Все здания имеют централизованное теплоснабжение и естественную вентиляцию.

Включение в объект исследования нескольких зданий повышает достоверность исследований и позволяет распространить полученные результаты на более широкую группу зданий, имеющих аналогичное архитектурно-конструктивное решение.

Градусосутки отопительного периода ГСОП = 3925 °С·сут/год.

На момент проведения обследования продолжительность эксплуатации зданий составляет около 5 лет.

Визуально-инструментальное обследование объекта

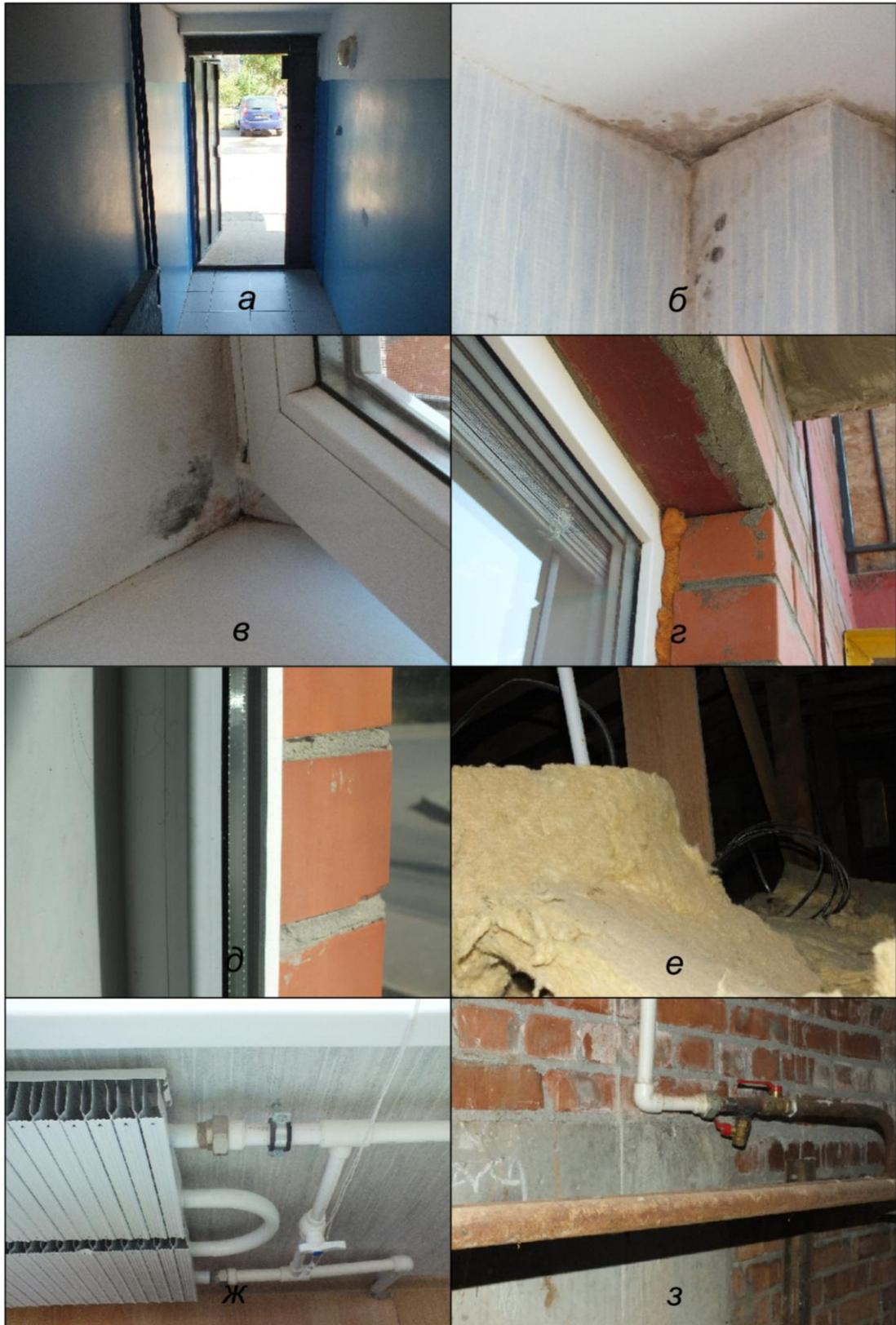
Для общей оценки тепловой защиты выполнено визуально-инструментальное обследование объекта.

Обследование объекта производилось в натуральных условиях путем визуального осмотра и инструментальных измерений с последующей камеральной обработкой полученных результатов. Визуальный осмотр и измерения производились 22.08.2014 в дневное время, при естественном освещении. В ходе обследования производился общий осмотр зданий и отдельных квартир. Выборочно проводились измерения геометрических параметров помещений, строительных ограждающих конструкций и инженерного оборудования. С целью конкретизации результатов при обследовании отдельных конструкций наружных стен применялись вскрышные работы. Для объективной фиксации фактического технического состояния ограждающих конструкций и их узлов применялась обзорная и фрагментарная (детальная) фотосъемка. Камеральная обработка результатов включала анализ фактического технического состояния ограждающих конструкций и помещений. На основе камеральной обработки выполнена оценка соответствия исследуемого объекта требованиям проектной и нормативной документации.

