

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

*На правах рукописи*  
УДК 628.8: 697.148

**Оверченко Мира Викторовна**



**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ С  
ПЕРЕМЕННЫМИ БЫТОВЫМИ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЯМИ**

2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха,  
газоснабжение и освещение

**Диссертация**  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
к.т.н., доцент  
Белоус А. Н.

Идентичность всех экземпляров заверяю

Ученый секретарь диссертационного  
совета 02.2.001.01



З. В. Удовиченко

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАЗДЕЛ 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА. АНАЛИЗ ЗДАНИЙ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ.....	10
1.1 Тепловой баланс и комфортность внутренней среды зданий.....	10
1.2 Нормирование параметров микроклимата.....	17
1.2.1 Отечественный опыт.....	17
1.2.2 Зарубежный опыт нормирования параметров микроклимата .....	20
1.3 Существующие методики определения бытовых теплопоступлений	24
1.3.1 Определение бытовых теплопоступлений по ГОСТ Р 55656–2013 (ИСО 13790:2008) «Энергетические характеристики зданий. Расчет использования энергии для отопления помещений».....	24
1.3.2 Определение бытовых теплопоступлений по ДСТУ Б А.2.2- 12:2015 «Энергетическая эффективность зданий. Метод расчета энергопотребления при отоплении, охлаждении, вентиляции, освещении и горячем водоснабжении» (EN ISO 13790).....	26
1.3.3 Определение бытовых теплопоступлений по методике Шкловера	27
1.4 Анализ объемно-планировочных и конструктивных решений зданий общеобразовательных организаций.....	28
1.5 Выводы по первому разделу.....	36
РАЗДЕЛ 2. ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ЗДАНИЙ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ С УЧЕТОМ БЫТОВЫХ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ.....	38
2.1 Постановка задачи.....	38
2.2 Теплообмен в помещениях при периодических тепловыделениях...	39
2.3 Разработка методики расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций.....	43
2.3.1 Тепловыделения от людей в зданиях общеобразовательных организаций.....	46
2.3.2 Определение коэффициентов и расчет теплопоступлений.....	55
2.3.3 Методика расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций.....	63
2.4 Выводы по второму разделу.....	66

РАЗДЕЛ 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗДАНИЙ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ.....	68
3.1 Система теплообмена как единая энергосистема здания.....	68
3.2 Основные положения расчета энергетического баланса здания в программном комплексе.....	71
3.3 Описание расчетной программы. Начальные и граничные условия. Порядок моделирования процессов теплообмена в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation .....	74
3.4 Моделирование зданий общеобразовательных организаций с применением программного комплекса SolidWorks.....	79
3.4.1 Создание геометрии моделей зданий общеобразовательных организаций в программном комплексе SolidWorks.....	80
3.4.2 Моделирование учебных помещений.....	81
3.4.3 Результаты моделирования зданий общеобразовательных организаций в программном комплексе SolidWorks.....	82
3.5 Выводы по третьему разделу.....	90
РАЗДЕЛ 4. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЗДАНИЙ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ...	91
4.1 Выбор объектов исследования.....	91
4.2 Методика проведения натурального исследования.....	93
4.2.1 Используемые измерительные приборы и оборудование.....	93
4.2.2 Исследование температурного режима учебного помещения.....	98
4.2.3 Результаты замеров температур в учебном помещении.....	101
4.3 Сравнительный анализ данных натурального исследования с результатами моделирования бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций.....	108
4.4 Экономическая эффективность предложенных решений по определению бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций.....	115
4.5 Выводы по четвертому разделу.....	121
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	122
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	124
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	126
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	156
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	157
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	158
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	161

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Сокращение энергетических природных ресурсов остро ставит проблему поиска оптимальных конструктивных решений наружных ограждений и создания комфортной среды во внутреннем пространстве здания. В качестве одного из путей решения этой проблемы выступает повышение требований к энергоэффективности проектируемых зданий, что позволит снизить энергозатраты на содержание и эксплуатацию.

Одним из способов экономии энергии в отопительный период является контроль и поддержание нормируемой температуры внутреннего воздуха в помещении. Расходы на отопление составляют большую часть от общих расходов на коммунальные услуги. Тепловой режим помещений общеобразовательных организаций в отопительный период зависит от ряда факторов, таких как теплотехнические свойства ограждающих конструкций, системы отопления и вентиляции, режим работы здания, а также переменные во времени бытовые теплопоступления и теплота от системы отопления. К бытовым теплопоступлениям относят метаболическую теплоту от людей, теплоту от осветительных приборов и от оборудования, имеющегося в зданиях такого типа.

Режим работы общеобразовательных организаций цикличен, характеризуется максимальной заполняемостью помещений людьми в утренние часы и практически нулевой во второй половине дня. Бытовые теплопоступления в данном случае отличаются нестационарностью в течение суток, что приводит к повышению внутренней температуры, обусловленному дополнительными выделениями теплоты, и оказывает влияние на энергетический баланс здания.

Таким образом, проблема энергосбережения и поддержания параметров микроклимата помещений влечет за собой необходимость исследования

влияния бытовых теплопоступлений на энергетические параметры зданий общеобразовательных организаций.

**Степень разработанности темы.** Вопросами строительной теплотехники и параметров внутренней среды помещений занимались такие ученые, как В. Д. Мачинский, О. Е. Власов, К. Ф. Фокин, В. Н. Богословский, А. М. Шкловер, Л. А. Семенов, Ю. Я. Кувшинов. В настоящее время проблемами энергоэффективности зданий и вопросами параметров микроклимата занимаются О. Д. Самарин, Ю. А. Табунщиков, Н. В. Тимофеев, С. И. Монах, А. Б. Бирюков, С. В. Корниенко, Д. В. Немова, А. С. Горшков, С. В. Гридин, П. А. Трубаев.

Среди зарубежных ученых, исследующих комфортные условия внутренней среды для пребывания человека в помещениях, можно выделить Jr.P.E. McNal, R.E. Biddison, B. Olesen, P. Fanger, P.B. Jensen, O.J. Nielsen, P.L. Mandell, W. Minkel, Wei Yixuan, Zhang Xingxing, Shi Yong, S. Z. Zahra, Tahsildoost Mohammad, Hafezi Mohammadreza и других.

Влияние переменных бытовых теплопоступлений от учащихся в учебных помещениях зданий общеобразовательных организаций изучено недостаточно и требует дальнейших теоретических и натурных исследований.

#### **Связь работы с научными программами, планами, темами.**

Исследования выполнялись в рамках кафедральных научно-исследовательских тем:

- К-2-02- 16 «Энерго- и звукоэффективные конструктивные решения при проектировании и реконструкции зданий» (2016–2020, № государственного учета 0117D000258);
- К-2-02-21 «Повышение энергоэффективности ограждающих конструкций» (№ государственного учета 0121D000076).

**Цель:** повышение энергетической эффективности зданий общеобразовательных организаций путем разработки методики расчета бытовых теплопоступлений.

**Объект исследования:** энергетический баланс зданий общеобразовательных организаций.

**Предмет исследования:** бытовые теплопоступления в зданиях общеобразовательных организаций.

Для выполнения поставленной цели были определены следующие **задачи исследования:**

– исследовать существующие методы и методики расчета бытовых теплопоступлений;

– выполнить анализ объемно-планировочных и конструктивных решений зданий общеобразовательных организаций с целью уточнения процесса формирования энергетического баланса помещений таких зданий;

– определить аналитическую зависимость между переменными бытовыми теплопоступлениями и энергетическим балансом зданий общеобразовательных организаций, и разработать методику расчета бытовых переменных теплопоступлений;

– выполнить теоретические и натурные исследования температурного режима учебных помещений для определения величины бытовых теплопоступлений;

– определить степень влияния бытовых теплопоступлений на энергетический баланс зданий общеобразовательных организаций;

– установить экономическую эффективность предложенной методики расчета с учетом переменных теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций.

**Научная новизна полученных результатов:**

– впервые путем натурных исследований получены значения величин бытовых теплопоступлений, определенные на основании уточненной величины тепловыделений от людей в учебных помещениях при исследовании температурного режима с учетом переменных поступлений теплоты в зданиях общеобразовательных организаций;

– установлена зависимость между объемно-планировочными и конструктивными решениями зданий общеобразовательных организаций и величиной бытовых теплопоступлений, выраженная коэффициентами, учитывающими влияние численности людей, этажности и расчетной площади зданий общеобразовательных организаций;

– выявлена закономерность между температурным режимом помещений зданий общеобразовательных организаций и переменными бытовыми теплопоступлениями, основанная на величине прироста температуры в помещении.

### **Теоретическая и практическая значимость.**

Разработанная методика расчета величин бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций позволит снизить затраты на отопление, соблюдать нормируемые параметры микроклимата за счет уточнения значений величин переменных бытовых теплопоступлений от учащихся при расчете теплового баланса зданий общеобразовательных организаций.

Результаты исследований использовались в МАОУ «Средняя общеобразовательная школа №39» г. Таганрог, ООО «Архионика», г. Таганрог.

Методику расчета рекомендуется включить в курс дисциплины «Строительная физика» программы подготовки магистратуры «Теория и проектирование зданий и сооружений» и в курс дисциплины «Энергоэффективность и энергоаудит зданий» по направлению подготовки бакалавриата «Строительство», профиль «Промышленное и гражданское строительство».

**Методология и методы исследования.** В процессе выполнения работы автором был применен системный подход к анализу вопросов, связанных с изучением влияния величин бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций. В работе применялись аналитические и экспериментальные методы исследования. В ходе выполнения аналитических

исследований использовался метод конечных объемов, моделирование внутренней среды зданий общеобразовательных организаций в программном комплексе SolidWorks.

**Личный вклад соискателя** включает постановку цели и задач исследования, сбор, обработку и анализ статистических данных о теплоступлениях в зданиях общеобразовательных организаций, разработку теплотехнического измерительного комплекса для исследования температурного и влажностного режимов помещений; определение коэффициентов зависимости бытовых теплоступлений от численности людей, объемно-планировочных и конструктивных решений зданий общеобразовательных организаций.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Методика расчета переменных бытовых теплоступлений в зданиях общеобразовательных организаций за отопительный период.
2. Коэффициенты зависимости величин бытовых теплоступлений от численности людей, объемно-планировочных и конструктивных решений зданий общеобразовательных организаций.
3. Энергетические и температурные показатели учебных помещений зданий общеобразовательных организаций с переменными поступлениями теплоты, полученные в ходе натурных исследований.

**Степень достоверности и апробация результатов диссертационной работы.** Достоверность обеспечивается широкой публикацией работ по теме исследования и обсуждением их на конференциях различного уровня. Основные результаты диссертации докладывались на:

- Международных конференциях молодых ученых, аспирантов и студентов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (г. Макеевка, 2018–2022 гг.);
- X-ом Международном молодежном форуме: «Образование. Наука. Производство» (г. Белгород, 2018 г.);



- 8-ой Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Опыт прошлого – взгляд в будущее» (г. Тула, 2018 г.);
- II-ой Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: Актуальные проблемы Фундаментальных и прикладных Исследований Часть 2 Материалы» (г. Комсомольск-на-Амуре, 2019 г.);
- IV-ой Международной очно-заочной научной конференции «Форум молодых учёных: мир без границ» (г. Донецк, 2019–2020 гг.).

**Публикации.** По содержанию диссертации опубликовано 6 печатных работ в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, 4 работы – издания по материалам научных конференций. Общий объем публикаций – 3,16 п. л., из которых 1,97 п. л. принадлежат лично автору.

#### **Структура и объем работы.**

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы составляет 162 страницы, в том числе 116 страниц основного текста; содержит 9 полных страниц с рисунками и таблицами, 30 страниц списка использованных литературных источников; 7 страниц приложений.

**РАЗДЕЛ 1**  
**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ**  
**НОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА И**  
**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА. АНАЛИЗ ЗДАНИЙ**  
**ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Параметры микроклимата зданий оказывают непосредственное влияние на энергетический баланс, частью которого являются бытовые тепlopоступления. Тепловой комфорт человека и методы оценки систем, формирующих микроклимат здания, отличаются в нормативной документации различных стран.

### **1.1 Тепловой баланс и комфортность внутренней среды зданий**

Вопросы теплотехнического состояния ограждающих конструкций зданий интересовали ученых еще с 20-х гг. XX века. Изучением способов передачи теплоты, колебаний температуры, теплоусвоения и теплопоглощения, фильтрации воздуха применительно к строительной области занимались такие ученые и инженеры как: В. Д. Мачинский, О. Е. Власов, К. Ф. Фокин, А. М. Шкловер, В. Н. Богословский [57, 17, 18, 19, 101, 105, 106, 107, 8, 9] которые и стали основоположниками нового раздела строительной физики – строительной теплотехники. Одной из первых работ по строительной теплотехнике стала книга профессора В. Д. Мачинского [57]. Основоположником теории теплоустойчивости считается О. Е. Власов. В его работах [17, 18, 19] рассматривается колебание температуры и тепловых потоков в плоской стенке при гармонически изменяющихся тепловых воздействиях на одной из её поверхностей, а также исследование влажностного режима. К. Ф. Фокин в своей научной деятельности занимался разработкой метода расчета влажностного режима ограждений при увлажнении жидкой и парообразной влагой, создал метод расчета

температурных полей в конструкциях и методики определения расчетных температур наружного воздуха [101].

Работы большого числа зарубежных и отечественных ученых посвящены решению задач по определению комфортных условий внутренней среды для пребывания человека [22, 23, 24, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 51, 52, 88, 89].

Вопросам изучения параметров микроклимата помещений различного назначения для различных типов зданий, а также исследованию комфортных условий для человека и его жизнедеятельности посвящены труды таких ученых, таких как Максимович В.А. [55], Самарин О.Д. [74, 75, 76, 77, 78, 79], Кувшинов Ю.Я. [51, 52], Гагарин В.Г. [22], Горшков А.С. [23, 24], Корниенко С.В. [41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48], Ватин Н.И. [13, 14, 15, 16, 20, 62, 108, 136], Немова Д.В. [62, 13], Бухмиров В.В. [11, 12], Малявина Е.Г. [56], Табунщиков Ю.А. [88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95], Тимофеев Н.В. [97], Монах С.И. [66], В. Olesen, P. Fanger, P.E. McNall, A. Gagge, L. Harrington, J. Gauvrit, T. Bedford, P. Mandell [149, 131, 144, 134, 135, 116, 143] и другие [110, 111, 112, 117, 118, 119, 120, 126, 129, 130, 132, 136, 138, 139, 140, 141, 146, 147, 150, 151, 152, 153, 155, 156, 158, 159, 160].

На рисунке 1.1 представлена диаграмма и график, отображающие актуальность исследования внутренней среды помещений в мировой практике, и доля таких исследований в строительной отрасли.



Рисунок 1.1 – Актуальность исследования параметров внутренней среды помещений

В связи со стремительным развитием экономики и технологий установлено [113], что в ближайшие десятилетия ожидается увеличение мирового потребления энергии до 32%. В особенности это касается промышленности и зданий, поэтому эффективный контроль и снижение энергопотребления зданиями является глобальной задачей. В качестве одного из путей решения авторами предложено уделить дополнительное внимание проверке точности моделирования энергопотребления зданий и выявить различия между результатами моделирования и процессами, происходящими в зданиях – уделить внимание системам отопления, вентиляции, кондиционирования, так как в помещениях люди проводят до 90% своего времени ежедневно.

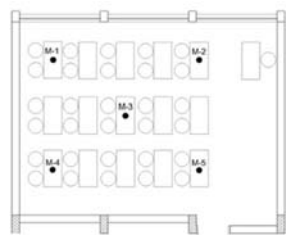
Авторами A.P. Gagge, C.E.A. Winslow, L.P. Harrington [134] при определении комфортных для человека условий внутренней среды помещения предложено использовать «оперативную температуру» – «температуру такой окружающей среды, в которой тело человека путем излучения и конвекции выделяет столько же теплоты, сколько в среде с одинаковой температурой воздуха и поверхностью ограждений при скорости воздушного потока максимум 0,07-0,08 м/с». Однако предложенный метод не учитывает влажностный режим помещения.

Работы Jordan Gauvrit, I. M. Lazović, P. Mićko и др. [135, 142, 145] посвящены исследованию температурного режима помещений жилых и общественных зданий в зависимости от количества присутствующих в таких помещениях людей. Однако в большинстве случаев, уровень комфортности и процент неудовлетворенных изучается на основании исследования уровня CO<sub>2</sub> в помещении.

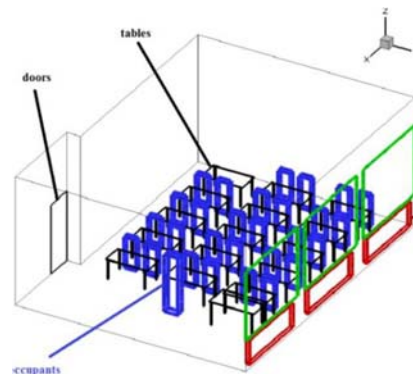
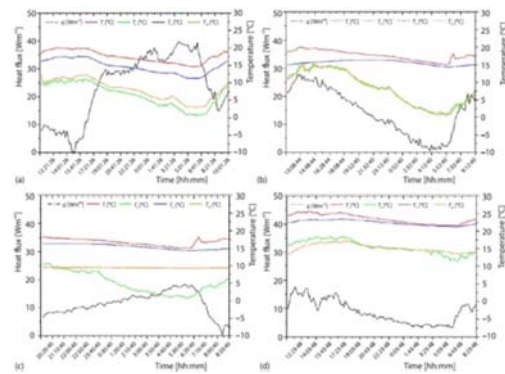
В работе [142] проведены исследования температурного режима классной комнаты и определения теплового потока, проходящего через ограждения с целью определения энергоэффективности здания школы. Температура воздуха в помещении была измерена в пяти различных местах внутри класса, расположенных под школьными партами, в течение пяти

рабочих дней в отопительный период (Рисунок 1.2). Далее было выполнено моделирование исследуемого помещения с учетом тепловыделений от людей. По результатам исследования установлено, что желаемый уровень температурного комфорта может быть достигнут без увеличения энергопотребления, но необходимы улучшения ограждающих конструкций здания. Имитационная модель по данным исследователей показывает удовлетворительное соответствие с натурными исследованиями.

а)



б)



а – натурные исследования; б – моделирование

Рисунок 1.2 – Влияние энергоэффективности здания на температуру воздуха в помещении

В работе [145] также были проведены натурные и численные исследования температурного режима помещения. Введено понятие рабочей температуры – величины, выражающей лучистую и конвективную составляющие обмена теплотой между человеком и окружающей средой. Таким образом, рабочая температура является критерием для оценки теплового комфорта окружающей среды. Одинаковая температура воздуха в

помещении не гарантировала одинаковую рабочую температуру. Эта разница создается средней температурой излучения, которая выше при использовании теплых полов в сравнении с радиаторным отоплением (Рисунок 1.3). Моделирование рабочей температуры для системы отопления может фиксировать и описывать тепловой микроклимат в отапливаемом помещении.

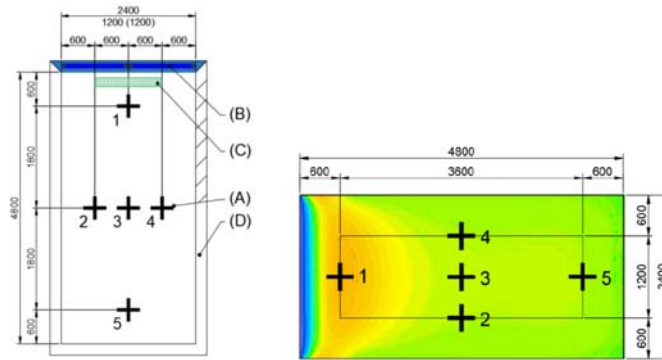


Рисунок 1.3 – Экспериментальная проверка моделирования CFD при оценке рабочей температуры и средней температуры излучения при радиаторном отоплении и подогреве пола

Исследования показали [159], что учащиеся в различных образовательных организациях предпочитают прохладную среду и чувствительны к перегреву (Рисунок 1.4). Вентиляция в силу низкой скорости подачи воздуха при соблюдении требований теплового комфорта не справляется с задачей обеспечения качества воздушной среды.

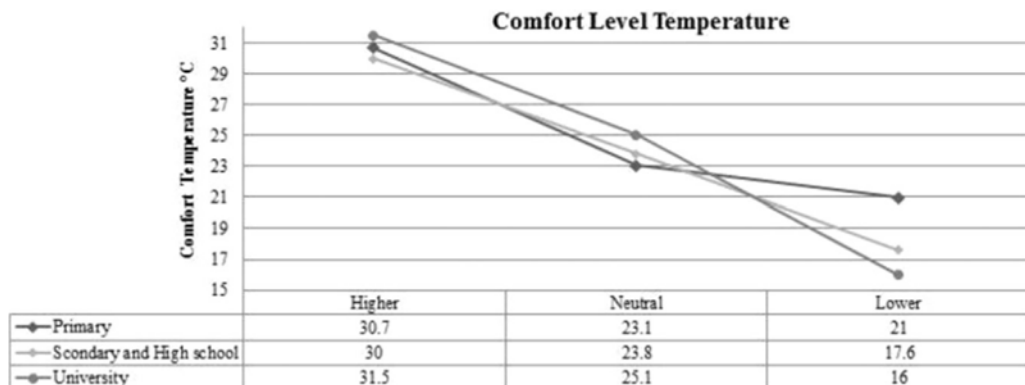


Рисунок 1.4 – Нижний и верхний пределы комфорта и нейтральная комфортная температура в исследованиях на разных этапах обучения

Авторами отмечено, что современные нормативные документы ISO 7730, EN 15251 и ASHRAE 55 не могут должным образом применяться для оценки тепловой среды в зданиях образовательных организаций, особенно в помещениях, где учащиеся длительное время вынуждены находиться в фиксированном положении.

В своей работе Максимович В. А. [55] исследовал критерии комфортности, которые объединяют в себе температуру, относительную влажность, подвижность воздуха и содержание пыли, что более характерно для производственных зданий.

Th. Bedford, Jr.P.E. McNall, R.E. Biddison [116, 144] посвятили свои исследования разработке диаграмм теплоощущений, в которых комфортное состояние человека определяется соотношением радиационной температуры и температуры воздуха.

В.Н. Богословский в работе [9] сформулированы условия комфортности, при соблюдении которых температурный режим в помещении считается комфортным. Согласно первому условию, комфортной считается такая температурная обстановка, при которой человек, находящийся в центре помещения, не испытывает перегрева или переохлаждения. Первое условие комфортности для холодного периода года представлено в следующем виде [9]:

$$t_R = 1,57t_{\text{п}} - 0,057t_{\text{в}} \pm 1,5, \quad (1.1)$$

где  $t_R$  – радиационная температура;

$t_{\text{п}}$  – температура помещения;

$t_{\text{в}}$  – температура воздуха.

Второе условие комфортности определяет температурный комфорт для человека, находящегося вблизи нагретых или охлажденных поверхностей. Это условие применено в исследованиях, посвященных расчету лучистых систем отопления.

$$\begin{aligned} \tau_{\Pi}^{\text{доп}} &\leq 19,2 + \frac{8,7}{\varphi_{\text{ч-п}}}; \\ \tau_{\Pi}^{\text{доп}} &\geq 23 - \frac{5}{\varphi_{\text{ч-п}}}, \end{aligned} \quad (1.2)$$

где  $\tau_{\Pi}^{\text{доп}}$  – температура нагретой (охлажденной) поверхности;

$\varphi_{\text{ч-п}}$  – коэффициент облученности с элементарной площади поверхности тела человека в сторону нагретой поверхности.

Комфортные условия для организма человека обеспечиваются при соблюдении теплового баланса. Уравнение теплового баланса для организма за определенный период времени

$$M + S \pm R \pm C \pm P - E = 0, \quad (1.3)$$

где  $M$  – теплота процессов метаболизма, полученная из химических субстратов пищи, подвергшихся расщеплению в клетках;

$S$  – накопленная организмом теплота;  $R$ ,  $C$ ,  $P$  – теплота отданная (со знаком «минус») или полученная (со знаком «плюс») путем излучения, конвекции, теплопередачи;  $E$  - теплота, отданная за счет испарения. [10]

Исследования процессов метаболизма и выделяемой людьми теплоты на основе предложенной модели работника в одежде позволили определить тепловыделения от людей при различной температуре воздуха (Таблица 1). Авторами получены уравнения для определения коэффициента теплоотдачи конвекцией с поверхности тела человека при учете скорости движения воздуха, его температуры и размеров тела человека. Разработанная методика позволяет определить коэффициент теплоотдачи конвекцией от человеческого тела в любой его точке и по периметру в целом как для ламинарного, так и для турбулентного режима движения воздуха.



Таблица 1.1 – Тепловыделения от взрослых людей при различной температуре воздуха [10]

Показатели тепловыделений	Тепловыделения от взрослых людей, Вт при температуре воздуха в °С					
	10	15	20	25	30	35
в состоянии покоя						
явные	143	116	87	58	41	12
скрытые	23	29	29	35	52	81
полные	166	145	116	93	93	93
при легкой работе (категория I)						
явные	151	122	99	64	41	6
скрытые	29	35	52	81	105	140
полные	180	157	151	145	146	146
Тепловыделения от детей составляют 75% от нормативов тепловыделений взрослых людей						

## 1.2 Нормирование параметров микроклимата

### 1.2.1 Отечественный опыт

Значения показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать общее и локальное ощущение дискомфорта, снижение работоспособности при повышенных показателях терморегуляции, при этом не вызывая ухудшения состояния здоровья, считаются допустимыми параметрами микроклимата.

К показателям микроклимата помещений, которые более всего отражаются на состоянии человека, можно отнести температуру и относительную влажность внутреннего воздуха, тепловое излучение окружающих поверхностей. Эти параметры играют важную роль в процессах теплообмена между организмом и окружающей средой, и оказывают влияние на тепловой баланс тела человека.

Нормированием параметров микроклимата устанавливаются оптимальные и допустимые интервалы изменения температур в зависимости от периода года и назначения помещения. Границы интервалов установлены с учетом вида деятельности, выполняемой в помещении, и категории сложности выполняемых работ.

Согласно ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Показатели микроклимата в помещениях» [26], принята следующая классификация помещений общественного и административного назначения:

– *помещения 1-й категории*: помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха;

– *помещения 2-й категории*: помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебой;

– *помещения 3а категории*: помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды;

– *помещения 3б категории*: помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя в уличной одежде;

– *помещения 3в категории*: помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении стоя без уличной одежды;

– *помещения 4-й категории*: помещения для занятий подвижными видами спорта;

– *помещения 5-й категории*: помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки, процедурные кабинеты, кабинеты врачей);

– *помещения 6-й категории*: помещения с временным пребыванием людей (вестибюли, гардеробные, коридоры, лестницы, санузлы, курительные, кладовые)

Согласно [26], в таблице 1.2 приведены нормы температуры, влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне общественных и административных зданий.

Таблица 1.2 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне общественных и административных зданий [26]

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более	оптимальная, не более	допустимая, не более
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Холодный	1	20-22	18-24	19-20	17-23	45-30	60	0,2	0,3
	2	19-21	18-23	18-20	17-22	45-30	60	0,2	0,3
	3а	20-21	19-23	19-20	19-22	45-30	60	0,2	0,3
	3б	14-16	12-17	13-15	13-16	45-30	60	0,2	0,3
	3в	18-20	16-22	17-20	15-21	45-30	60	0,2	0,3
Холодный	4	17-19	15-21	16-18	14-20	45-30	60	0,2	0,3
	5	20-22	20-24	19-21	19-23	45-30	60	0,15	0,2
	6	16-18	14-20	15-17	13-19	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется
	Ванные, душевые	24-26	18-28	23-25	17-27	не нормируется	не нормируется	0,15	0,2
Теплый	Помещения с постоянным пребыванием людей	23-25	18-28	22-24	19-27	60-30	65	0,15	0,25

Указанные в таблице 1.2 значения перечисленных параметров должны соблюдаться в обслуживаемой зоне, за которую принято пространство, ограниченное плоскостями, параллельными полу и стенам на высоте 0,1 м и 2,0 м над уровнем пола и на расстоянии 0,5 м от внутренних поверхностей наружных и внутренних стен, окон и отопительных приборов.

### 1.2.2 Зарубежный опыт нормирования параметров микроклимата

Европейская Директива по энергетической эффективности зданий [122, 123, 124, 125], которая была принята в начале 2000-х гг., а в 2006 году план действий Европейского союза по энергетической эффективности [121] и его многочисленные редакции, последний пересмотр которых состоялся в 2021 году, направлены на дальнейшее стимулирование усилий в продвижении энергоэффективности и достижении показателей энергосбережения в борьбе с изменением климата. Согласно директивам, повышение энергоэффективности в развитии строительной отрасли рассматривается в качестве преобладающего направления. Особое внимание в уделено показателям микроклимата помещения, а именно тепловлажностным параметрам и воздухообмену.

На положениях, приведенных выше, основан стандарт EN 15251 «Исходные параметры микроклимата помещений для проектирования и оценки энергетической эффективности зданий в отношении качества воздуха, теплового комфорта, освещения и акустики» [63].

В строительной отрасли в последние годы совершенствуются методы и способы оценки параметров микроклимата помещений. Одним из примеров такого метода может служить стандарт ГОСТ Р ИСО 7730–2009 «Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта» [28]. В последней редакции этого стандарта расширен диапазон учитываемых параметров наружной среды и персональных параметров (степень одетости, величина метаболизма).

Прогнозируемая средняя оценка PMV («predicted mean vote») - показатель, с помощью которого прогнозируют среднее значение чувствительности к температуре большой группы людей на основе баланса температуры тела человека по 7-балльной шкале (таблица 1.3). Баланс температуры достигается, когда вырабатываемая телом человека теплота

равна потере телом теплоты в окружающей среде. В умеренной среде система терморегуляции человека способна автоматически корректировать температуру кожи и потоотделение для поддержки баланса температуры тела [28].

Таблица 1.3 – Семибалльная шкала чувствительности к температуре [28]

Оценка в баллах	Ощущения человека
+3	Жарко
+2	Тепло
+1	Немного тепло
0	Нейтрально
-1	Немного прохладно
-2	Прохладно
-3	Холодно

Значение показателя PMV определяется по формулам [28]:

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) ((M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \times (5733 - 6,99(M - W) - p_a) - \\
 & - 0,42((M - W) - 58,15) - 1,7 \times 10^{-5} M(5867 - p_a) - 0,001 \cdot 4M(34 - t_a) - \\
 & - 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \left( (t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \right) - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)
 \end{aligned} \quad (1.4)$$

где  $M$  – скорость обмена веществ, Вт/м<sup>2</sup>;

$W$  – эффективная механическая энергия, Вт/м<sup>2</sup>;

$I_{cl}$  – коэффициент теплоизоляции одежды, м<sup>2</sup>·К/Вт;

$f_{cl}$  – коэффициент площади поверхности одежды;

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} \text{ for } I_{cl} \leq 0,078 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/W} \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} \text{ for } I_{cl} > 0,078 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/W} \end{cases} \quad (1.5)$$

$t_a$  – температура воздуха, °С;

$\bar{t}_r$  – средняя температура излучения, °С;

$v_{ar}$  – скорость движения воздуха, м/с. Принимается равной

$$v_{ar} = v + 0,005(M - 58) ,$$

где  $v$  – средняя подвижность воздуха в помещении, м/с;

$p_a$  – парциальное давление водяного пара, Па;

$h_c$  – коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$$h_c = \begin{cases} 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} & \text{for } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{v_{ar}} \\ 12,1\sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (1.6)$$

$t_{cl}$  – температура поверхности одежды, °С.

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl}((3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot ((t_{cl} + 273)^4) + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)) \quad (1.7)$$

PPD «predicted percentage of dissatisfied» – это показатель, который устанавливает прогнозируемый процент недовольных температурой среды людей, которым слишком тепло или холодно. В указанном стандарте [28] под недовольными температурой среды людьми понимают тех людей, которые будут оценивать среду как "жарко", "тепло", "прохладно" или "холодно" по 7-балльной шкале температурной чувствительности, приведенной в таблице 1.3. Показатель PPD вычисляется по уравнению (1.8)

$$PPD = 100 - 95 \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (1.8)$$

В [28] приведены показатели скорости обмена веществ у людей в зависимости от их физической активности (Таблица 1.4), а также примеры требований температурного комфорта для различных категорий среды (Таблица 1.5), предписывающей максимальный процент недовольных температурой и значения температур внутреннего воздуха (Таблица 1.6). Чем выше категория, тем более высокие требования предъявляются к показателям внутренней среды, что влечет за собой повышение требований к инженерным системам, оборудованию и состоянию наружной оболочки здания.

Таблица 1.4 – Скорость обмена веществ при различной двигательной активности [28]

Двигательная активность, поза	Скорость обмена веществ	
	Вт/м <sup>2</sup>	мет
Полулежа	46	0,8
Сидя, расслабленно	58	1,0
Сидячая работа (в офисе, дома, в школе, в лаборатории)	70	1,2
Легкая двигательная активность, работа в позе стоя	93	1,6
Средняя двигательная активность, работа в позе стоя	116	2,0
Ходьба по горизонтальной поверхности:		
2 км/ч	110	1,9
3 км/ч	140	2,4
4 км/ч	165	2,8
5 км/ч	200	3,4

Таблица 1.5 – Характеристики категории термальной среды [28]

Категория	Тепловое состояние организма в целом	
	PPD %	Прогнозируемое среднее количество голосов
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7

Таблица 1.6 – Примеры рекомендуемых расчетных значений внутренней температуры для проектирования зданий и систем HVAC [28]

Тип здания / помещения	Категория	Рабочая температура, °С	
		Минимум для отопления (зимний сезон), ~ 1,0 Clo	Максимум для охлаждения (летний сезон), ~ 0,5 Clo
Школьный класс Сидячий ~ 1,2 м	I	21	25
	II	20	26
	III	19	27

Сравнивая подход РФ и зарубежных стран к нормированию показателей микроклимата, следует отметить большое сходство в учитываемых параметрах. Показатели, которых нет в нормах РФ (коэффициент

теплоизоляции одежды, уровень энергозатрат и т. д.), просто учтены в рекомендациях по типам помещений, поэтому на самом деле они также присутствуют в расчётах.

### **1.3 Существующие методики определения бытовых теплопоступлений**

В начале 90-х гг. XX века в связи с переходом на рыночную экономику и, как следствие, ростом цен на энергетические ресурсы, одной из первостепенных задач государственной политики становится проблема энергосбережения, которая влечет за собой повышение требований к теплозащите зданий и изменение нормативно-правовой базы в строительной отрасли.

Международная практика по контролю и обеспечению необходимого уровня энергоэффективности зданий является одним из средств регулирования в области энергосбережения. Системы энергетических паспортов или энергетических сертификатов зданий в различных странах основываются на показателях энергоэффективности наружных ограждений, на использовании энергоэффективных технологий при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования, и в большей степени зависят от проработанности законодательной базы, а также от финансирования.

#### **1.3.1 Определение бытовых теплопоступлений по ГОСТ Р 55656–2013 (ИСО 13790:2008) «Энергетические характеристики зданий. Расчет использования энергии для отопления помещений»**

На тепловой баланс зданий оказывает влияние ряд факторов, среди которых теплота от внутренних источников, так называемых бытовых, к которым относятся люди, электроприборы, освещение и т. д.



Внутренние теплопоступления по [29] зависят от удельных бытовых тепловыделений в здании  $q_{\text{в}}$ , которые включают в себя  $A_{\text{р}}$  – расчетную площадь помещений,  $\text{м}^2$ ;  $q_{\text{чел}}$  – тепловыделения от одного человека, принимаемые 90 Вт/чел;  $n_{\text{чел}}$  – расчетное число работающих, чел;  $p_{\text{чел}}$  – заполняемость помещений людьми;  $Q_{\text{осв}}$  – проектную мощность освещения, Вт;  $m_{\text{осв}}$  – среднее за отопительный период число часов работы освещения в помещениях зоны, ч;  $q_{\text{орг}}$  – среднюю по расчетной площади зоны удельную установленную мощность (тепловой поток), Вт/м, от оргтехники и других внутренних источников теплоты, принята 10 Вт/м<sup>2</sup>;  $m_{\text{орг}}$  – число часов работы оргтехники или других внутренних источников теплоты за неделю, ч;  $p_{\text{орг}}$  – долю одновременно работающих источников теплоты.

Удельные бытовые тепловыделения зависят от времени работы и заполняемости помещений и определяются по формуле:

$$q_{\text{в}} = \frac{(q_{\text{чел}} \cdot n_{\text{чел}} \cdot m_{\text{раб}} \cdot p_{\text{чел}} + Q_{\text{осв}} \cdot m_{\text{осв}} + q_{\text{орг}} \cdot A_{\text{р}} \cdot m_{\text{орг}} \cdot p_{\text{орг}})}{168 \cdot A_{\text{р}}}, \quad (1.9)$$

Далее, основываясь на величине удельных бытовых тепловыделений, рассчитываются бытовые теплопоступления  $Q_{\Sigma_{\text{в,от}}}$ , МДж, на величину которых оказывает влияние продолжительность отопительного периода и расчетная площадь исследуемого здания

$$Q_{\Sigma_{\text{в,от}}} = 0,0864 \cdot q_{\text{в}} \cdot z_{\text{от}} \cdot A_{\text{р}}, \quad (1.10)$$

где  $z_{\text{от}}$  – продолжительность отопительного периода, дни;

$A_{\text{р}}$  – расчетная площадь здания,  $\text{м}^2$ .

По изложенной методике для условного объекта здания общеобразовательной организации были рассчитаны бытовые теплопоступления,  $Q_{\Sigma_{\text{в,от}}}$ , которые составили 1 341 452,1 МДж [5].

### 1.3.2 Определение бытовых теплопоступлений по ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Энергетическая эффективность зданий. Метод расчета энергопотребления при отоплении, охлаждении, вентиляции, освещении и горячем водоснабжении» (EN ISO 13790)

Согласно методике определения бытовых теплопоступлений по ДСТУ [34], учитывается усредненный по времени тепловой поток от каждого из внутренних источников энергии. Значения выделяемой теплоты от каждого из участвующих в расчете источников приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Теплопоступления от людей, освещения и оборудования, значения по умолчанию

Назначение здания	График использования, ч/неделю	Метаболическая теплота $\Phi_{int, Oc}$ , Вт/м <sup>2</sup>	Освещение $\Phi_{int, L}$ , Вт/м <sup>2</sup>	Оборудование $\Phi_{int, A}$ , Вт/м <sup>2</sup>
Здания учебных организаций	50	7,0	7,0	6,0

Теплопоступления от внутренних тепловых источников в здании определяются как сумма произведений усредненных значений теплового потока от внутренних источников на кондиционируемую площадь :

$$Q_{int} = (\sum_k \Phi_{int, mn, k} \cdot A_f) t, \quad (1.11)$$

где  $\Phi_{int, mn, k}$  – усредненный во времени тепловой поток от  $k$ -го внутреннего источника, Вт/м<sup>2</sup>;

$A_f$  – кондиционируемая площадь зоны здания, м<sup>2</sup>;

$t$  – продолжительность периода использования, выраженная в часах в месяц.