По результатам визуально-инструментального обследования были выявлены следующие теплотехнические дефекты (рисунок 2):

- отсутствуют тамбуры при всех наружных входах в здания (рисунок 2, а), что нарушает требования п. 9.19 СП 54.13330.2011;
- на внутренней поверхности узлов сопряжений наружной стены с колонной и междуэтажным перекрытием (рисунок 2, б) и оконного блока со стеновым проемом (рис. 2, в) имеются следы плесневых грибов (нарушение требований п. 9.18 СП 54.13330.2011);
- монтаж оконных блоков (рисунок 2, г) выполнен с многочисленными нарушениями ГОСТ 30971–2012;
- фактическое заполнение стеновых проемов во всех зданиях выполнено оконными блоками из ПВХ профилей с однокамерными стеклопакетами из обычного стекла (рисунок 2, д), что не соответствует проекту;
- фактически реализованное конструктивное решение наружных стен (внутренняя штукатурка — 10 мм, кладка ячеистобетонных блоков — 250 мм, воздушная прослойка — 50 мм, наружная облицовка кирпичной кладкой — 120 мм) не соответствует проектной документации;
- не обеспечена сплошность теплоизоляции чердачных перекрытий (рисунок 2, е), что нарушает требования п. 5.1 СП 50.13330.2012;
- отопительные приборы и трубы в квартирах (рисунок 2, ж) не соответствуют проектной документации;
- вместо предусмотренных проектом автоматических терморегуляторов на отопительных приборах реализованы ручные регулировочные краны (рисунок 2, ж);

- отсутствует теплоизоляция труб отопления в техническом подполье (рисунок 2, з), что не соответствует СП 60.13330.2012.



**Рисунок 2. Теплотехнические дефекты
(по результатам визуально-инструментального обследования объекта)**

На основании визуально-инструментального обследования сделан вывод о несоответствии указанного объекта требованиям проектной и нормативной документации.

Тепловизионный контроль качества тепловой защиты объекта

Тепловизионный контроль качества теплоизоляции ограждающих конструкций объекта выполнен для выявления дефектов теплозащитной оболочки зданий в натуральных условиях. Он использован для определения мест и размеров участков, подлежащих ремонту, для восстановления требуемых теплозащитных свойств.

Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций основан на дистанционном измерении тепловизором полей температур поверхностей ограждающих конструкций и визуализации температурных аномалий для определения дефектов в виде областей повышенных потерь теплоты, связанных с нарушением теплоизоляции, а также участков внутренней поверхности ограждающих конструкций, температура которых в процессе эксплуатации может опускаться ниже точки росы.

Тепловизионное обследование объекта было выполнено ООО «Инжиниринговая группа «Экспертно-аналитический центр» согласно ГОСТ Р 54852–2011 с учетом положений EN 13187:1999*. Нами выполнена количественная оценка выявленных в ходе обследования температурных аномалий на соответствие требованиям проектной и нормативной документации.

Тепловизионный контроль был проведен 14.03.2014 в дневное время при разности температур внутреннего и наружного воздуха 19...24 °С и режиме теплопередачи, близком к стационарному. На момент обследования все здания отапливались. Обследование производилось при отсутствии ветра, атмосферных осадков, тумана и задымленности. В процессе измерений наружные поверхности оболочки зданий не подвергались воздействию прямого и отраженного солнечного облучения. Тепловизионные измерения выполнены тепловизором марки Guide IR 928+ (зав. № 500597).

В ходе тепловизионного контроля были выполнены следующие виды работ:

- осмотр объекта контроля с помощью тепловизора для формирования общей характеристики объекта и выявления участков, подлежащих дальнейшему термографированию;
- обзорное термографирование наружных поверхностей ограждающих конструкций для выявления температурных аномалий;
- детальное термографирование выделенных участков внутренних поверхностей ограждающих конструкций для уточнения температурных аномалий.

В ходе тепловизионного обследования было получено 139 откалиброванных термограмм, в том числе по наружной поверхности — 19. Общее число обследованных участков ограждающих конструкций — 130, что является достаточным для получения статистически достоверных результатов.

Полученные в ходе тепловизионного обследования термограммы позволили весьма наглядно (рисунок 3) выявить температурные аномалии и дефекты объекта:

- локальные дефекты теплозащитной оболочки зданий (рисунок 3, а);
- дефекты светопрозрачных ограждающих конструкций (рисунок 3, б);
- локальные температурные аномалии в узлах сопряжения наружной стены с колонной и междуэтажным перекрытием (рисунок 3, в);
- дефекты монтажных швов узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам (рисунок 3, г);
- температурные аномалии в зонах междуэтажных перекрытий и углах наружных стен (рисунок 3, д);
- дефекты теплообменной поверхности отопительных приборов (рисунок 3, е).