При определении бытовых теплопоступлений по данной методике для условного объекта здания общеобразовательной организации величина  $Q_{int}$

составила 719 912,52 МДж, что 1,85 раза отличается от методики, изложенной в [29].

### 1.3.3 Определение бытовых теплопоступлений по методике Шкловера

По методике, предложенной А. М. Шкловером [106], представляется возможным определить количество выделяемой теплоты по приросту температуры.

Повышение температуры в помещении зависит от следующих характеристик [5]:

- количества теплоты, которое выделяется в помещении при повышении температуры внутреннего воздуха на 1 °С;
- усредненного коэффициента теплоусвоения всех поверхностей в помещении  $Y_0$ ;
- общей площади всех поверхностей помещения  $F_0$ .

Прирост температуры внутреннего воздуха в течение рабочего дня зависит от длительности теплоподдачи, метаболической теплоты от людей, площади поверхностей и коэффициента теплоусвоения:

$$\Delta t = \frac{W_m}{F_0} \left( \frac{\Omega'_{\max} - \Omega'_{\min}}{Y_0} + \frac{1}{\alpha_g} \right), \quad (1.12)$$

где  $W_m$  – метаболическое тепло от людей, Вт;

$F_0$  – общая площадь всех поверхностей помещения, м<sup>2</sup>;

$\Omega'_{\max}, \Omega'_{\min}$  - величины, зависящие от длительности теплоподдачи и времени, прошедшего от окончания теплоподдачи о рассматриваемого момента в долях периода. Принимаются по [105];

$Y_0$  – усредненный коэффициент теплоусвоения поверхностей помещения, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\alpha_g$  – коэффициент теплоотдачи внутреннего воздуха, Вт/(м·К).

Колебание температуры, определяемое по формуле 1.12, не учитывает теплопоглощение воздухом и оборудованием, которое находится в исследуемом помещении, и может оказывать существенное влияние на величину температурного прироста. Для учета указанных параметров необходимо ввести поправочный коэффициент  $\xi$  [105]:

$$\xi = \frac{1}{1 + \frac{A}{F_0} \left( \frac{1}{Y_0} - \frac{1}{\alpha'_s} + \frac{1}{\alpha'_k} \right)}, \quad (1.13)$$

где  $A$  – сумма коэффициентов теплопоглощения воздухом и оборудованием ( $A_{\text{воз}} + A_{\text{обор}}$ );

$\alpha_k$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м·К);

$\alpha'_в$  – коэффициент теплоотдачи внутреннего воздуха с учетом усредненного по площади коэффициента теплоотдачи излучением  $\alpha'_л$  и коэффициента теплоотдачи конвекцией  $\alpha_k$ , Вт/(м·К).

При учете теплопоглощения воздухом и оборудованием температурные колебания составят

$$\Delta t'_{\text{возд}} = \Delta t \cdot \xi. \quad (1.14)$$

Зная величину прироста температуры  $\Delta t$ , возможно определить количество теплоты, соответствующее величине прироста. Количество теплоты позволит определить фактическое значение теплоступлений в исследуемом помещении и уточнить величину бытовых теплоступлений в зданиях общеобразовательных организаций.

#### **1.4 Анализ объемно-планировочных и конструктивных решений зданий общеобразовательных организаций**

Первые проекты училищ и школ, возведенных на территории современной России как самостоятельных общественных зданий, были разработаны еще в XVIII веке [39]. После культурной революции в начале XX века стали формироваться многочисленные типы общественных зданий.

Формирование архитектуры зданий школ при реализации всеобщего обязательного обучения детей стало одним из наиболее массовых типов [53].

Здания школ во второй половине 20-х гг. XX века проектировались крупногабаритными и отличались большой вместимостью, от 1,5 до 2 тыс. человек. Окна классов проектировались с южной и юго-восточной ориентацией. Помещения школы должны были иметь достаточное естественное освещение, оборудовались центральным отоплением, вентиляцией, имели качественную отделку (паркетные полы, дубовые парадные двери). Однако в начале 30-х гг. после перехода на систему классного обучения возникла необходимость в строительстве большого числа новых общеобразовательных организаций по более экономичным проектам. Новая организационная структура и типы общеобразовательных школ по их вместимости – на 280, 400 и 880 учащихся, были определены постановлением СНК СССР и ЦК ВКП(б) от 15 мая 1934 г. Массовое возведение такого типа общеобразовательных организаций стало причиной жесткого ограничения их строительного объема. Учебные помещения в результате этого составили две трети, а вспомогательные – треть общей площади помещений. До 1935 года строительство школ осуществлялось по индивидуальным или повторяющимся проектам. Типовое строительство зданий общеобразовательных организаций было введено после 1936 года и продолжало развиваться и совершенствоваться в последующие десятилетия.

К середине 1970-х гг. вместимость городских зданий общеобразовательных школ должна была приниматься не менее 30 классов, что соответствовало 1176 ученическим местам [72]. В качестве решения проблемы дефицита помещений решено было производить реконструкцию зданий путем пристройки блоков различного назначения (таблицы 1.8–1.9).

Таблица 1.8 – Варианты преобразований типовых серий зданий общеобразовательных организаций [72]

Типовой проект школы	Планировочная схема	Единая номенклатура типовых блоков для пристроек к городским и сельским школам													Вместимость школы после пристройки (по СНиП II-65-73)				
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	10 кл.	12 кл.	16 кл.	20 кл.	30 кл.
Б2-02-660 на 320 уч. Белгоспроект 1961 г.	<b>Г</b>		■					■							■				
2-10М-6 на 320 уч. РОСГИПРОСЕЛЬХОЗСТРОЙ, 1961 г.	<b>ГГ</b>		■									■			■	■			
2Р-02-4/64 на 320 уч. ЦНИИЭП учебных зданий 1964 г.	<b>ГГГ</b>		■									■			■				
2С-02-3 на 320 уч. ЦНИИЭП учебных зданий 1964 г.	<b>ГГГГ</b>		■									■			■				
224-1-9 на 320 уч. ГИПРОСЕЛЬСТРОЙ 1965 г.	<b>ГГГГГ</b>	■						■							■				
2Р-02-3 на 480 уч. ГИПРОПРОС 1962 г.	<b>ГГГГГГ</b>	■						■								■			
224-1-32 на 536/480 уч. ГИПРОСЕЛЬСТРОЙ 1966 г.	<b>ГГГГГГГ</b>		■													■			
2-02-660 на 12 классов (536 уч.) ГИПРОПРОС 1962 г.	<b>ГГГГГГГГ</b>		■													■			
2Р-02-9/64 на 640 уч. ЦНИИЭП учебных зданий 1964 г.	<b>ГГГГГГГГГ</b>	■						■									■		
224-1-19 на 640 уч. ГИПРОСЕЛЬСТРОЙ 1966 г.	<b>ГГГГГГГГГГ</b>	■							■								■		
													■		■				■

2-02-73 на 920 уч. ГИПРОГРАД 1957 г.	<b>Г Н Н Н Н</b>																			
2Р-02-1 на 960 уч. ГИПРОПРОС 1961 г.																				
2Р-02-2 на 964 уч. ГИПРОПРОС 1964 г.																				
2С-02-8 на 24 кл. (960-1000 уч.) ЦНИИЭП учебных зданий 1964 г.																				
2С-02-7 на 32 кл. (1280-1320 уч.) ЦНИИЭП учебных зданий 1964 г.																				

Таблица 1.9 – Единая номенклатура типов блоков для пристроек к существующим зданиям сельских и городских общеобразовательных школ, построенных по проектам прошлых лет

№ блока	Блок
I	Универсальный на 4 учебных помещения (кабинеты, лаборатории)
II	Универсальный на 6 учебных помещений (кабинеты, лаборатории)
III	Универсальный на 9 учебных помещений (кабинеты, лаборатории)
IV	Учебных мастерских для трудового обучения на 4 помещения
V	Спортивного зала 9x18 м с военным кабинетом
VI	Спортивного зала 12x24 м с военным кабинетом
VII	Актового зала на 120 зрительских мест с помещениями для организации продленного дня
VIII	Актового зала на 160 зрительских мест с помещениями для организации продленного дня
IX	Актового зала на 240 зрительских мест с помещениями для организации продленного дня
X	Столовой на 116 мест в зале
XI	Столовой на 196 мест в зале
XII	Столовой на 294 места в зале
XIII	Учебного гаража на две автомашины (вариант с навесом для сельскохозяйственных машин)

По мере развития и совершенствования нормативной базы к планировочным параметрам помещений общеобразовательных организаций. В таблице 1.10 представлен сравнительный анализ требований по площади помещений школ.

Таблица 1.10 – Удельные показатели площадей классных помещений и учебных кабинетов

Помещение	Площадь, м <sup>2</sup> , на одного ученика			
	СНиП II-65–73 [85]	ВСН 50–86 [21]	ДСанПиН 5.5.2.008–01 [33]	СанПиН 2.4.2.2821–10 [80]
Классы и учебные кабинеты	1,25	1,5	2,4	- не менее 2,5 м <sup>2</sup> на 1 обучающегося при фронтальных формах занятий; - не менее 3,5 м <sup>2</sup> на 1 обучающегося при организации групповых форм работы и индивидуальных занятий.

На сегодняшний день большая часть эксплуатируемых зданий общеобразовательных организаций представлена зданиями типовых серий. Наибольшее распространение на территории СНГ получили типовые серии зданий общеобразовательных организаций бескаркасной конструктивной схемы из керамического кирпича и каркасные здания со стеновыми панелями из керамзитобетона.

На рисунках 1.5–1.7 представлены наиболее распространенные на типовые серии школ бескаркасной конструктивной схемы. Материал наружных стен – кирпич.





Рисунок 1.5 – Проект 260. Школа на 880 (960) учащихся.

Этажность – 4. Архитекторы: Смышляев В.Я., Мордвишов Е.Г.



Рисунок 1.6 – Проект 2-02-27.

Школа на 880 (920) учащихся.

Этажность – 4. Архитекторы: Смышляев В., Цыпин А., Иошпа М.  
Дата утверждения – 1954 год.



Рисунок 1.7 – Проект 2-02-73. Школа на 920 учащихся. Этажность – 3.

Архитекторы: Каракис И. Ю., Зуев Г., Савченко Н. Г.

Дата утверждения – 1957 год.

На рисунках 1.8–1.9 представлены наиболее распространенные серии школ каркасной конструктивной схемы. Материал наружных стен – керамзитобетонные панели.



Рисунок 1.8 – Школа на 1176 учащихся по типовой серии 222-1-193/75. Этажность – 3. Дата утверждения – 1975 год.



Рисунок 1.9 – Школа на 1926 учащихся по типовому проекту 222-1-437.85 в конструкциях серии 1.020–1/83. Этажность – 3. Дата утверждения – 1982 год.

На основании проведенного анализа типовых проектов общеобразовательных организаций, были выделены наиболее распространенные серии, эксплуатируемые в настоящее время. Анализ и отбор типовых серий зданий общеобразовательных организаций произведен по следующим параметрам: вместимость здания (по максимальному количеству учащихся на основании типового проекта); этажность (выбраны школы двух-, трех- и четырехэтажные); площадь здания (общая и расчетная) и материал наружных ограждающих конструкций (в зависимости от конструктивной схемы здания – бетон или кирпич). Данные представлены в таблице 1.11. Также были проанализированы такие факторы, как режим работы зданий, назначение, от которого зависит время пребывания учащихся и сотрудников в зданиях такого типа.

Таблица 1.11 – Типовые проекты и основные параметры зданий общеобразовательных организаций

Типовой проект	Год	Вместимость, уч.	Этажность	Σ площадь, м <sup>2</sup>	Материал
Серия 107	1936	880	4	3270,16	кирпич
Серия 222-1-36 (2с-02-10)	1966	>1100	2-4	6421,1	бетонные панели
Проект 29 (2-02-20)	1939	800	3	3763,05	кирпич
Серия 2-02-76	1957	520	3	2828,34	кирпич
Серия 2-02-73	1957	920	3	3840,15	кирпич
Серия 260	1936	880(960)	4	2626,23	кирпич
Серия 2-02-05	1947	400	2	1922,1	кирпич
Серия 2-02-52	1950-е гг.	880	3	3890,7	кирпич
Серия 2-02-17	1954	400	3	1983,03	кирпич
Серия 2-02-02	1938	880	4	3327,56	кирпич
Серия 2-02-27	1954	880(920)	4	4238,4	кирпич
Серия 2с-02-07	1964	>1100	4	4217,4	кирпич
Серия 108	1936	800	4	3739,56	кирпич
Серия 221-1-450.8	1985	700	3	4881,1	бетонные панели
Серия 222	1950-е гг.	400	2	1719,68	кирпич
Серия 222-1-118	1971	>1100	3	4443,4	бетонные панели
Серия 224-1-314	1978	>1100	4	4634,89	кирпич
Серия арх. Коднера	1935	800	4	3698,5	кирпич

На основании выполненного анализа была выполнена классификация зданий общеобразовательных организаций, представленная в виде блок-схемы (рис. 1.10).

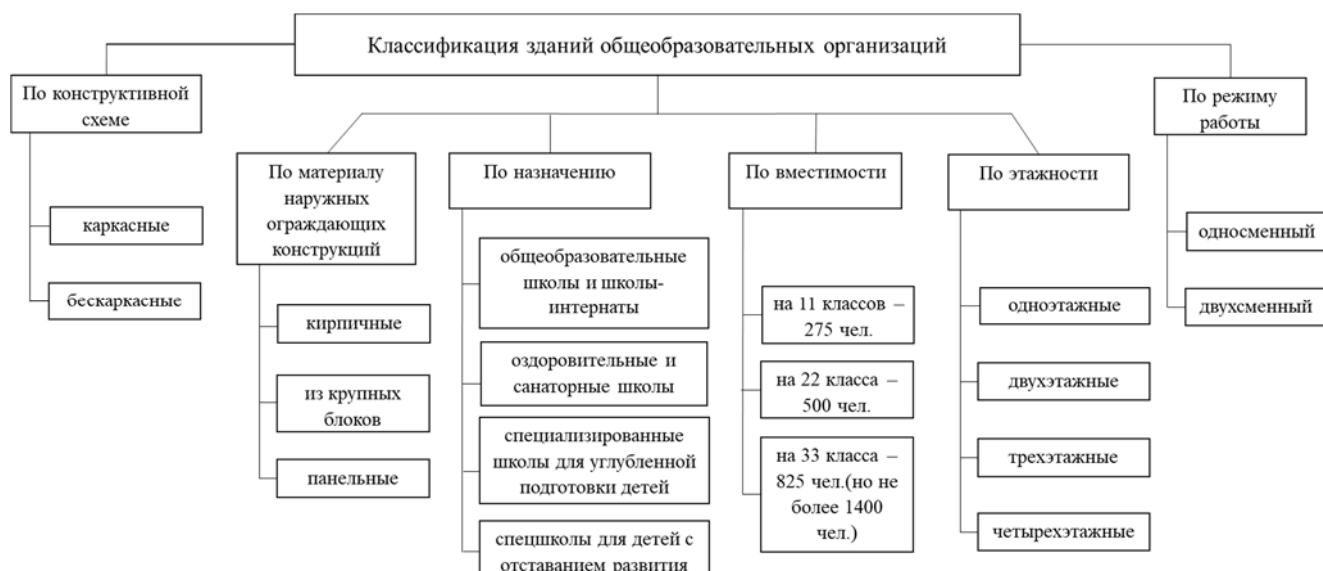


Рисунок 1.10 – Классификация зданий общеобразовательных организаций

Основываясь на приведенной выше классификации зданий общеобразовательных организаций, для исследования энергетических характеристик были выбраны типовые серии зданий, наиболее распространенные на территории нашего региона, с различными по материалу наружными ограждающими конструкциями, этажностью и объемно-планировочными решениями, а также различной вместимости.

## 1.5 Выводы по первому разделу

1. Несмотря на длительное изучение вопросов, связанных с параметрами внутренней среды помещений общественных зданий, применяемые методики расчета поступлений теплоты от людей в зданиях общеобразовательных организаций требуют уточнения и разработки методики расчета с учетом вида деятельности и уровня физической нагрузки, выполняемой людьми в помещениях данной категории, с уточнением величины тепловыделений от одного человека.

2. Рассмотренные методики определения бытовых тепlopоступлений в зданиях общеобразовательных организаций дают

различные значения по величинам бытовых теплопоступлений. Установлено, что данные, полученных в ходе расчета, отличаются в 1,85 раза, что не позволяет выбрать оптимальную методику для расчета энергии, расходуемой на отопление зданий, оценить влияние бытовых теплопоступлений на энергетический баланс зданий общеобразовательных организаций и требует дальнейших исследований для определения наиболее точной методики.

3. Для разработки методики расчета выполнена классификация зданий общеобразовательных организаций по параметрам, способным оказать влияние на величину бытовых теплопоступлений, и определены наиболее распространенные типовые серии эксплуатируемых зданий общеобразовательных организаций. Полученные в ходе анализа данные могут служить исходными параметрами для разработки методики расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций.

**РАЗДЕЛ 2****ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
БАЛАНСА ЗДАНИЙ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ С  
УЧЕТОМ БЫТОВЫХ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ****2.1 Постановка задачи**

Для разработки методики расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций необходимо учитывать нестационарный тепловой режим помещений, который характеризуется неравномерными поступлениями теплоты и распределением температуры внутреннего воздуха.

Светонепроницаемые ограждения могут граничить с внешней средой или разделять два помещения, одинаковых по тепловому режиму, или же помещения с различным тепловым режимом. Также считается, что светопрозрачные конструкции всегда наружные. Ограждающие конструкции в общем случае являются неоднородными.

При разработке методики учитывались:

- теплотехнические характеристики материалов слоев ограждений;
- теплопередача за счет теплопроводности и конвекции;
- кратность воздухообмена в помещениях принималась согласно нормам СанПин [80];
- начальная температура в помещениях, учитывающая работу систем отопления;
- колебания температуры воздуха в объеме помещения в каждый момент времени в исследуемом диапазоне.

## 2.2 Теплообмен в помещении при периодических тепловыделениях

В соответствии и с поставленной целью и задачами исследования, подробному рассмотрению подлежит температурный режим учебных помещений и энергетический баланс зданий общеобразовательных организаций.

Для выполнения работы была создана структурная схема исследования влияния бытовых теплопоступлений на тепловой баланс зданий общеобразовательных организаций, представленная на рисунке 2.1.

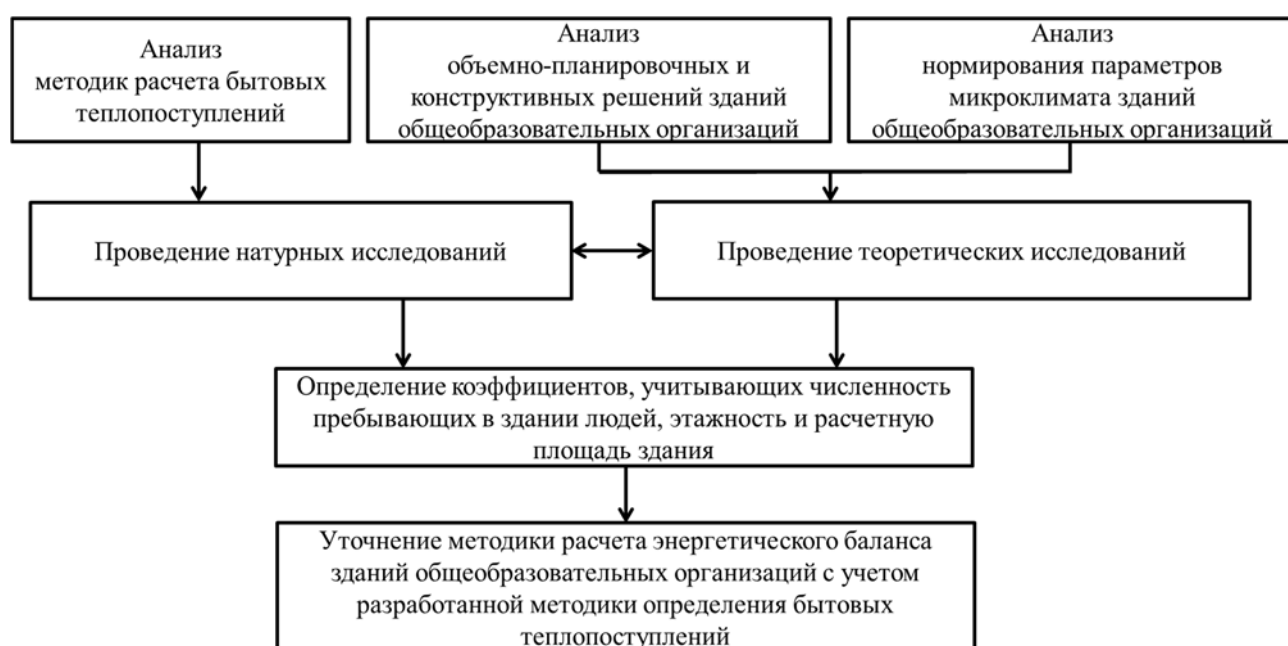
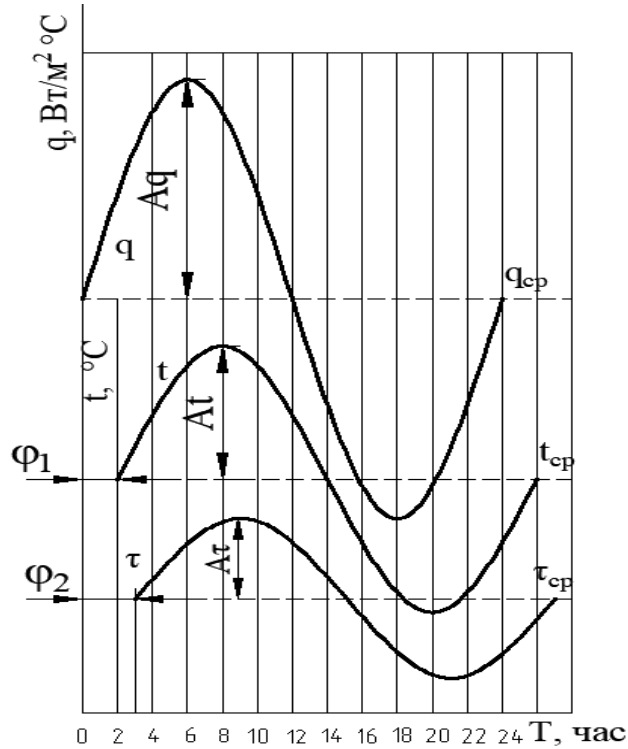


Рисунок 2.1 – Структурная схема исследования бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций

Тепловой режим помещений зданий общеобразовательных организаций зависит от совместного учета работы системы отопления и периодических тепловыделений от учащихся во время эксплуатации таких помещений.

Установленные в помещении отопительные приборы и люди, находясь в помещении, выделяют тепловой поток, изменяющийся во времени по закону правильной гармонической функции [82]. Температура воздуха также будет испытывать гармонические колебания с тем же периодом (рисунок 2.2).

Колебания теплового потока при гармонических тепловыделениях в помещении состоят из теплоты, получаемой ограждениями за счет конвекции, от лучистого теплообмена в помещении и непосредственно излучением от источника теплоты, что отражено в уравнении колебания теплового потока.



$q, t, \tau$  – колебания теплового потока, температуры воздуха во времени и температуры поверхности ограждения;  
 $q_{cp}, t_{cp}, \tau_{cp}$  – средние значения колебаний указанных величин соответственно;  
 $A_q, A_t, A_\tau$  – амплитуды колебаний теплового потока, температуры воздуха и температуры поверхности;  $\phi_1, \phi_2$  – углы сдвига фаз.

Рисунок 2.2 – Зависимость температур и теплового потока с учетом сдвига фаз

Значения температуры воздуха в помещении, температуры поверхности ограждения и теплового потока в некоторый момент времени представляются формулами

$$q = q_{cp} + A_q \sin 15T ; \quad (2.1)$$

$$t = t_{cp} + A_t \sin(15T - \phi_1) ; \quad (2.2)$$



$$\tau = \tau_{cp} + A_{\tau} \sin(15T - \varphi_2). \quad (2.3)$$

Между данными величинами имеются следующие зависимости

$$q = (t - \tau)\alpha_{\epsilon}; \quad q_{cp} = (t_{cp} - \tau_{cp})\alpha_{\epsilon}. \quad (2.4)$$

Следовательно, амплитуда колебаний будет представлена следующим выражением

$$A_q \sin 15T = [A_t \sin(15T - \varphi_1) - A_{\tau} \sin(15T - \varphi_2)]\alpha_{\epsilon}. \quad (2.5)$$

От амплитуды колебаний, согласно [19], зависит коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности, что в свою очередь влияет на тепловой баланс.

В помещении должен существовать баланс между теплотой, выделяемой в помещении, и теплотой, поглощаемой всеми стенками [105].

$$W = \sum Q \cdot F = \Delta t_{возд} \sum B_0 \cdot F, \quad (2.6)$$

где  $W$  – теплота, выделяемая в помещении;

$Q$  – колебания тепловых потоков;

$F$  – площадь поверхностей помещения;

$B_0$  – коэффициент теплопоглощения поверхности;

$\Delta t_{возд}$  – колебание температуры воздуха.

Уравнение колебаний теплового потока на внутренней поверхности ограждения  $n$  при гармонических тепловыделениях в помещении  $W$

$$Q_n = \alpha_{\kappa} (\Delta t_{возд} - \Delta t_n) + \alpha_n (\Delta t_{окр} - \Delta t_n) + \frac{\epsilon_n \cdot W}{F_n}, \quad (2.7)$$

где  $Q_n$  – колебания поглощаемого ограждением теплового потока;

$\Delta t_{\text{возд}}$  – колебание температуры воздуха помещения;

$\Delta t_n$  – колебание температуры воздуха поверхности ограждения;

$\Delta t_{\text{окр}}$  – колебание усредненной температуры поверхностей, окружающих ограждение  $n$ , по отношению к которым происходит взаимооблучение поверхности  $n$ ;

$F_n$  – площадь поверхности ограждения;

$\varepsilon_n$  – доля выделяемой теплоты в помещении, переходящая излучением от источника теплоты к поверхности  $F_n$ , если источник существует отдельно от ограждений.

Принимая  $\Delta t_o$  за колебания усредненной температуры всех поверхностей ограждений, получим

$$Q_n = \alpha_k (\Delta t_{\text{возд}} - \Delta t_n) + \alpha_l (\Delta t_o - \Delta t_n) + \frac{\varepsilon_n \cdot W}{F_n} \quad (2.8)$$

Уравнение баланса доли выделяемой в помещении теплоты  $\eta$ , передающейся от источника всем ограждениям

$$W \eta = \alpha_k (\Delta t_{\text{возд}} - \Delta t_o) F_o. \quad (2.9)$$

Тогда с учетом преобразований, второй и третий член уравнения (2.7) примут вид

$$\alpha_l (\Delta t_o - \Delta t_n) + \frac{\varepsilon_n \cdot W}{F_n} = \alpha_l (\Delta t_{\text{возд}} - \Delta t_n) + W \left( \frac{\varepsilon_n}{F_n} - \frac{\alpha_l \cdot \eta}{\alpha_k \cdot F_o} \right). \quad (2.10)$$

Выражая колебания температуры поверхности ограждения через коэффициенты теплоусвоения  $Y_n$  и теплопоглощения  $B_n$  поверхности в уравнении (2.7), получим

$$Q_n = \alpha_\varepsilon \left( \Delta t_{\text{вoзд}} - \frac{Q_n}{Y_n} \right) + W \left( \frac{\varepsilon_n}{F_n} + \frac{\eta}{F_o} + \frac{\alpha_\varepsilon \eta}{\alpha_\kappa F_o} \right); \quad (2.11)$$

или

$$Q_n = \left( \Delta t_{\text{вoзд}} + \frac{W\eta}{F_o \alpha_\varepsilon} - \frac{W\eta}{F_o \alpha_\kappa} + \frac{W\varepsilon_n}{F_n \alpha_\varepsilon} \right) \cdot B_n. \quad (2.12)$$

Суммируя тепловые потоки на поверхностях всех ограждений и учитывая усредненное значение величины  $B_o$ , получаем

$$W = \sum Q_n F_n = \left( \Delta t_{\text{вoзд}} + \frac{W\eta}{F_o \alpha_\varepsilon} - \frac{W\eta}{F_o \alpha_\kappa} \right) \cdot B_o F_o + \frac{W}{\alpha_\varepsilon} \sum \varepsilon_n B_n. \quad (2.13)$$

Решив уравнение (2.13) относительно  $\Delta t_{\text{вoзд}}$ , получим уточненное уравнение колебаний температуры внутреннего воздуха

$$\Delta t_{\text{вoзд}} = \frac{W}{F_o} \left[ \frac{1}{B_o} - \frac{1}{\alpha_\varepsilon} \left( \eta + \frac{(1-\eta)B_\varepsilon}{B_o} \right) + \frac{\eta}{\alpha_\kappa} \right]. \quad (2.14)$$

Данная методика расчета теплового баланса позволяет определять количество теплоты, выделяющейся от находящихся в помещении людей, при известной величине прироста температуры внутреннего воздуха.

### 2.3 Разработка методики расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций

Согласно логической схеме исследования (Рисунок 2.1), основываясь на методике определения расхода тепловой энергии, изложенной в ГОСТ Р 55656–2013 (ISO 13790:2008) «Энергетические характеристики зданий. Расчет использования энергии для отопления помещений» [29], была

разработана методика определения бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций с учетом уточненной величины тепловыделений от людей, находящихся в помещениях. Методика расчета расхода тепловой энергии на отопление и предложенная методика по определению бытовых теплопоступлений представлены на рисунке 2.2.

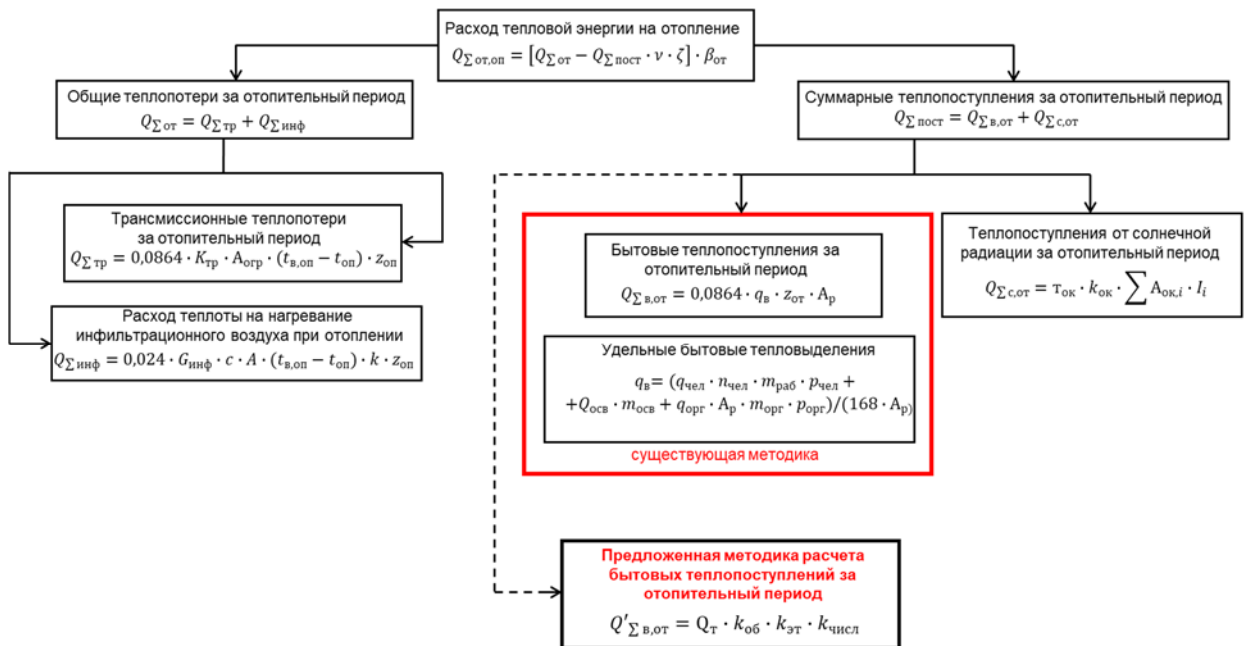


Рисунок 2.2 – Методика расчета расхода тепловой энергии на отопление по ГОСТ Р 55656–2013 и предложенное решение по определению бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций

Бытовые теплопоступления по методике [29] включают в себя удельные бытовые тепловыделения, площадь объекта и продолжительность исследуемого периода. Величина удельных бытовых тепловыделений зависит от тепловыделений от человека, количества человек, от мощности систем освещения и оборудования, находящегося в здании.

Удельные бытовые тепловыделения от людей, освещения и техники, задействованной в функциональном процессе, происходящем в здании, зависят от следующих параметров:

- расчетная площадь помещений,  $A_{\text{р}}$ , м<sup>2</sup>;

- тепловыделения от одного человека,  $q_{\text{чел}}$ , Вт/чел;
- расчетное число работающих,  $n_{\text{чел}}$ , чел;
- заполняемость помещений людьми,  $p_{\text{чел}}$ ;
- проектная мощность освещения,  $Q_{\text{осв}}$ , Вт;
- среднее за отопительный период число часов работы освещения в помещениях зоны,  $m_{\text{осв}}$ , ч;
- средняя по расчетной площади зоны удельная установленная мощность (тепловой поток),  $q_{\text{орг}}$ , Вт/м, от оргтехники и других внутренних источников теплоты;
- число часов работы оргтехники или других внутренних источников теплоты за неделю,  $m_{\text{орг}}$ , ч;
- доля одновременно работающих источников теплоты,  $p_{\text{орг}}$ .

После определения величины удельных бытовых тепловыделений, рассчитываются бытовые теплопоступления,  $Q_{\Sigma \text{в,от}}$ , МДж, с учетом  $z_{\text{от}}$  – продолжительность отопительного периода, дни; и  $A_p$  – расчетная площадь здания, м<sup>2</sup>.

Разработанная методика определения величины бытовых теплопоступлений позволяет находить величину бытовых теплопоступлений, основываясь на следующих данных: вместимость здания, его объемно-планировочные параметры (этажность и расчетная площадь), а также уточненное значение тепловыделений от людей, находящихся в помещениях зданий общеобразовательных организаций, которые принимаются по табличным данным в зависимости от параметров исследуемого здания общеобразовательной организации.

### 2.3.1 Тепловыделения от людей в зданиях общеобразовательных организаций

Механизмы терморегуляции позволяют поддерживать температуру тела человека независимо от колебаний температуры окружающей среды и отвечают за относительное постоянство температуры тела. Это постоянство дает возможность метаболическим процессам протекать с постоянной скоростью, позволяя животным и человеку оставаться одинаково активными и в холодном, и в жарком климате. Диапазон температур, в которых человек может нормально функционировать, достаточно узок, так как при температуре тела 40–45 °С в организме происходят необратимые процессы. Чтобы избежать этого, необходимо учитывать тепловое состояние в условиях теплового комфорта как такое нейтральное состояние, при котором механизмы терморегуляции не испытывают напряжения под влиянием факторов окружающей среды. Тепловое состояние человека является очень важным фактором, который необходимо учитывать при проектировании и в процессе эксплуатации зданий. В ходе исследования рассмотрены три методики определения тепловыделений от людей [6]:

1) методика СВТК (средневзвешенная температура кожи);

Теплота, которая вырабатывается в организме в условиях равновесия, отдается в окружающую среду поверхностью тела человека. Температура кожи человека в состоянии теплового комфорта различается на разных участках тела. Максимально точно можно охарактеризовать тепловое состояние по средневзвешенной температуре кожи (СВТК), что установлено в ходе экспериментальных исследований [98], определяемой по формуле

$$CBTK = \frac{t_1 S_1 + t_2 S_2 + \dots + t_n S_n}{S}, \quad (2.15)$$

где  $n$  – число участков (точек) измерения температуры;

$t_n$  – температура  $n$ -участка тела;

$S_n$  – площадь  $n$ -участка поверхности тела с температурой, равной  $t_n$ .

Существует не менее 15 различных вариантов выбора точек для измерения температуры поверхности тела человека. Связь между тепловыми ощущениями и СВТК можно пронаблюдать по данным таблицы 2.1, которые были получены в ходе многочисленных исследований посредством опроса испытуемых, замеров температуры кожи и температуры окружающей среды [50].

Таблица 2.1 – Средневзвешенная температура кожи и потери влаги в состоянии относительного покоя [50]

Теплоощущения	СВТК, °С	Потери влаги, г/ч
Очень жарко	$\geq 36,0$	500–2000 значительная часть пота стекает
Жарко	$36,0 \pm 0,6$	250–500 значительная часть пота стекает
Тепло	$34,9 \pm 0,7$	60–250 пот не стекает
Комфорт	$33,2 \pm 1,0$	$50 \pm 10$ пот не выделяется
Прохладно	$31,1 \pm 1,0$	40 пот не выделяется
Холодно	$29,1 \pm 1,0$ ( $27,9 \pm 1,5$ )	Влагопотери как показатель теплоощущений не характерны
Очень холодно	ниже 28,1 (26,4 и ниже)	

Зависимость температуры кожи от тепловых условий среды позволяет считать СВТК одним из показателей теплового комфорта. Таким образом, зная СВТК, можно определить количество теплоты, выделяемой человеком, по формуле (2.16)

$$Q = \alpha \cdot S \cdot (СВТК - t_{\text{в}}), \quad (2.16)$$

где  $S$  – площадь поверхности тела человека, м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$t_{\text{в}}$  – температура внутреннего воздуха, °С.

Основываясь на данной методике, была определена площадь поверхности тела (ППТ или BSA – body surface area) ребенка возрастом от 11 до 15 лет со следующими параметрами: рост 150 см, вес 45 кг. Для получения достоверных результатов вычисления производились по формулам Мостеллера (2.17) и Костеффа (2.18)

$$BSA = \sqrt{\frac{(H \cdot P)}{3600}} = 1,36.m^2, \quad (2.17)$$

$$BSA = \frac{4 \cdot P + 7}{P + 90} = 1,38.m^2, \quad (2.18)$$

где H – рост, см;

P – вес, кг.

Площадь отдельных участков тела человека соответствует их площади поверхности и определена, основываясь на «правиле девяток» [157], согласно которому голова и шея составляют 18%; верхние конечности – каждая по 9%; нижние конечности и стопы – каждая по 14%; передняя часть туловища (грудь и живот) – 18%; задняя часть туловища (спина + поясница и ягодицы) – 18%.

На основании полученных данных была определена СВТК для ребенка, которая составила 31,2 °С. Следовательно, тепlopоступления от ребенка возрастом 11–15 лет составят  $Q = 108,2$  Вт [6].

2) с учетом мощности метаболических процессов;

Согласно второму закону термодинамики, все процессы превращения энергии протекают с рассеиванием энергии в виде теплоты. Теплота поступает только из областей с более высокой температурой в область с более низкой. Следовательно, энергия от человека к окружающей среде передается при условии, что температура тела человека выше температуры среды.

В расчетах энергетических процессов теплообмена между человеком и окружающей средой важную роль играет метаболическая теплота.

Метаболическая энергия может быть определена по формуле (2.17)



$$M = b \cdot k \cdot \frac{V_{O_2}}{S}, \quad (2.17)$$

где  $V_{O_2}$  – потребление кислорода, л/ч;

$k$  – коэффициент, меняющийся от 0,83 (для отдыха) до 1 (для тяжелого физического труда);

$b=5,8$  Вт·ч/л – энергетический эквивалент 1 л кислорода;

$S$  – площадь поверхности тела человека, м<sup>2</sup>.

Обмен веществ в состоянии умственного или физического покоя, когда активно работают только внутренние органы человека, считается основным обменом веществ [98], средняя интенсивность которого у взрослого человека равна  $W_{00} = 88$  Вт. Но в зависимости от видов нагрузок на организм человека, различают три основные категории видов деятельности, для каждой из которых характерны определенные потери энергии. Классификация интенсивности трудовой деятельности, согласно ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [25], классификация интенсивности трудовой деятельности представлена в таблице 2.2.

Согласно методике определения выделений теплоты от людей по мощности метаболических процессов установлено, что интенсивность обмена веществ у детей от 11 до 15 лет составляет 0,13 МДж на 1 кг веса в сутки [73]. Тогда, основываясь на нормативах [25], з для категорий работ будут следующими (таблица 2.3)

Таблица 2.2 – Разграничение работ по тяжести на основе общих энергетических трат организма [25]

Категория работ	Энергозатраты, Вт
Легкие физические работы (категория I)	
Ia – работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением	139
Iб – работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением	140–174
Средней тяжести физические работы (категория II)	
IIa – работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенную физическое напряжения	175–232
IIб – работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением	233–290
Тяжелые физические работы (категория III)	
III – работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий	более 290

Таблица 2.3 – Разграничение работ по тяжести на основе общих энергетических затрат организма (для детей возрастом 11–15 лет) [6]

Категория работ	Энергозатраты, Вт
Легкие физические работы (категория I)	
Ia – работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением	117
Iб – работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением	134
Средней тяжести физические работы (категория II)	
IIa – работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенной физической нагрузки	174

3) определение тепловыделений по методике Фангера.

Одна из наиболее точных методик оценивания показателей микроклимата была разработана Фангером П.О. [100, 131]. Эта методика была положена в основу международных стандартов, среди которых Standard ASHRAE 55 [114]. Согласно теории Фангера, температурный комфорт основывается на понятии «теплового баланса тела человека». При температуре тела 37°C наступает баланс между выработанной энергией и энергетическими потерями организма [30]. Это описано уравнением

$$S - M \pm W \pm R \pm C \pm K - E - RES = 0, \quad (2.18)$$

где S – накопленная теплота; M – метаболизм; W – внешняя работа;

R – теплообмен путем радиации; C – конвективный теплообмен;

K – кондуктивный теплообмен; E – теплообмен за счет испарений;

RES – теплообмен за счет дыхательной деятельности (респирации).

В модели Фангера отображена взаимосвязь между показателями микроклимата замкнутых помещений [30]:

- 1) PMV – усредненный предсказуемый показатель теплового комфорта.
- 2) PPD – предсказуемый процент неудовлетворенных температурой помещения лиц.

При этом взаимосвязь PMV и тепловой нагрузки на человека отражена в следующей формуле [30]

$$PMV = 3,155 \cdot (0,303e^{-0,114M} + 0,028) \cdot L, \quad (2.19)$$

где  $M$  – уровень метаболической генерации теплоты в зависимости от двигательной активности,  $met$  ( $1\ met = 58,1\ Вт/м^2$ );

$L$  – разница между производимой внутренней теплотой человека и потерями в окружающую среду.

$$L = q_{met,heat} - f_{cl} \cdot h_c \cdot (T_{cl} - T_a) - f_{cl} \cdot h_f \cdot (T_{cl} - T_F) - 156 \cdot (w_{sk} - w_a) - \\ - 0,142 \cdot (q_{met,heat} - 18,43) - 0,00077M \cdot (93,2 - T_a) - \\ - 2,78M \cdot (0,0365 - w_a), \quad (2.20)$$

где  $T_{cl}$  – средняя температура поверхности тела человека в одежде, °F;

$f_{cl}$  – отношение площади закрытой части тела к площади поверхности тела;

$T_a$  – температура воздуха, °F;

$h_c$  – коэффициент конвективного теплопереноса,  $Btu/ft^2 \cdot ^\circ F \cdot h$ ;

$h_f$  – коэффициент радиационного теплопереноса,  $Btu/ft^2 \cdot ^\circ F \cdot h$ ;

$w_a$  – отношение влажности воздуха;

$w_{sk}$  – отношение насыщенной влажности при заданной температуре кожи.

Согласно методике Фангера, по уровню метаболической генерации теплоты в зависимости от двигательной активности в состоянии абсолютного покоя величина метаболических тепловых потерь для ребенка возрастом 11 – 15 лет составила 80,2 Вт при установленной температуре  $T_{cl}=89,6^\circ F$ , температуре воздуха  $T_a=68^\circ F$  (что соответствует температуре  $20^\circ C$ ), установленной влажности воздуха в помещении 55%, что соответствует нормативному показателю. При умственной активности учащегося, которая

характерна для проведения учебного процесса, при всех тех же исходных данных теплопоступления от ребенка составят 125 Вт.

Таким образом, основываясь на представленных методиках по определению теплопоступлений от человека установлено, что нормируются величины теплопоступлений от «условного» человека с параметрами  $m=70 \text{ кг}$  и  $h = 170 \text{ см}$  [9], что не соответствует параметрам детей школьного возраста.

Согласно рассмотренным выше методикам, были получены величины теплопоступлений от детей с параметрами, соответствующими возрасту от 11 до 15 лет:

- методика определения тепловыделений СВТК – 108,2 Вт.
- методика определения тепловыделений с учетом мощности метаболических процессов – 117 Вт.
- методика Фангера – 125 Вт.

Разница между значениями бытовых теплопоступлений от детей по рассмотренным методикам составляет от 8 до 15 %.

Для уточнения величины бытовых теплопоступлений от детей в образовательных организациях выполнено сравнение данных теоретических исследований с данными, полученными в ходе натурного исследования температурного режима помещений зданий общеобразовательных организаций

На основании натурного исследования температурного режима учебного помещения во время учебного процесса, проведенного в здании общеобразовательной организации в зимний период года, был установлен прирост температуры, равный  $4^{\circ}\text{C}$  для класса площадью  $48 \text{ м}^2$  при количестве присутствующих детей в помещении – 20 человек [6]. Основываясь на данных натурного исследования, были определены теплопоступления от детей, находящихся в помещении в период рабочего дня. Теплопоступления от присутствующих учащихся в учебном помещении составили 2268,6 Вт, на одного человека – 113,4 Вт. На рисунке 2.3 приведена диаграмма сравнения

величин тепlopоступлений от учащихся в образовательных организациях по рассмотренным методикам расчета с данными натурального исследования [6].

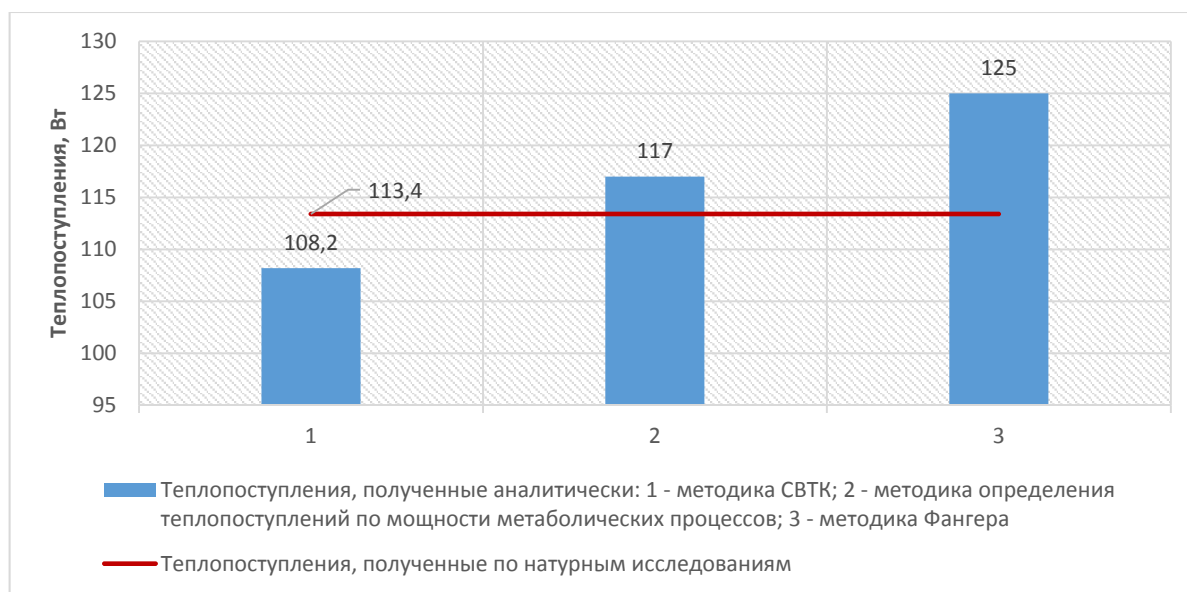


Рисунок 2.3 – Диаграмма сравнения величин тепловыделений от учащихся в учебном помещении

Анализируя данные, представленные на рисунке 2.3, можно сделать следующие выводы:

1. Данные, полученные в ходе расчета по методике СВТК отличаются от данных, полученных по натурным исследованиям, на 5%.
2. Разница между данными, полученными по методике определения теплопоступлений от людей с учетом мощности метаболических процессов и натурными исследованиями составляет 3%.
3. Данные по методике Фангера и натурными исследованиями отличаются на 10%.

Наибольшую сходимость с данными натурных исследований показывают результаты расчетов по методике определения теплопоступлений от людей по мощности метаболических процессов с разницей 3%, а величину теплопоступлений, равную 117 Вт, предлагается использовать в расчетах при аналитических исследованиях бытовых теплопоступлений от детей в зданиях общеобразовательных организаций.

Эти данные используются в разработанной методике расчета бытовых теплопоступлений при определении тепловыделений от людей в помещениях зданий общеобразовательных организаций.

### **2.3.2 Определение коэффициентов и методики расчета бытовых теплопоступлений**

Зависимость бытовых теплопоступлений от строительных особенностей зданий общеобразовательных организаций определяется коэффициентами влияния. На величину бытовых теплопоступлений оказывает влияние численность человек, пребывающих в здании, этажность здания, а также общая и расчетная площади.

Для определения коэффициентов, влияющих на величину бытовых теплопоступлений, применяется метод множественного регрессионного анализа

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon. \quad (2.21)$$

Так как в рассматриваемом случае исследуется зависимость между более чем двумя факторами и оценивается совокупное воздействие факторов друг на друга.

Проверка качества уравнения регрессии выполняется согласно уравнению

$$\frac{1}{n} \Sigma (y - \bar{y})^2 = \frac{1}{n} \Sigma (\hat{y} - \bar{y})^2 + \frac{1}{n} \Sigma (y - \hat{y})^2 \quad (2.22)$$

Согласно данной теории, по результатам моделирования 18 вариантов зданий общеобразовательных организаций в программном комплексе, описанном в Разделе 3, были выбраны величины бытовых теплопоступлений, на основании которых в зависимости от этажности здания, численности человек и расчетной площади, определены коэффициенты влияния и базовая величина теплопоступлений.

Номера типовых серий, а также основные исследуемые характеристики зданий, представлены в таблице 2.4. В столбцах 6, 8, 9 приведены величины, полученные в результате моделирования в программном комплексе в Разделе 3.

Продолжительность отопительного периода при выполнении моделирования и расчетов показателей бытовых теплопоступлений и расхода тепловой энергии на отопление для рассматриваемых типовых серий зданий общеобразовательных организаций, принималась согласно [35] и составляет 176 дней.

Для оценки влияния заполняемости помещений на величину бытовых теплопоступлений для исследуемых 18 типовых серий зданий общеобразовательных организаций выполнен расчет бытовых теплопоступлений и расхода энергии на отопление зданий при различном количестве людей, пребывающих в здании. Количество людей для расчета принималось по [87], согласно классификации зданий по вместимости. Данные, указанные в таблицах 2.5–2.6, получены в результате моделирования различных по вместимости и расчетной площади зданий общеобразовательных организаций, приведенном в Разделе 3.

Данные по величинам бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций показывают прямую зависимость величины бытовых теплопоступлений от вместимости здания. Данные по расходу на отопление за отопительный период показывают снижение затрат энергии на отопление при увеличении численности людей в здании.



Таблица 2.4 – Характеристики типовых серий зданий общеобразовательных организаций

1	Типовая серия образовательной организации	Кол. этажей	Расчетн. площадь, м <sup>2</sup>	Кол. школьников чел.	Бытовые тепlopоступления за отопительный период, МДж	Общая площадь, м <sup>2</sup>	Расход тепловой энергии за отопительный период, МДж	
							(без утепления)	(с утеплением)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Серия 107	4	1805,5	880	889150	3270,16	1328948	761414
2	Серия 222-1-36 (2С-02-10)	4	3513,6	1100	1535731	6421,1	3532659	2762201
3	Серия 2-02-20 (проект 29)	3	2453,7	800	1082578	3763,05	1809138	1327815
4	Серия 2-02-76	3	1675,3	520	730805	2828,34	1311709	857188
5	Серия 2-02-73	3	1976,9	920	959750	3840,15	1436280	959179
6	Серия 260	4	2062,5	880	975908	2626,23	1247867	638057
7	Серия 2-02-05	2	1435,7	400	611801	1922,1	673348	440557
8	Серия 2-02-52	3	2529,3	880	1065995	3890,7	1719870	1099301
9	Серия 2-02-17	3	1117,4	400	605320	1983,03	784417	483876
10	Серия 2-02-02	4	1975,3	880	980226	3327,56	1018059	726756
11	Серия 2-02-27	4	2109,3	880	991719	4238,4	1763089	1103996
12	Серия 2с-02-07	4	3122,7	1100	1403756	4217,4	1485908	1013413
13	Серия 108	4	1794,5	800	877070	3739,56	1494994	822618
14	Серия 221-1-450.8	3	2038,4	700	910595	4881,1	2982777	2241029
15	Серия 222	2	1235,7	280	544277	1719,68	685929	435702
16	Серия 222-1-118	3	2295,9	1100	1090875	4443,4	1773688	1121273
17	Серия 224-1-314	4	2258,3	1100	1111987	4634,89	1302762	784973
18	Серия арх. Коднера	4	1810,8	800	890926	3698,5	1273518	709296

Таблица 2.5 – Бытовые теплопоступления в зданиях общеобразовательных организаций в зависимости от количества человек

Типовая серия образовательной организации	Вместимость, чел.				Вместимость по проекту, чел.
	275	500	825	1100	
Серия 107	696939	768422	871677	–	880
Серия 222-1-36 (2С-02-10)	1273625	1345108	1448362	1535781	1100
Серия 2-02-20 (проект 29)	915783	987227	1090521	–	800
Серия 2-02-76	652967	724451	827705	–	520
Серия 2-02-73	754830	826314	929568	–	920
Серия 260	783697	855180	958434	–	880-960
Серия 2-02-05	572088	643571	–	–	>400
Серия 2-02-52	873783	945267	1048521	–	880
Серия 2-02-17	464607	536090	–	–	<400
Серия 2-02-02	788015	859498	962753	–	880
Серия 2-02-27	799507	870991	974245	–	880
Серия 2с-02-07	1141650	1213133	1316387	1403756	1100
Серия 108	693225	764709	860020	–	800
Серия 221-1-450.85	775570	847054	950308	–	700
Серия 222	534564	576048	–	–	280
Серия 222-1-118	828769	900252	1003506	1090875	1100
Серия 224-1-314	849813	921296	1024550	1111919	1100
Серия арх. Коднер	698715	770198	873452	–	800

Таблица 2.6 – Расход на отопление в зданиях общеобразовательных организаций в зависимости от количества человек

Типовая серия образовательной организации	Вместимость, чел.				Этажность, материал ограждения
	275	500	825	1100	
Серия 107	1415828	1383517	1336847	–	4 кирпич
Серия 222-1-36 (2С-02-10)	3651131	3618820	3572149	3532659	4 бетон
Серия 2-02-20 (проект 29)	1884529	1852219	1805548	–	3 кирпич
Серия 2-02-76	1346892	1314581	1267910	–	3 кирпич
Серия 2-02-73	1528903	1496593	1449922	–	3 кирпич
Серия 260	1334747	1302436	1255765	–	4 кирпич
Серия 2-02-05	691299	658989	–	–	2 кирпич
Серия 2-02-52	1806750	1774439	1727769	–	3 кирпич
Серия 2-02-17	802367	770056	–	–	3 кирпич
Серия 2-02-02	1104938	1072628	1025957	–	4 кирпич
Серия 2-02-27	1849969	1817658	1770988	–	4 кирпич
Серия 2с-02-07	1614381	1582070	1535399	1495908	4 кирпич
Серия 108	1570385	1538057	1494994	–	4 кирпич
Серия 221-1-450.85	3043808	3011497	2964826	–	3 бетон
Серия 222	703880	671569	–	–	2 кирпич
Серия 222-1-118	1892160	1859850	1813179	1773688	3 бетон
Серия 224-1-314	1421265	1388954	1342284	1302793	4 кирпич
Серия арх. Коднер	1360398	1328087	1281416	–	4 кирпич

Следующим этапом исследования было выявление зависимости бытовых теплопоступлений от этажности здания и его площади. В ходе исследования проанализированы бытовые теплопоступления 18 вариантов типовых серий зданий общеобразовательных организаций с различной их этажностью и площадью. Определена зависимость между величиной бытовых теплопоступлений и количеством этажей, а также площадью здания. Установлен прирост теплопоступлений с увеличением этажности здания (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Бытовые теплопоступления в зданиях общеобразовательных организаций в зависимости от их этажности

Типовая серия	Величины бытовых теплопоступлений, МДж, в зависимости от этажности зданий			
	1	2	3	4
Серия 107	222288	444575	666863	889150
Серия 222-1-36 (2С-02-10)	383933	767866	1151798	1535731
Серия 2-02-20 (проект 29)	350809	733793	1082578	-
Серия 2-02-76	289176	524555	730805	-
Серия 2-02-73	319703	639750	959750	-
Серия 260	304108	554737	805366	975908
Серия 2-02-05	325195	611801	-	-
Серия 2-02-52	355226	710795	1065995	-
Серия 2-02-17	168000	336332	504320	-
Серия 2-02-02	245057	490113	735170	980226
Серия 2-02-27	247930	495859	743789	991719
Серия 2с-02-07	350939	701878	1052817	1403756
Серия 108	215005	430010	645015	860020
Серия 221-1-450.85	303196	606874	910595	-
Серия 222	272139	544277	-	-
Серия 222-1-118	363389	727169	1090875	-
Серия 224-1-314	277980	555968	833939	1111919
Серия арх. Коднер	222732	454463	668196	890926

Основываясь на данных, представленных в таблицах 2.4–2.7, для приведенных объемно-планировочных и конструктивных решений существующих эксплуатируемых зданий общеобразовательных организаций были рассчитаны энергетические показатели бытовых теплопоступлений и расхода тепловой энергии.

Также были проанализированы изменения величин бытовых теплопоступлений в зависимости от изменения расчетной площади зданий (таблица 2.7), которые послужили исходными данными для получения коэффициентов, зависящих от объемно-планировочного решения здания, полученные по отношению расчетной и общей площади.

По приведенным выше данным (таблицы 2.4–2.7) при помощи статистической обработки данных методом множественной регрессии были определены коэффициенты, зависящие от этажности здания, объемно-планировочного решения и вместимости.

Для исследуемых 18 типовых серий были вычислены средние значения показателей, оказывающих влияние на величину бытовых теплопоступлений, при помощи которых рассчитаны коэффициенты влияния для выполнения регрессионного анализа, как отношение показателей типовой серии к среднему значению по выборке данных, где

$x_1$  – коэффициент, учитывающий этажность здания;

$x_2$  – коэффициент, учитывающий объемно-планировочное решение здания;

$x_3$  – коэффициент, учитывающий количество людей в здании;

$y$  – величина бытовых теплопоступлений.

На основании полученных исходных данных выполнен регрессионный анализ влияния исследуемых трех факторов на величину бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций, в ходе которого получено уравнение регрессии

$$y = 108607,4x_1 + 679615,8x_2 + 163526,5x_3 + 7054,2 \quad (2.23)$$

По представленному уравнению установлена величина теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций, которую возможно использовать в

качестве базовой при расчете бытовых теплопоступлений. Также вычислены коэффициенты, зависящие от указанных выше параметров, влияющих на величину бытовых теплопоступлений, которые представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Коэффициенты, учитывающие влияние объемно-планировочного решения, этажности и численности людей в здании на величину бытовых теплопоступлений для рассматриваемых типовых серий зданий

Типовая серия	Коэффициент, учитывающий влияние этажности	Коэффициент, учитывающий влияние объемно-планировочного решения	Коэффициент, учитывающий влияние численности людей
Серия 107	1,1	0,9	1
Серия 222-1-36	1,1	1,17	1,25
Серия 2-02-20	0,95	1,17	1
Серия 2-02-76	0,95	0,9	0,9
Серия 2-02-73	0,95	0,9	1,15
Серия 260	1,1	0,95	1
Серия 2-02-05	0,85	0,8	0,9
Серия 2-02-52	0,95	1,17	1
Серия 2-02-17	0,95	0,8	0,9
Серия 2-02-02	1,1	0,9	1
Серия 2-02-27	1,1	0,95	1
Серия 2с-02-07	1,1	1,17	1,25
Серия 108	1,1	0,9	1
Серия 221-1-450.8	0,95	0,95	1
Серия 222	0,85	0,8	0,8
Серия 222-1-118	0,95	0,95	1,25
Серия 224-1-314	1,1	0,95	1,25
Серия арх. Коднера	1,1	0,9	1

В ходе регрессионного анализа получены результаты статистической обработки данных, представленные в таблице 2.9 и на рисунке 2.4.

Таблица 2.9 – Результаты математического исследования при разработке методики расчета бытовых теплопоступлений

<i>Регрессионная статистика</i>	
Множественный R	0,99586
R-квадрат	0,991738
Нормированный R-квадрат	0,989967
Наблюдения	18

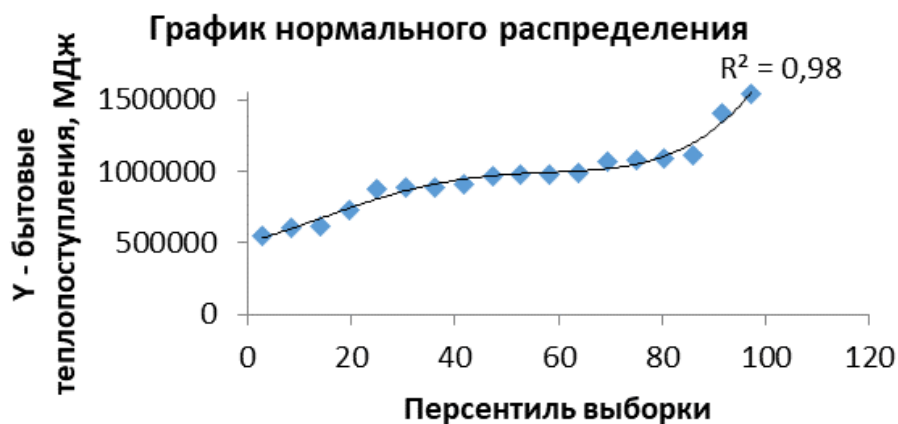


Рисунок 2.4 – Результаты математического анализа выборки данных при разработке методики расчета бытовых теплопоступлений

Приведенные в таблице 2.9 данные свидетельствуют о соответствии регрессионной модели и возможности применения полученных коэффициентов для разработки методики расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций.

### **2.3.3 Методика расчета бытовых теплопоступлений общеобразовательных организаций**

На основании полученных результатов по величинам бытовых теплопоступлений в различных зданиях общеобразовательных организаций в зависимости от этажности, объемно-планировочного решения и численности людей, была разработана методика расчета бытовых теплопоступлений для зданий

общеобразовательных организаций. В качестве исходных данных для расчета бытовых теплопоступлений по предложенной методике принимаются:

- количество людей, находящихся в здании общеобразовательной организации, с учетом их возрастной категории;
- этажность исследуемого здания общеобразовательной организации;
- общая и расчетная площади зданий общеобразовательных организаций.

При расчете бытовых теплопоступлений учитываются выделения теплоты от системы освещения и оборудования, которое используется в здании. Расчет бытовых теплопоступлений предложено выполнять по формуле:

$$Q'_{\sum_{в,от}} = Q_m \cdot k_{числ} \cdot k_{эт} \cdot k_{об}, \quad (2.24)$$

где  $Q_m$  – величина базовых бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций, равная 958804 МДж;  $k_{числ}$  – коэффициент, учитывающий количество человек, пребывающих в здании;  $k_{эт}$  – коэффициент, учитывающий этажность исследуемого здания;  $k_{об}$  – объемно-планировочный коэффициент, принимаемый в зависимости от расчетной площади исследуемого здания,  $A_p$ , м<sup>2</sup>.

Коэффициенты, полученные в результате статистической обработки данных по результатам моделирования различных типовых серий зданий общеобразовательных организаций, подбираются по предложенной таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Коэффициенты для определения величины бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций

Количество человек ( $k_{числ}$ )				Этажность ( $k_{эт}$ )			Объемно-планировочный коэффициент по расчетной площади ( $k_{об}$ )			
275	500	825	1100	2	3	4	<1500 м <sup>2</sup>	1501– 2000 м <sup>2</sup>	2001– 2500 м <sup>2</sup>	>2500 м <sup>2</sup>
0,8	0,9	1	1,25	0,85	0,95	1,1	0,8	0,9	0,95	1,17



В качестве постоянной величины, учитывающей теплопоступления от освещения, оборудования и величину тепловыделений от человека, принята величина  $Q_m$ , равная 958804 МДж. Указанная величина получена в результате регрессионного анализа данных по бытовым теплопоступлениям в зданиях общеобразовательных организаций.

На основании имеющихся значений, в таблице 2.11 выполнен сравнительный анализ величин бытовых теплопоступлений  $Q_{\Sigma в,от}$ , МДж, в зданиях общеобразовательных организаций по общепринятой методике ГОСТ Р 55656–2013 [29] (столбец 3) и по предложенной методике расчета бытовых теплопоступлений  $Q'_{\Sigma в,от}$ , (столбец 4) МДж.

Таблица 2.11 – Сравнительный анализ величин бытовых теплопоступлений по методике ГОСТ Р 55656–2013 и по разработанной методике расчета бытовых теплопоступлений

№ п/п	Типовая серия	Бытовые теплопоступления за отопительный период, МДж		%
		$Q_{\Sigma в,от}$	$Q'_{\Sigma в,от}$	
1	2	3	4	5
1	Серия 107	824632	949216	13
2	Серия 222-1-36 (2С-02-10)	1405083	1542476	9
3	Серия 2-02-20 (проект 29)	1003925	1065711	6
4	Серия 2-02-76	692680	737800	6
5	Серия 2-02-73	892298	942744	5
6	Серия 260	911390	1001950	9
7	Серия 2-02-05	582474	586788	1
8	Серия 2-02-52	1001476	1065711	6
9	Серия 2-02-17	574993	655822	12
10	Серия 2-02-02	915708	949216	4
11	Серия 2-02-27	927200	1001950	7
12	Серия 2с-02-07	1323108	1542476	14
13	Серия 108	810366	949216	15
14	Серия 221-1-450.8	859273	865321	1

Окончание таблицы 2.11

1	2	3	4	5
15	Серия 222	514950	521589	1
16	Серия 222-1-118	1010227	1081651	7
17	Серия 224-1-314	1031338	1252438	18
18	Серия арх. Коднера	826408	949216	13
Среднее значение				8%

Сравнительный анализ величин бытовых теплопоступлений по существующей методике ГОСТ Р 55656–2013 [29] и разработанной методике при уточненной величине теплопоступлений от людей в зданиях общеобразовательных организаций показывает, что величина бытовых теплопоступлений в исследуемых зданиях увеличивается в среднем на 8%, что позволяет уточнить методику расчета расхода на отопление зданий в отопительный период и поддерживать нормируемые параметры микроклимата в учебных помещениях.

#### 2.4 Выводы по второму разделу

1. Выполнено уточнение величины тепловыделений от людей в зданиях общеобразовательных организаций. Установлено, что тепловыделения от взрослого человека ростом 170 см и весом 70 кг и ребенка в возрасте 11–15 лет ростом 150 см и весом 50 кг различаются на 6,4%. При этом уточненные значения тепловыделений превышают нормативную величину на 20%.

2. Установлена взаимосвязь между энергетическим балансом здания и величиной бытовых теплопоступлений через величину колебаний температуры внутреннего воздуха, что позволяет определять количество теплоты, выделяемой от находящихся в помещении людей. Установлено, что прирост температуры, равный 4°C, свидетельствует об увеличении теплопоступлений от присутствующих учащихся в учебном помещении до 2268,6 Вт. Для ребенка возрастом 11–15 лет рекомендуется принимать величину тепловыделений 117 Вт,

для взрослого – 125 Вт при режиме работы, соответствующему категории сложности работ, выполняемых в зданиях общеобразовательных организаций.

3. Выявлена зависимость бытовых теплопоступлений от объемно-планировочных параметров здания и количества людей, находящихся в помещениях исследуемого здания, на основании которой определены коэффициенты, учитывающие численность людей в здании –  $k_{числ}$ , этажность –  $k_{эт}$ , и объемно-планировочные особенности –  $k_{об}$ .

4. Разработана методика расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций, учитывающая уточненное значение тепловыделений от людей, находящихся в здании, с учетом выполняемой ими физической нагрузки, вида деятельности и возраста. Величина бытовых теплопоступлений в исследуемых зданиях увеличивается в среднем на 8%, что позволяет уточнить величину расхода энергии на отопление зданий, облегчить сбор данных и выполнение расчета бытовых теплопоступлений в общеобразовательных организациях.

**РАЗДЕЛ 3****МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗДАНИЙ  
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ****3.1. Система тепломассообмена как единая энергосистема здания**

Уточнение величины расхода на отопление зданий общеобразовательных организаций за отопительный период возможно выполнить, основываясь на уточненном значении величины бытовых теплопоступлений и тепловыделений от учащихся в зданиях общеобразовательных организаций.

Моделирование процессов теплообмена в здании в рассматриваемый период времени разработано в соответствии с принципами, изложенными в работе [94], где здание представляется в виде единой энергетической системы, состоящей из трех взаимосвязанных процессов:

- процесс обмена энергией между наружной средой и оболочкой здания;
- процессов, происходящих в оболочке здания – теплота, проходящая через светонепроницаемые и светопрозрачные ограждающие конструкции;
- процессов передачи энергии от внутренней среды в оболочку здания, т. е. бытовых тепловыделений, включающих работу систем отопления, лучистый и конвективный теплообмен, вентиляционный воздухообмен, оборудование и мебель и т. д.

При разработке модели приняты некоторые упрощения [94]. Первое упрощение относится к месторасположению помещения, для которого производится расчет. При определении расхода энергии на отопление за отопительный период результаты расчетов для каждого отдельно взятого помещения суммируются. Второе упрощение относится к параметрам лучистого и конвективного теплообмена, при котором начальная температура воздуха помещения принимается одинаковой в каждой точке исследуемого объема.

Моделирование процессов теплообмена в зданиях общеобразовательных организаций в отопительный период позволит прогнозировать расходы на

отопление здания, оценивать расчетную производительность систем отопления для выбора необходимого оборудования и разработать режимы работы систем отопления для обеспечения и поддержания нормируемых параметров микроклимата.

Наружная среда оказывает комплексное воздействие на тепловой режим здания и величину расхода энергии на отопление здания. В диссертационной работе при создании модели исследуемого здания или помещения для оценки влияния наружной среды на тепловой режим здания и величину расхода энергии на отопление здания общеобразовательной организации необходимо учитывать следующие значения:

- температуру наружного воздуха,  $t_n$ , °С;
- коэффициент теплоотдачи наружной поверхности (в зависимости скорости ветра,  $v_n$ , м/с).

При выборе параметров наружной среды необходимо руководствоваться следующими положениями:

- значения параметров наружной среды необходимо принимать по многолетним климатологическим наблюдениям посредством их статистической обработки;
- выбор значений параметров наружного климата, таких как температура воздуха, влажность воздуха и скорость его движения, должен осуществляться с учетом их взаимовлияния друг на друга;
- для удобства использования все значения параметров наружной среды при моделировании должны быть представлены в электронном виде.

При оценке расхода на отопление зданий общеобразовательных организаций учитывают следующие основные характеристики теплового режима помещений:

- температуру воздуха в учебных помещениях;
- бытовые теплопоступления;
- кратность воздухообмена.

Существующие в настоящее время зарубежные и отечественные методы расчета количества энергии на отопление здания регламентируют усредненные значения параметров микроклимата помещений для отопительного периода [86].

При определении расхода энергии на отопление для стационарного режима помещений здания это является допустимым, однако при наличии возможности фиксации поминутных изменений параметров наружной среды и характеристик теплового режима помещений, что характерно для условий нестационарности при переменных поступлениях теплоты в помещениях, использование усредненных параметров дает неточности в результатах расчета.

Сложность учета изменений температурного режима помещений при определении параметров внутренней среды для определения расхода энергии на отопление здания состоит в том, что тепловой режим помещений зависит от множества факторов, таких как назначения помещений здания, деятельность людей, находящихся в помещениях, а также времени их нахождения в здании.

Основным фактором, влияющим на тепловой режим помещений, является время, которое люди находятся в здании в течение длительного времени. Например, в течение рабочего времени суток в учебном помещении имеются бытовые выделения теплоты, обусловленные присутствием учащихся и преподавателей, работой оргтехники, осветительных приборов и т. д.

В зарубежных нормативных документах для оценки вероятности присутствия людей в помещениях, а также учета категории сложности выполняемой ими работ, созданы « типовые профили » [59]. Данные профили учитывают изменения температурного режима, величин бытовых теплопоступлений и других параметров теплового режима с учетом национальных поправок.

При отсутствии подобных нормативов в современной отечественной нормативной базе, для определения величины расхода на отопление в зданиях общеобразовательных организаций в работе осуществлена попытка учета нестационарности теплопоступлений от людей в учебных помещениях при уточненной величине тепловыделений от человека и оценки влияния бытовых теплопоступлений на потребность здания в тепловой энергии на отопление.

### 3.2 Основные положения расчета теплового баланса здания в программном комплексе

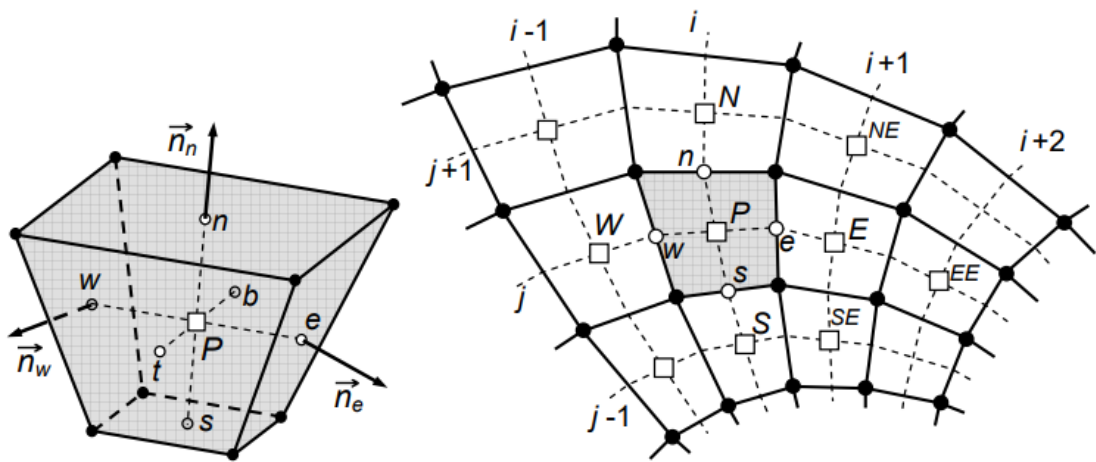
Для решения задач исследования в качестве математического аппарата был выбран метод конечных объемов (МКО), который заключается в поиске некоторой величины  $\varphi$  (энергии, температуры) в конкретном объеме  $\Omega$ , ограниченном поверхностью  $S = \sum S_k$  с внешней нормалью  $\vec{n}$ , основные положения которого описаны уравнением баланса величины  $\varphi$  [84]

$$\int_{\Omega} \frac{\partial \rho \varphi}{\partial t} d\Omega + \sum_k \int_{\Omega} \vec{n} \cdot \vec{q} ds = \int_{\Omega} Q d\Omega, \quad \vec{q} = \rho \vec{V} \varphi - \alpha \nabla \varphi, \quad (3.1)$$

где  $\vec{q}$  – вектор плотности потока величины  $\varphi$ , включающий конвективную и диффузионную составляющие;  $Q$  – плотность распределения объемных источников;  $\vec{V}$  – вектор скорости;  $\rho$  – плотность среды;  $\alpha$  – коэффициент диффузии;  $\varphi$  – величина (энергия, температура, концентрация).