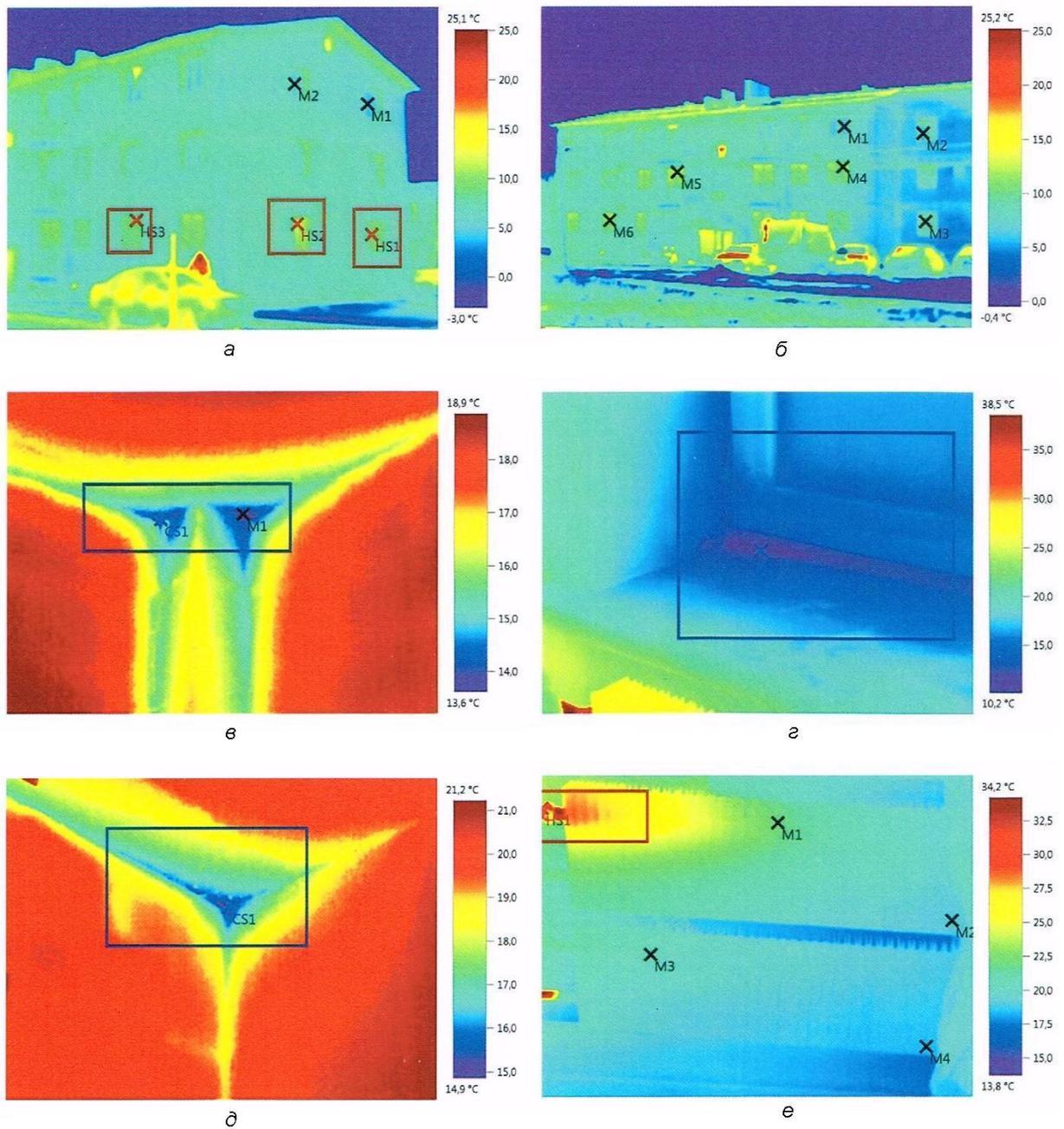


Рисунок 3. Температурные аномалии и дефекты (по результатам тепловизионного контроля объекта)

Для количественной оценки дефектов выполнено дальнейшее обобщение результатов тепловизионного обследования по методике, разработанной автором данной статьи.

В основу этой методики положена количественная оценка дефектов теплозащитной оболочки зданий по температурному коэффициенту \mathcal{G} , определяемому по формуле:

$$\mathcal{G} = \frac{t_{int} - t_{si}}{t_{int} - t_{ext}} \quad (1)$$

где t_{int} — температура внутреннего воздуха; t_{si} — минимальная температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции; t_{ext} — температура наружного воздуха.

Предлагаемая автором данной статьи классификация дефектов теплозащитной оболочки зданий в зависимости от температурного коэффициента приведена в таблице 1.

Таблица 1. Классификация дефектов теплозащитной оболочки зданий

| Класс дефекта | Интервал значений ϑ | Дефект |
|---------------|-------------------------------|---|
| A | от 0 до 0,255 | Дефект по температурному коэффициенту отсутствует |
| B | св. 0,255 до 0,476 | Конденсация влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции |
| C | св. 0,476 до 1 | Сквозное промерзание ограждающей конструкции |

Примечание. Граничные значения ϑ определены при следующих параметрах: между классами A и B — $\vartheta_{AB} = 0,256$ при $t_{int} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{si} = 9,28\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка росы внутреннего воздуха при $t_{int} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\varphi_{int} = 50\text{ }%$), $t_{ext} = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Волгоград); между классами B и C — $\vartheta_{BC} = 0,476$ при $t_{int} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{si} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ext} = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Распределение обследованных конструкций по классам дефектов показывает (рисунок 4), что большая часть конструкций имеет дефекты, приводящие к конденсации влаги на внутренней поверхности (зона B) и сквозному промерзанию (зона C).

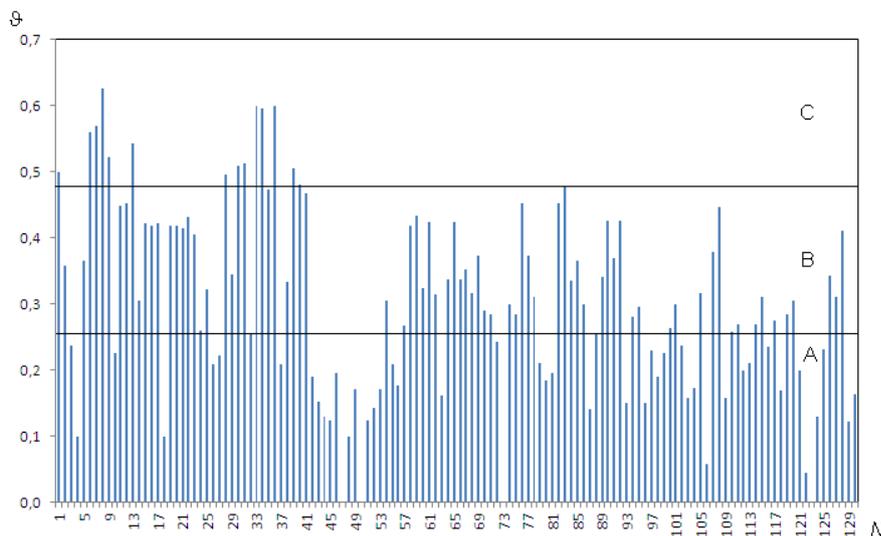


Рисунок 4. Распределение конструкций по классам дефектов

Результаты статистической обработки данных приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты статистической обработки данных тепловизионного контроля качества тепловой защиты зданий

| Показатель | Ед. изм. | Значение показателя |
|--|----------|---------------------|
| Общее число обследованных конструкций | шт. | 130 |
| Общее число дефектов | шт. | 81 |
| Среднее число дефектов на одну конструкцию | шт. | 0,623 |
| Распределение дефектов по виду конструкций: | % | |
| узел сопряжения наружной стены с колонной | | 10 |
| узел примыкания оконного блока к стеновому проему | | 90 |
| Распределение конструкций по виду дефектов: | % | |
| нет дефектов | | 38 |
| конденсация влаги и образование плесневых грибов | | 51 |
| сквозное промерзание узлов ограждающих конструкций | | 11 |

Анализ результатов, приведенных в таблице 2, показывает (рисунки 5 и 6), что более половины обследованных конструкций (62 %) имеют дефекты, что указывает на их массовость. Все дефекты являются трудноустраняемыми и требуют демонтажа строительных конструкций. Подавляющее большинство дефектов (90 %) отмечается в узлах примыкания оконных блоков к стеновым проемам, что объясняется несоответствием оконных блоков нормативным требованиям по теплозащите, неправильной установкой оконных блоков, ненадлежащим качеством теплоизоляции монтажных швов. Дефекты в узлах сопряжения наружной стены с колонной (10 %) объясняются наличием теплопроводных включений в виде железобетонных колонн каркаса здания вследствие отклонений от проекта. Практически половина обследованных конструкций (51 %) подвержена конденсации влаги и образованию плесневых грибов при расчетных условиях. 11 % обследованных конструкций имеют сквозное промерзание в узлах.

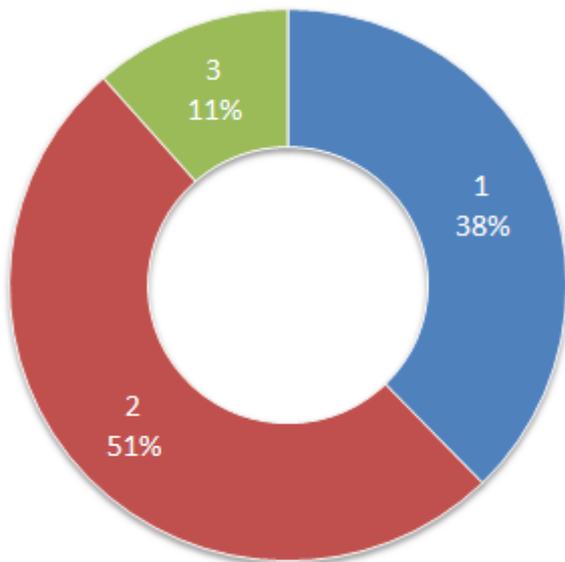


Рисунок 5. Распределение конструкций по виду дефектов: 1 — нет дефектов; 2 — конденсация влаги и образование плесневых грибов; 3 — сквозное промерзание

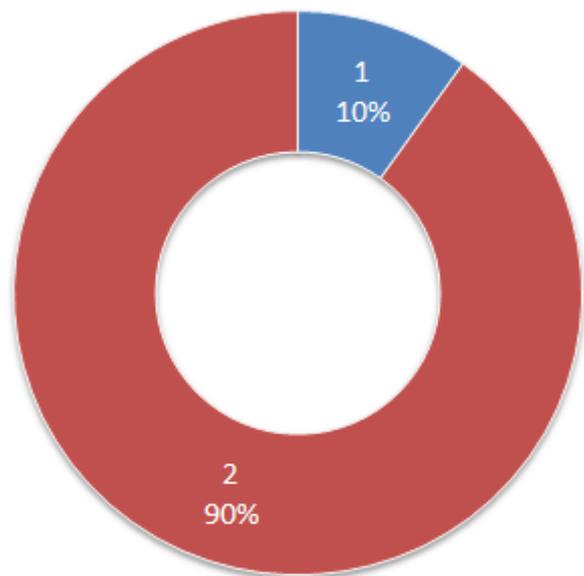


Рисунок 6. Распределение дефектов по виду конструкции: 1 — узел сопряжения наружной стены с колонной; 2 — узел примыкания оконного блока к стеновому проему

Таким образом, тепловизионный контроль качества тепловой защиты объекта позволил обоснованно выявить дефекты теплозащитной оболочки зданий и наметить пути для их устранения.

Расчетная оценка теплотехнических показателей ограждающих конструкций

Расчетная оценка теплотехнических показателей выполнена на основе численного моделирования теплового режима ограждающих конструкций.

Расчет теплового режима выполнен для одного из наиболее опасных элементов оболочки здания — узла сопряжения наружной стены с колонной.

Расчет теплового режима производился по компьютерной программе «Нестационарное температурное поле (НТП)» (автор С.В. Корниенко). Программа «НТП» предназначена для расчета трехмерного температурного поля. Программа «НТП» включена в Реестр программ для ЭВМ Федерального института промышленной собственности (свидетельство № 2004610522 об официальной регистрации программ для ЭВМ, 2004), входит в состав программно-вычислительного комплекса «Энергоэффективность и тепловая защита зданий (ЭНТЕЗА)» [18] и использована при теплотехническом проектировании многочисленных объектов жилищно-гражданского назначения.

Расчет теплового режима рассматриваемого узла выполнен по двум вариантам (рисунок 7): 1 — с замкнутой (невентилируемой) воздушной прослойкой, согласно фактическому состоянию, определенному по результатам визуально-инструментального обследования; 2 — с использованием вместо воздушной прослойки утеплителя из минераловатных плит.