Основываясь на формуле Остроградского-Гаусса, при стягивании объема в точку уравнение можно представить в дифференциальной форме:  $\frac{\partial \rho \varphi}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{q} = Q$ . Это уравнение чаще используется и считается первичной формой в отличие от интегральной формулировки закона сохранения (3.1).

В соответствии с МКО пространственная дискретизация задачи осуществляется разбиением расчетной области на небольшие соприкасающиеся объемы, для каждого из которых записывается уравнение балансового соотношения (3.1). В каждом контрольном объеме находится только одна точка привязки искомого решения. При решении трехмерных задач для случаев сложной геометрии ячейки расчетной сетки используются в качестве контрольного объема: узлы расположены в вершинах многогранника, линии сетки идут вдоль ребер, а искомые величины присваиваются геометрическому центру ячейки (Рисунок 3.1) [84].



● – узел сетки, □ – центр ячейки, ○ – центр грани

Рисунок 3.1 – Структурированная сетка контрольных объемов с «привязкой» переменных к центру ячеек

Чтобы получить дискретный аналог балансового уравнения в конкретной ячейке, нужно вычислить интегралы, входящие в формулу (3.1). При этом важно, чтобы по общей грани соприкасающихся ячеек поверхностный интеграл  $S_k$  вычислялся одинаково. Это обеспечивает точное соблюдение баланса  $\varphi$  по уравнению (3.1) для всей области течения. Это свойство отличает МКО от методов конечных разностей и конечных элементов.

Аппроксимация интегралов влияет на точность, устойчивость и другие важные свойства численной схемы. Для всех граней ячейки поверхностные интегралы вычисляются одинаково.

Формулы второго порядка точности, применяемые в МКО

$$\int_{S_e} \vec{n} \cdot \vec{q} ds \approx \vec{S}_e \cdot \vec{q}_e, \quad \int_{\Omega} Q d\Omega \approx Q_p \Omega \quad (3.2)$$

где  $\vec{S}_e = S_e \vec{n}_e$  – условный вектор площади грани, вычисляемый как векторное произведение ее диагоналей;  $\vec{q}_e$  – вектор плотности потока  $\varphi$  в центре грани. Если значение  $\vec{q}_e$  вычислено со вторым порядком точности, то формулы (3.2) обеспечивают второй порядок аппроксимации уравнения (3.1). Понижение точности вычисления  $\vec{q}_e$  сказывается на порядке точности численной схемы в



целом. Для обеспечения же порядка аппроксимации строго выше второго потребовалось бы не только улучшить точность вычисления  $\overline{q_e}$ , но и использовать вместо (3.2) более точные квадратурные формулы, учитывающие изменение  $\overline{q_e}$  вдоль поверхности (то же относится и к вычислению интегралов по объему). Это связано и со значительным усложнением вычислений, и с расширением шаблона аппроксимации, вследствие чего схемы повышенного порядка точности не находят широкого практического применения. Иначе говоря, в отличие от МКР, в МКО весьма затруднительно построить численную схему с порядком точности строго выше второго, что, впрочем, и не требуется для большинства практических приложений.

Вопрос расчета конвективной составляющей потока  $\varphi$  сводится к вычислению  $\varphi_e$ . Для решения проблемы неустойчивости центрально-разностной схемы уместно применять аппроксимацию конвективных производных односторонними разностями в обратном направлении от движения потока. Аппроксимация диффузной составляющей потока, в отличие от конвективной, не требует обеспечения устойчивости схемы.

Уравнение баланса (3.1) применительно к задаче исследования температурного режима учебного помещения и энергетических показателей зданий общеобразовательных организаций возможно решить при моделировании в программном комплексе SolidWorks, используя приложение Flow Simulation [154].

Необходимым условием для решения уравнений в частных производных является корректное указание условий на границах рассматриваемой области. Для решения задач, связанных с конвективным теплообменом [3], выделяют несколько видов граничных условий:

1. Граничное условие на входе – задается начальная температура рассматриваемой среды.
2. Граничные условия на стенке – в зависимости от поставленной цели задается температура стенки (граничное условие первого рода – задаются температуры на поверхности тела в виде функции от времени); тепловой поток (граничное условие второго рода – задаются значения теплового потока в каждой

точке поверхности тела в виде функции от времени); коэффициент теплоотдачи (граничное условие третьего рода, описывающее конвективный теплообмен тела с окружающей его средой).

### **3.3 Описание расчетной программы. Начальные и граничные условия. Порядок моделирования процессов теплообмена в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation**

Для аналитических исследований и расчетов температурного режима и энергетического баланса зданий образовательных организаций целесообразно использовать программные комплексы, позволяющие создать 3D-модель помещения с учетом не только конструктивных элементов, но и оборудования, и людей, находящихся в помещении, и систем естественной вентиляции. Для выполнения такого вида исследований необходимо учесть следующие параметры: точность прорисовки геометрии и граничные условия, которые определяют режим работы конструкции, их теплотехнические свойства, способы передачи энергии.

Начальными условиями задачи являются температуры в помещениях в начале рабочего дня до прихода людей, которые принимаются как нормируемые температуры по [87] для исследуемой категории помещений либо по данным натурного исследования для конкретного здания образовательной организации, которое выступает объектом исследования.

Программа расчета температурного режима учебного помещения включает в себя:

- 1) Задание граничных условий в местах, где поток входит в систему или покидает ее. При выборе следующих граничных условий задаются следующие параметры: «Внешняя стенка» – позволяет учесть температуру и коэффициент теплоотдачи наружной части ограждения, «Реальная стенка» – температуру, коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, а также ее шероховатость, «Идеальная стенка» – при моделировании адиабатического процесса между помещениями. Снаружи помещения задается коэффициент теплоотдачи наружной

поверхности  $\alpha_n$ , [Вт/м<sup>2</sup>·К], а для внутренних поверхностей помещения необходимо задать коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности –  $\alpha_v$ , [Вт/м<sup>2</sup>·К], которые определяются как сумма коэффициентов передачи теплоты излучением  $\alpha_l$  и конвекцией  $\alpha_k$ . Передача теплоты излучением к внутренней поверхности ограждения происходит от таких поверхностей внутренних конструкций, температура которых выше температуры внутренней поверхности наружной стены. С наружной поверхности ограждения теплота излучением передается в окружающую среду. Передача теплоты конвекцией различна для внутренней и наружной поверхностей. У внутренней поверхности – это естественная конвекция, у наружной – вынужденная, вызванная действием ветра. У внутренней поверхности наружной стены задается толщина динамического пограничного слоя  $\delta$ , образующегося при движении струи воздуха вертикально вдоль холодного ограждения, температура которого ниже температуры окружающего воздуха.

2) Теплопроводность материалов задается посредством присвоения материала каждому элементу модели вручную либо выбором из имеющейся базы данных программы. Теплота генерируется несколькими источниками. Одной из задач исследования является наблюдение за процессом распределения теплоты по радиатору и другим твердым телам, а затем перехода в текучую среду – воздух. Необходимым условием является исключение полостей из условий течения, что позволяет игнорировать области, несущественные для анализа, и как следствие, дает возможность программе не тратить память и ресурсы процессора для их обработки.

3) Для анализа естественной конвекции газов задается сила, которая позволяет автоматически моделировать движение нагретых воздушных масс вверх и циркуляцию воздуха в помещении при заданной силе тяжести в вертикальном направлении. Текучей средой в исследуемом объеме выступает его заполнение, и в качестве текучей среды могут выступать не только жидкости, но и различные газы. В случае исследования процессов теплообмена в помещении текучей средой является воздух. Для анализа можно выбрать до десяти типов жидкостей или газов.

Flow Simulation может просчитывать проект различными типами потоков: только турбулентный, только ламинарный, ламинарный и турбулентный.

4) Объемные источники тепловой энергии в данной задаче – радиаторы и люди, находящиеся в помещении, – позволяют устанавливать интенсивность теплообразования (в Вт) или объёмную интенсивность теплообразования (в Вт на единицу объёма), или постоянную температуру в качестве граничного условия для выбранного объёма. Также можно назначить поверхностные источники теплоты, для которых устанавливается интенсивность теплообразования (в Вт) или тепловой поток (в Вт на единицу поверхности). Цикличность теплоступлений от людей в помещении описывается таблично заданной функцией  $F(\text{время})$  (Рисунок 3.2), что позволяет учитывать теплоступления от таких источников в строго определенные промежутки времени, соответствующие реальному времени пребывания учащихся в учебном помещении.

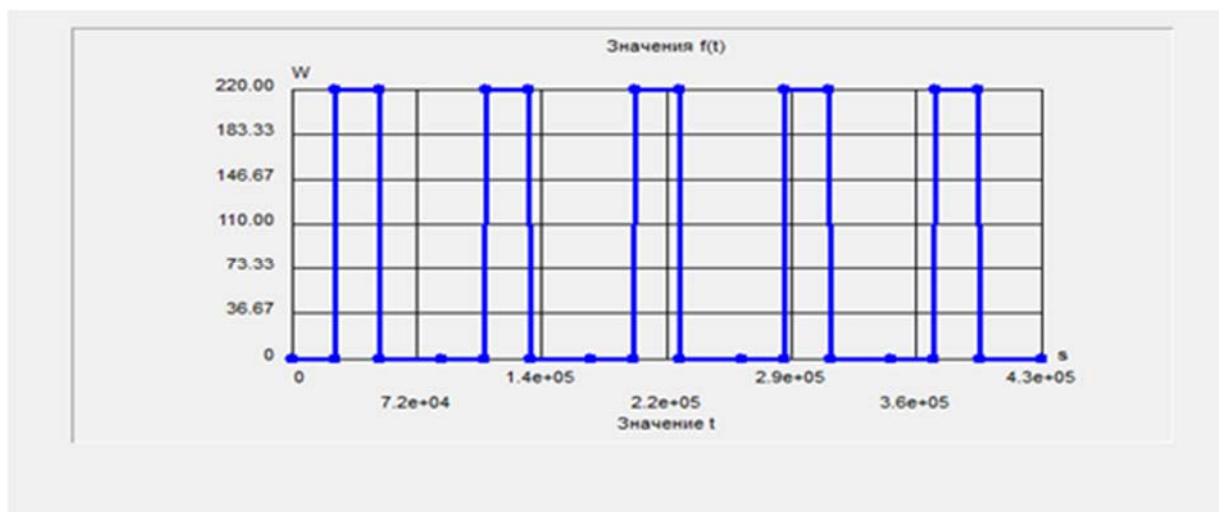


Рисунок 3.2 – Таблично заданная функция теплоступлений по времени  $F(\text{время})$ .

Способ представления тела человека при моделировании является неоднозначным. Сложная геометрическая форма телакратно увеличивает время расчета, а при количестве человек в учебном помещении, равном 25 или более, при прорисовке сложной геометрии (Рисунок 3.3) приводит к продолжительности расчета более 20 часов.

При моделировании рекомендуется заменить модель человека эквивалентным по площади цилиндром. Для взрослого человека размеры цилиндра

принимают равными 1,8 м по высоте и 0,28 м в диаметре. Отдельным вопросом стоит материал представления тела человека. Если абстрагироваться от деталей и подробностей, таких как наличие одежды, дыхание, испарение пота и других процессов, происходящих в организме, можно принять, что человек состоит из материала со свойствами воды. По результатам исследований при моделировании теплообменных процессов человека в помещении с интенсивностью трудовой деятельности, относящейся к легкой категории тяжести работ, он может представлен геометрическим телом с выделением теплоты мощностью 125 Вт – взрослый человек, 117 Вт – ребенок.

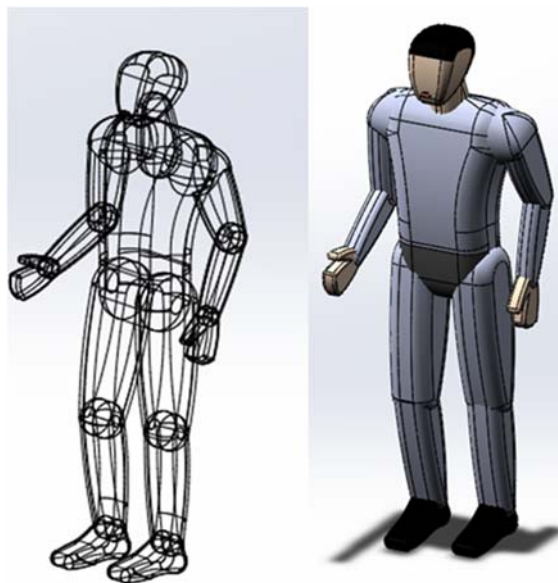


Рисунок 3.3 – Моделирование сложной геометрии тела человека в программном комплексе SOLIDWORKS

5) Глобальная сетка отображается для контрольных областей. Настройки сетки можно выполнять вручную и автоматически. Размеры сетки необходимо задавать таким образом, чтобы при разбивке на конечные объемные элементы была произведена разбивка всех слоев и отдельных элементов конструкций. Возможно задавать ячейки разных размеров для различных элементов, что существенно облегчит решение задач. В некоторых случаях необходимо использовать сгущение сетки на отдельных участках при большой разнице в габаритных размерах исследуемых элементов или сложных геометрических сопряжениях. Более крупная сетка дает большую погрешность по результатам расчета, а выбор более мелкой

ячейки в разы увеличивает время расчета. Расчет производится методом последовательных итераций. Граничные условия, применяемые для расчета модели учебного помещения, удобно представить в табличной форме (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Граничные условия при моделировании учебного помещения

Виды граничных условий	Существующие	Принятые
Тип задачи	Внешняя	Внутренняя
	Внутренняя	
Физическая модель	Теплопроводность в твердых телах	Теплопроводность в твердых телах Радиационный теплообмен Нестационарность Сила тяжести
	Радиационный теплообмен	
	Нестационарность	
	Гравитация	
	Вращение	
	Свободная поверхность	
Текучая среда	Газы	Газы (воздух)
	Жидкости	
	Неньютоновские жидкости	
	Сжимаемые жидкости	
	Реальные газы	
	Пар	
Тепловое условие на стенках	Внешняя стенка	«Внешняя стенка»: среднемесячная температура месяца исследования, коэффициент теплоотдачи наружной поверхности. «Реальная стенка» – реальные показатели внутренней среды помещений, коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности
	Реальная стенка	
	Идеальная стенка	
Тепловые источники	Объемные	Радиаторы: температура поверхности по данным натурных замеров температуры.
	Поверхностные	Радиационный теплообмен с учетом коэффициента излучения материала. Люди: теплоотдача от человека в положении сидя, занятого умственным трудом

Также к исходным данным, необходимым для расчета, относятся:

- климатические данные для района строительства объекта;
- кратность воздухообмена в помещении;
- температура и материал теплоносителя;
- оборудование и мебель в помещении;
- тип и характеристики заполнения дверных и оконных проемов;
- количество людей и время их нахождения в помещении.

### 3.4 Моделирование зданий общеобразовательных организаций в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation

Здания общеобразовательных организаций различаются по конструктивной схеме, материалу ограждающих конструкций, термомодернизации, этажности, а также вместимости. На основании разработанной в Разделе 1 классификации таких зданий, были определены наиболее распространённые на территории Донбасса здания общеобразовательных организаций, эксплуатируемые в настоящее время, и сходные по рассматриваемым параметрам. Данные приведены на рисунке 3.4.

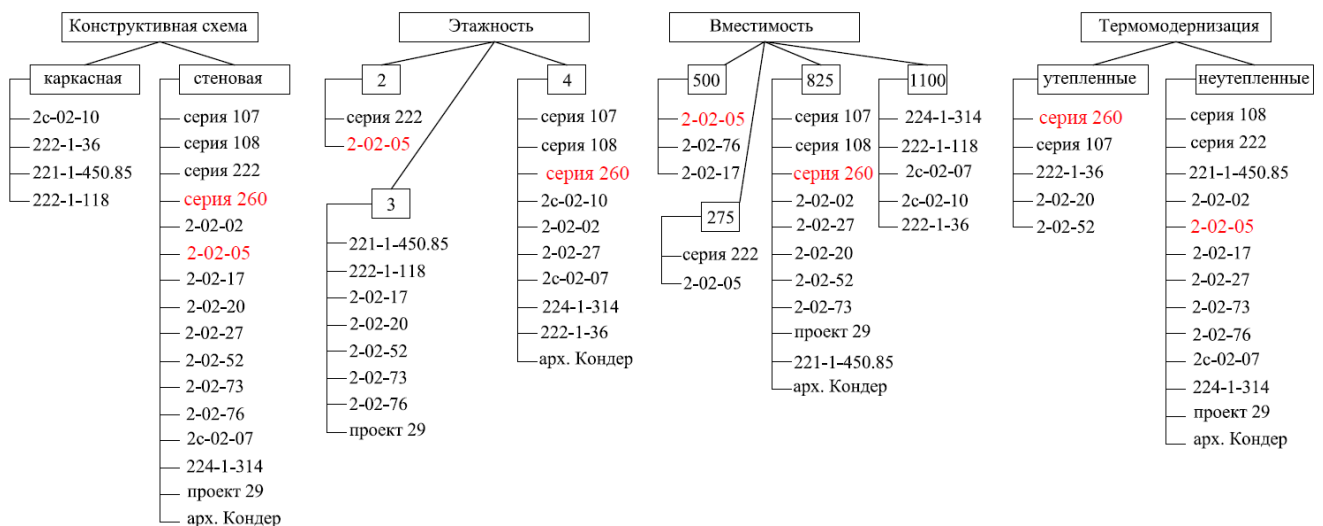


Рисунок 3.4 – Наиболее распространенные типовые серии на территории Донбасса

Для наиболее распространенных типовых серий было выполнено моделирование зданий общеобразовательных организаций в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation, с учетом конструктивных особенностей исследуемых зданий.

Представленные на рисунке 3.4 типовые серии и их сочетания по наиболее весомым для определения бытовых теплопоступлений критериям (характеристикам), охватывают всю классификацию зданий общеобразовательных организаций, приведенную на рисунке 1.10 в Разделе 1.

### **3.4.1 Создание геометрии моделей зданий общеобразовательных организаций в программном комплексе**

В зависимости от конструктивных особенностей зданий общеобразовательных организаций для наиболее распространенных типовых серий было выполнено моделирование учебных помещений, а также этажей зданий, с учетом коридоров без лестничных клеток, и фасадов зданий. На рисунке 3.5 представлена модель этажа и фасада здания общеобразовательной организации серии 2-02-73 и на рисунке 3.6 по типовой серии 260. Размеры учебных помещений, материал и толщина наружных и внутренних стен, перегородок и плит перекрытия заданы согласно типовой серии.

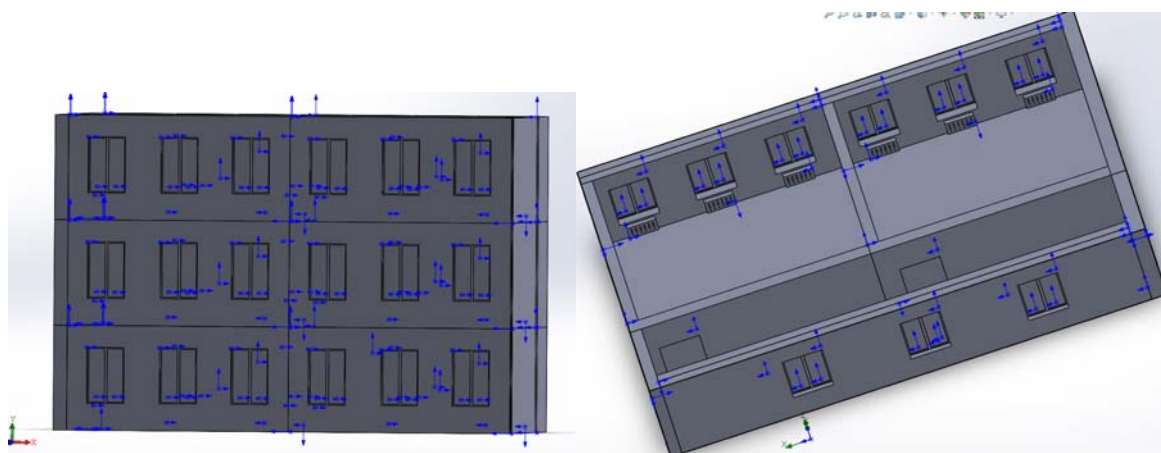


Рисунок 3.5 – Моделирование здания общеобразовательной организации по типовой серии 2-02-73



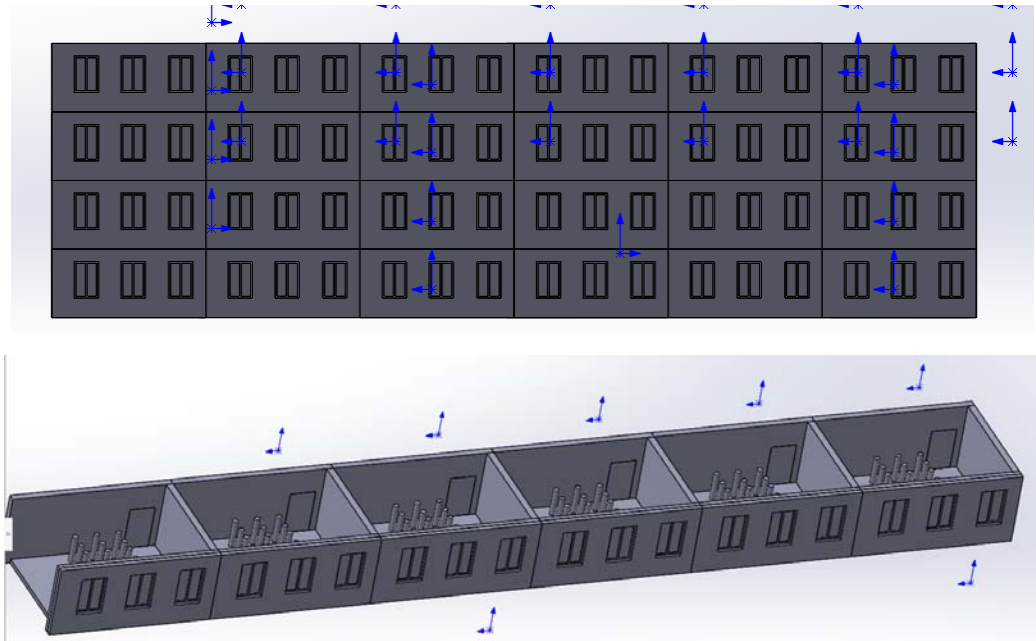


Рисунок 3.6 – Моделирование здания школы по типовой серии 260

### 3.4.2 Моделирование учебных помещений в программном комплексе

Для определения прироста температуры в учебном помещении в течение времени пребывания в нем учащихся, было выполнено моделирование помещений зданий образовательных организаций с учетом геометрических особенностей здания, процессов, происходящих в помещении, людей и оборудования. На рисунке 3.7 представлены варианты моделирования учебных помещений.

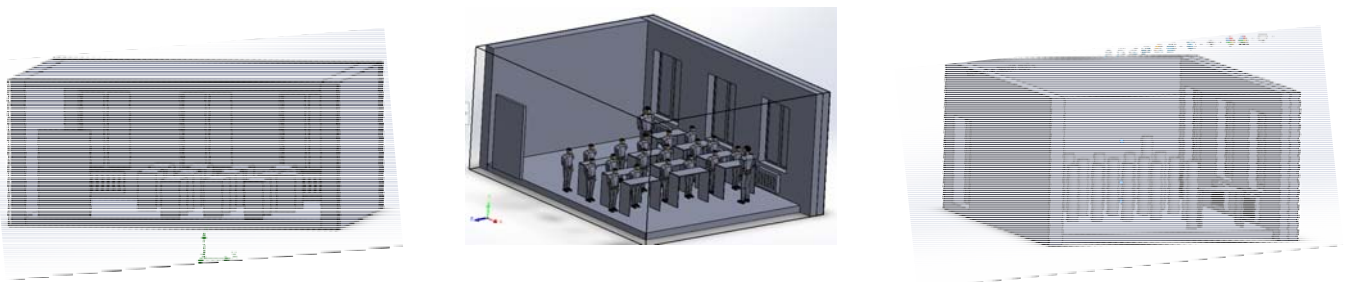


Рисунок 3.7 – Варианты моделирования учебных помещений в зданиях общеобразовательных организаций по типовой серии 260 и 2-02-05

В помещениях, основываясь на данных натурального исследования, выполнено моделирование мебели, отопительных приборов, а также учащихся и преподавателя.

Для каждого элемента модели заданы следующие параметры:

- материал;
- граничные условия;
- начальная температура;
- поверхности, участвующие в теплообмене;
- время.

### 3.4.3 Результаты моделирования учебных помещений зданий общеобразовательных организаций в программном комплексе SolidWorks

В ходе исследования было выполнено моделирование учебного помещения здания образовательной организации серии 260. Результаты распределения температуры в помещении соответствуют данным, полученным в ходе натурального исследования температурного режима помещения. Начальная температура находилась в пределах от  $+20^{\circ}\text{C}$ , прирост температуры составил  $3^{\circ}\text{C}$ . Результаты моделирования представлены на рисунке 3.8.

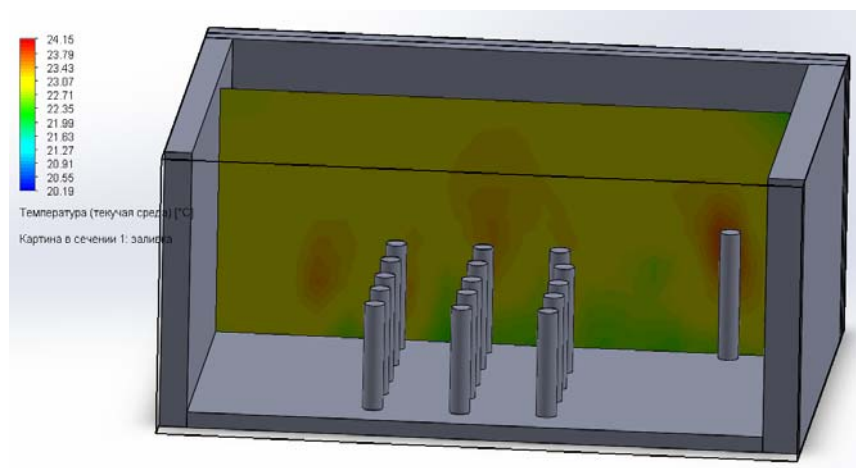
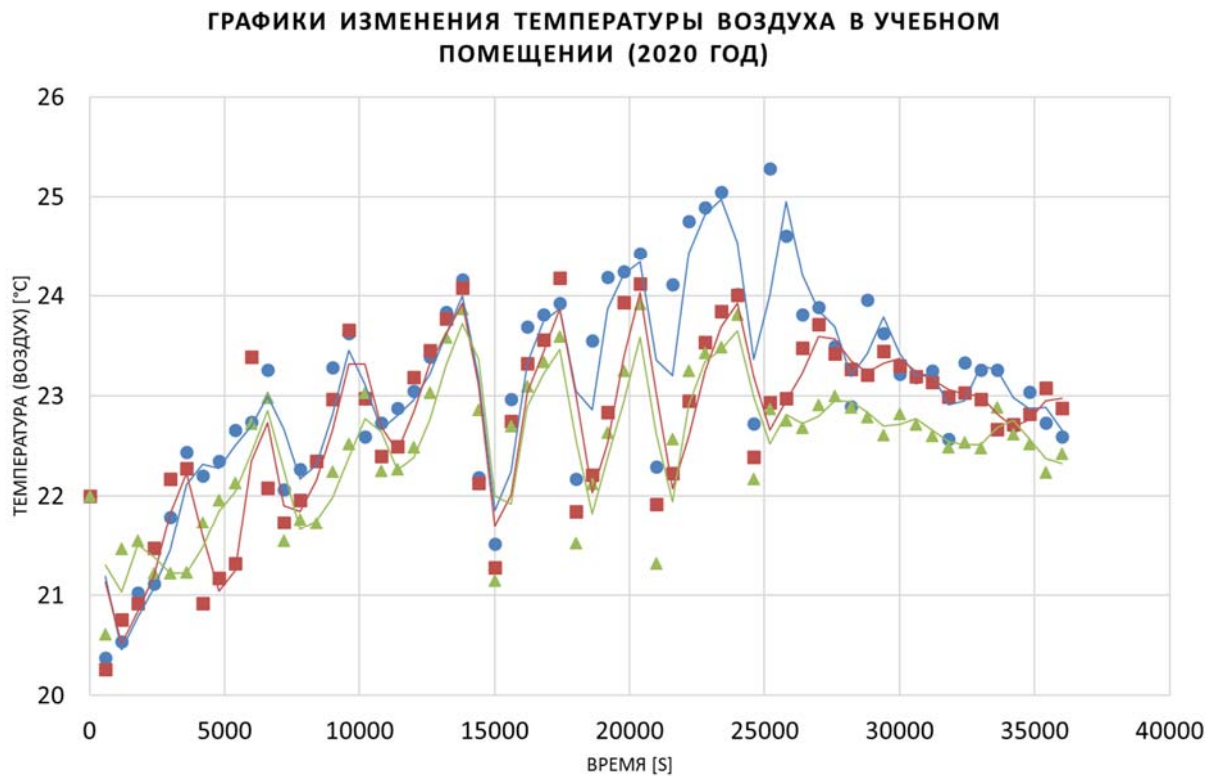


Рисунок 3.8 – Результаты моделирования температурного режима учебного помещения здания образовательной организации по серии 260.

В ходе исследования были получены графики распределения температур в учебных помещениях. На рисунке 3.9 приведен график изменения температуры воздуха в учебном помещении здания типовой серии 260, в котором планировалось проведение натурных исследований для подтверждения результатов моделирования и расчета.



- – изменение температуры воздуха в точке, расположенной на высоте 1,7 м от пола
- – изменение температуры воздуха в точке, расположенной на высоте 0,6 м от пола
- ▲ – изменение температуры воздуха в точке, расположенной на высоте 0,1 м от пола
- ~ – скользящее среднее значение для каждого измерения

Рисунок 3.9 – График распределения температуры в учебном помещении здания образовательной организации по серии 260

В результате расчета модели здания общеобразовательной организации по типовой серии 2-02-05 получены распределения температур внутреннего воздуха в учебном помещении школы. Распределение температуры в сечении по центру

учебного помещения в течение одного рабочего дня представлено на рисунке 3.10. Начальная температура воздуха задана на отметке +16 °С.

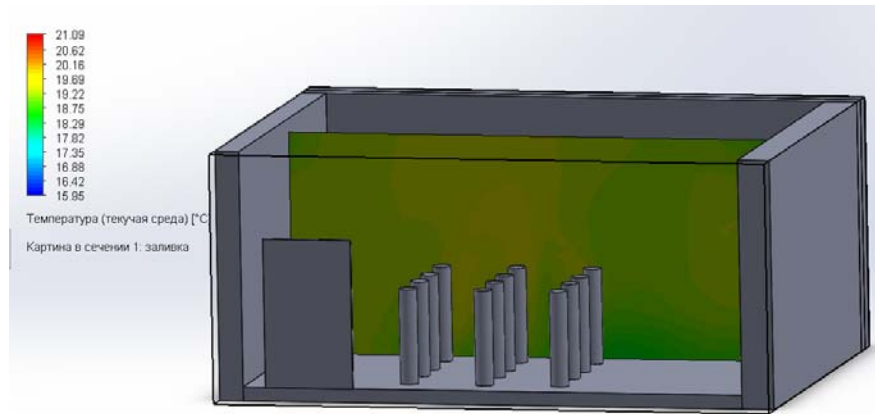
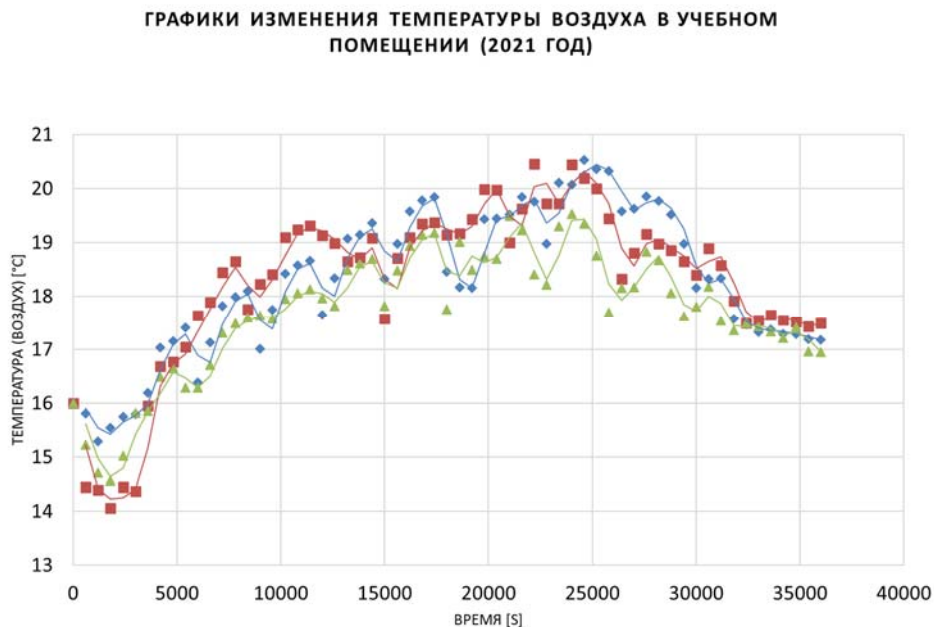


Рисунок 3.10 – Распределение температуры в учебном помещении здания серии 2-02-05

При начальной температуре помещения 16°С по результатам моделирования зафиксировано увеличение температуры до 20°С, что соответствует данным натуральных исследований в данном учебном помещении. Результаты моделирования температурного режима помещения представлены на графике (рисунок 3.11).

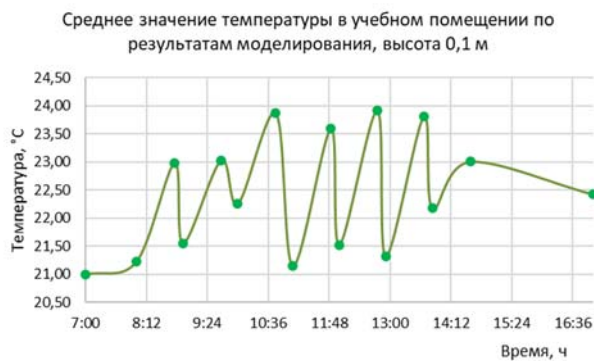


- – изменение температуры воздуха в точке, расположенной на высоте 1,7 м от пола
- – изменение температуры воздуха в точке, расположенной на высоте 0,6 м от пола
- ▲ – изменение температуры воздуха в точке, расположенной на высоте 0,1 м от пола
- ~ – скользящее среднее значение для каждого измерения

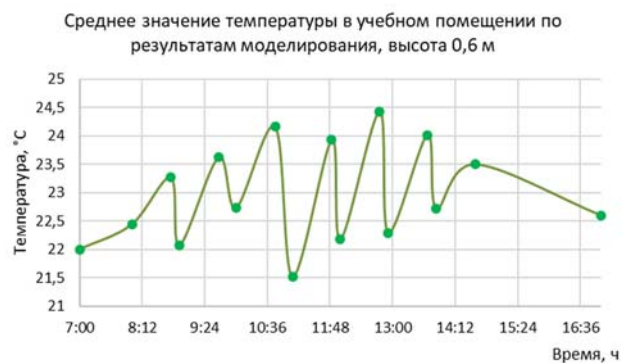
Рисунок 3.11 График распределения температуры в учебном помещении здания образовательной организации по серии 2-02-05

Моделирование позволяет определить температуру воздуха в любой точке помещения, но для контроля полученных данных были выбраны точки, соответствующие расположению датчиков при проведении натурных исследований в учебных помещениях общеобразовательных организаций: 0,1; 0,6 и 1,7 м от уровня пола по центру помещения [26]. Для указанных точек построены усредненные графики распределения температуры воздуха в помещении. На рисунке 3.12 приведены графики по изменению температуры воздуха в течение времени исследования для здания по типовой серии 260.

а)



б)



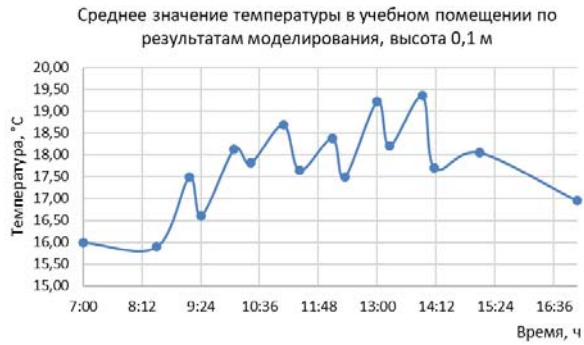
в)



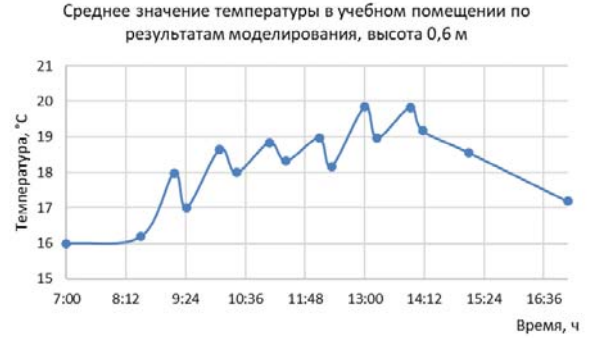
а) результаты моделирования температуры в учебном помещении в точке на высоте 0,1 м; б) результаты моделирования температуры в учебном помещении в точке на высоте 0,6 м; в) результаты моделирования температуры в учебном помещении в точке на высоте 1,7 м;

Рисунок 3.12 – График распределения температуры воздуха в помещении (здание серии 2-02-05)

а)



б)



в)



а) результаты моделирования температуры в учебном помещении в точке на высоте 0,1 м; б) результаты моделирования температуры в учебном помещении в точке на высоте 0,6 м; в) результаты моделирования температуры в учебном помещении в точке на высоте 1,7 м;

Рисунок 3.13 – График распределения температуры воздуха в помещении (здание серии 2-02-05)

Для определения величины бытовых теплопоступлений определено значение теплового потока для каждого из исследуемых зданий общеобразовательных организаций. Результаты моделирования теплового потока представлены на рисунках 3.14–3.15.

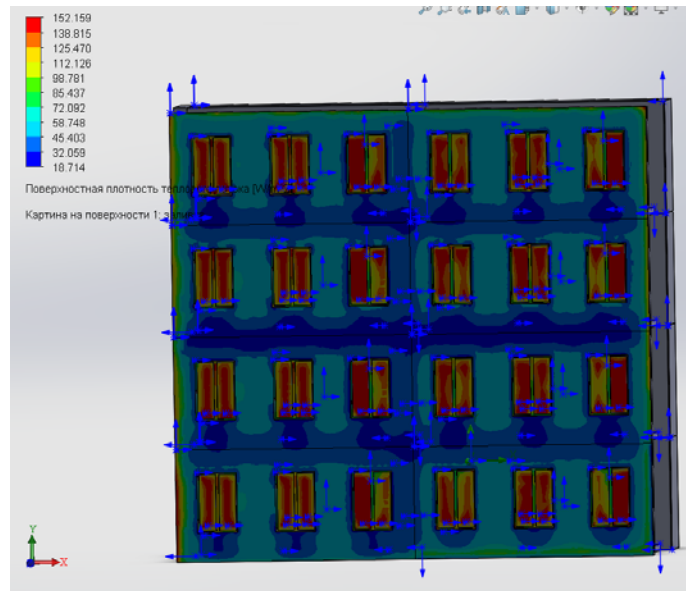


Рисунок 3.14 – Фрагмент фасада здания образовательной организации по серии 260 при моделировании теплового потока

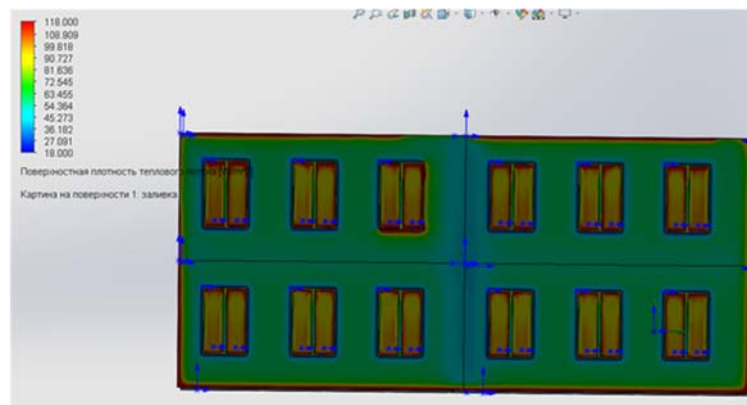


Рисунок 3.15 – Фрагмент фасада здания образовательной организации по серии 2-02-05 при моделировании теплового потока

В результате моделирования теплового потока определены величины теплоты, проходящей сквозь наружные ограждения при различной заполняемости помещений. На основании полученных данных установлены величины бытовых тепlopоступлений в учебных помещениях зданий общеобразовательных организаций различных типовых серий. Определены места наибольших тепlopотерь по результатам моделирования. Тепловой поток, проходящий через непрозрачное ограждение, составляет в среднем 25 до 35 Вт/м<sup>2</sup>.

Также получены данные по температурному режиму наружных ограждений исследуемых зданий. Распределение температурных полей на фасаде здания школы №89 города Макеевки представлены на рисунке 3.16.

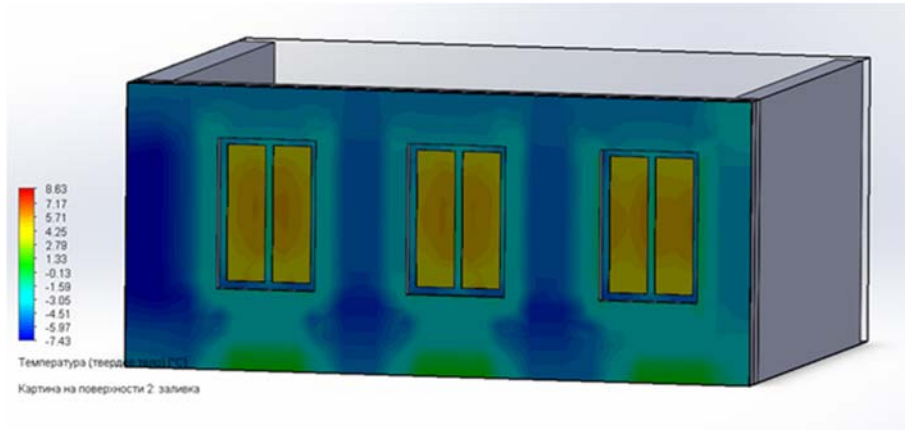


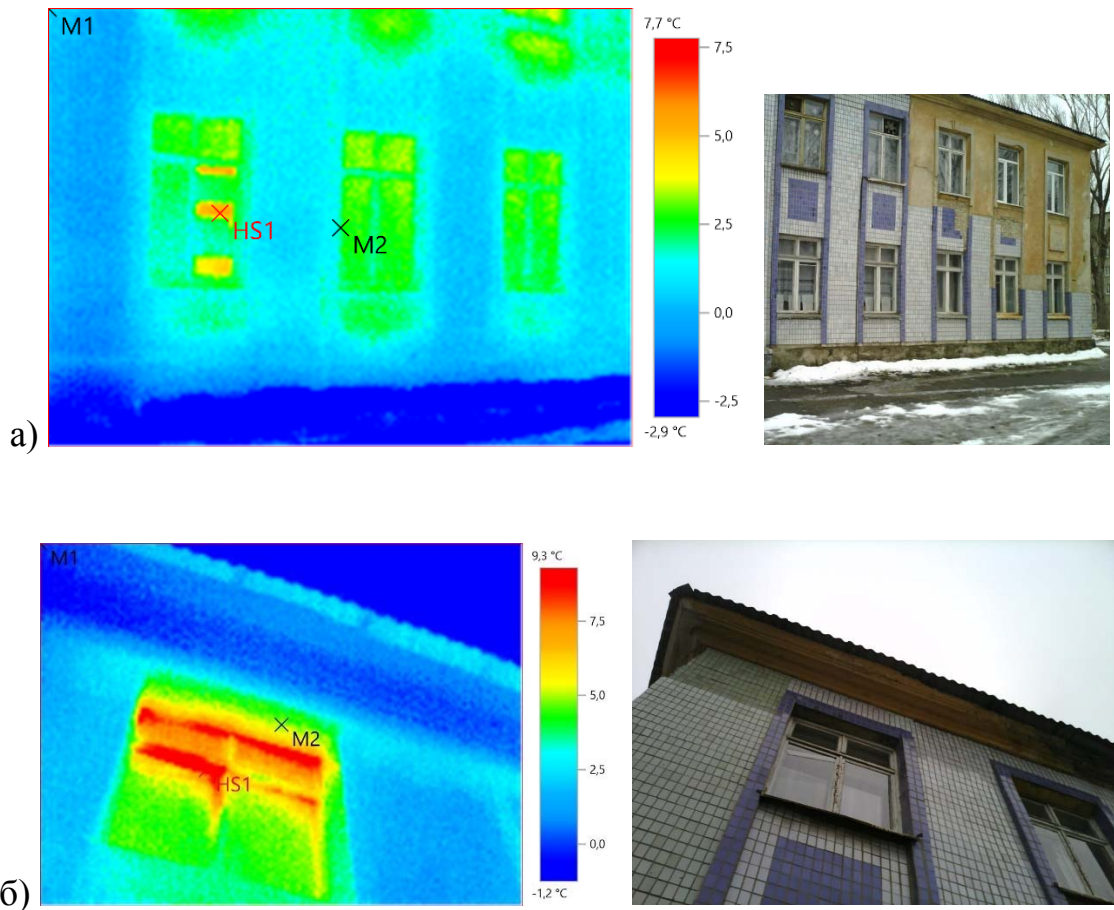
Рисунок 3.16 – Распределение температурных полей на фасаде здания серии 2-02-05

В качестве подтверждения данных по моделированию температурных полей наружных ограждений была проведена тепловизионная съемка фасадов исследуемого здания общеобразовательной организации (типовая серия 2-02-05). Результаты тепловизионной съемки представлены на рисунке 3.17.

Результаты тепловизионной съемки подтверждают данные по моделированию здания общеобразовательной организации серии 2-02-05.

Анализируя полученные в ходе моделирования типовых серий зданий общеобразовательных организаций данные, были определены величины бытовых теплопоступлений в исследуемых зданиях. Результаты моделирования представлены в таблице 3.2.





а) тепловизионная съемка первого этажа;

б) тепловизионная съемка второго этажа здания

Рисунок 3.17 – Тепловизионная съемка фасада здания серии 2-02-05

Таблица 3.2 – Величины бытовых теплопоступлений, полученные по результатам моделирования

Типовая серия	107	222-1-36	2-02-20	2-02-76	2-02-73	260	2-02-05	2-02-52	2-02-17	2-02-02	2-02-27	2с-02-07	108	222-1-450.8	222	222-1-118	224-1-314	Арх. Коднер
Бытовые теплопоступления, МДж	889150	1535731	1082578	730805	959750	975908	611801	1065995	605320	980226	991719	1403756	877070	910595	544277	1090875	1111987	890926

Полученные данные по величинам бытовых теплопоступлений применены при разработке методики расчета бытовых теплопоступлений для определения базовой величины теплопоступлений и коэффициентов в зависимости от объемно-планировочного решения здания, этажности и численности людей.

### **3.5 Выводы по третьему разделу**

1. Выполнено моделирование 18 типовых серий зданий общеобразовательных организаций, по результатам которого получены графики изменения температуры воздуха в учебных помещениях в период пребывания в них учащихся, определена величина температурного прироста, которая составила от 2,7 до 4 °С. В ходе моделирования установлены значения мощности теплового потока и температурный режим наружных ограждений зданий общеобразовательных организаций, значения которых показали высокую сходимость с данными тепловизионной съемки, проведенной для здания типовой серии 2-02-05.

2. Исследованы распределения температур внутреннего воздуха в помещениях зданий общеобразовательных организаций, температурных полей в ограждающих конструкциях зданий и получены значения теплового потока в зависимости от различных объемно-планировочных и конструктивных особенностей зданий, количества человек в помещениях, значений начальной температуры воздуха, что позволило установить величины бытовых теплопоступлений для каждой из исследуемых типовых серий зданий общеобразовательных организаций.

3. В результате моделирования получены значения величин бытовых теплопоступлений для исследуемых зданий различных типовых серий, которые применены при разработке методики расчета бытовых теплопоступлений и уточняют значения расхода тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период.

**РАЗДЕЛ 4****НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА  
ЗДАНИЙ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

С целью подтверждения корректности методики расчета бытовых теплопоступлений в зданиях образовательных организаций, изложенной во втором разделе, проведены натурные исследования температурного режима помещений в зданиях общеобразовательных организаций. Результаты исследований дают возможность установить точность определения величины бытовых теплопоступлений на основании замеров температур в учебном помещении в течение рабочего дня.

**4.1 Выбор объектов исследования**

В качестве объектов исследования выбраны следующие здания образовательных организаций:

1. МБОУ «Школа №20 города Донецка», расположенное по адресу:  
г. Донецк, ул. Герцена, 26.



Рисунок 4.1 – Фасад здания МБОУ «Школа №20 города Донецка»

Конструктивная схема здания школы: бескаркасное здание, четырехэтажное, по типовой серии 260, с наружными несущими стенами из силикатного кирпича

толщиной 510 мм. В 2014 году была произведена термомодернизация здания способом скрепленной теплоизоляции с минераловатным утеплителем толщиной 100 мм.

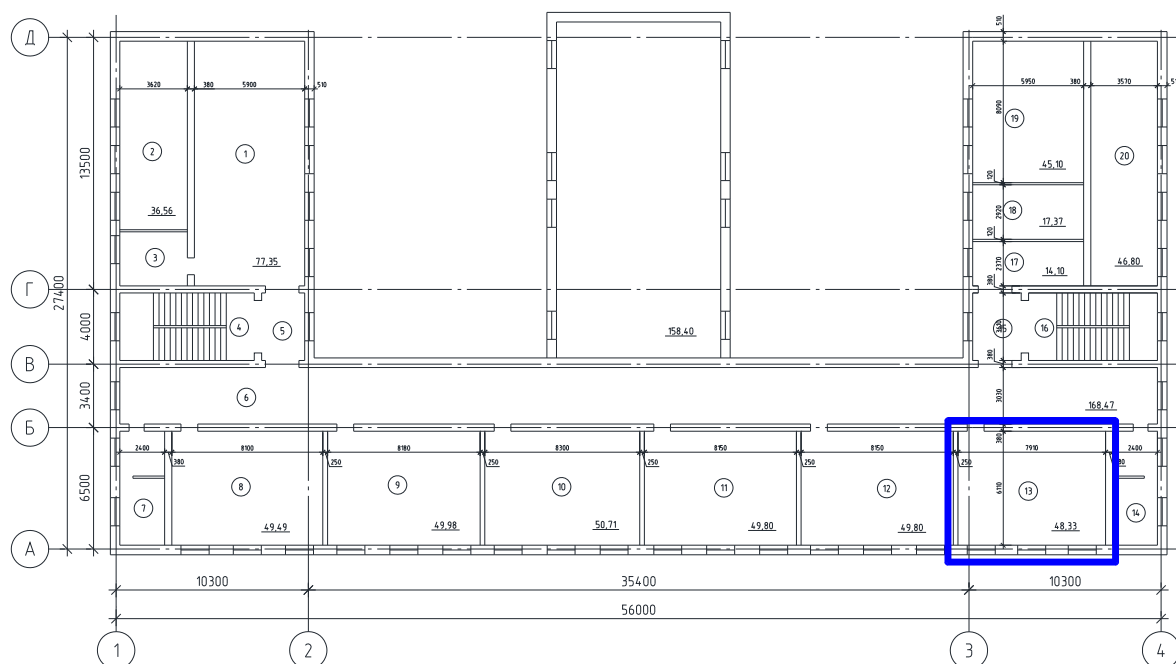


Рисунок 4.2 – План этажа здания образовательной организации, типовая серия 206  
2. МБОУ «Средняя школа №89 города Макеевки», расположенное по адресу: г. Макеевка, ул. Третьякевича, 1.



Рисунок 4.3 – Фасад здания МБОУ «Средняя школа №89 города Макеевки»

Конструктивная схема здания школы – бескаркасное здание с наружными несущими стенами из силикатного кирпича толщиной 510 мм, внутренние стены – толщиной 380 мм. Выполнено по проекту 2-02-05. Здание неутепленное.

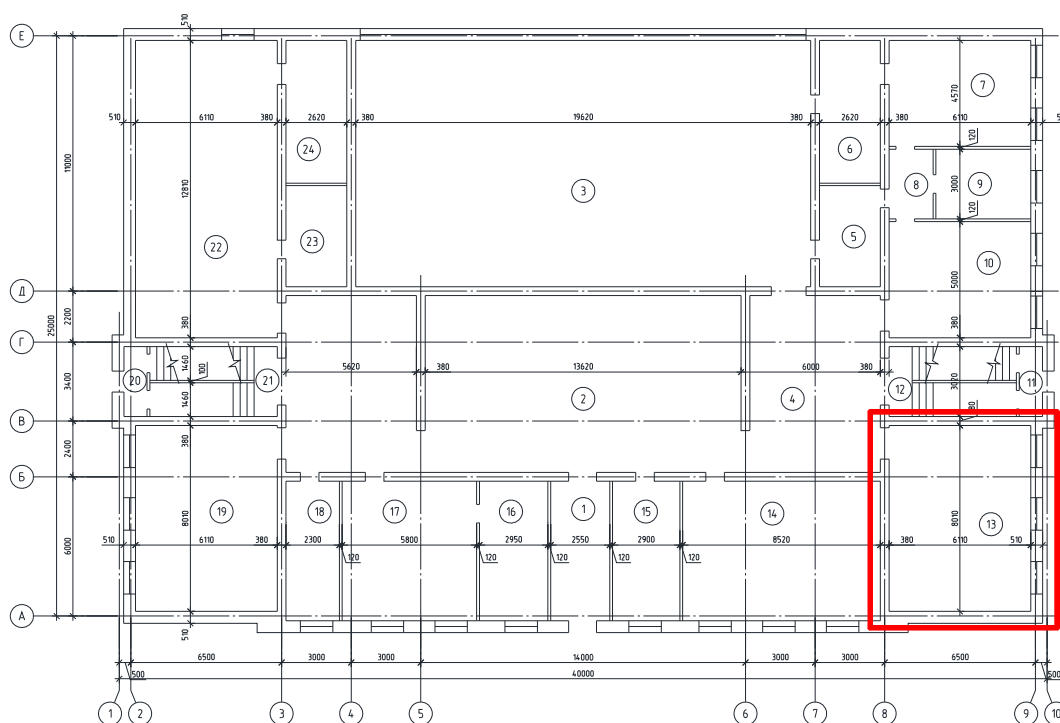


Рисунок 4.4 – План этажа здания образовательной организации, проект 2-02-05

## 4.2 Методика проведения натурального исследования

### 4.2.1 Используемые измерительные приборы и оборудование

Разработка и проведение мероприятий по обеспечению микроклимата помещений эксплуатируемых зданий и установлению величин внутренних поступлений теплоты достаточно проблематична без оценки теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций и тепловлажностного состояния воздуха в помещении.

Для проведения натурального исследования теплового режима учебного помещения в образовательной организации был разработан теплотехнический измерительный комплекс [5]. В качестве модели аналого-цифрового

преобразователя (АЦП) использовано оборудование фирмы Arduino, к которому возможно подключать измерительные датчиков и собирать информацию с последующим выводом/сохранением её на персональном компьютере. На рисунке 4.5 приведена схема подключения датчиков к плате Arduino UNO R3 и общий вид платы.

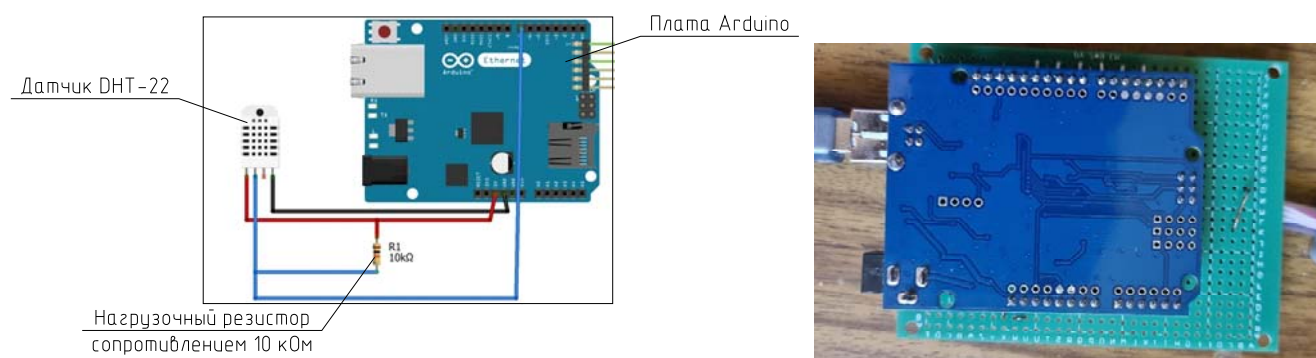


Рисунок 4.5 – Принципиальная схема подключения датчика DHT-22 к плате Arduino UNO R3 и общий вид платы [5]

Платформа Arduino UNO R3 содержит следующие элементы:

- 14 цифровых пинов входа/выхода;
- 6 аналоговых входов;
- кварцевый генератор 16 МГц;
- разъем USB;
- силовой разъем;
- разъем ICSP.

Аппаратная часть состоит из набора смонтированных печатных плат. Программная составляющая основана на бесплатной программной оболочке (IDE) для написания программ, их компиляции и программирования аппаратуры. Полностью открытая архитектура системы позволяет копировать или дополнять линейку продукции в зависимости от задач исследования. Плата Arduino может использоваться в качестве автономного объекта или подключаться к программному обеспечению на компьютере через стандартные проводные и беспроводные

интерфейсы. При разработке теплотехнического измерительного комплекса подключение осуществлялось по USB каналу персонального компьютера [5].

Для подключения внешних устройств используются пины, которые могут работать как в режиме входа, так и в режиме выхода. Каждый вывод имеет нагрузочный резистор 10–50 кОм и может пропускать до 40 мА [5]. Платформа позволяет одновременно подключать до 12 цифровых датчиков измерения температуры и влажности DHT-22 (Рисунок 4.6). Каждый датчик подключается к платформе при помощи экранированного кабеля длиной 6 м, что является оптимальным параметром длины, при котором возможно свести к минимуму влияние внутренних помех при проведении измерений и снизить влияние электромагнитного излучения.



Рисунок 4.6 – Датчик DHT-22. Общий вид

Датчик обладает следующими техническими параметрами: напряжение питания – от 3,3 до 5В; тип выходного сигнала – цифровой; в качестве чувствительного элемента использован полимерный конденсатор; диапазон измерения влажности – от 0 до 100%, с погрешностью  $\pm 2\%$ ; диапазон измерения температуры – от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ , с погрешностью  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ; задержка измерения при считывании данных – 2 сек.

Датчики состоят из чувствительного емкостного датчика, терморезистора NTC («Negative Temperature Coefficient») означает «отрицательный температурный

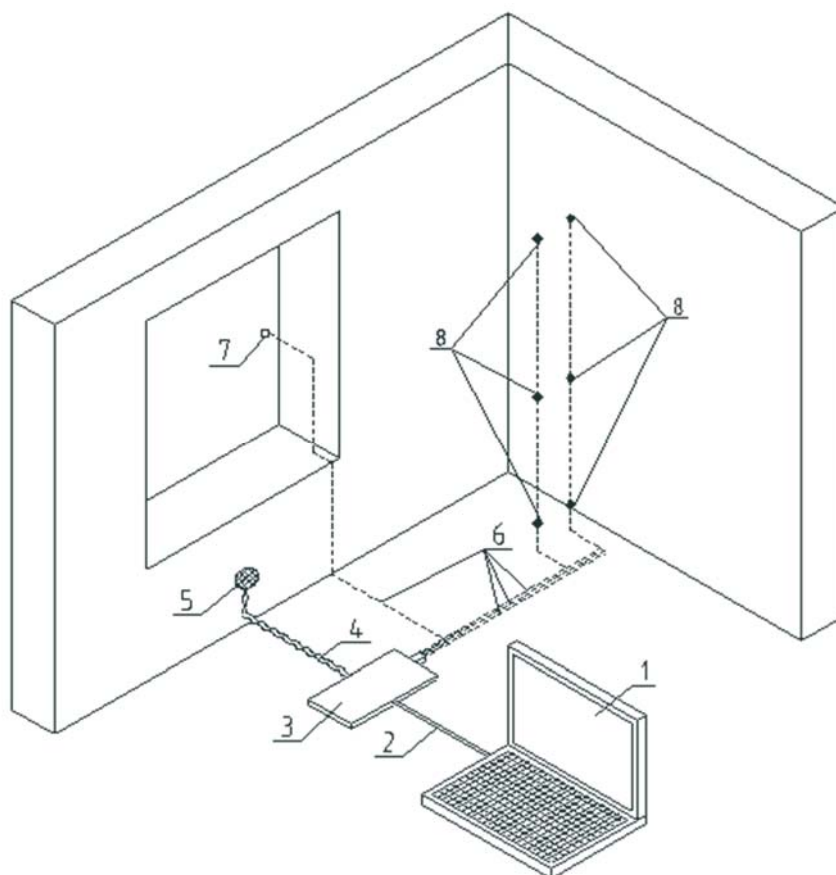
коэффициент») и 8-битного чипа, служащего для преобразования аналогового сигнала с датчика на входе в цифровой на выходе. Все показания передаются по цифровой информационной шине [5]. Калибровка каждого датчика происходит при производстве, в калибровочной камере, а поправочный коэффициент сохраняется в памяти датчика и в момент считывания данных вызывается для контроля. При удалении датчика от устройства считывания информации сохраняется высокая точность передачи данных. Максимальное расстояние удаления – до 20 м.

Компактные размеры датчиков позволяют снимать показания внутри конструкции (на границах ее слоев), а возможность удаления датчиков от платформы позволяет регистрировать данные как на внутренней, так и на наружной поверхности ограждений, вентиляционных каналах, на откосах, по высоте помещения, фиксировать параметры наружной среды.

Схема теплотехнического измерительного комплекса представлена на рисунке 4.7. В зависимости от задач и программы исследования, количество датчиков и их месторасположение могут меняться. Информация от каждого датчика передается к регистрирующей платформе последовательно. Цикл опроса 9 подключенных датчиков составляет 7-8 секунд, что позволяет фиксировать любые изменения температурно-влажностного режима помещения с высокой точностью и одновременно сохранять полученные данные на ПК.

Программное обеспечение считывающего устройства Arduino с открытым исходным кодом позволило изменять и доработать исходную программу в части сбора и обработки информации, получаемой с датчиков, и конвертации полученных данных в табличном виде в формате \*.txt. В дальнейшем таблицы возможно обрабатывать в более мощных программных комплексах, таких как MS Office, MatLab, имеющих широкие возможности в области работы с большими массивами данных [5].





1 – устройство вывода информации (ноутбук); 2 – кабель питания считывающего устройства; 3 – считывающее устройство Arduino; 4 – экранированный кабель датчика теплового потока; 5 – датчик теплового потока; 6 – экранированный кабель, 7 – датчик DHT-22, расположенный снаружи помещения; 8 – датчики DHT-22, расположенные по высоте помещения на расстоянии 0,1; 0,6 и 1,7 м от пола.

Рисунок 4.7 – Схема испытательного комплекса [5]

Для проведения натурных исследований при помощи указанного теплотехнического комплекса была написана программа, дополняющая стандартное программное обеспечение. Текст программы мониторинга и сохранения данных представлен на рисунке 4.8.

```

void loop()
{
  delay(2000);
  float h = dht.readHumidity(); //Считываем влажность
  float t = dht.readTemperature(); //Считываем температуру (в градусах Цельсия)
  //Устанавливаем курсор в 1 столбец 1й строки (выводим влажность)
  //Нумерация идёт с нуля, первым аргументом идёт номер столбца
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Humidity: ");
  lcd.print(h);
  lcd.print(" %t");
  //Устанавливаем курсор в 1 столбец 2й строки (выводим температуру)
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Temperature:");
  lcd.print(t);
  lcd.print(" *C ");
  //Возвращаем курсор на 1 столбец 1й строки
  lcd.setCursor(0, 0);
}

```

Рисунок 4.8 – Текст программы мониторинга и сбора данных (пунктуация соблюдена согласно требованиям программного обеспечения) [5]

#### 4.2.2 Исследование температурного режима учебного помещения

В ходе натурных исследований температурного режима учебных помещений в зданиях общеобразовательных организаций выполнялись замеры следующих параметров:

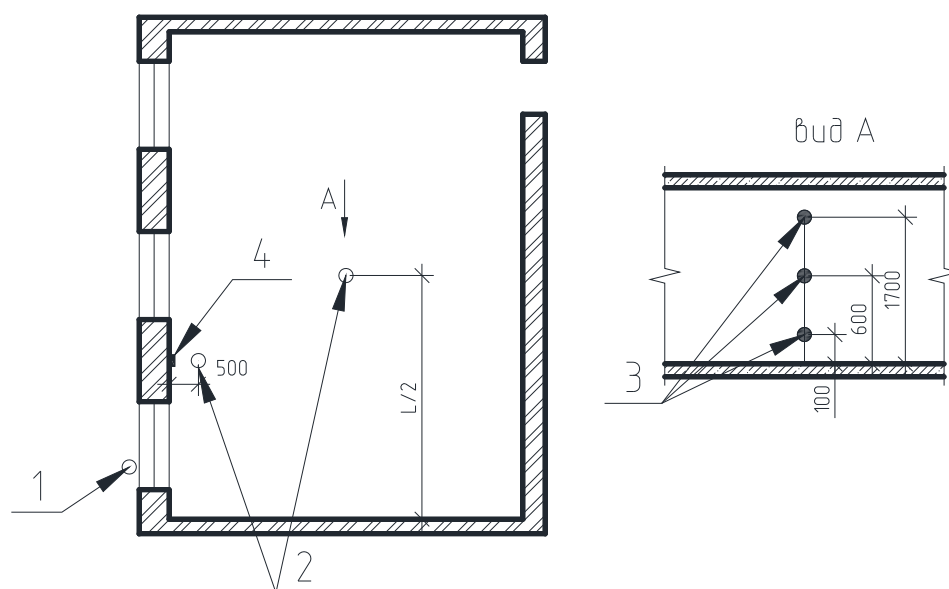
- температуры воздуха внутри учебных помещений [26];
- температуры наружного воздуха.

Исследования проводились в холодный период года с устоявшимся температурным режимом наружного воздуха ниже отметки  $-5^{\circ}\text{C}$ . В связи с погодными условиями и необходимостью проведения замеров при отрицательных температурах, при условии облачного неба, а также при отсутствии необходимого количества оборудования для проведения замеров параллельно в двух зданиях, исследования проводились в два этапа:

1. Февраль 2020 года – МБОУ «Школа №20 города Донецка»;
2. Январь 2021 года – МБОУ «Средняя школа №89 города Макеевки».

Учебные помещения на обоих этапах были выбраны угловыми, расположенными на первых этажах исследуемых зданий образовательных организаций согласно [26].

Каждый этап исследования состоял из нескольких циклов. На протяжении трех дней в учебном помещении, в котором предварительно были установлены датчики определения температуры и влажности внутреннего воздуха, производились замеры температур. Схема расположения датчиков в помещении представлена на рисунке 4.9.



1 – датчики, расположенные снаружи помещения;

2, 3 – датчики, расположенные по вертикали по центральной оси помещения;

4 – датчик теплового потока

Рисунок 4.9 – Схема расположения датчиков в исследуемом учебном помещении [5]

Для получения объективных данных по температурному режиму в учебном помещении замеры производились при расположении датчиков по методике [26]. Такой способ расположения датчиков позволяет зафиксировать температуры в наиболее значимых точках обслуживаемой зоны, учитывая режим работы в помещении – при пребывании людей преимущественно в сидячем положении, что характерно для учебного помещения в общеобразовательной организации

(Рисунок 4.10). Также для избежания погрешностей при измерениях, необходимым условием является размещение датчиков на пересечении диагональных линий помещения, то есть в его центре. Значения температур фиксировались датчиками по вертикали в центре помещения на высоте 0,1; 0,6 и 1,7 м, а также по вертикали на расстоянии 0,5 м от внутренней грани стены на высоте от пола по [26].

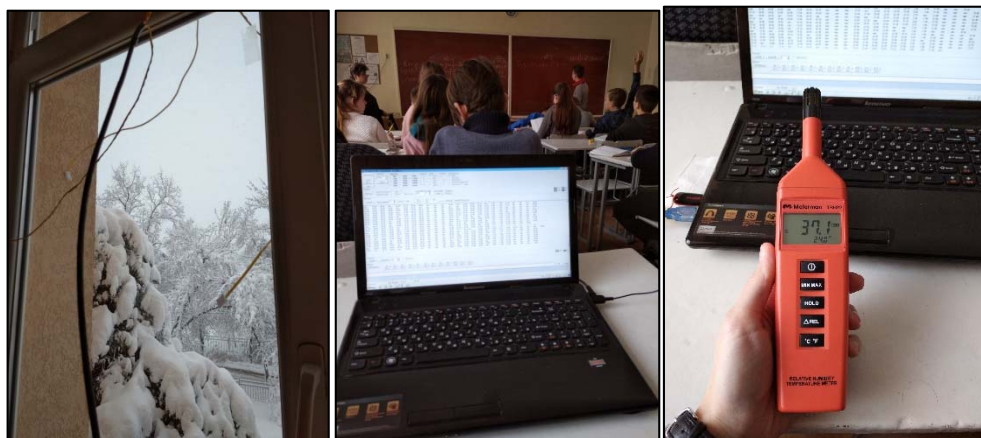


Рисунок 4.10 – Натурные исследования температурного режима учебного помещения, МБОУ «Школа №20 города Донецка», февраль 2020 год [5]

Каждый цикл замеров длился 12 часов. Время начала измерений – 7:00 часов, за час до начала учебных занятий, что позволяет зафиксировать момент начала изменения температуры с приходом в помещение детей. Данные о количестве человек в помещении в течение времени исследования фиксировались, с разделением на взрослых и детей, присутствовавших в помещении, что влияет на величину выделяемой ними теплоты (Рисунок 4.11). На протяжении исследования во время эксплуатации помещения соблюдался санитарно-гигиенический режим [80], проводились проветривания при отсутствии в помещении людей.

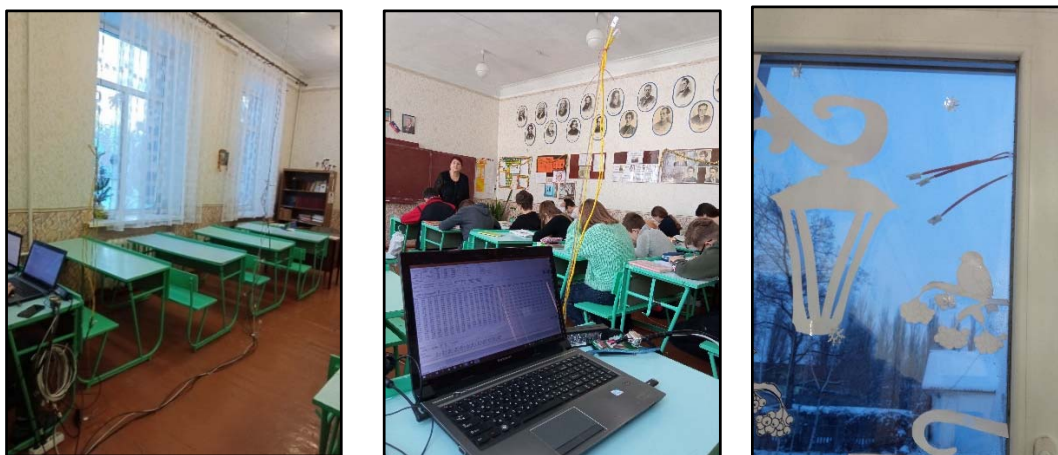


Рисунок 4.11 – Натурные исследования температурного режима учебного помещения, МБОУ «Средняя школа №89 города Макеевки», январь 2021 год

### 4.2.3 Результаты замеров температур в учебном помещении

В результате натурального исследования были получены данные по температурному режиму в учебном помещении. Температуры замерялись каждые 7 секунд – скорость опроса датчиков. Результаты фиксировались датчиками, расположенными на одинаковых высотах по центру помещения и у наружной стены. Замеры осуществлялись и в период перемен между учебными занятиями, чтобы фиксировать температурные колебания в помещении при отсутствии учащихся и их наличии. Результаты замеров сохранялись в файлы текстового формата с расширением txt. с последующей возможностью их передачи в программный комплекс Microsoft Excel. Полученный массив данных по температурному режиму учебных помещений был обработан и выделены контрольные точки, за которые принято время начала и окончания урока. Полученные после обработки результаты натурального исследования представлены в таблице 4.1 (I этап исследования – 2020 год) и таблице 4.2 (II этап исследования – 2021 год).