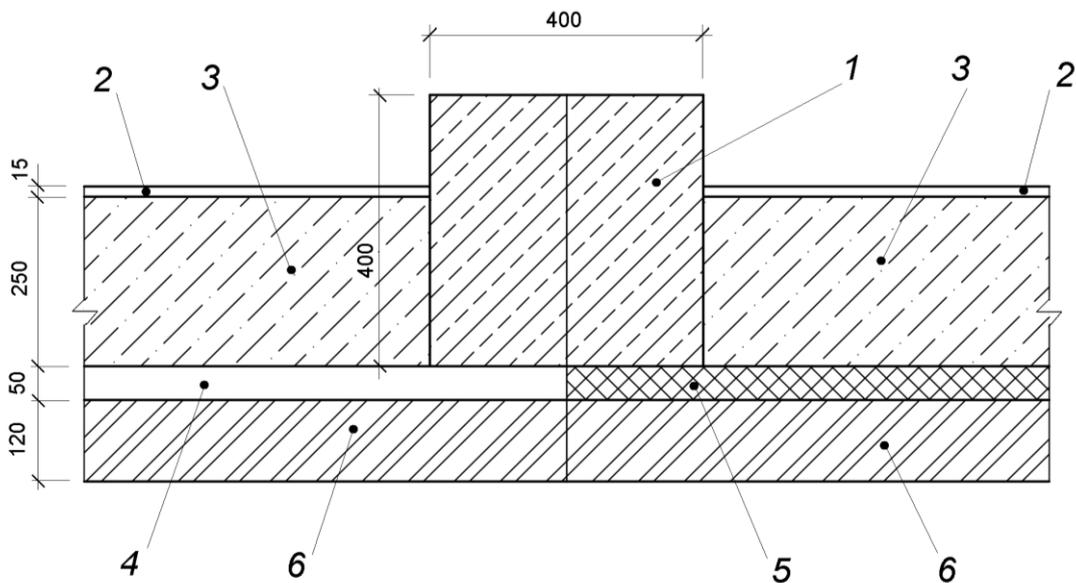


Рисунок 7. Расчетная схема узла сопряжения наружной стены с колонной по вариантам расчета (слева — по варианту 1, справа — по варианту 2): 1 — железобетонная колонная; 2 — штукатурка сложным раствором; 3 — кладка газобетонных блоков на цементном вяжущем; 4 — воздушная прослойка; 5 — плиты минераловатные из каменного волокна; 6 — кирпичная кладка из пустотного керамического кирпича

Анализ теплового режима конструкции производился при установившихся условиях теплопередачи. Геометрические характеристики конструкции приняты на основе натуральных данных. Расчетные теплотехнические характеристики материалов конструкции приведены в таблице 3.

Таблица 3. Расчетные теплотехнические характеристики материалов

| № слоя | Материал слоя | Плотность ρ_0 , кг/м ³ | Удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С) | Теплопроводность λ , Вт/(м·°С) |
|--------|--|--|---|--|
| 1 | Железобетон | 2500 | 0,84 | 1,92 |
| 2 | Раствор сложный | 1700 | 0,84 | 0,7 |
| 3 | Кладка газобетонных блоков на цементном вяжущем | 450 | 0,84 | 0,2 |
| 4 | Воздушная прослойка (при $t = 0$ °С) | 1,29 | 1,005 | 0,294 (эквивалент) |
| 5 | Плиты минераловатные из каменного волокна | 80 | 0,84 | 0,047 |
| 6 | Кирпичная кладка из пустотного керамического кирпича | 1400 | 0,88 | 0,52 |

Расчет выполнен при следующих параметрах:

- температура внутреннего воздуха $t_{int} = 20$ °С;
- коэффициент теплообмена внутренней поверхности конструкции $\alpha_{si} = 8,7$ Вт/(м²·°С);
- температура наружного воздуха $t_{ext} = -22$ °С;
- коэффициент теплообмена наружной поверхности конструкции $\alpha_{se} = 23$ Вт/(м²·°С).

Тепловые источники (стоки) в конструкции отсутствуют. Облучение наружной поверхности конструкции прямой и отраженной солнечной радиацией отсутствует, что соответствует условиям тепловизионного контроля объекта. Тепловые источники (стоки) в помещении также отсутствуют. Климатические параметры соответствуют СП 131.13330.2012.

Расчет выполнен с использованием неравномерной пространственной сетки. Общее число узлов сетки 408. Автоматический выбор временного шага обеспечивает необходимую точность вычислений.

Результатом расчета является температурное поле для рассматриваемых вариантов ограждающей конструкции (рисунок 8).

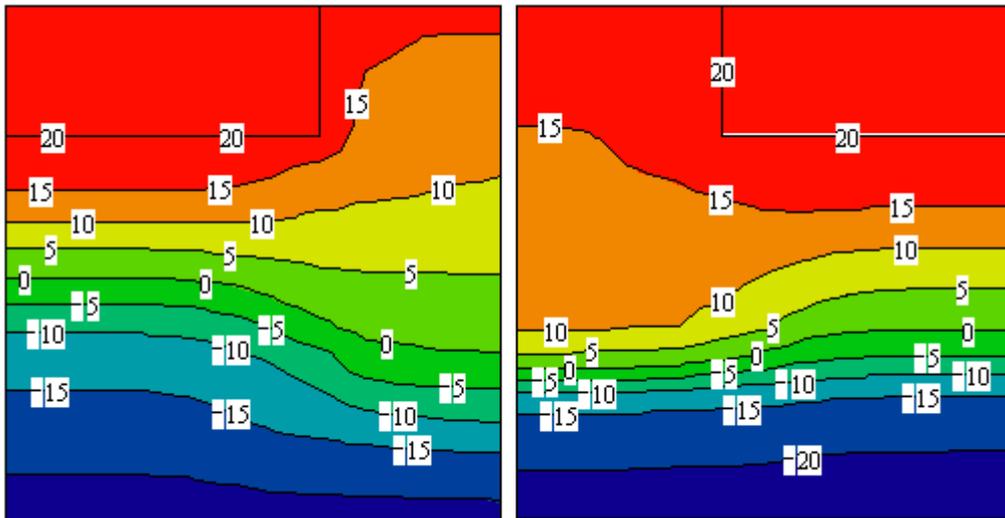


Рисунок 8. Температурное поле узла сопряжения наружной стены с колонной, по вариантам расчета (слева — по варианту 1, справа — по варианту 2)

Как видно из рисунка 8, вдали от колонны ограждающая конструкция является теплотехнически однородной. В зоне колонны отмечается аномалия теплового режима.