Таблица 4.1 – Результаты натурного исследования температурного режима учебного помещения (2020 год)

1 день февраль 2020																
Время, ч/ Высота, м	7:00	8:00	8:45	8:55	9:40	10:00	10:45	11:05	11:50	12:00	12:45	12:55	13:40	13:50	14:35	17:00
по центру помещения																
0,1	20,7	21,4	22,3	20,2	22,8	21,4	22,9	21,8	23,2	19,8	23,0	21,2	22,7	21,4	22,6	22,2
0,6	21,6	22,1	23,1	21,2	23,3	21,9	23,7	22,5	23,9	20,2	23,7	21,7	23,2	21,9	23,1	22,6
1,7	22,0	22,2	23,2	22,0	23,6	22,2	23,9	22,7	24,0	21,5	23,9	22,5	23,4	22,7	23,3	22,8
у стены																
0,1	21,3	21,7	22,5	20,7	22,7	21,6	22,9	22,0	23,2	20,3	23,1	21,6	22,8	21,9	22,9	22,4
0,6	21,5	21,9	22,9	21,0	23,2	21,8	23,6	22,4	23,8	20,5	23,6	21,5	23,1	21,7	23,0	22,4
1,7	22,0	22,2	23,2	22,0	23,6	22,2	23,9	22,6	24,0	21,6	23,8	22,5	23,4	22,6	23,3	22,7
2 день февраль 2020																
Время, ч/ Высота, м	7:00	8:00	8:45	8:55	9:40	10:00	10:45	11:05	11:50	12:00	12:45	12:55	13:40	13:50	14:35	17:00
по центру помещения																
0,1	21,7	21,8	23,0	21,7	23,6	23,0	24,9	19,4	24,5	23,0	25,7	20,6	24,4	22,3	23,3	22,4
0,6	22,7	22,6	23,7	22,6	24,2	23,6	25,2	20,3	24,8	23,3	25,8	20,5	24,9	22,5	23,8	23,3
1,7	22,8	22,8	23,8	22,8	24,3	23,9	25,6	21,6	25,5	24,1	26,6	23,5	25,4	23,9	24,1	23,3
у стены																
0,1	22,1	22,0	23,0	22,3	23,6	23,1	24,6	19,9	24,0	23,2	25,4	21,1	24,4	22,5	23,5	23,0
0,6	22,5	22,5	23,6	22,4	24,0	23,5	25,0	20,2	24,6	23,2	25,7	20,1	24,7	22,3	23,7	23,2
1,7	22,8	22,8	23,8	22,8	24,2	23,8	25,6	21,6	25,4	24,0	26,4	23,5	25,2	23,8	24,0	23,3
3 день февраль 2020																
Время, ч/ Высота, м	7:00	8:00	8:45	8:55	9:40	10:00	10:45	11:05	11:50	12:00	12:45	12:55	13:40	13:50	14:35	17:00
по центру помещения																
0,1	21,2	21,6	22,7	21,0	23,2	22,2	23,9	20,6	23,9	21,4	24,4	20,9	23,6	21,9	23,0	22,3
0,6	22,2	22,4	23,4	21,9	23,8	22,8	24,5	21,4	24,4	21,8	24,8	21,1	24,1	22,2	23,5	23,0
1,7	22,4	22,5	23,5	22,4	24,0	23,1	24,8	22,2	24,8	22,8	25,3	23,0	24,4	23,3	23,7	23,1
у стены																
0,1	21,7	21,85	22,75	21,5	23,15	22,35	23,75	20,95	23,6	21,75	24,25	21,35	23,6	22,2	23,2	22,7
0,6	22,0	22,2	23,25	21,7	23,6	22,65	24,3	21,3	24,2	21,85	24,65	20,8	23,9	22	23,35	22,8
1,7	22,4	22,5	23,5	22,4	23,9	23	24,75	22,1	24,7	22,8	25,1	23	24,3	23,2	23,65	23

Таблица 4.2 – Результаты натурного исследования температурного режима учебного помещения (2021 год)

1 день январь 2021																
Время, ч/высота, м	7:00	8:30	9:10	9:25	10:05	10:25	11:05	11:25	12:05	12:20	13:00	13:15	13:55	14:10	15:05	17:05
по центру помещения																
0,1	16,0	16,2	17,0	15,7	18,3	17,5	18,3	17,2	18,7	17,0	19,0	18,5	19,4	17,4	17,7	17,4
0,6	16,3	16,5	18,4	17,2	18,7	18,0	18,7	17,8	19,1	18,5	19,5	18,9	19,8	19,0	17,9	17,5
1,7	16,6	16,8	18,6	17,6	19,4	18,4	18,8	18,3	19,6	19,2	20,0	19,3	20,3	19,6	18,3	17,9
у стены																
0,1	16,0	16,2	16,9	15,5	18,2	17,4	18,1	17,1	18,7	16,9	19,0	18,4	19,4	17,3	17,6	17,4
0,6	15,6	15,8	17,5	16,6	18,2	17,5	17,9	17,4	18,6	18,1	19,0	18,4	19,4	18,5	17,4	17,0
1,7	16,4	16,6	18,5	17,5	19,3	18,2	18,6	18,3	19,5	19,0	19,9	19,1	20,0	19,4	18,1	17,6
2 день январь 2021																
Время, ч/высота, м	7:00	8:30	9:10	9:25	10:05	10:25	11:05	11:25	12:05	12:20	13:00	13:15	13:55	14:10	15:05	17:05
по центру помещения																
0,1	15,9	14,0	17,3	17,0	18,0	17,7	18,5	17,9	18,4	17,8	19,0	17,5	18,7	17,4	18,3	16,7
0,6	16,2	16,2	18,0	17,7	18,8	18,5	19,3	18,9	18,9	19,0	19,7	19,0	19,8	19,0	18,7	17,5
1,7	16,5	16,7	18,6	18,1	19,4	18,9	19,8	19,2	19,3	19,3	20,1	19,6	20,2	19,4	19,0	17,9
у стены																
0,1	15,8	13,9	17,3	16,9	17,9	17,7	18,4	17,8	18,2	17,6	18,9	17,3	18,4	17,3	18,3	16,6
0,6	15,6	15,4	17,4	17,2	18,3	18,0	18,8	18,4	18,4	18,5	19,2	18,5	19,3	18,5	18,2	17,0
1,7	16,2	16,3	18,5	17,7	19,2	18,7	19,5	19,0	19,2	19,2	20,0	19,5	20,1	19,2	18,8	17,7
3 день январь 2021																
Время, ч/высота, м	7:00	8:30	9:10	9:25	10:05	10:25	11:05	11:25	12:05	12:20	13:00	13:15	13:55	14:10	15:05	17:05
по центру помещения																
0,1	16,0	15,1	17,2	16,4	18,2	17,6	18,4	17,6	18,6	17,4	19,0	18,0	19,1	17,4	18,0	17,1
0,6	16,3	16,4	18,2	17,5	18,8	18,3	19,0	18,4	19,0	18,8	19,6	19,0	19,8	19,0	18,3	17,5
1,7	16,6	16,8	18,6	17,9	19,4	18,7	19,3	18,8	19,5	19,3	20,1	19,5	20,3	19,5	18,7	17,9
у стены																
0,1	15,9	15,1	17,1	16,2	18,1	17,6	18,3	17,5	18,5	17,3	19,0	17,9	18,9	17,3	18,0	17,0
0,6	15,6	15,6	17,5	16,9	18,3	17,8	18,4	17,9	18,5	18,3	19,1	18,5	19,4	18,5	17,8	17,0
1,7	16,3	16,5	18,5	17,6	19,3	18,5	19,1	18,7	19,4	19,1	20,0	19,3	20,1	19,3	18,5	17,7

Полученные результаты измерений были статистически обработаны для выявления погрешностей и отклонений данных натурного исследования в соответствии с [27]. Доверительные границы случайной погрешности оценки измеряемой величины устанавливаются для результатов измерений, принадлежащих нормальному распределению.

Оценку измеряемой величины  $\bar{x}$ , за которую принимается среднее арифметическое значение результатов измерений, вычисляется по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.1)$$

где  $x_i$  –  $i$ -й результат измерений;

$n$  – число исправленных измерений.

Среднее квадратическое отклонение  $S$  группы из  $n$  измерений:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.2)$$

Среднее квадратическое отклонение оценки измеряемой величины находится как:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (4.3)$$

Исключение грубых погрешностей производится при помощи критерия Граббса. Вычисляются значения  $G_1$  и  $G_2$ , предполагая, что наибольший и наименьший результат измерений вызван грубыми погрешностями:

$$G_1 = \frac{|x_{\max} - \bar{x}|}{S}; \quad G_2 = \frac{|\bar{x} - x_{\min}|}{S} \quad (4.4)$$

Значения среднего квадратического отклонения оценки температуры в помещении представлены в таблицах 4.3 и 4.4.



Таблица 4.3 – Среднее квадратическое отклонение оценки температуры в помещении (2020 год)

0,1 м центр	0,50	0,20	0,35	0,75	0,40	0,80	1,00	1,20	0,65	1,60	1,35	0,30	0,85	0,45	0,35	0,10
0,1 м стена	0,40	0,15	0,25	0,80	0,45	0,75	0,85	1,05	0,40	1,45	1,15	0,25	0,80	0,30	0,30	0,30
0,6 м центр	0,55	0,25	0,30	0,70	0,45	0,85	0,75	1,10	0,45	1,55	1,05	0,60	0,85	0,30	0,35	0,35
0,6 м стена	0,50	0,30	0,35	0,70	0,40	0,85	0,70	1,10	0,40	1,35	1,05	0,70	0,80	0,30	0,35	0,40
1,7 м центр	0,40	0,30	0,30	0,40	0,35	0,85	0,85	0,55	0,75	1,30	1,35	0,50	1,00	0,60	0,40	0,25
1,7 м стена	0,40	0,30	0,30	0,40	0,30	0,80	0,85	0,50	0,70	1,20	1,30	0,50	0,90	0,60	0,35	0,30

Таблица 4.4 – Среднее квадратическое отклонение оценки температуры в помещении (2021 год)

0,1 м центр	0,05	0,40	0,15	0,65	0,15	0,10	0,10	0,35	0,15	0,40	0,00	0,50	0,35	0,00	0,30	0,35
0,1 м стена	0,10	0,45	0,20	0,70	0,15	0,15	0,15	0,35	0,25	0,35	0,05	0,55	0,50	0,00	0,35	0,40
0,6 м центр	0,05	0,15	0,20	0,25	0,05	0,25	0,30	0,55	0,10	0,25	0,10	0,05	0,00	0,00	0,40	0,00
0,6 м стена	0,00	0,20	0,05	0,30	0,05	0,25	0,45	0,50	0,10	0,20	0,10	0,05	0,05	0,00	0,40	0,00
1,7 м центр	0,05	0,05	0,00	0,25	0,00	0,25	0,50	0,45	0,15	0,05	0,05	0,15	0,05	0,10	0,35	0,00
1,7 м стена	0,10	0,15	0,00	0,10	0,05	0,25	0,45	0,35	0,15	0,10	0,05	0,20	0,05	0,10	0,35	0,05

Основываясь на данных среднего квадратического отклонения измеряемых величин температуры в помещениях, был выполнен расчет грубых погрешностей по критерию Граббса. При уровне значимости  $q=5\%$ , критическое значение для критерия Граббса  $G_T$  составило 1,155.

По данным измерений 2020 года:

$G_1 = 0,9627 \leq G_T = 1,155$ ;  $G_2 = 1,067 \leq G_T = 1,155$  – максимальное и минимальное значения температуры в ряду измерений не считаются промахом.

По данным измерений 2021 года:

$G_1 = 0,6667 \leq G_T = 1,155$ ;  $G_2 = 1 \leq G_T = 1,155$  – максимальное и минимальное значения температуры в ряду измерений не считаются промахом.

Доверительные границы  $\varepsilon$  (без учета знака) случайной погрешности оценки измеряемой величины, имеющей распределение Стьюдента, при вероятности

$P=0,95$  и числе степеней свободы  $n=5$ , что соответствует числу степеней свободы двухатомной молекулы кислорода, определяются как

$$\varepsilon = t \cdot S_{\bar{x}}$$

Следовательно, доверительные интервалы для температур по каждому измерению будут составлять (таблица 4.5)

Таблица 4.5 – Доверительные интервалы для измерений температур

2020 год																
0,1 м центр	0,80	0,32	0,56	1,20	0,64	1,28	1,60	1,92	1,04	2,56	2,16	0,48	1,36	0,72	0,56	0,16
0,1 м стена	0,64	0,24	0,40	1,28	0,72	1,20	1,36	1,68	0,64	2,32	1,84	0,40	1,28	0,48	0,48	0,48
0,6 м центр	0,88	0,40	0,48	1,12	0,72	1,36	1,20	1,76	0,72	2,48	1,68	0,96	1,36	0,48	0,56	0,56
0,6 м стена	0,80	0,48	0,56	1,12	0,64	1,36	1,12	1,76	0,64	2,16	1,68	1,12	1,28	0,48	0,56	0,64
1,7 м центр	0,64	0,48	0,48	0,64	0,56	1,36	1,36	0,88	1,20	2,08	2,16	0,80	1,60	0,96	0,64	0,40
1,7 м стена	0,64	0,48	0,48	0,64	0,48	1,28	1,36	0,80	1,12	1,92	2,08	0,80	1,44	0,96	0,56	0,48
2021 год																
0,1 м центр	0,08	0,64	0,24	1,04	0,24	0,16	0,16	0,56	0,24	0,64	0,00	0,80	0,56	0,00	0,48	0,56
0,1 м стена	0,16	0,72	0,32	1,12	0,24	0,24	0,24	0,56	0,40	0,56	0,08	0,88	0,80	0,00	0,56	0,64
0,6 м центр	0,08	0,24	0,32	0,40	0,08	0,40	0,48	0,88	0,16	0,40	0,16	0,08	0,00	0,00	0,64	0,00
0,6 м стена	0,00	0,32	0,08	0,48	0,08	0,40	0,72	0,80	0,16	0,32	0,16	0,08	0,08	0,00	0,64	0,00
1,7 м центр	0,08	0,08	0,00	0,40	0,00	0,40	0,80	0,72	0,24	0,08	0,08	0,24	0,08	0,16	0,56	0,00
1,7 м стена	0,16	0,24	0,00	0,16	0,08	0,40	0,72	0,56	0,24	0,16	0,08	0,32	0,08	0,16	0,56	0,08

Учитывая данные по определению погрешностей и доверительных интервалов, окончательные значения распределения температур в учебных помещениях представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Окончательные значения температур в учебных помещениях, принятые в исследовании

февраль 2020																
Время, ч/ Высота, м	7:00	8:00	8:45	8:55	9:40	10:00	10:45	11:05	11:50	12:00	12:45	12:55	13:40	13:50	14:35	17:00
по центру помещения																
0,1	21,2	21,6	22,7	21,0	23,2	22,2	23,9	20,6	23,9	21,4	24,4	20,9	23,6	21,9	23,0	22,3
0,6	22,2	22,4	23,4	21,9	23,8	22,8	24,5	21,4	24,4	21,8	24,8	21,1	24,1	22,2	23,5	23,0
1,7	22,4	22,5	23,5	22,4	24,0	23,1	24,8	22,2	24,8	22,8	25,3	23,0	24,4	23,3	23,7	23,1
у стены																
0,1	21,7	21,9	22,8	21,5	23,2	22,4	23,8	21,0	23,6	21,8	24,3	21,4	23,6	22,2	23,2	22,7
0,6	22,0	22,2	23,3	21,7	23,6	22,7	24,3	21,3	24,2	21,9	24,7	20,8	23,9	22,0	23,4	22,8
1,7	22,4	22,5	23,5	22,4	23,9	23,0	24,8	22,1	24,7	22,8	25,1	23,0	24,3	23,2	23,7	23,0
январь 2021																
Время, ч/ Высота, м	7:00	8:30	9:10	9:25	10:05	10:25	11:05	11:25	12:05	12:20	13:00	13:15	13:55	14:10	15:05	17:05
по центру помещения																
0,1	16,0	15,8	17,2	16,4	18,2	17,6	18,4	17,6	18,6	17,4	19,0	18,0	19,1	17,4	18,0	17,1
0,6	16,3	16,4	18,2	17,5	18,8	18,3	19,0	18,4	19,0	18,8	19,6	19,0	19,8	19,0	18,3	17,5
1,7	16,6	16,8	18,6	17,9	19,4	18,7	19,3	18,8	19,5	19,3	20,1	19,5	20,3	19,5	18,7	17,9
у стены																
0,1	15,9	15,8	17,1	16,2	18,1	17,6	18,3	17,5	18,5	17,3	19,0	17,9	18,9	17,3	18,0	17,0
0,6	15,6	15,6	17,5	16,9	18,3	17,8	18,4	17,9	18,5	18,3	19,1	18,5	19,4	18,5	17,8	17,0
1,7	16,3	16,5	18,5	17,6	19,3	18,5	19,1	18,7	19,4	19,1	20,0	19,3	20,1	19,3	18,5	17,7

### 4.3 Сравнительный анализ данных натурального исследования с результатами моделирования бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций

Для наглядного представления соответствия данных, полученных в ходе натурального исследования, с расчетными значениями построены графики распределения температур в учебном помещении по высоте для этапов исследований 2020 и 2021 года.

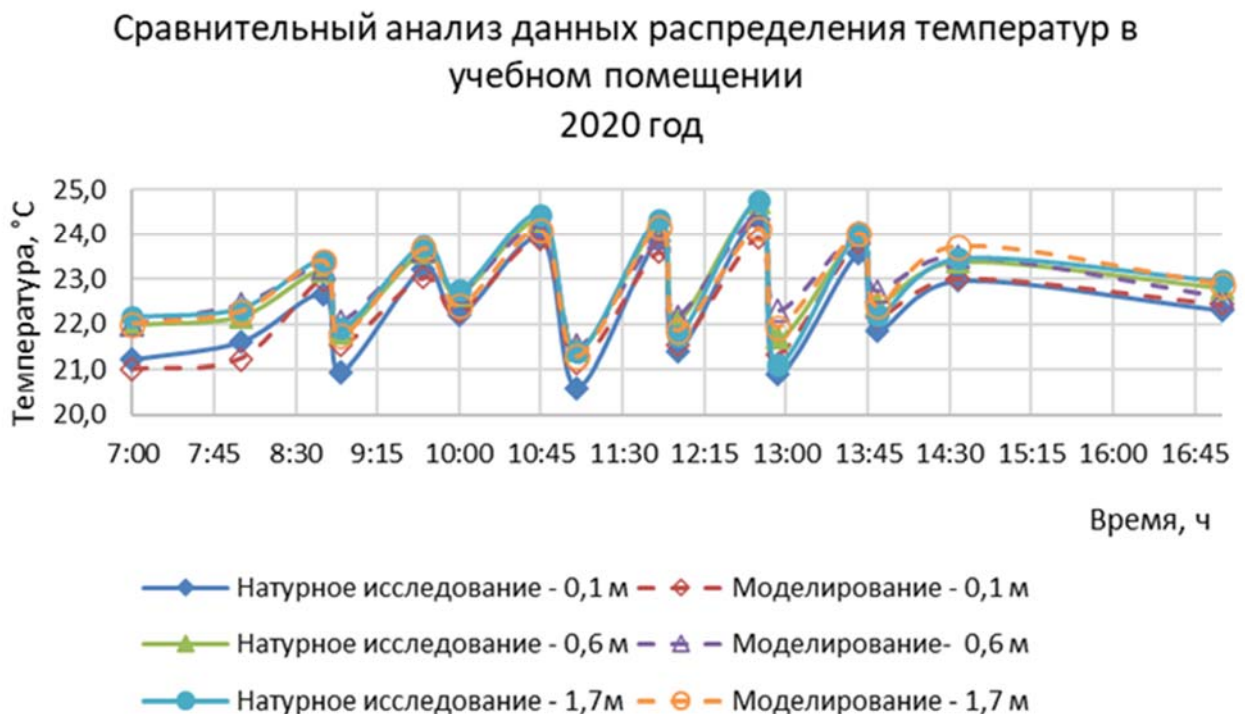


Рисунок 4.12 – Сравнение данных натурального исследования с данными, полученными в ходе моделирования температурного режима учебного помещения, 2020 год

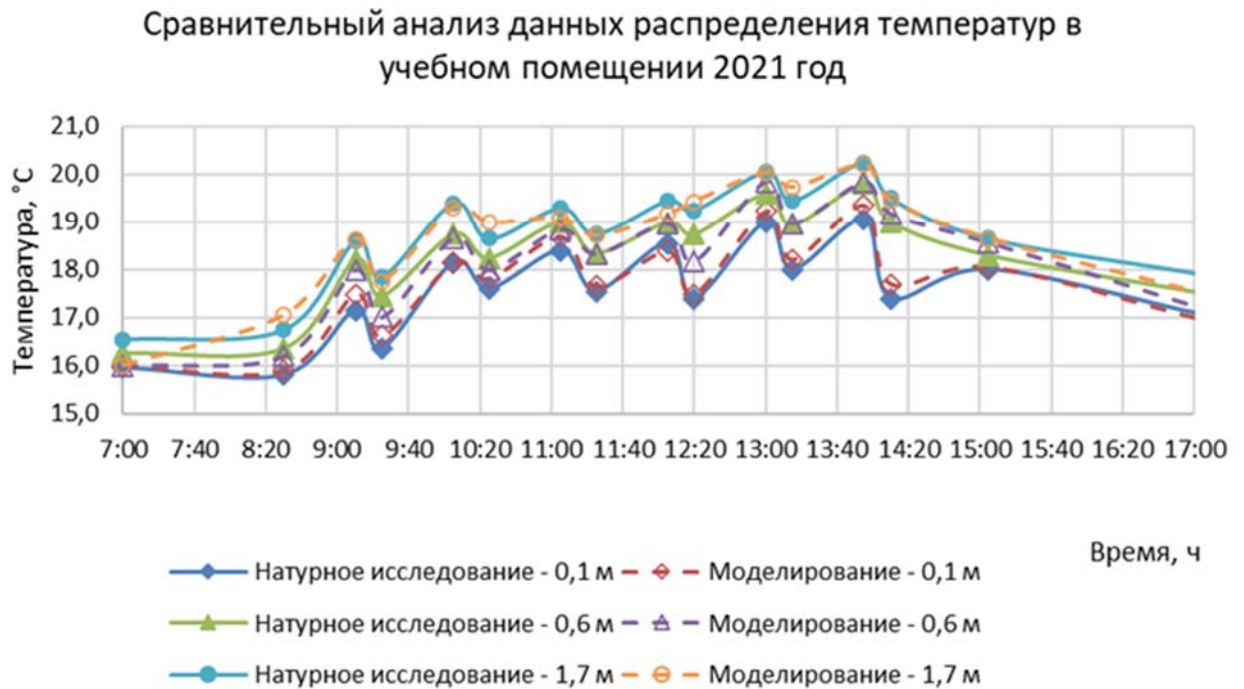


Рисунок 4.13 – Сравнение данных натурального исследования с данными, полученными в ходе моделирования температурного режима учебного помещения, 2021 год

Колебания температур на графиках 2020 года больше, чем колебания температур на графиках 2021 года. Это связано с тем, что в здании общеобразовательной организации на первом этапе исследования была проведена термомодернизация, и начальная температура измерений была на уровне верхней границы нормативной температуры для данной категории помещений. Сравнение экспериментально полученных данных с расчетными значениями показали высокую сходимость результатов. В связи с градиентом температуры по высоте помещения наблюдается небольшая разница в полученных результатах измерений.

Также выполнено сравнение данных натурального исследования с данными по приросту температуры по методике Шкловера. Диаграммы, полученные в ходе выполненного анализа, представлены на рисунках 4.14–4.15



Рисунок 4.14 – Сравнение данных по исследованию температурного режима учебного помещения здания общеобразовательной организации типовой серии 260, 2020 год

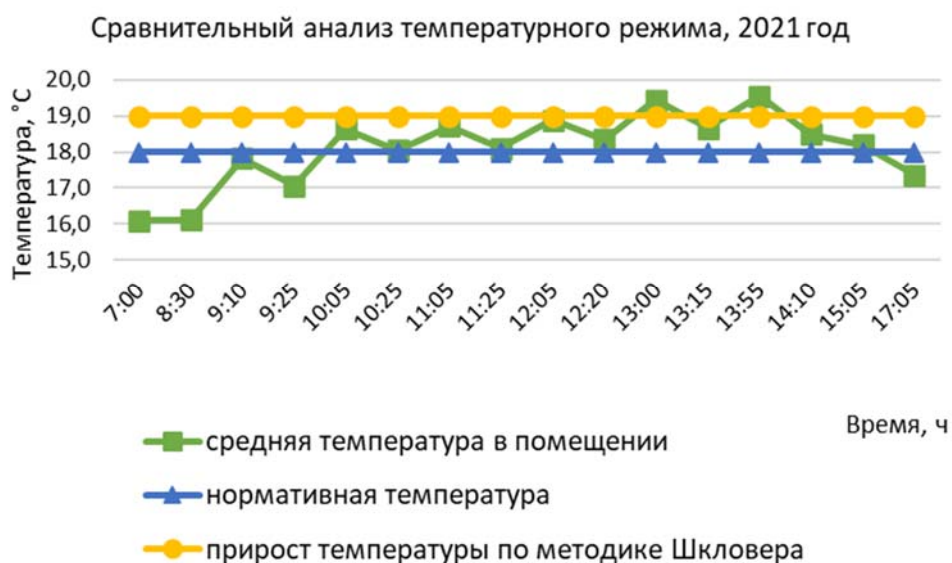


Рисунок 4.15 – Сравнение данных по исследованию температурного режима учебного помещения здания общеобразовательной организации типовой серии 2-02-05, 2021 год

Для определения погрешности результатов расчета используется статистический анализ значений температуры воздуха, которые определены в результате натурного исследования и при моделировании по временным интервалам. Результаты сведены в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Погрешности определения температур воздуха в учебном помещении, 2020 год

Время	Натурное исследование, Y			Моделирование, $\hat{Y}$			Квадрат ошибки, °C		
	0,1 м	0,6 м	1,7 м	0,1 м	0,6 м	1,7 м	0,1 м	0,6 м	1,7 м
7:00	21,2	21,98	22,2	21,00	22	22,00	0,0	0,0	0,0
8:00	21,6	22,17	22,4	21,23	22,44	22,28	0,1	0,1	0,0
8:45	22,7	23,18	23,4	22,98	23,26	23,39	0,1	0,0	0,0
8:55	21,0	21,81	21,9	21,55	22,07	21,73	0,4	0,1	0,0
9:40	23,2	23,59	23,8	23,03	23,62	23,66	0,0	0,0	0,0
10:00	22,2	22,67	22,8	22,26	22,73	22,40	0,0	0,0	0,1
10:45	23,9	24,32	24,5	23,87	24,16	24,08	0,0	0,0	0,1
11:05	20,6	21,42	21,4	21,15	21,52	21,27	0,3	0,0	0,0
11:50	23,9	24,24	24,4	23,59	23,93	24,18	0,1	0,1	0,0
12:00	21,4	22,06	21,8	21,52	22,17	21,85	0,0	0,0	0,0
12:45	24,4	24,73	24,8	23,92	24,43	24,13	0,2	0,1	0,4
12:55	20,9	21,69	21,1	21,32	22,29	21,92	0,2	0,4	0,7
13:40	23,6	23,97	24,1	23,81	24,02	24,00	0,1	0,0	0,0
13:50	21,9	22,46	22,2	22,17	22,72	22,39	0,1	0,1	0,0
14:35	23,0	23,38	23,5	23,00	23,50	23,72	0,0	0,0	0,1
17:00	22,3	22,80	23,0	22,43	22,60	22,88	0,0	0,0	0,0
Сумма							1,6	0,9	1,6

Дисперсия расчетной величины (отклонение от значения натурального исследования) будет равна:

- для высоты 0,1 м

$$MSE_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y} - Y)^2 = \frac{1}{16} \cdot 1,6 = 0,1$$

- для высоты 0,6 м

$$MSE_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y} - Y)^2 = \frac{1}{16} \cdot 0,9 = 0,05$$

- для высоты 1,7 м

$$MSE_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y} - Y)^2 = \frac{1}{16} \cdot 1,6 = 0,1$$

Среднеквадратичная погрешность показывает меру точности показателя рассеивания значений расчетной величины относительно данных натурального исследования:

- на высоте 0,1 м  $RMSD_1 = \sqrt{MSE} = 0,32$

- на высоте 0,6 м  $RMSD_2 = \sqrt{MSE} = 0,23$

- на высоте 1,7 м  $RMSD_3 = \sqrt{MSE} = 0,31$

Коэффициент вариации среднеквадратичной погрешности является величиной, которая показывает, какую долю средний разброс этой величины составляет от среднего значения

- на высоте 0,1 м  $CV_1(RMSD) = \frac{RMSD}{\hat{Y}} = 0,01 = 1\%$

- на высоте 0,6 м  $CV_2(RMSD) = \frac{RMSD}{\hat{Y}} = 0,01 = 1\%$

- на высоте 1,7 м  $CV_3(RMSD) = \frac{RMSD}{\hat{Y}} = 0,01 = 1\%$

Среднеквадратичная погрешность результатов натурного исследования и моделирования температурного режима по данным наблюдений за 2020 год не выходит за пределы допустимого интервала с вероятностью  $P=95\%$ .

Для данных исследования за 2021 год также определена погрешность расчета посредством статического анализа. Данные приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Погрешности определения температур воздуха в учебном помещении, 2021 год

Время	Натурное исследование, $\bar{Y}$			Моделирование, $\hat{Y}$			Квадрат ошибки, °С		
	0,1 м	0,6 м	1,7 м	0,1 м	0,6 м	1,7 м	0,1 м	0,6 м	1,7 м
7:00	16,0	16,3	16,6	16,0	16,0	16,0	0,0	0,1	0,3
8:30	15,8	16,4	16,8	15,9	16,2	17,0	0,0	0,0	0,1
9:10	17,2	18,2	18,6	17,5	18,0	18,6	0,1	0,0	0,0
9:25	16,4	17,5	17,9	16,6	17,0	17,8	0,1	0,2	0,0
10:05	18,2	18,8	19,4	18,1	18,7	19,3	0,0	0,0	0,0
10:25	17,6	18,3	18,7	17,8	18,0	19,0	0,0	0,1	0,1
11:05	18,4	19,0	19,3	18,7	18,8	19,1	0,1	0,0	0,0
11:25	17,6	18,4	18,8	17,7	18,3	18,7	0,0	0,0	0,0
12:05	18,6	19,0	19,5	18,4	19,0	19,2	0,0	0,0	0,1
12:20	17,4	18,8	19,3	17,5	18,2	19,4	0,0	0,3	0,0
13:00	19,0	19,6	20,1	19,2	19,8	20,0	0,1	0,1	0,0
13:15	18,0	19,0	19,5	18,2	19,0	19,7	0,0	0,0	0,1
13:55	19,1	19,8	20,3	19,4	19,8	20,2	0,1	0,0	0,0
14:10	17,4	19,0	19,5	17,7	19,2	19,4	0,1	0,0	0,0
15:05	18,0	18,3	18,7	18,1	18,6	18,6	0,0	0,1	0,0
17:05	17,1	17,5	17,9	17,0	17,2	17,5	0,0	0,1	0,2
Сумма							0,7	1,0	0,9



Дисперсия расчетной величины (отклонение от значения натурального исследования) будет равна:

- для высоты 0,1 м

$$MSE_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y} - Y)^2 = \frac{1}{16} \cdot 0,7 = 0,04$$

- для высоты 0,6 м

$$MSE_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y} - Y)^2 = \frac{1}{16} \cdot 1,0 = 0,06$$

- для высоты 1,7 м

$$MSE_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y} - Y)^2 = \frac{1}{16} \cdot 0,9 = 0,06$$

Среднеквадратичная погрешность показывает меру точности показателя рассеивания значений расчетной величины относительно данных натурального исследования:

- на высоте 0,1 м  $RMSD_1 = \sqrt{MSE} = 0,20$

- на высоте 0,6 м  $RMSD_2 = \sqrt{MSE} = 0,25$

- на высоте 1,7 м  $RMSD_3 = \sqrt{MSE} = 0,24$

Коэффициент вариации среднеквадратичной погрешности является величиной, которая показывает, какую долю средний разброс этой величины составляет от среднего значения

- на высоте 0,1 м  $CV_1(RMSD) = \frac{RMSD}{\hat{Y}} = 0,01 = 1\%$

- на высоте 0,6 м  $CV_2(RMSD) = \frac{RMSD}{\hat{Y}} = 0,01 = 1\%$

- на высоте 1,7 м  $CV_3(RMSD) = \frac{RMSD}{\hat{Y}} = 0,01 = 1\%$

Следовательно, расчет температурного режима помещения обеспечивает необходимую степень сходимости полученных результатов с данными натуральных исследований.

На рисунке 4.16 представлены результаты расчетов бытовых теплопоступлений по методике ГОСТ Р 55656–2013 [29], по данным моделирования в программном комплексе, по разработанной методике расчета бытовых теплопоступлений и данные натурального исследования в зданиях по типовым сериям 260 и 2-02-05. Среднее значение процентной разницы результатов моделирования и расчетов по разработанной методике составляет 3,8%, а разница результатов моделирования и натуральных исследований не превышает 1,5%.

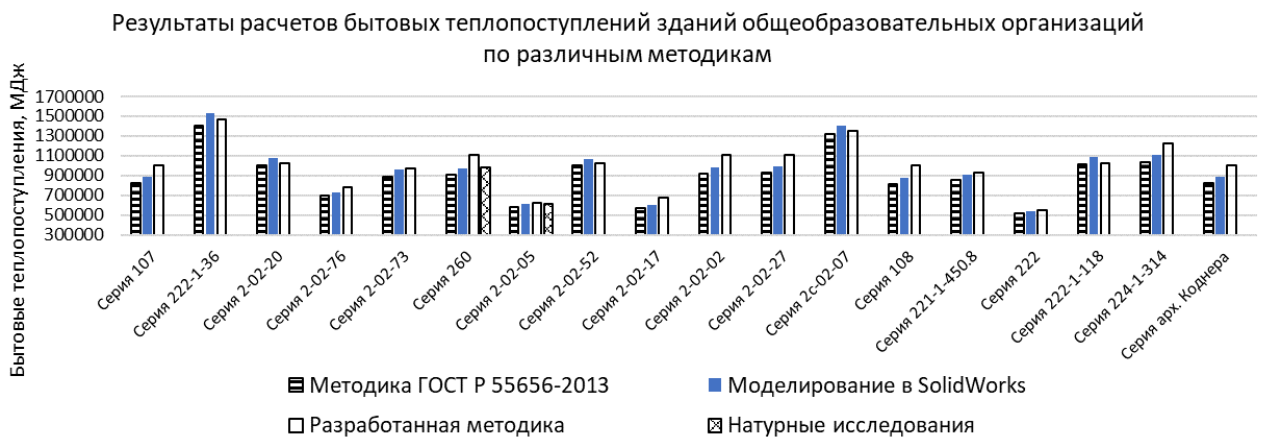


Рисунок 4.16 – Результаты расчетов бытовых теплопоступлений по методике ГОСТ Р, по данным моделирования, разработанной методике расчета и натурным исследованиям

В ходе анализа влияния величины бытовых теплопоступлений на энергетический баланс зданий, основываясь на данных расчета и моделирования, установлено, что бытовые теплопоступления составляют порядка 35...38% от суммарных теплопотерь здания в течение отопительного периода.

#### **4.4 Экономическая эффективность предложенных решений по определению бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций**

На фоне постоянно повышающихся тарифов в сфере жилищно-коммунальных услуг повышение эффективности использования тепловых ресурсов является актуальной, поскольку отопление – одна из самых затратных статей коммунального бюджета.

Снижение расходов на тепловую энергию может быть получено за счет следующих мероприятий по энергосбережению:

- модернизации системы учета потребления энергоресурсов.
- проведения капитального ремонта фасада с целью улучшения теплотехнических показателей.

Экономическая эффективность предложенных решений в данном исследовании представлена следующими данными:

1. Экономический эффект за счет уменьшения толщины теплоизоляционного материала вследствие уточнения методики расчета бытовых теплопоступлений.
2. Экономический эффект за счет снижения величины расхода на отопление в зданиях общеобразовательных организаций вследствие уточнения данных по бытовым теплопоступлениям.

Экономический эффект за счет снижения толщины теплоизоляционного материала может быть достигнут на основании требований СП 50.13330.2012 [86]: «Допускается снижение значения коэффициента  $m_p$  в случае, если при выполнении расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания по методике приложения Г выполняются требования 10.1 к данной удельной характеристике. Значения коэффициента  $m_p$  при этом должны быть не менее:  $m_p = 0,63$  – для стен,  $m_p = 0,80$  – для остальных ограждающих конструкций (кроме светопрозрачных),  $m_p = 1,00$  – для светопрозрачных конструкций».

Таблица 4.9 – Классы энергосбережения жилых и общественных зданий

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Рекомендуемые мероприятия, разрабатываемые субъектами РФ
<b>При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий</b>			
A++ A+ A	Очень высокий	Ниже -60 От -50 до -60 включительно От -40 до -50 включительно	Экономическое стимулирование
B+ B	Высокий	От -30 до -40 включительно От -15 до -30 включительно	Экономическое стимулирование
C+ C C-	Нормальный	От -5 до -15 включительно От +5 до -5 включительно От +15 до +5 включительно	Мероприятия не разрабатываются
<b>При эксплуатации существующих зданий</b>			
D	Пониженный	От +15,1 до +50 включительно	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании
E	Низкий	Более +50	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании, или снос

Основываясь на допущении данного нормативного документа, были рассчитаны сметы (Приложение Г) на утепление зданий общеобразовательных организаций на примере здания типовой серии 260 при толщине теплоизоляционного материала 100 и 70 мм. Предложенная методика расчета бытовых теплопоступлений позволит сократить расходы при первоначальных затратах на утепление при новом строительстве и при выполнении

термомодернизации зданий общеобразовательных организаций за счет уменьшения толщины теплоизоляционного материала при соблюдении требований к удельной характеристике расхода тепловой энергии на отопление.

Расчет экономии затрат на тепловую энергию за счет уточнения методики расчета энергетических параметров зданий и толщины теплоизоляционного материала при термомодернизации можно представить формулой

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{расч} + \mathcal{E}_{ут} \quad (4.5)$$

где  $\mathcal{E}$  – экономия затрат на тепловую энергию за счет уточнения методики расчета энергетических параметров зданий и толщины теплоизоляционного материала, руб.;

$\mathcal{E}_{расч}$  – экономия затрат за счет уточнения методики расчета энергетических параметров зданий, руб.;

$\mathcal{E}_{ут}$  – экономия затрат на тепловую энергию за счет уточнения толщины теплоизоляционного материала, руб.

Экономия затрат на тепловую энергию за счет уточнения методики расчета энергетических параметров здания рассчитывается по следующей формуле

$$\mathcal{E}_{расч} = P_1 - P_2 \quad (4.6)$$

где  $P_1$  – расход на отопление, рассчитанный по стандартной методике, руб.;

$P_2$  – расход на отопление, рассчитанный с учетом уточненной методики, руб.

Тарифы с 01.10.2020 г. на основании Распоряжения Правительства Донецкой Народной Республики от 18.09.2020г № 221 «О тарифах на услуги централизованного теплоснабжения и горячего водоснабжения», Указа врио Главы Донецкой Народной Республики «О внесении изменений в Указ Главы Донецкой Народной Республики от 31 августа 2015 г. № 329-1 «Об утверждении тарифов на услуги централизованного теплоснабжения и горячего водоснабжения,

централизованного холодного водоснабжения и водоотведения» от 15.10.2020г. №29-2 для бюджетных организаций с приборами учета тепловой энергии за 1 Гкал (4186,8 МДж) теплоты составили 2911,80 руб.

На основании Распоряжения Правительства Донецкой Народной Республики от 01.02.2021г. № 21 «О тарифах на услуги централизованного теплоснабжения и горячего водоснабжения» для абонентов, относящихся к бюджетным организациям, с приборами учета тепловой энергии тариф за 1 Гкал (4186,8 МДж) составил 3005,00 руб. Тарифы с 01.01.2023 г. на основании Постановления РСТ ДНР «Об установлении тарифов на тепловую энергию и в сфере горячего водоснабжения» от 30.12.2022г. № 28-4 и Указа Врио Главы Донецкой Народной Республики от 15.10.2018г. № 29-2 «О внесении изменений в Указ Главы Донецкой Народной Республики от 31 августа 2015г. № 329-1 « Об утверждении тарифов на услуги централизованного теплоснабжения и горячего водоснабжения» для бюджетных организаций с приборами учета тепловой энергии увеличились до 3671,50 руб. за 1 Гкал (4186,8 МДж).

Таблица 4.10 – Анализ данных по расходу на отопление в зданиях общеобразовательных организаций

№ п\п	Типовая серия	Расход на отопление по методике ГОСТ Р 55656–2013, МДж	Расход на отопление по предложенной методике, МДж	Экономия, %
1	2	3	4	5
1	Серия 107	1358111	1328948	2,1
2	Серия 222-1-36	3569112	3532659	1,0
3	Серия 2-02-20	1835649	1809138	1,4
4	Серия 2-02-76	1328942	1311709	1,3
5	Серия 2-02-73	1466768	1436280	2,1
6	Серия 260	1277029	1247867	2,3
7	Серия 2-02-05	686605	673348	1,9
8	Серия 2-02-52	1749033	1719870	1,7
9	Серия 2-02-17	797672	784416	1,7
10	Серия 2-02-02	1108262	1018059	8,1
11	Серия 2-02-27	1771445	1763089	0,5

1	2	3	4	5
12	Серия 2с-02-07	1532361	1495908	2,4
13	Серия 108	1521505	1494994	1,7
14	Серия 221-1-450.8	3285816	2982777	9,2
15	Серия 222	699185	685929	1,9
16	Серия 222-1-118	1810141	1773688	2,0
17	Серия 224-1-314	1339215	1302762	2,7
18	Серия арх. Коднера	1302680	1273518	2,2

На рисунке 4.17 представлено соотношение бытовых теплопоступлений в здании общеобразовательной организации к общему расходу на отопление на примере здания типовой серии 260.