Понижение температуры на внутренней поверхности узла, в зоне стыка колонны с наружной стеной (рисунок 9), происходит вследствие образования теплопроводного включения в виде железобетонной колонны. По варианту 1 температура по оси колонны равна 14,3 °С. По мере удаления от оси колонны температура повышается, достигая 15,78 °С на ребре колонны. Повышение температуры на этом участке объясняется большей площадью тепловосприятости по сравнению с площадью теплоотдачи. При удалении от ребра колонны к наружной стене температура понижается, достигая минимума 12,06 °С на стыке колонны с наружной стеной. Далее температура повышается до 17,36 °С по глади стены.

Применение вместо замкнутой воздушной прослойки эффективного утеплителя (вариант 2) повышает температуру на внутренней поверхности узла: по оси колонны — 16,77 °С, на ребре колонны — 17,6 °С, на стыке колонны с наружной стеной — 15,53 °С, по глади стены — 18,22 °С.

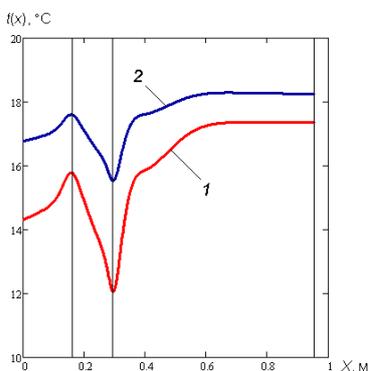


Рисунок 9. Графики распределения температуры на внутренней поверхности узла сопряжения наружной стены с колонной (в границах от оси колонны до глади стены), по вариантам расчета

Анализ распределения температуры на внутренней поверхности для рассматриваемых вариантов узла показывает, что по варианту 1 минимальная температура на внутренней поверхности узла выше точки росы внутреннего воздуха при расчетных условиях (точка росы $t_d = 9,28$ °С при $t_{int} = 20$ °С и $\phi_{int} = 50$ %). Однако, при повышении относительной влажности внутреннего воздуха до 60 %, например, для кухонь, будет конденсация влаги в зоне стыка стены с колонной с образованием плесневых грибов. Это полностью подтверждается результатами как инструментально-визуального обследования (рисунок 2), так и тепловизионного контроля объекта (рисунок 3). Ограждающая конструкция по варианту 1 не удовлетворяет санитарно-гигиеническому требованию согласно п. 5.7 СП 50.13330.2012 и является дефектной. Применение минераловатного утеплителя (вариант 2) улучшает температурно-влажностный режим ограждающей конструкции, гарантированно обеспечивая выполнение санитарно-гигиенического требования.

Результаты расчета температурных полей использованы для определения добавочных потерь теплоты через рассматриваемый узел с целью оценки его энергетической эффективности. Согласно DIN 4108 Bbl 2:2004–01 коэффициент добавочных потерь теплоты через линейный элемент Ψ , Вт/(м·°C) определяется по формуле:

$$\Psi = \frac{Q_{des} - Q_{con}}{l\Delta t}, \quad (2)$$

где Q_{des} — расчетный тепловой поток, Вт, проходящий через зону влияния теплопроводного включения площадью a , м²; Q_{con} — тепловой поток, Вт, по глади ограждающей конструкции той же площади; l — длина линейного элемента, м; $\Delta t = t_{int} - t_{ext}$ — расчетный перепад температур внутреннего и наружного воздуха, °C.

Согласно результатам расчета площадь зоны влияния теплопроводного включения по обоим вариантам равна 1,16 м² (при единичной длине стыка). Расчетный тепловой поток, проходящий через зону влияния теплопроводного включения, равен: по варианту 1 — $Q_{des1} = 35,87$ Вт, по варианту 2 — $Q_{des2} = 22,01$ Вт. Тепловой поток по глади стены той же площади равен: по варианту 1 — $Q_{con1} = 26,53$ Вт, по варианту 2 — $Q_{con2} = 17,89$ Вт. Коэффициент добавочных потерь теплоты через рассматриваемый узел по формуле (2) равен: по варианту 1 — $\Psi_1 = 0,222$ Вт/(м·°C), по варианту 2 — $\Psi_2 = 0,098$ Вт/(м·°C).

Анализ результатов расчета энергетических характеристик узла показывает, что неутепленный узел (вариант 1) имеет значительные добавочные потери теплоты, что свидетельствует о его низкой энергетической эффективности согласно DIN 4108 Bbl 2:2004–01. Утепление узла минераловатными плитами (вариант 2) повышает его теплозащитные свойства и энергетическую эффективность.

Таким образом, расчетная оценка теплотехнических показателей ограждающих конструкций на основе численного моделирования процесса теплопередачи позволила обоснованно разработать предложения по повышению тепловой защиты элементов оболочки зданий.

5. Заключение

1. Выполнена комплексная оценка энергоэффективности и тепловой защиты многоквартирных жилых зданий, включающая в себя: визуально-инструментальное обследование, тепловизионный контроль качества тепловой защиты, расчетную оценку теплотехнических показателей ограждающих конструкций. На основании визуально-инструментального обследования объекта, использованного для общей оценки его теплотехнического состояния, сделан вывод о несоответствии указанного объекта требованиям проектной и нормативной документации. Тепловизионный контроль качества тепловой защиты объекта позволил обоснованно выявить многочисленные дефекты теплоизоляционной оболочки зданий и наметить пути для их устранения. Расчетная оценка теплотехнических показателей ограждающих конструкций на основе численного моделирования процесса теплопередачи позволила обоснованно разработать предложения по повышению тепловой защиты элементов оболочки зданий. Комплексное применение вышеуказанных методов позволило определить теплотехническое состояние объекта в целом.

2. Полученные результаты дают возможность оценить ущерб, нанесенный заказчику вследствие произведенных подрядчиком работ ненадлежащего качества, и являются основой для разработки проекта реконструкции зданий с целью приведения их в соответствие с требованиями проектной и нормативной документации. Результаты исследований являются базой для разработки методологических основ проектирования, строительства, эксплуатации и реконструкции энергоэффективных зданий.

Литература

- [1]. Vatin N.I., Nemova D.V., Murgul V., Pukhkal V., Golik A., Chizhov E. (2014). Reconstruction of Administrative Buildings of the 70's: The Possibility of Energy Modernization. *Journal of Applied Engineering Science / Istrazivanja i Projektovanja za Privredu*. 2014. No. 1. pp. 37–44.
- [2]. Vatin N.I., Nemova D.V., Tarasova D.S., Staritsyna A.A. (2014). Increase of Energy Efficiency for Educational Institution Building. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 953–954. pp. 854–870.
- [3]. Vatin N.I., Nemova D.V., Kazimirova A.S., Gureev K.N. (2014). Increase of Energy Efficiency of the Building of Kindergarten. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 953–954. pp. 1537–1544.
- [4]. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V., Staritsyna A.A., Tarasova D.S. (2014). The Energy-Efficient Heat Insulation Thickness for Systems of Hinged Ventilated Facades. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 941–944. pp. 905–920.
- [5]. Alihodzic R., Murgul V., Vatin N., Aronova E., Nikolić V., Tanić M., Stanković D. (2014). Renewable Energy Sources Used to Supply Pre-School Facilities with Energy in Different Weather Conditions. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 624. pp. 604–612.
- [6]. Ройфе В.С. Развитие методики неразрушающего контроля теплотехнического состояния ограждающих конструкций зданий // *Строительные материалы*. 2014. № 6. С. 60–62.
- [7]. Крышов С.И., Аленичева Е.В., Карина М.Г. Проблемы мониторинга ограждающих конструкций зданий на стадии возведения // *Academia. Архитектура и строительство*. 2010. № 3. С. 585–588.
- [8]. Taylor T., Counsell J., Gill S. (2014). Combining thermography and computer simulation to identify and assess insulation defects in the construction of building façades. *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 76. pp. 130–142.
- [9]. González-Aguilera D., Rodríguez-González P., Armesto J., Lagüela S. (2012). Novel approach to 3D thermography and energy efficiency evaluation. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 54. pp. 436–443.
- [10]. Taylor T., Counsell J., Gill S. (2013). Energy efficiency is more than skin deep: Improving construction quality control in new-build housing using thermography. *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 66. pp. 222–231.
- [11]. Cerdeira F., Vázquez M.E., Collazo J., Granada E. (2011). Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43 (8). pp. 1845–1851.
- [12]. Belussi L., Danza L. (2012). Method for the prediction of malfunctions of buildings through real energy consumption analysis: Holistic and multidisciplinary approach of Energy Signature. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 55. pp. 715–720.
- [13]. Vidas S., Moghadam P. (2013). HeatWave: A handheld 3D thermography system for energy auditing. *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 66. pp. 445–460.
- [14]. Porras-Amores C., Mazarrón F.R., Cañas I. (2013). Using quantitative infrared thermography to determine indoor air temperature. *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 65. pp. 292–298.
- [15]. Окунев А.Ю., Левин Е.В., Шагинян К.С. Современные подходы к тепловизионному обследованию строительных объектов // *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 7–9.
- [16]. Енюшин В.Н., Крайнов Д.В. О влиянии излучательной способности поверхности исследуемого объекта на точность измерения температур при тепловизионном обследовании // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 1(23). С. 99–103.
- [17]. Левин Е.В., Окунев А.Ю., Умнякова Н.П., Шубин И.Л. Основы современной строительной термографии. М.: НИИСФ РААСН, 2012. 176 с.
- [18]. Korniyenko S.V. The Experimental Analysis and Calculative Assessment of Building Energy Efficiency. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 618. pp. 509–513.
- [19]. Корниенко С.В. Расчетно-экспериментальный контроль энергосбережения зданий // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. №8(43). С. 24–30.
- [20]. Корниенко С.В. Комплексная оценка теплозащиты ограждающих конструкций оболочки здания // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. №7(33). С. 43–49.
- [21]. Корниенко С. В. Тестирование метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах натурных измерений параметров микроклимата помещений // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. №2(28). С. 18–23.
- [22]. Корниенко С.В. Опыт проектирования и строительства энергоэффективных зданий в г. Волгограде // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2013. № 9(14). С. 21–33.

Complex assessment of energy efficiency and thermal performance for buildings

S.V. Korniyenko¹

Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, 1 Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russia.

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

Received 17 September 2014
Accepted 28 October 2014

Keywords

visual and tool inspection,
thermovision quality control,
numerical simulation,
temperature anomaly,
defect

ABSTRACT

Increase of energy efficiency and thermal performance for buildings is an actual problem of construction and architecture. The solution of this problem is necessary at all stages of life cycle of the building — during the carrying out engineering researches, design, construction, operation, reconstruction, capital repairs, demolition.

In this article the complex assessment of energy efficiency and thermal performance for multiroom residential buildings including is executed: visual and tool inspection, thermovision quality control of thermal performance, settlement assessment of thermophysical parameters of building elements. Based on visual and tool inspection of the object used for the general assessment of its thermophysical condition the conclusion is drawn on discrepancy of the specified object to requirements of project and standard documentation. Thermovision quality control of thermal performance of the object allowed to reveal reasonably numerous defects of a heat-insulating enclosure of buildings and to plan ways for their elimination. The settlement assessment of thermophysical parameters of enclosing structures based on numerical simulation of heat transfer process allowed to develop reasonably offers an increase of buildings enclosures thermal performance. Complex application of the above methods allowed defining thermophysical condition of object in general.

The received results give the chance to assess damage caused to the customer owing to the works of inadequate quality performed by the contractor and are a basis for development of the project of reconstruction of buildings for the purpose of their reduction in compliance with requirements of project and standard documentation. Results of researches are base for development of methodological bases of design, construction, operation and reconstruction of energy effective buildings..

¹

Corresponding author:

+ 7 (988) 491 2459, svkorn2009@yandex.ru (Sergey Valerjevich Korniyenko, Ph. D., Associate Professor)

References

- [1]. Vatin N.I., Nemova D.V., Murgul V., Pukhkal V., Golik A., Chizhov E. (2014). Reconstruction of Administrative Buildings of the 70's: The Possibility of Energy Modernization. *Journal of Applied Engineering Science / Istrazivanja i Projektovanja za Privredu*. 2014. No. 1. pp. 37–44.
- [2]. Vatin N.I., Nemova D.V., Tarasova D.S., Staritsyna A.A. (2014). Increase of Energy Efficiency for Educational Institution Building. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 953–954. pp. 854–870.
- [3]. Vatin N.I., Nemova D.V., Kazimirova A.S., Gureev K.N. (2014). Increase of Energy Efficiency of the Building of Kindergarten. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 953–954. pp. 1537–1544.
- [4]. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V., Staritsyna A.A., Tarasova D.S. (2014). The Energy-Efficient Heat Insulation Thickness for Systems of Hinged Ventilated Facades. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 941–944. pp. 905–920.
- [5]. Alihodzic R., Murgul V., Vatin N., Aronova E., Nikolić V., Tanić M., Stanković D. (2014). Renewable Energy Sources Used to Supply Pre-School Facilities with Energy in Different Weather Conditions. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 624. pp. 604–612.
- [6]. Royfe V.S. *Razvitiye metodiki nerazrushayushchego kontrolya teplotekhnicheskogo sostoyaniya ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy* [Development of the Method of Nondestructive Control Heattechnical Condition of Protecting Konstruksions of Buildings] // *Construction Materials*. 2014. No. 6. pp. 60–62. (rus)
- [7]. Kryshov S.I., Alenicheva Ye.V., Karina M.G. *Problemy monitoringa ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy na stadii vozvedeniya* [Problems of monitoring of the enclosing structures at a construction stage] // *Academia. Architecture and Construction*. 2010. No. 3. pp. 585–588. (rus)
- [8]. Taylor T., Counsell J., Gill S. (2014). Combining thermography and computer simulation to identify and assess insulation defects in the construction of building façades. *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 76. pp. 130–142.
- [9]. González-Aguilera D., Rodríguez-González P., Armesto J., Lagüela S. (2012). Novel approach to 3D thermography and energy efficiency evaluation. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 54. pp. 436–443.
- [10]. Taylor T., Counsell J., Gill S. (2013). Energy efficiency is more than skin deep: Improving construction quality control in new-build housing using thermography. *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 66. pp. 222–231.
- [11]. Cerdeira F., Vázquez M.E., Collazo J., Granada E. (2011). Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43 (8). pp. 1845–1851.
- [12]. Belussi L., Danza L. (2012). Method for the prediction of malfunctions of buildings through real energy consumption analysis: Holistic and multidisciplinary approach of Energy Signature. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 55. pp. 715–720.
- [13]. Vidas S., Moghadam P. (2013). HeatWave: A handheld 3D thermography system for energy auditing. *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 66. pp. 445–460.
- [14]. Porras-Amores C., Mazarrón F.R., Cañas I. (2013). Using quantitative infrared thermography to determine indoor air temperature. *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 65. pp. 292–298.
- [15]. Okunev A.Yu., Levin Ye.V., Shaginyan K.S. *Sovremennyye podkhody k teplovizionnomu obsledovaniyu stroitelnykh obyektov* [Modern approaches to thermovision inspection of construction objects] // *Housing Construction*. 2012. No. 6. pp. 7–9. (rus)
- [16]. Yenyushin V.N., Kraynov D.V. *O vliyaniy izluchatelnoy sposobnosti poverkhnosti issleduyemogo obyekta na tochnost izmereniya temperatur pri teplovizionnom obsledovanii* [About influence of radiating ability of a surface of the studied object on the accuracy of measurement of temperatures at thermovision inspection] // *News of the Kazan state architectural and construction university*. 2013. No. 1(23). pp. 99–103. (rus)
- [17]. Levin Ye.V., Okunev A.Yu., Umnyakova N.P., Shubin I.L. *Osnovy sovremennoy stroitelnoy termografii* [Bases of a modern construction termografiya]. Moscow: NIISF RAASN, 2012. 176 p. (rus)
- [18]. Korniyenko S.V. The Experimental Analysis and Calculative Assessment of Building Energy Efficiency. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 618. pp. 509–513.
- [19]. Korniyenko S.V. *Raschetno-eksperimentalnyy kontrol energosberezheniya zdaniy* [Settlement and experimental control of energy saving for buildings] // *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 8(43). pp. 24–30. (rus)
- [20]. Korniyenko S.V. *Kompleksnaya otsenka teplozashchity ograzhdayushchikh konstruksiy obolochki zdaniya* [The complex assessment of a thermal performance of the building envelope] // *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No. 7(33). pp. 43–49. (rus)
- [21]. Korniyenko S. V. *Testirovaniye metoda rascheta temperaturno-vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruksiy na rezultatakh naturnykh izmereniy parametrov mikroklimata pomeshcheniy* [Testing of calculation

method of the enclosing structures temperature-humidity conditions on the results of indoor climate in-situ measurements] // Magazine of Civil Engineering. 2012. No. 2(28). pp. 18–23. (rus)

- [22]. Korniyenko S.V. *Опыт проектирования и строительства энергоэффективных зданий в г. Волгограде* [Experience of design and construction of energy effective buildings in Volgograd] // Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. No. 9(14). pp. 21–33. (rus).