Бытовые теплопоступления и общий расход на отопление в здании общеобразовательной организации



Рисунок 4.17 – Отношение бытовых теплопоступлений в здании общеобразовательной организации к общему расходу на отопление на примере здания типовой серии 260

Таким образом, экономия затрат за счет уточнения методики расчета энергетических параметров зданий общеобразовательных организаций для рассматриваемого здания по типовой серии 260 составит

$$\mathcal{E}_{расч} = P_1 - P_2 = 25590,40 \text{ руб.}$$

Размер экономии за счет уточнения толщины теплоизоляционного материала рассчитывается по следующей формуле

$$\mathcal{E}_{ум} = C_{100} - C_{70} \quad (4.7)$$

где  $C_{100}$  – стоимость работ по устройству фасада способом скрепленной теплоизоляции при толщине теплоизоляционного материала 100 мм, руб.;

$C_{70}$  – стоимость работ по устройству фасада способом скрепленной теплоизоляции при толщине теплоизоляционного материала 70 мм, руб.

На основании выполненных сметных расчетов по устройству данного вида фасадных систем (приложение Г) получим

$$\mathcal{E}_{ум} = C_{100} - C_{70} = 1178637,97 \text{ руб.}$$

Таким образом, размер экономии затрат на тепловую энергию за счет модернизации системы учета ее потребления и за счет утепления фасада по данным расчета за отопительный период при проведении термомодернизации здания типовой серии 260 составляет

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{расч} + \mathcal{E}_{ум} = 1204228,3 \text{ руб.}$$

Учитывая, среднее количество школ по ДНР – 470 зданий, экономия средств по расходу на отопление по уточненной методике составит 3,9 млн. руб., для г. Донецка, при количестве эксплуатируемых зданий – 1,58 млн. руб.



#### 4.5 Выводы по четвертому разделу

1. Для проведения натурного исследования температурного режима учебных помещений в зданиях общеобразовательных организаций разработан теплотехнический измерительный комплекс, позволяющий определять температурно-влажностный режим в исследуемом помещении без нарушения режима работы здания. Цикл считывания данных с подключенных датчиков происходит в динамике, что позволяет фиксировать изменения температурного режима в помещении и одновременно сохранять данные на ПК с возможностью их дальнейшей обработки.

2. Проведены натурные исследования температурного режима учебных помещений в зданиях общеобразовательных организаций типовых серий 260 и 2-02-05, по результатам которых установлена величина прироста температуры, составляющая от 3,5 до 4°C. Результаты натурного эксперимента подтверждают данные по моделированию энергетических параметров в зданиях общеобразовательных организаций и данные, полученные по разработанной методике расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций. Предложенная методика натурного исследования обеспечивает высокий уровень сходимости расчетных значений с данными теоретических исследований. Расхождение составляет не более 5%. Точность измерений температурного режима учебных помещений не выходит за пределы допустимого интервала.

3. Определен экономический эффект от применения разработанной методики расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций, как для нового строительства и проектирования, так и для эксплуатируемых зданий. На основании уточненных энергетических показателей установлена доля бытовых теплопоступлений от общего расхода энергии на отопление зданий общеобразовательных организаций, которая составляет 35...38%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате численных и натурных исследований достигнута основная цель работы, заключающаяся в повышении энергетической эффективности зданий общеобразовательных организаций за счет уточнения энергетических параметров таких зданий. На основе выполненных исследований получены следующие основные результаты:

1. Выполнен анализ существующих методик расчета бытовых теплопоступлений и выявлены несовершенства в части определения бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций, что позволило определить основные векторы развития методики расчета переменных бытовых теплопоступлений.

2. На основании анализа конструктивных и объемно-планировочных решений выполнена классификация зданий общеобразовательных организаций типовых массовых серий строительства, эксплуатируемых в настоящее время. На основании разработанной классификации в качестве основного показателя энергетической характеристики здания исследуется расход энергии на отопление здания за отопительный период.

3. Выполнены численные исследования бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций для различных типовых серий в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation, что позволило:

- установить величину температурного прироста в учебном помещении на протяжении времени пребывания учащихся, которая составила 2,7–4,0 °С;

- исследовать распределения температур внутреннего воздуха в помещениях зданий общеобразовательных организаций, температурных полей в ограждающих конструкциях зданий и получить значения теплового потока в зависимости от различных объемно-планировочных и конструктивных особенностей зданий, количества человек в помещениях, значений начальной температуры воздуха;

- уточнить величину тепловыделений от людей в учебных помещениях в зависимости от категории сложности выполняемых работ и возрастных особенностей, что составило для взрослого человека – 125 Вт, для ребенка (11–15 лет) – 117 Вт;

- установить величины бытовых теплопоступлений для исследуемых типовых серий зданий общеобразовательных организаций;

- разработать методику расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций с уточненным значением тепловыделений от людей в учебных помещениях, которая представлена базовой величиной теплопоступлений  $Q_m = 958804$  МДж и коэффициентами, учитывающими влияние на величину теплопоступлений численности людей –  $k_{числ}$ , этажности здания –  $k_{эт}$ , расчетной площади (объемно-планировочный коэффициент) –  $k_{об}$ .

4. Данные натурных исследований температурного режима учебных помещений в зданиях общеобразовательных организаций позволили:

- установить величину температурного прироста в зданиях различных типовых серий, которая составляет от 3 до 4°С и позволяет верифицировать результаты численных исследований температурного режима учебных помещений;

- верифицировать данные по тепловыделениям от людей в учебных помещениях по величине температурного прироста в зависимости от количества присутствующих, возраста и выполняемой работы;

- уточнить энергетические показатели зданий общеобразовательных организаций.

5. Экономический эффект исследования достигается за счет уменьшения толщины теплоизоляционного материала при условии соблюдения требований к удельной характеристике расхода тепловой энергии на отопление согласно уточнению энергетических параметров зданий. Экономия средств на утепление одного здания общеобразовательной организации составит 1,18 млн. руб., при проведении мероприятий по термомодернизации таких зданий по ДНР – более 350 млн. руб. Помимо этого, ежегодная экономия средств на отопление зданий общеобразовательных организаций составит 3,9 млн. руб.

**СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ**

**величина базовых бытовых теплопоступлений:** величина внутренних теплопоступлений теплоты в зданиях общеобразовательных организаций, учитывающая теплоту от людей, оборудования и освещения, полученная в ходе регрессионного анализа при исследовании бытовых теплопоступлений в зданиях школ.

**внешняя стенка:** тип граничного условия в программном комплексе SolidWorks, связанный с решением задач обтекания тел.

**толщина пограничного слоя:** расстояние от стенки обтекаемого тела, на котором температура отличается от температуры внешнего потока на 1%.

**граничное условие на входе:** начальное значение температуры рассматриваемой среды, которое задается для моделирования процессов теплообмена в программном комплексе.

**граничное условие на стенке:** пространственное граничное условие, которое относится к поверхностям, ограничивающим исследуемую среду.

**идеальная стенка:** тип граничного условия в программном комплексе SolidWorks, позволяющий указать адиабатическую поверхность твердого тела, контактирующего с текучей средой.

**реальная стенка:** тип граничного условия в программном комплексе SolidWorks, позволяющий задать условия температуры и коэффициент теплопередачи для поверхностей, контактирующих с текучей средой.

**текучая среда:** газы или жидкости в исследуемом объеме.

**энергетическая эффективность:** характеристика, отражающая отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю.

**энергетические характеристики здания:** комплекс показателей, необходимых для оценки здания с позиции эффективности использования энергии.

К энергетическим характеристикам здания относят тепловую защиту здания, удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период и характеристику тепловой мощности систем отопления и вентиляции.

**энергосбережение:** реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг).

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алямовский, А. А. Инженерный анализ в среде SolidWorks Simulation. Новое в версии 2010 / А. А. Алямовский, М. А. Шаломеенко. Текст : непосредственный // САПР и графика. – 2009. – № 11(157). – С. 32–36. – EDN RZPYNP.
2. Алямовский, А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. Учебное пособие / А. А. Алямовский. – Москва : ДМК Пресс, 2010. – 464 с. – ISBN 978-5-94074-586-0. – EDN RAZDJP. – Текст : непосредственный.
3. Аникеев, А. А. Основы вычислительного теплообмена и гидродинамики : учебное пособие / А. А. Аникеев, А. М. Молчанов, Д. С. Янышев. – Москва : URSS, 2010. – 149 с. – ISBN 978-5-397-01078-8. – EDN QJWALL. – Текст : непосредственный.
4. Банхиди, Л. Тепловой микроклимат помещений: расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Л. Банхиди ; перевод с венгерского В. М. Беляева ; под редакцией В. И. Прохорова, А. Л. Наумова. – Москва : Стройиздат, 1981. – 248 с. – Текст : непосредственный.
5. Белоус, А. Н. Разработка теплотехнического измерительного комплекса / А. Н. Белоус, М. В. Оверченко, О. Е. Белоус // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 140-151. – DOI 10.31675/1607-1859-2020-22-1-140-151.
6. Белоус, А. Н. Сравнительный анализ методик определения тепlopоступлений от учащихся в зданиях образовательных организаций / А. Н. Белоус, М. В. Оверченко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2022. – Т. 24, № 4. – С. 153–164. – DOI 10.31675/1607-1859-2022-24-4-153-164. – EDN GCRIBJ.
7. Бирюков, А. Б. Методика оперативного сбора данных для анализа энергоэффективности теплоснабжения общественных зданий / А. Б. Бирюков, А. Ю. Харитонов. Текст : электронный // Энергетические системы. – 2016. – № 1. – С.

40–44. – EDN BWOJMB. – URL: [elibrary\\_43958256\\_76471078.pdf](http://elibrary_43958256_76471078.pdf) (дата обращения 04.05.2023)

8. Богословский, В.Н. Воздушный режим зданий и учет воздухопроницания в расчете теплового режима / В.Н. Богословский, В. П. Титов. Текст : непосредственный // Сборник трудов: Отопление и вентиляция. Некоторые вопросы теплового режима зданий. – Москва : МИСИ, 1967. – С. 7–18.

9. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика. Теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / В. Н. Богословский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1982. – 415 с. – Текст : непосредственный.

10. Булыгина, С. Г. Моделирование конвективного теплообмена человека с воздухом производственных помещений ресторанных комплексов / С. Г. Булыгина, О. А. Сотникова. Текст : электронный // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2011. – № 2(5). – С. 55–66. – EDN ONCYDD. – URL: [10 \(elibrary.ru\)](http://10.elibrary.ru) (дата обращения 04.05.2023).

11. Бухмиров, В. В. Математическое моделирование микроклимата в помещении общественного здания / В. В. Бухмиров, М. В. Пророкова // Современные научные достижения металлургической теплотехники и их реализация в промышленности : сборник докладов II Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Заслуженного деятеля науки и техники РФ Юрия Гавриловича Ярошенко, Екатеринбург, 18–21 сентября 2017 года / Министерство образования и науки Российской Федерации; Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий, Кафедра «Теплофизика и информатика в металлургии». – Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2018. – С. 33–37. – EDN YVHIKC. – URL: [Электронный научный архив УрФУ: Математическое моделирование микроклимата в помещении общественного здания \(urfu.ru\)](http://Электронный_научный_архив_УрФУ_Математическое_моделирование_микроклимата_в_помещении_общественного_здания_(urfu.ru)) (дата обращения 04.05.2023).

12. Бухмиров, В. В. Оценка микроклимата в помещениях жилых, общественных и административных зданий / В. В. Бухмиров, М. В. Пророкова. – Текст : электронный // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2015. – № 4. – С. 5–10. – DOI: [10.17588/2072-2672.2015.4.005-010](https://doi.org/10.17588/2072-2672.2015.4.005-010). EDN: UFZOCD. – URL: [vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/published/4-15\\_str\\_5-10.pdf](http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/published/4-15_str_5-10.pdf) (дата обращения 04.05.2023).

13. Ватин, Н. И. Повышение энергоэффективности зданий детских садов / Н. И. Ватин, Д. В. Немова. Текст : электронный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2012. – № 3(3). – С. 52–76. – EDN PDUPUV. – URL: [https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2012/3\(3\)/6\\_vatin\\_nemova\\_3.pdf?ysclid=lh8uuv8ju5733388972](https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2012/3(3)/6_vatin_nemova_3.pdf?ysclid=lh8uuv8ju5733388972) (дата обращения 04.05.2023).

14. Ватин, Н. И. Проведение энергоаудита детских садов с целью повышения энергоэффективности / Н. И. Ватин, О. С. Гамаюнова, Д. В. Немова. Текст : электронный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 9(24). – С. 71–83. – EDN SYSAMR. – URL: [https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2014/9\(24\)/6\\_gamayunova\\_24.pdf?ysclid=lh8uw7lnge899760653](https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2014/9(24)/6_gamayunova_24.pdf?ysclid=lh8uw7lnge899760653) (дата обращения 04.05.2023).

15. Ватин, Н. И. Сравнительный анализ потерь тепловой энергии и эксплуатационных затрат на отопление для загородного частного дома при различных минимальных требованиях к уровню тепловой защиты ограждающих конструкций / Н. И. Ватин, Д. В. Немова, А. С. Горшков // . – 2013. – № 1(168). – С. 36–39. – EDN SXLQLP.

16. Ватин, Н. И. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте / Н. И. Ватин, А. С. Горшков, Д. В. Немова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – № 3(8). – С. 1–11. – EDN OLYGTV.

17. Власов, О.Е. Основы строительной теплотехники / О. Е. Власов. – Москва: ВИА, 1938. 94 с. – Текст: непосредственный.

18. Власов, О.Е. Плоские тепловые волны / О. Е. Власов. Текст : непосредственный // Известия теплотехнического института. – 1927. – №26. – С.13–27.



19. Власов, О.Е. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций / Инж. О. Е. Власов. – Москва ; Ленинград : Огиз – Государственное научно-техническое издательство, 1931. – 20 с.

20. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании / Н. И. Ватин, Д. В. Немова, П. П. Рымкевич, А. С. Горшков. Текст : электронный // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 8(34). – С. 4–14. – EDN PJWLEX. – URL: [Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании \(spbstu.ru\)](#) (дата обращения 04.05.2023).

21. ВСН 50–86. Образовательные школы и школы-интернаты. Нормы проектирования : издание официальное : утверждены Управлением по строительству общественных зданий и сооружений Госгражданстроя 28 января 1987 г. № 268-9/20 / введены впервые : 1988. 02. 01 / разработаны ЦНИИЭП учебных зданий Госгражданстроя. – Москва : Прейскурантиздат, 1988. – 48 с. – Текст непосредственный.

22. Гагарин, В. Г. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов. Текст : электронный // Энергия: экономика, техника, экология. – 2012. – № 5. – С. 25–32. – EDN OZFHZN. – URL: [Vestnik\\_3\\_11\\_1.qxd \(elibrary.ru\)](#) (дата обращения 04.05.2023).

23. Горшков, А. С. Реализация государственной программы повышения энергетической эффективности жилых и общественных зданий / А. С. Горшков, Н. И. Ватин, П. П. Рымкевич. Текст : электронный // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2014. – № 1(180). – С. 39–46. – EDN SZTGFL. – URL: [elibrary\\_22562731\\_73918130.pdf](#) (дата обращения 04.05.2023).

24. Горшков, А. С. Формула энергоэффективности / А. С. Горшков, Д. В. Немова, Н. И. Ватин. Текст : электронный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – № 7(12). – С. 49–63. – EDN RCXKWZ. URL: [7\\_gorshkov\\_vatin\\_nemova\\_12.pdf \(spbstu.ru\)](#) (дата обращения 04.05.2023).

25. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны = Occupational safety

standards system. General sanitary requirements for working zone air : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29 сентября 1988 г. № 338 : взамен ГОСТ 12.1.005-76 : дата введения 01.01.1989 г. / разработан Министерством здравоохранения СССР, Всесоюзным Центральным Советом Профессиональных Союзов. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1988., Стандартиформ, 2008. 61 с. – Текст непосредственный.

26. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 июля 2012 г. № 191-ст : взамен ГОСТ 30494-96 : дата введения 01. 01. 2013 г. / разработан ОАО «СантехНИИпроект», ОАО «ЦНИИПромзданий. – Москва : Стандартиформ, 2013. 15 с. – Текст: непосредственный.

27. ГОСТ Р 8.736–2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения – State system for ensuring the uniformity of measurements. Multiple Direct measurements. Methods of measurement results processing. Main positions : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. № 1045-ст : введен впервые : дата введения 01.01.2013 г. / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева») – Москва : Стандартиформ, 2013, 2019. 26 с. – Текст: непосредственный.

28. ГОСТ Р ИСО 7730–2009. Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта = ISO 7730: 2005 Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and

interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (IDT) : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 декабря 2009 г. № 573-ст : введен впервые : дата введения 10. 2009 г. / разработан Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД»). – Москва : Стандартинформ, 2011. 43 с. – Текст: непосредственный.

29. ГОСТ Р 55656–2013. Энергетические характеристики зданий. Расчет использования энергии для отопления помещений = ISO 13790:2008 Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling (MOD) : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 октября 2013 г. № 1211-ст : введен впервые : дата введения 01.07.2015 г. / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием ВНИИН-МАШ. – Москва : Стандартинформ, 2014. 28 с. – Текст: непосредственный.

30. Гусейнова, М. В. Исследование возможности групповой оценки теплового комфорта по теории Фангера применительно ко множеству лиц с разными трудовыми показателями / М. В. Гусейнова. – Текст: непосредственный // Экология человека. 2019. № 4. С. 60–64.

31. Денисихина, Д. М. Конвективно-радиационный теплообмен человека в задачах математического моделирования распределенных параметров микроклимата в помещениях / Д. М. Денисихина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2014. – № 38(57). – С. 143–150. – EDN TJGTBP.

32. Денисихина, Д. М. Оценка теплового комфорта в помещениях на основе анализа результатов математического моделирования / Д. М. Денисихина. Текст : электронный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного

университета. – 2015. – № 3(50). – С. 183–193. – EDN TVVOSB. – URL : [Microsoft Word - 16Денисихина.doc \(elibrary.ru\)](#) (дата обращения 04.05.2023).

33. ДсанПиН 5.5.2.008-01. Государственные санитарные правила и нормы устройства, содержания общеобразовательных учебных заведений и организации учебно-воспитательного процесса : государственные правила и нормы : утвержден Постановлением Главного государственного санитарного врача Украины 14 августа 2001 г. № 63 : введен впервые : дата введения 14. 08. 2001 г. / Главное санитарно-эпидемиологическое управление МОЗ Украины. – Киев : МОЗ Украины, 2001. – 37 с. – Текст непосредственный.

34. ДСТУ Б А.2.2–12:2015. Энергетическая эффективность зданий. Метод расчета энергопотребления при отоплении, охлаждении, вентиляции, освещении и горячем водоснабжении : государственный стандарт Украины : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Минрегиона Украины от 27.07.2015 г. № 178 : введен впервые : дата введения 2016–01–01 / разработан ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций» (НИИСК). – Киев : Минрегион Украины, 2015. – 150 с. – Текст : непосредственный.

35. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія : Національний стандарт України : видання офіційне : затверджено та введено в дію Наказом Міністерства регіонального розвитку України від 16 грудня 2010 р. № 511 : введено вперше : надано чинності 2011-11-01 / розроблено ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». – Київ : Міністерство регіонального розвитку України, 2010 – 128 с. – Текст : непосредственный.

36. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013. Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій : Національний стандарт України : затверджено та введено в дію Наказом Міністерства регіонального розвитку України від 13 серпня 2013 р. № 384 / розроблено ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК) : введено вперше : надано чинності 2014-01- 01. – Київ : Міністерство регіонального розвитку України, 2013. – 66 с. – Текст : непосредственный

37. Ефременко, А. В. Применение технологий CFD-моделирования для создания комфортного микроклимата в зданиях / А. В. Ефременко. Текст : электронный // Устойчивое развитие науки и образования. – 2019. – № 10. – С. 129–132. – EDN UOYXVV. – URL : [Синергия. 2015. № 1. \(elibrary.ru\)](#) (дата обращения 04.05.2023).

38. Канев, М. А. Численное моделирование тепловлажностных процессов в административных помещениях в северных климатических условиях / М. А. Канев. Текст : электронный // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 5(52). – С. 171–178. – EDN VCLCLR. – URL : [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_25061784\\_90379769.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25061784_90379769.pdf) (дата обращения 04.05.2023).

39. Ключко, А. Р. Развитие архитектуры школьных зданий в России и в мире / А. Р. Ключко, Е. И. Коровина. Текст : электронный // Архитектура и современные информационные технологии. – 2017. – № 2(39). – С. 98–113. – EDN YNKLHJ. – URL : [08\\_AMIT\\_39\\_KLOCHKO\\_KOROVINA\\_PDF.pdf \(marhi.ru\)](#) (дата обращения 04.05.2023).

40. Коржнева, Т. Г. Исследование эффективности совмещенного освещения с учетом энергетического баланса помещения : специальность 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Коржнева Татьяна Геннадьевна; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) – Томск, 2015. – 22 с. Место защиты : Тюменский государственный архитектурно-строительный университет – EDN ZPTAMX. – Текст : непосредственный.

41. Корниенко, С. В. Исследование совместного нестационарного тепло-влажноперевода в ограждающих конструкциях зданий (Трехмерная задача) : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения», 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Корниенко Сергей Валерьевич; Волгоградский

государственный технический университет. – Москва, 2000. – 172 с. – EDN QCZXNF. – Текст : непосредственный.

42. Корниенко, С. В. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилого здания при верификации метода расчета влаготеплопереноса в ограждающих конструкциях / С. В. Корниенко. Текст : электронный // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2012. – № 28(47). – С. 19–26. – EDN PEJZTR. – URL : [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_18022414\\_72642342.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_18022414_72642342.pdf) (дата обращения 04.05.2023).

43. Корниенко, С. В. Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность зданий / С. В. Корниенко. Текст : электронный // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 8(26). – С. 5-12. – EDN OKILDN. DOI: [10.5862/MCE.33.5](https://doi.org/10.5862/MCE.33.5) . – URL : [\(1\) \(PDF\) The complex assessment of a thermal performance of the building envelope \(researchgate.net\)](#) (дата обращения 04.05.2023).

44. 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 / С. В. Корниенко; Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 2018. – 380 с. – EDN OSTDTZ. Текст : непосредственный.

45. Корниенко, С. В. Расчёт теплоступлений от солнечного излучения для оценки энергоэффективности зданий / С. В. Корниенко. Текст : электронный // Светотехника. – 2013. – № 2. – С. 64–65. – EDN PZOPIN. – URL : [https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2011/8\(26\)/kornienko.pdf?ysclid=lh8y9xdnh8471585876](https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2011/8(26)/kornienko.pdf?ysclid=lh8y9xdnh8471585876) (дата обращения 04.05.2023).

46. Корниенко, С. В. Тестирование метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах натурных измерений параметров микроклимата помещений / С. В. Корниенко. Текст :

электронный // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 2(28). – С. 18–23. – EDN OWKIPF. DOI: [10.5862/MCE.28.3](https://doi.org/10.5862/MCE.28.3). – URL : (1) (PDF) [Testing of calculation method of the enclosing structures temperature-humidity conditions on the results of indoor climate in-situ measurements \(researchgate.net\)](#) (дата обращения 04.05.2023).

47. Корниенко, С. В. Учет формы при определении нормируемого удельного расхода тепловой энергии на отопление зданий / С. В. Корниенко. Текст : непосредственный // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2005. – № 5. – С. 178–182. – EDN KYRYOF.

48. Корниенко, С. В. Учет формы при оценке теплозащиты оболочки здания / С. В. Корниенко. Текст : электронный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – № 5(10). – С. 20-27. – EDN QYYIYX. – URL : [Учет формы при оценке теплозащиты оболочки здания | Строительство уникальных зданий и сооружений \(spbstu.ru\)](#) (дата обращения 04.05.2023).

49. Костин, В. И. Влияние внутренних теплоступлений на выбор ограждающих конструкций здания и объемно-планировочных решений / В. И. Костин. Текст : непосредственный // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2016. – № 1. – С. 48–53. – EDN VIUMZN.

50. Кричагин, В. И. Принципы объективной оценки теплового состояния организма / В. И. Кричагин. – Текст : непосредственный // Авиационная и космическая медицина / под редакцией В. В. Парина. – Москва : [Б. и.], 1963. – С. 310–314.

51. Кувшинов, Ю.Я. Основы обеспечения микроклимата зданий / Ю. Я. Кувшинов, О. Д. Самарин. – Москва: Издательство АСВ, 2012. – 200 с. ISBN 978-5-93093-883-8. Текст : непосредственный.

52. Кувшинов, Ю.Я. Теоретические основы создания микроклимата в помещении / Ю. Я. Кувшинов. – Москва : Издательство АСВ, 2004. – 103 с. ISBN 5-93093-316-2 : 500. Текст : непосредственный.

53. Курбатов, В. В. Советская архитектура : Книга для учителя / В. В. Курбатов. – Москва : Просвещение, 1988. – 203,[2] с. : ил. ISBN 5-09-000260-6 . Текст : непосредственный.

54. Лобанов, Д. В. Учет комплекса параметров при оценке состояния микроклимата в помещении / Д. В. Лобанов, В. В. Шичкин. – Текст : непосредственный // Научный журнал ВГТУ. Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2017. – № 4(3). – С. 70–75.

55. Максимович, В. А. Критерий комфортности микроклиматических условий / В. А. Максимович. Текст : непосредственный // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. – 1977. -№6. – С. 22–23.

56. Малявина, Е. Г. Экономическое сравнение различного уровня теплозащиты офисного здания с большими теплоизбытками / Е. Г. Малявина, А. А. Поликарпова. Текст : электронный // Интернет-вестник ВолгГАСУ. – 2011. – № 4(19). – С. 4. – EDN PWPHRX. – URL : [teplozaschita-offisnogo-zdaniya-s-bolshimi-teploizbitkami-smalyavinah.pdf](http://teplozaschita-offisnogo-zdaniya-s-bolshimi-teploizbitkami-smalyavinah.pdf) - Яндекс.Документы (yandex.ru) (дата обращения 04.05.2023).

57. Мачинский, В. Д. Теплотехнические основы гражданского строительства / В. Д. Мачинский. – Москва; Ленинград : Госстройиздат, 1933. – 312 с. Текст : непосредственный.

58. Методика расчета окупаемости инвестиций по реновации фасадов существующих зданий / А. С. Горшков, П. П. Рымкевич, Д. В. Немова, Н. И. Ватин. Текст : электронный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 2(17). – С. 82–106. – EDN RWGNPV. – URL : <https://unistroy.spbstu.ru/article/2014.17.8/?ysclid=lh8ziqg6kk591513495> (дата обращения 04.05.2023).

59. Миллер, Ю. В. Исследование теплоснабжения здания в суточном и годовом циклах методом математического моделирования : специальность 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Миллер Юлия Владимировна; ФБГУ «Научно-



исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук». – Москва, 2015. – 22 с. – EDN ZPUMZR.

60. Миллер, Ю. В. Эффективность энергосберегающих мероприятий при рассмотрении здания как единой энергетической системы / Ю. В. Миллер // Энергосбережение. – 2014. – № 1. – С. 36–39. – EDN RVGYMT. Текст : электронный. URL : [https://new-disser.ru/\\_avtoreferats/01008049429.pdf?ysclid=lh8zkoo7p3558469746](https://new-disser.ru/_avtoreferats/01008049429.pdf?ysclid=lh8zkoo7p3558469746) (дата обращения 04.05.2023).

61. Неклюдов, А. Ю. Совершенствование методов расчета тепловой нагрузки на системы отопления и вентиляции с учетом влияния теплотехнических неоднородностей оболочки здания : специальность 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Неклюдов Александр Юрьевич; ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Москва, 2016. – 22 с. – EDN ZQGSDB. Текст : непосредственный.

62. Немова, Д. В. Системы вентиляции в жилых зданиях как средство повышения энергоэффективности / Д. В. Немова. Текст : электронный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2012. – № 3(3). – С. 83–86. – EDN PDUPVP. – URL : [https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2012/3\(3\)/8\\_nemova\\_3.pdf?ysclid=lh8zqcr2i2187807983](https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2012/3(3)/8_nemova_3.pdf?ysclid=lh8zqcr2i2187807983) (дата обращения 04.05.2023).

63. Олесен, Б.В. Показатели микроклимата помещений для проектирования зданий и расчета их энергетической эффективности – EN 15251 / Б.В. Олесен. Текст : электронный // АВОК. – 2008, - № 6. – С. 62–90. – URL : [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4057&ysclid=lh8ztfdxyg222904252](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4057&ysclid=lh8ztfdxyg222904252) (дата обращения 04.05.2023).

64. Оценка прогнозируемых сроков окупаемости работ по утеплению фасадов при капитальном ремонте жилых зданий первых массовых серий / Н. И. Ватин, Д. В. Немова, П. П. Рымкевич, А. С. Горшков. Текст : электронный // . –

2015. – № 6. – С. 33–39. – EDN VSUTOH. – URL : [https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2016/1\(40\)/2\\_tseitin\\_40.pdf?ysclid=lh8zv88lt9395731412](https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2016/1(40)/2_tseitin_40.pdf?ysclid=lh8zv88lt9395731412) (дата обращения 04.05.2023).

65. Оценка энергетической эффективности зданий при проектировании : Монография / О. Л. Викторова, Л. Н. Петрянина, М. А. Дерина, В. В. Викторова. – Пенза : Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014. – 120 с. – ISBN 978-5-9282-1079-3. – EDN VTITLL. Текст : непосредственный.

66. Повышение энергоэффективности жилых и общественных зданий / С. И. Монах, А. А. Афанасьев, Л. П. Андрюшкина, Е. Н. Шапошник. Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2018. – Т. 14, № 3. – С. 117–124. – EDN YLVFJR. – URL : <http://spgs.donnasa.ru/?p=418> (дата обращения 04.05.2023).

67. Приходько, А. С. Тепловой баланс жилого здания / А. С. Приходько, С. В. Гридин // Металлургия XXI столетия глазами молодых : СБОРНИК ДОКЛАДОВ V международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Донецк, 22 мая 2019 года / Отв. Ред. Кочура В.В.. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2019. – С. 304–305. – EDN OCOROU. Текст : электронный. – URL : [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2018/vestnik\\_2018-3\(131\).pdf?ysclid=lh90358eqq149601377](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2018/vestnik_2018-3(131).pdf?ysclid=lh90358eqq149601377) (дата обращения 04.05.2023).

68. Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов, А. В. Садчиков, И. А. Мехнецов. Текст : электронный // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2005. – № 8. – С. 60–70. – EDN SMJBAJ. – URL : [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=3077&ysclid=lh904f11gp792296544](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3077&ysclid=lh904f11gp792296544) (дата обращения 04.05.2023).

69. Пыжов, В.К. Энергетические системы обеспечения жизни и деятельности человека / В.К. Пыжов. – Иваново: ИГЭУ, 2008. – 496 с. – ISBN 978-5-00062-012-0. Текст : непосредственный.

70. Результаты обследования здания образовательного учреждения / Д. В. Немова, Д. С. Тарасова, А. А. Старицына, А. В. Нефедова. Текст : электронный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – № 8(13). – С. 1–11. – EDN RNIQLT. – URL : <https://unistroy.spbstu.ru/article/2013.13.1/?ysclid=lh9072me7g324873563> (дата обращения 04.05.2023).

71. Романенко, Е. Ю. Повышение энергетической эффективности ограждающих конструкций – путь повышения эффективности эксплуатации зданий и сооружений / Е. Ю. Романенко. Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4(27). – С. 255. – EDN SBLMPH. – URL : [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/R\\_116\\_Romanenko.pdf\\_2136.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/R_116_Romanenko.pdf_2136.pdf) (дата обращения 04.05.2023).

72. Руководство по рациональному использованию школьных зданий, построенных по проектам прошлых лет / ЦНИИЭП учебных зданий. – Москва : Стройиздат, 1979. – 31 с. Текст : непосредственный.

73. Савченков, Ю. И. Возрастная физиология (физиологические особенности детей и подростков) : учебное пособие для студентов педагогических вузов / Ю. И. Савченков, О. Г. Солдатова, С. Н. Шилов. – Москва : ВЛАДОС, 2013. – 143 с. – ISBN 978-5-691-01896-1. – EDN: PISFKU. Текст : непосредственный.

74. Самарин, О. Д. Влияние средних условий облачности на суммарные тепlopоступления от солнечной радиации за отопительный период / О. Д. Самарин. Текст : электронный // Жилищное строительство. – 2019. – № 5. – С. 8–10. – DOI 10.31659/0044-4472-2019-5-8-10. – EDN BKABOF. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-srednih-usloviy-oblachnosti-na-summarnye-teplopostupleniya-ot-solnechnoy-radiatsii-za-otopitelnyy-period/viewer> (дата обращения 04.05.2023).

75. Самарин, О. Д. Возможности снижения расчётного воздухообмена в общественных зданиях при автоматизации климатических систем / О. Д. Самарин, С. С. Азивская. Текст : электронный // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2019. – № 2(206). – С. 76–78. – EDN RPGZJO. – URL : <https://www.c-o-k.ru/articles/vozmozhnosti-snizheniya-raschetnogo-vozduhoobmena-v->

obschestvennyh-zdaniyah-pri-avtomatizacii-klimaticheskih-sistem?ysclid=lh90d83pvt338918452 (дата обращения 04.05.2023).

76. Самарин, О. Д. Оптимизация комплекса энергосберегающих технических решений и теплотехнической безопасности при проектировании зданий : специальность 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Самарин Олег Дмитриевич; Московский государственный строительный университет. – Москва, 2013. – 288 с. – EDN SUMIID. Текст : непосредственный.

77. Самарин, О. Д. Оценка влияния изменения климата на энергопотребление систем обеспечения микроклимата зданий / О. Д. Самарин, К. И. Лушин // Жилищное строительство. – 2020. – № 1–2. – С. 21–24. – DOI 10.31659/0044-4472-2020-1-2-21-24. – EDN DDSDEO.

78. Самарин, О. Д. Оценка удельных теплопоступлений от солнечной радиации для расчета класса энергосбережения здания / О. Д. Самарин. Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2020. – № 4–5. – С. 3–6. – DOI 10.31659/0044-4472-2020-4-5-3-6. – EDN MSTVKF.

79. Самарин, О. Д. Сравнение различных методов расчета остывания помещений при прекращении теплоснабжения / О. Д. Самарин. Текст : электронный // Жилищное строительство. – 2023. – № 1–2. – С. 41–44. – DOI 10.31659/0044-4472-2023-1-2-41-44. – EDN VLFPKT. – с: <https://www.energija.ru/wp-content/uploads/2023/03/27-30-Samarin.pdf> (дата обращения 04.05.2023).

80. СанПиН 2.4.2.2821-10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях: издание официальное: утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 29 декабря 2010 года № 189 : введен 01.09.2011. – М.: 2010. – 41 с.

81. Сафьянц, С. М. Определение необходимой толщины теплоизоляционного слоя / С. М. Сафьянц, Ю. Р. Патана, С. В. Гридин. Текст : непосредственный // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2020. – № 4. – С. 68–72. – EDN CXEF1Y.

82. Семенов, Л. А. Теплоустойчивость и печное отопление жилых и общественных зданий / Л. А. Семенов. – Москва : Издательство Министерства строительства предприятий машиностроения, 1956. – 263 с. – Текст: непосредственный.

83. Сеппанен, О. Повышение энергетической эффективности зданий в Европе / О. Сеппанен. Текст : электронный // Энергосбережение. – 2013. – № 5. – С. 10–20. – EDN TIAPPR. – URL : [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4739&ysclid=lh90t1hmqt553351222](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4739&ysclid=lh90t1hmqt553351222) (дата обращения 04.05.2023).

84. Смирнов, Е. М. Метод конечных объемов в приложении к задачам гидрогазодинамики и теплообмена в областях сложной геометрии / Е. М. Смирнов, Д. К. Зайцев. Текст : электронный // Научно-технические ведомости. – 2004. – №2. – С. 1–22. – URL : <https://aero.spbstu.ru/publ/smirnov3.pdf> (дата обращения 04.05.2023).

85. СНИП II-65-73. Образовательные школы и интернаты : издание официальное : утверждены и введены в действие Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства 4 сентября 1973 г. / разработан ЦНИИЭП. – Москва : Стройиздат, 1974. – 41 с. – Текст : непосредственный.

86. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий = Thermal performance of the buildings : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. № 265 : взамен СНИП 23-02-2003 : дата введения 2013-07-01 / разработан Научно-исследовательским институтом строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН). – Москва : Минрегион России, 2012. – 95 с. – Текст : непосредственный.

87. СП 251.1325800.2016. Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 17 августа 2016 г. № 572/пр : введен впервые : дата введения 2017/02/18 / разработан Открытым акционерным обществом «Московский научно–исследовательский и проектный институт типологии, экспериментального проектирования» (ОАО «МНИИТЭП»), НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков (ФГАУ «НЦЗД» Минздрава России), Центральным научно-исследовательским институтом строительных конструкций имени В.А. Кучеренко (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко). – Москва : Минстрой России, 2016. – 49 с. – Текст : непосредственный.

88. Табунщиков Ю А. Лицом к проблеме энергосбережения / Табунщиков Ю А. Текст : электронный // Архитектура и строительство Москвы. – 2010. – Т. 554, № 6. – С. 2–13. – EDN NCQNAF. – URL : [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_15566185\\_82716805.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_15566185_82716805.pdf) (дата обращения 04.05.2023).

89. Табунщиков, Ю. А. Микроклимат и энергосбережение: пора понять приоритеты / Ю. А. Табунщиков. Текст : электронный // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 1(2). – С. 269–276. – EDN MQGFRX. – URL : [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4044&ysclid=lh91117xua682199365](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4044&ysclid=lh91117xua682199365) (дата обращения 04.05.2023).

90. Табунщиков, Ю. А. Оценка энергопотребления здания в годовом цикле / Ю. А. Табунщиков, Ю. В. Миллер // Наука, образование и экспериментальное проектирование : Тезисы докладов международной научно-практической конференции, профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов, Москва, 07–11 апреля 2014 года / Московский архитектурный институт (государственная академия). – Москва: Московский архитектурный институт (государственная академия), 2014. – С. 377–378. – EDN TNGZDN.

91. Табунщиков, Ю. А. Принципы определения годового энергопотребления на климатизацию зданий / Ю. А. Табунщиков, Ю. В. Миллер. Текст : электронный // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31-2(50). – С. 549–554. – EDN RBVBCH. – URL : [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_20281020\\_82387215.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_20281020_82387215.pdf) (дата обращения 04.05.2023).

92. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективность в строительстве Гармонизация отечественной нормативной базы / Ю. А. Табунщиков, А. Л. Наумов. Текст : электронный // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2012. – № 6. – С. 4–9. – EDN PBWOAH. – URL : [https://git.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=5314](https://git.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5314) (дата обращения 04.05.2023).

93. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективность зданий и сооружений. Новые своды правил / Ю. А. Табунщиков, Ю. В. Миллер. Текст : электронный // Энергосбережение. – 2013. – № 5. – С. 21–25. – EDN TIAPQB. – URL : [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=5571&ysclid=lh9gph05ab835679968](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5571&ysclid=lh9gph05ab835679968) (дата обращения 04.05.2023).

94. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с. – ISBN 5-94533-002-7. Текст : непосредственный.

95. Табунщиков, Ю.А. Нормативное обеспечение энергосбережения и качества среды обитания / Ю.А. Табунщиков. Текст : электронный // Энергосбережение. – 2011. – № 8. – С. 22–25. – URL : [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=5093&ysclid=lh9gsd3sp9718393399](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5093&ysclid=lh9gsd3sp9718393399) (дата обращения 04.05.2023).

96. Техничко-экономическое обоснование мероприятий по утеплению ограждающих конструкций индивидуального жилого дома / Д. В. Немова, Н. И. Ватин, А. С. Горшков [и др.]. Текст : электронный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 8(23). – С. 93–115. – EDN

SOBLWD. – URL : [https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2014/8\(23\)/7\\_nemova\\_23.pdf?ysclid=lh9gtmyqyf679416991](https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2014/8(23)/7_nemova_23.pdf?ysclid=lh9gtmyqyf679416991) (дата обращения 04.05.2023).

97. Тимофеев, Н. В. Математическое моделирование нужных сопротивлений теплопередаче элементов наружной оболочки зданий / Н. В. Тимофеев, С. А. Сахновская, Т. В. Жмыхова. Текст : непосредственный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2010. – № 2(82). – С. 32–37. – EDN XVATUL.

98. Тимофеева, Е. И. Экологический мониторинг параметров микроклимата / Е. И. Тимофеева, Г. В. Федорович. – Москва : [Б. и.], 2005. – 194 с. – Текст : непосредственный.

99. Умнякова, Н. П. Общая методология оценки мероприятий по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности в процессе теплотехнического проектирования жилых и общественных зданий / Н. П. Умнякова, И. Н. Бутовский, Е. В. Веселовацкая // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2018. – № 6(1006). – С. 48–51. – EDN XOZXOX.

100. Фангер, П. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей / П. Фангер. – Текст : непосредственный // АВОК. – 2003. – № 4. – С. 12–21.

101. Фокин, К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин ; Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – Москва : Информационно-издательское предприятие «АВОК-ПРЕСС», 2006. – 256 с. – ISBN 5-98267-023-5. – EDN SXOPGN. Текст : непосредственный.

102. Человек. Медико-биологические данные : доклад рабочей группы комитета II МКРЗ по условному человеку / перевод с английского Ю. Д. Парфенова. – Москва : Медицина, 1977. – 496 с. – Текст : непосредственный. 9. Фангер, П. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: в поисках совершенства / П. Фангер. – Текст : непосредственный // АВОК. – 2000. – № 2. – С. 14–21.

103. Чернявский, О. С. Методы оценки энергоэффективности муниципальных образований / О. С. Чернявский, П. А. Трубаев, С. М. Шаповалов // Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и



строительстве городов, Белгород, 01–30 ноября 2012 года. – Белгород, 2012. – С. 153–161. – EDN QYPAZJ.

. – URL : [https://vestnik\\_rus.bstu.ru/shared/attachments/84081](https://vestnik_rus.bstu.ru/shared/attachments/84081) (дата обращения 04.05.2023).

104. Чичиндаев, А. В. Влияние внутренних источников тепла на процессы теплообмена в системе «человек–тепловая защита–окружающая среда» / А. В. Чичиндаев, Ю. В. Дьяченко, И. В. Хромова. – Текст : непосредственный // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2016. – № 1(30). – С. 108–115. – EDN: WACLVN.

105. Шкловер А. М. Теплопередача периодических тепловых воздействий / А. М. Шкловер. – Москва ; Ленинград: Госэнергоиздат, 1952. – 80 с. Текст : непосредственный.

106. Шкловер А. М., Васильев Б. Ф., Ушков Ф. В. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий / А. М. Шкловер, Б. Ф. Васильев, Ф. В. Ушков ; Академия Архитектуры СССР. Научно-исследовательский институт строительной техники. – Москва : Госстройиздат, 1956. – 350 с. Текст : непосредственный.

107. Шкловер, А. М. Температурный режим помещения и определение теплотерь / А. М. Шкловер. Текст : непосредственный // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2012. – № 4. – С. 92–97. – EDN PCMNZH.

108. Экономическая эффективность инвестиций в энергосбережение / А. С. Горшков, П. П. Рымкевич, Д. В. Немова, Н. И. Ватин. Текст : непосредственный // Инженерные системы. АВОК - Северо-Запад. – 2014. – № 3. – С. 32–36. – EDN SMPUWR.

109. A Bottom-up model for simulating residential harmonic injections / Rodríguez-Pajarón Pablo, Caro Eduardo, Hernández Araceli, Izzeddine Mohamed. – Текст : электронный // Energy and Buildings. – 2022. – № 265. – 112103. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112103. – URL : <https://www.researchgate.net/publication>

/360007116\_A\_Bottom-up\_Model\_for\_Simulating\_Residential\_Harmonic\_Injections

(дата обращения 04.05.2023).

110. A review of data-driven approaches for prediction and classification of building energy consumption / Wei Yixuan, Zhang Xingxing, Shi Yong [и др.]. – Текст : электронный // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – № 82. – С. 1027-1047. DOI: [10.1016/j.rser.2017.09.108](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.108). – URL : [https://www.researchgate.net/publication/320044579\\_A\\_review\\_of\\_data-driven\\_approaches\\_for\\_prediction\\_and\\_classification\\_of\\_building\\_energy\\_consumption](https://www.researchgate.net/publication/320044579_A_review_of_data-driven_approaches_for_prediction_and_classification_of_building_energy_consumption) (дата обращения 04.05.2023).

111. A review on behavioural propensity for building load and energy profile development – Model inadequacy and improved approach / Ramokone Agnes, Popoola Olawale, Awelewa Ayokunle, Temitope Ayodele. – Текст : электронный // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2021. – № 45 (101235). – С. 1–15. DOI: [10.1016/j.seta.2021.101235](https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101235). – URL : [https://www.researchgate.net/publication/351050365\\_A\\_review\\_on\\_behavioural\\_propensity\\_for\\_building\\_load\\_and\\_energy\\_profile\\_development\\_-\\_Model\\_inadequacy\\_and\\_improved\\_approach](https://www.researchgate.net/publication/351050365_A_review_on_behavioural_propensity_for_building_load_and_energy_profile_development_-_Model_inadequacy_and_improved_approach) (дата обращения 04.05.2023).

112. A review on sustainable construction management strategies for monitoring, diagnosing, and retrofitting the building's dynamic energy performance: Focused on the operation and maintenance phase / Hong Taehoon, Koo Choongwan, Kim Jimin [и др.]. – Текст : электронный // Applied Energy. – 2015. – № 155. – С. 671- 707. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.06.043>. – URL : [https://www.researchgate.net/publication/281690878\\_A\\_review\\_on\\_sustainable\\_construction\\_management\\_strategies\\_for\\_monitoring\\_diagnosing\\_and\\_retrofitting\\_the\\_building's\\_dynamic\\_energy\\_performance\\_Focused\\_on\\_the\\_operation\\_and\\_maintenance\\_phase](https://www.researchgate.net/publication/281690878_A_review_on_sustainable_construction_management_strategies_for_monitoring_diagnosing_and_retrofitting_the_building's_dynamic_energy_performance_Focused_on_the_operation_and_maintenance_phase) (дата обращения 04.05.2023).

113. Advances in the research of building energy saving / Z. L. Clyde, Zhang Limei, Liang Xin [и др.]. – Текст : электронный // Energy & Buildings. – 2022. – № 254. – 111556. DOI: [10.1016/j.enbuild.2021.111556](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111556). – URL :

[https://www.researchgate.net/publication/355229581\\_Advances\\_in\\_the\\_research\\_of\\_building\\_energy\\_saving\\_A\\_critical\\_review](https://www.researchgate.net/publication/355229581_Advances_in_the_research_of_building_energy_saving_A_critical_review) (дата обращения 04.05.2023).

114. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. Thermal environmental conditions for human occupancy / Standing Standard Project Committee. – Atlanta, GA : ASHRAE, 2017. 66 p.

115. Baiburin, A. Kh. Heat loss through the window frames of buildings / A. Kh. Baiburin, M. M. Rybakov, N. I. Vatin. Текст : электронный // Magazine of Civil Engineering. – 2019. – No. 1(85). – P. 3–14. – DOI: 10.18720/MCE.85.1. – EDN ZTKRHN. URL : [https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2019/1\(85\)/01.pdf?ysclid=lh9ikf29oa917531584](https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2019/1(85)/01.pdf?ysclid=lh9ikf29oa917531584) (дата обращения 04.05.2023).

116. Bedford, Th. Basic Principles of Ventilation and Heating / Th. Bedford. - London: H.K. Lewis, 1948. – 535 p. Текст : непосредственный.

117. Big Crunch Algorithm for Rational Design of an Energy-Plus Building / A. Milajić, D. Beljaković, N. Davidović [и др.]. – Текст : электронный // Procedia Engineering. – 2015. – № 117. – С. 919 – 932. DOI: [10.1016/j.proeng.2015.08.178](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.178). – URL : [https://www.researchgate.net/publication/281592158\\_Using\\_the\\_Big\\_Bang\\_-\\_Big\\_Crunch\\_Algorithm\\_for\\_Rational\\_Design\\_of\\_an\\_Energy-Plus\\_Building](https://www.researchgate.net/publication/281592158_Using_the_Big_Bang_-_Big_Crunch_Algorithm_for_Rational_Design_of_an_Energy-Plus_Building) (дата обращения 04.05.2023).

118. Bogdan, A. Analysis of thermal plumes forming over male human subjects / A. Bogdan, K. Ogłodziński, M. Szyłak-Szydłowski. – Текст : электронный // Journal of Building Engineering. – 2022. – Volume 45. – P. 1–12. 19. Przesmycka, N. The Thermal Comfort Problem in Public Space during the Climate Change Era Based on the Case Study of Selected Area in Lublin City in Poland / N. Przesmycka, B. Kwiatkowski, M. Kozak. – Текст : электронный // Energies. – 2022. – № 15. – P. 1–26. DOI: [10.1016/j.jobe.2021.103596](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103596). – URL : [https://www.researchgate.net/publication/355998719\\_Analysis\\_of\\_thermal\\_plumes\\_forming\\_over\\_male\\_human\\_subjects](https://www.researchgate.net/publication/355998719_Analysis_of_thermal_plumes_forming_over_male_human_subjects) (дата обращения 04.05.2023).

119. Chari A., Stochastic assessment of the energy performance of buildings / Chari A, Xanthos S. Текст : электронный // Energy Efficiency. July 2017. 10(8). DOI: [10.1007/s12053-017-9545-](https://doi.org/10.1007/s12053-017-9545-)

0. – URL : [https://www.researchgate.net/publication/318603275\\_Stochastic\\_assessment\\_of\\_the\\_energy\\_performance\\_of\\_buildings](https://www.researchgate.net/publication/318603275_Stochastic_assessment_of_the_energy_performance_of_buildings) (дата обращения 04.05.2023).

120. Chiara Delmastro A supporting method for selecting cost-optimal energy retrofit policies for residential buildings at the urban scale / Chiara Delmastro, Mutani Guglielmina, P. C. Stefano. – Текст : электронный // Energy Policy. – 2016. – № 99. – С. 42-56. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.09.051 – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421516305158> (дата обращения 04.05.2023).

121. Communication from the Commission on the implementation of the ENERGY STAR Programme in the European Union in the period 2006 – 2010 COM(2011) 337 final.

122. Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC. – Official Journal of the European Union, 2006. – URL : <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2006/32/oj> (дата обращения 04.05.2023).

123. Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by energy-related products (recast). – Official Journal of the European Union, 2010. – URL : [https://www.energy-community.org/dam/jcr:1920aa18-e54e-40d1-ba98-5a0cb1112907/Directive\\_2010\\_30\\_EE.pdf](https://www.energy-community.org/dam/jcr:1920aa18-e54e-40d1-ba98-5a0cb1112907/Directive_2010_30_EE.pdf) (дата обращения 04.05.2023).

124. 10 Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). – Official Journal of the European Union, 2010. – URL : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0031> (дата обращения 04.05.2023).

125. 11 Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency. – Official Journal of the European Union, 2012. – URL : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32012L0027> (дата обращения 04.05.2023).

126. Danglin, Zha. Exploring carbon rebound effects in Chinese households' consumption: A simulation analysis based on a multi-regional input–output framework / Zha Donglan, Chen Qian, Wang Lijun. – Текст : электронный // Applied Energy. – 2022. – № 313. P. 1–19. DOI: [10.1016/j.apenergy.2022.118847](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118847). – URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261922002859> (дата обращения 04.05.2023)

127. EN ISO 10456:2007. Building material and products – Hydrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values : Supersedes BS EN ISO 10456:2000 : This European Standard was approved by CEN on 07 December 2007. – Brussels : CEN, 2007. – 25 p. – Текст : непосредственный.

128. EN ISO 6946:2017. Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method : Supersedes EN ISO 6946:2007 : This European Standard was approved by CEN on 27 February 2017. – Brussels : CEN, 2017. – 40 p. – Текст : непосредственный.

129. Energy and sustainable development nexus: A review / Pan Xunzhang, Shao Tianming, Zheng Xinzhu [и др.]. – Текст : электронный // Energy Strategy Reviews. – 2023. – № 47 (101078). – P. 1–14. DOI: [10.1007/978-3-319-70223-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70223-0_1). – URL : [https://www.researchgate.net/publication/325196730\\_Energy\\_and\\_Sustainable\\_Development](https://www.researchgate.net/publication/325196730_Energy_and_Sustainable_Development) (дата обращения 04.05.2023).

130. Evaluation of advanced control strategies for building energy systems / Stoffel Phillip, Maier Laura, Kumpel Alexander [и др.]. – Текст : электронный // Energy & Buildings. – 2023. – № 280. – 112709. DOI: [10.1016/j.enbuild.2022.112709](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112709). – URL : [https://www.researchgate.net/publication/364657454\\_Evaluation\\_of\\_advanced\\_control\\_strategies\\_for\\_building\\_energy\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/364657454_Evaluation_of_advanced_control_strategies_for_building_energy_systems) (дата обращения 04.05.2023).

131. Fanger, P. O. Thermal Comfort / P. O. Fanger. – New York : McGraw Hill Book Company, 1970. – 244 p. – Текст : непосредственный.

132. Frey, P. J. Mesh Generation: Application to Finite Elements / Frey, P. J., George P.L. ISTN Publishing Company, 2000.814 p. – ISBN 1903398002. Текст : непосредственный.

133. Frolova, A. Determination of the amount of internal heat input in the office space / A. Frolova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 7, Tashkent, 11–14 ноября 2020 года. – Tashkent, 2021. – P. 012061. – DOI 10.1088/1757-899X/1030/1/012061. – URL [https://www.researchgate.net/publication/348520043\\_Determination\\_of\\_the\\_amount\\_of\\_internal\\_heat\\_input\\_in\\_the\\_office\\_space](https://www.researchgate.net/publication/348520043_Determination_of_the_amount_of_internal_heat_input_in_the_office_space) (дата обращения 04.05.2023).

134. Gagge, A.P. The influence of clothing on physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures / A.P. Gagge, C.E.A. Winslow, L.P. Harrington. Текст : непосредственный // Amer. J. Physiol. – 1968. – 124. – P. 30–50.

135. Gauvrit, Jordan. Uncertainty Propagation of Internal Heat Gains for Building Thermal Behaviour Assessment: Influence of Spatial Distribution / Jordan Gauvrit, Antoine Caucheteux, Stéphane Lecoeuche. – Текст: электронный // Proceedings of the 16<sup>th</sup> IBPSA Conference Rome, Italy, Sept. 2-4, 2019. 4706–4713 pp. DOI: 10.26868/25222708.2019.211173. – URL : [https://www.researchgate.net/publication/342384920\\_Uncertainty\\_Propagation\\_of\\_Internal\\_Heat\\_Gains\\_for\\_Building\\_Thermal\\_Behavior\\_Assessment\\_Influence\\_of\\_Spatial\\_Distribution](https://www.researchgate.net/publication/342384920_Uncertainty_Propagation_of_Internal_Heat_Gains_for_Building_Thermal_Behavior_Assessment_Influence_of_Spatial_Distribution) (дата обращения 04.05.2023).

136. Harmati, N. Energy consumption modelling via heat balance method for energy performance of a building / N. Harmati, Ž. Jakšić, N. Vatin. – Текст : электронный // Procedia Engineering . – 2015. – № 117. – С. 786 – 794. DOI: [10.1016/j.proeng.2015.08.238](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.238). – URL : [https://www.researchgate.net/publication/282831980\\_Energy\\_Consumption\\_Modelling\\_via\\_Heat\\_Balance\\_Method\\_For\\_Energy\\_Performance\\_of\\_a\\_Building](https://www.researchgate.net/publication/282831980_Energy_Consumption_Modelling_via_Heat_Balance_Method_For_Energy_Performance_of_a_Building) (дата обращения 04.05.2023).

137. Hyojin, Kim. Characterizing Variations in the Indoor Temperature and Humidity of Guest Rooms with an Occupancy-Based Climate Control Technology / Hyojin Kim, Emily Oldham. – Текст: электронный // Energies 2020, 13, 1575. DOI: [10.3390/en13071575](https://doi.org/10.3390/en13071575). – URL : <https://www.researchgate.net/publication/3403609>

47 Characterizing Variations in the Indoor Temperature and Humidity of Guest Rooms with an Occupancy- Based Climate Control Technology (дата обращения 04.05.2023).

138. Jack, Morewood. Building energy performance monitoring through the lens of data quality: A review / Morewood Jack. – Текст : электронный // Energy & Buildings. – 2023. – № 279. – 112701. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112701. – URL : [https://www.researchgate.net/publication/365932419\\_Building\\_energy\\_performance\\_monitoring\\_through\\_the\\_lens\\_of\\_data\\_quality\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/365932419_Building_energy_performance_monitoring_through_the_lens_of_data_quality_a_review) (дата обращения 04.05.2023).

139. Kanga, N. N. The energy-saving effects of apartment residents' awareness and behavior / N. N. Kanga, S. H. Choa, J. T. Kimb. – Текст : электронный // Energy and Buildings. – 2012. – Volume 46. – P. 112–122. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.10.039.– URL :[https://www.researchgate.net/publication/251589635\\_The\\_energy-saving\\_effects\\_of\\_apartment\\_residents'\\_awareness\\_and\\_behavior](https://www.researchgate.net/publication/251589635_The_energy-saving_effects_of_apartment_residents'_awareness_and_behavior) (дата обращения 04.05.2023).

140. Krawczyk, D.A. Experimental verification of the CO<sub>2</sub> and temperature model / Krawczyk D.A., Żukowski M. – Текст: электронный // International Journal of Ventilation, 19 (2), (2020) pp. 127-140. DOI: [10.1080/14733315.2019.1592333](https://doi.org/10.1080/14733315.2019.1592333).– URL :[https://www.researchgate.net/publication/344959208\\_Experimental\\_verification\\_of\\_the\\_CO\\_2\\_and\\_temperature\\_model](https://www.researchgate.net/publication/344959208_Experimental_verification_of_the_CO_2_and_temperature_model) (дата обращения 04.05.2023).

141. Kong, F. Heat and mass coupled transfer combined with freezing process in building materials: Modeling and experimental verification / F. Kong, H. Wang. – Текст : непосредственный // Energy and Buildings. – 2011. – Volume 43. – № 10. – P. 2850–2859. DOI: [10.1016/j.enbuild.2013.03.012](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.012). – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778811002969?via%3Dihub> (дата обращения 04.05.2023).

142. Lazović, I. M. Influence of the building energy efficiency on indoor air temperature. The Case of a Typical School Classroom in Serbia / Lazović, I. M., et al. Текст : электронный // THERMAL SCIENCE: Year 2022, Vol. 26, №. 4B, pp. 3605–3618. DOI: [10.2298/TSCI220125067L](https://doi.org/10.2298/TSCI220125067L). – URL : <https://www.researchgate.net/publication/360680978> Influence of the building energy efficiency on indoor air temperature The case of a typical school classroom in Serbia (дата обращения 04.05.2023).

143. Mandell, P.L. Energy Information Administration: official energy statistics from the U.S. Government / P.L. Mandell, W. Minkel. Текст : непосредственный // School Library Journal. – 2001. – Vol. 47. - № 7.

144. McNall, Jr.P.R. Thermal and comfort sensations of sedentary persons exposed to asymmetric radiant fields / Jr.P.E. McNal, R.E. Biddison // ASHRAE Transaction. 76. Part 1., 1970. Текст : непосредственный.

145. Mićko, P. Experimental Verification of CFD Simulation When Evaluating the Operative Temperature and Mean Radiation Temperature for Radiator Heating and Floor Heating / P. Mićko, A. Kapjor, M. Holubcik. Текст : электронный // Processes 2021, 9, 1041. <https://doi.org/10.3390/pr9061041>. – URL : <https://www.researchgate.net/publication/352461701> Experimental Verification of CFD Simulation When Evaluating the Operative Temperature and Mean Radiation Temperature for Radiator Heating and Floor Heating (дата обращения 04.05.2023).

146. Miranville F. Evaluation of the thermal resistance of a roof-mounted multi-reflective radiant barrier for tropical and humid conditions: Experimental study from field measurements / Miranville F., Fakra A.H., Gnichard S. Текст : электронный // Energy and Buildings. 2012. Vol. 48. P. 79–90. DOI: [10.1016/j.enbuild.2012.01.013](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.013). – URL : <https://www.researchgate.net/publication/223021328> Evaluation of the thermal resistance of a roof-mounted multi-reflective radiant barrier for tropical and humid conditions Experimental study from field measurements (дата обращения 04.05.2023).



147. Mitali, J. Energy storage systems: a review / J. Mitali, S. Dhinakaran, A. A. Mohamad. – Текст : электронный // Energy Storage and Saving. – 2022. – № 1. – P. 166–216. <https://doi.org/10.1016/j.enss.2022.07.002>. – URL :

148. Modeling and forecasting building energy consumption: A review of datadriven techniques / Bourdeau Mathieu, q. Z. Xiao, Nefzaoui Elyes [и др.]. – Текст : непосредственный // Sustainable Cities and Society. – 2019. – № 48 (101533). – Pp. 1-27. DOI: [10.1016/j.scs.2019.101533](https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101533). – URL : [https://www.researchgate.net/publication/361995747\\_Energy\\_storage\\_systems\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/361995747_Energy_storage_systems_A_review) (дата обращения 04.05.2023).

149. Olesen, B.W. Information paper on EN 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. P. 114. Energy Performance of Buildings. CENSE, 2010, P. 1–7.

150. Optimal temperature ranges considering gender differences in thermal comfort, work performance, and sick building syndrome: A winter field study in university classrooms / Hu Jinhua, He Yingdong, Hao Xiaoli [и др.]. – Текст : электронный // Energy and Buildings. – 2022. – № Volume 254. – 111554. DOI: [10.1016/j.enbuild.2021.111554](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111554).

151. Orlik-Kozdon, Bozena. Microclimate Conditions in Rooms: Their Impact on Mold Development in Buildings / Bozena Orlik-Kozdon. – Текст: электронный // Energies 2020, 13, 4492. DOI:[10.3390/en13174492](https://doi.org/10.3390/en13174492).– URL : [https://www.researchgate.net/publication/344007579\\_Microclimate\\_Conditions\\_in\\_Rooms\\_Their\\_Impact\\_on\\_Mold\\_Development\\_in\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/344007579_Microclimate_Conditions_in_Rooms_Their_Impact_on_Mold_Development_in_Buildings) (дата обращения 04.05.2023).

152. Reducing Energy Consumption by Optimizing Thermal Losses and Measures of Energy Recovery in Preschools / Tanica Milan, Stankovica Danica [и др.]. – Текст : электронный // Procedia Engineering. – 2015. – № 117. – С. 919 – 932. DOI: [10.1016/j.proeng.2015.08.179](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.179)– URL : [https://www.researchgate.net/publication/281592042\\_Reducing\\_Energy\\_Consumption\\_by\\_Optimizing\\_Thermal\\_Losses\\_and\\_Measures\\_of\\_Energy\\_Recovery\\_in\\_Preschools](https://www.researchgate.net/publication/281592042_Reducing_Energy_Consumption_by_Optimizing_Thermal_Losses_and_Measures_of_Energy_Recovery_in_Preschools) (дата обращения 04.05.2023).

153. Revel, G. M. Development and Experimental Evaluation of a Thermography Measurement System for Real-Time Monitoring of Comfort and Heat Rate Exchange in the Built Environment / Revel, G. M., Sabbatini E., Arnesalo M. Текст : электронный // Measurement Science and Technology. 2012. Vol. 23. № 3. DOI: [10.1088/0957-0233/23/3/035005](https://doi.org/10.1088/0957-0233/23/3/035005)– URL : [https://www.researchgate.net/publication/231080055\\_Development\\_and\\_experimental\\_evaluation\\_of\\_a\\_thermography\\_measurement\\_system\\_for\\_real-time\\_monitoring\\_of\\_comfort\\_and\\_heat\\_rate\\_exchange\\_in\\_the\\_built\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/231080055_Development_and_experimental_evaluation_of_a_thermography_measurement_system_for_real-time_monitoring_of_comfort_and_heat_rate_exchange_in_the_built_environment) (дата обращения 04.05.2023).

154. Solidworks 3D CAD. – Текст : электронный // Solidworks : официальный сайт. – 2020. – URL: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-flow-simulation> (дата обращения: 23.03.2023)

155. Vision-based human activity recognition for reducing building energy demand / P. W. Tien, S. Wei, J. K. Calautit [et. Al.]. – Текст : электронный // Building Services Engineering Research and Technology. – 2021. – 42 (6). – P. 691–713. DOI: [10.1177/01436244211026120](https://doi.org/10.1177/01436244211026120) – URL: [https://www.researchgate.net/publication/352406824\\_Vision-based\\_human\\_activity\\_recognition\\_for\\_reducing\\_building\\_energy\\_demand](https://www.researchgate.net/publication/352406824_Vision-based_human_activity_recognition_for_reducing_building_energy_demand) (дата обращения: 23.03.2023)

156. Wall/roof thermal performance differences between air-conditioned and non-air-conditioned rooms / G. Barrios, G. Huelsz, R. Rechtman, J. Rojas // Energy and Buildings. 2011. V. 43. №1. P. 219–223. DOI: [10.1016/j.enbuild.2010.09.015](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.015) URL: [https://www.researchgate.net/publication/251589748\\_Wallroof\\_thermal\\_performance\\_differences\\_between\\_air-conditioned\\_and\\_non-air-conditioned\\_rooms](https://www.researchgate.net/publication/251589748_Wallroof_thermal_performance_differences_between_air-conditioned_and_non-air-conditioned_rooms) (дата обращения: 23.03.2023)

157. Wallace, A. B. The exposure treatment of burns / A. B. Wallace, M. Sc. McGill, M. B. Edin. – Текст : непосредственный // The Lancet. – Volume 257, Issue 6653. – P. 501–504.

158. Yüksek I. Energy-Efficient Building Design in the Context of Building / Yüksek I., Karadayi T // LifeCycle. 2017. DOI: [10.5772/66670](https://doi.org/10.5772/66670) URL : <https://www.intechopen.com/books/energy-efficient-buildings>. (дата обращения: 23.03.2023)

159. Zahra, S. Z. Thermal comfort in educational buildings : A review article / S. Z. Zahra, Tahsildoost Mohammad, Hafezi Mohammadreza. – Текст : электронный // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – № 59. – С. 895-906. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.033>. – URL : [https://www.researchgate.net/publication/291830905\\_Thermal\\_comfort\\_in\\_educational\\_buildings\\_A\\_review\\_article](https://www.researchgate.net/publication/291830905_Thermal_comfort_in_educational_buildings_A_review_article) (дата обращения 04.05.2023).

160. Zekai, Şen Innovative standard degree-day indicator (SDI) concept and application for monthly energy consumption control / Şen Zekai. – Текст : электронный // Energy and Buildings. – 2022. – № Volume 270. – Article 112263. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112263>. – URL : [https://www.researchgate.net/publication/361448612\\_Innovative\\_standard\\_degree-day\\_indicator\\_SDI\\_concept\\_and\\_application\\_for\\_monthly\\_energy\\_consumption\\_control](https://www.researchgate.net/publication/361448612_Innovative_standard_degree-day_indicator_SDI_concept_and_application_for_monthly_energy_consumption_control) (дата обращения 04.05.2023).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А



**МИНИСТЕРСТВО  
СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
(МИНСТРОЙ ДНР)**

ул. Университетская, 13, г. Донецк, 283001, тел/факс (062) 334-98-10  
e-mail: [minstroy@minstroy-dnr.ru](mailto:minstroy@minstroy-dnr.ru), идентификационный код 51001284

от 11.03.23 № 2904/01  
на \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Диссертационный совет Д 01.005.01 при  
ГОУ ВПО

«Донбасская национальная академия  
строительства и архитектуры»

*О предоставлении информации*

**СПРАВКА**

о внедрении результатов исследований диссертационной работы Оверченко Миры Викторовны на тему «Повышение энергетической эффективности зданий с переменными бытовыми теплопоступлениями», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

В настоящее время в Донецкой Народной Республике одним из приоритетных направлений развития экономики является энергосбережение. Около четверти части топлива, расходуемого в государстве, уходит на теплоснабжение жилых и общественных зданий. Наиболее актуальным направлением экономии топливно-энергетических ресурсов, наряду с оптимизацией архитектурно-конструктивных решений ограждающих конструкций, является оптимизация расчета тепловых потерь и уточнение существующих методик расчета.

Предложенная автором методика расчета величин бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций позволит снизить затраты на отопление, соблюдать нормируемые параметры микроклимата за счет уточнения значений величин переменных бытовых теплопоступлений от учащихся при расчете энергетического баланса зданий общеобразовательных организаций.

Внедрение результатов диссертационного исследования Оверченко Миры Викторовны «Повышение энергетической эффективности зданий с переменными бытовыми теплопоступлениями» позволит уточнить энергетические показатели и методику расчета энергетического баланса, и получить экономический эффект за счет уточнения толщины теплоизоляционного материала в зданиях общеобразовательных организаций.

Заместитель Министра



В.Н. Дубовка

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б



Министерство образования и науки  
Донецкой Народной Республики  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Донбасская национальная академия  
строительства и архитектуры»

286123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2, тел.: +7 (856) 343-70-33, email: mailbox@donnasa.ru,  
ОКПО 76406710, ОГРН 1229300156535, ИНН 9311020905, КПП 931101001

от 09.12.2022 № 19  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

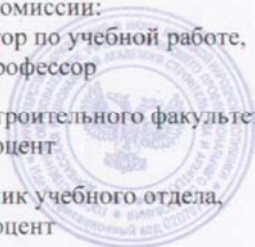
Диссертационный совет Д 01.005.01 при  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная  
академия строительства и архитектуры»

## СПРАВКА


о внедрении результатов исследований диссертационной работы  
Оверченко Миры Викторовны на тему «Повышение энергетической эффективности  
зданий с переменными бытовыми теплопоступлениями», представленную на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3 –  
Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и  
освещение.

Комиссия в составе: проректора по учебной работе, д.э.н., профессора Севки В. Г.,  
декана строительного факультета, к.т.н., доцента Лозинского Э.А., начальника учебного  
отдела, к.э.н., доцента Сухины А.А. свидетельствует, что при подготовке бакалавров по  
направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Промышленное и  
гражданское строительство», в материале дисциплины Б1.В.ДВ.11 «Энергоэффективность  
и энергоаудит зданий» (7 семестр) и при подготовке магистров по направлению  
подготовки 08.04.01 «Строительство», программа подготовки «Теория и проектирование  
зданий и сооружений» в материалах дисциплины Б1.В.09 «Строительная физика»  
(1 семестр) используются теоретические и практические данные по кандидатской  
диссертационной работе Оверченко Миры Викторовны «Повышение энергетической  
эффективности зданий с переменными бытовыми теплопоступлениями».

Члены комиссии:  
Проректор по учебной работе,  
д.э.н., профессор  
Декан строительного факультета,  
к.т.н., доцент  
Начальник учебного отдела,  
к.э.н., доцент



  
В. Г. Севка

  
Э.А. Лозинский

  
А.А. Сухина

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

**Общество с ограниченной ответственностью «Архионика»**

Юр. Адрес: 346842, РОССИЯ, Ростовская обл., Неклиновский р-он, с. Новобессергеевка, ул. Спортивная, 46

ИНН 611 900 94 74, КПП 612 301 1001, ОГРН 108 611 900 01 20

Р/с 407 028 100 47810000278 Филиал «Южный» ОАО «УРАЛСИБ» г. Краснодар

К/с 30101810400000000700 БИК 040349700 ОГРН 1020280000190

E mail [Arhionika@yandex.ru](mailto:Arhionika@yandex.ru),

Тел. (8634) 64-16-87, моб. +7-960-454-38-89

СВИДЕТЕЛЬСТВО СРО НЕКОМЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО САМОРЕГУЛИРУЕМАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ «СтройОбъединение» № 4219 от 10 мая 2011г.

Исх. № 18/2023

От 25.01.2023

Диссертационный совет Д 01.005.01 при  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная  
академия строительства и архитектуры»

## СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы  
Оверченко Миры Викторовны на тему: «Повышение энергетической  
эффективности зданий с переменными бытовыми теплопоступлениями»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование  
воздуха, газоснабжение и освещение.

Оверченко Мирой Викторовной разработана методика расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций и предложено уточнение существующей методики расчета потребности в теплоте на возмещение теплопотерь по ГОСТ Р 55656–2013 (ISO 13790:2008).

На основании данных, полученных в ходе моделирования и расчета тепловых параметров учебных помещений в сравнении с результатами натурных исследований, была разработана методика расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций.

В качестве исходных данных для расчета бытовых теплопоступлений по предложенной методике принимаются:

- количество людей, находящихся в здании общеобразовательной организации, с учетом их возрастной категории;

- этажность исследуемого здания общеобразовательной организации;
- расчетная площадь зданий общеобразовательных организаций.

При расчете бытовых теплопоступлений учитываются выделения тепла от системы освещения и оборудования, которое используется в здании. Расчет бытовых теплопоступлений предложено выполнять по формуле:

$$Q'_{\Sigma_{в,от}} = Q_m \cdot k_{числ} \cdot k_{эт} \cdot k_{об}$$

где  $Q_m$  – величина базовых бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций, равная 958804 МДж;

$k_{числ}$  – коэффициент, учитывающий количество человек, пребывающих в здании (принимается по таблице 1);

$k_{эт}$  – коэффициент, учитывающий этажность исследуемого здания (принимается по таблице 1);

$k_{об}$  – объемно-планировочный коэффициент, принимаемый в зависимости от расчетной площади исследуемого здания,  $A_p$  м<sup>2</sup> (таблица 1).

Таблица 1 – Коэффициенты для определения величины бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций

Количество человек ( $k_{числ}$ )				Этажность ( $k_{эт}$ )			Объемно-планировочный коэффициент по расчетной площади ( $k_{об}$ )			
275	500	825	1100	2	3	4	<1500 м <sup>2</sup>	1501–2000 м <sup>2</sup>	2001–2500 м <sup>2</sup>	>2500 м <sup>2</sup>
0,8	0,9	1,0	1,25	0,85	0,95	1,1	0,8	0,9	0,95	1,17

Расчеты были произведены по стандартной методике и по уточненной, предложенной автором в диссертационной работе. В результате расчетов величина бытовых теплопоступлений в среднем увеличилась на 10%, что позволит экономить около 3% теплоты за отопительный период на одном здании.

Результаты диссертационных исследований были использованы при расчете энергетического баланса и проведении работ по термомодернизации следующих зданий:

- Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение «Средняя общеобразовательная школа №39», расположенное по адресу: 347900 Ростовская область, г. Таганрог, улица Галицкого, 49-Б

Применение предложенной методики расчета в зданиях общеобразовательных организаций, при эксплуатации и проектировании в части определения величины бытовых теплопоступлений и удельного расхода тепловой энергии на отопление зданий, при необходимости соблюдения класса энергосбережения, позволит оптимизировать расходы теплоты на отопление при поддержании нормируемых параметров микроклимата помещений.

Директор  
ООО «Архионика»



А. И. Филипенко

Главный инженер  
ООО «Архионика»



К. А. Прошкина





Гранд-Смета (вер.8.1)

Теплоизоляция наружных стен  
(наименование стройки)

**ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № 02-01-01**  
(локальная смета)

на теплоизоляционные работы, Здание школы по типовой серии 260, г. Донецк  
(наименование работ и затрат, наименование объекта)

Составлен(а) в текущих (прогнозных) ценах по состоянию на 1 квартал 2023 г.

№ пп	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество	Стоимость единицы, руб.		Общая стоимость, руб.			Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием машин / ТЗМ	
				всего	эксплуатации машин	Всего	оплаты труда	эксплуатация машин	на единицу	всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Раздел 1. Вариант 1</b>										
1	ФЕР26-01-039-01	Изоляция стен изделиями из волокнистых и зернистых материалов насухо (м3)	10 100% <sub>0,1</sub>	142,72 98,29	44,43 6,96	1427,2	982,9	444,3 69,60	10,58 0,6	105,8 6
2	ФССЦ-12.2.01.08-0008	Конструкции теплоизоляционные из матов минераловатных прошивных в обкладке из металлосетки с защитным слоем из листов алюминиевых сплавов толщиной 1 мм марки: КТПП типоразмер 1040x3020 мм, толщина 100 мм (м3)	10 100% <sub>0,1</sub>	3870,92		38709,2				
3	ФЕР15-02-005-01	Высококачественная штукатурка фасадов декоративным раствором по камню: стен гладких (100 м2)	1 100 / 100	2896,97 1645,53	66,86 24,77	2896,97	1645,53	66,86 24,77	165,88 2,78	165,88 2,78
4	ФССЦ-04.3.01.06-0001	Раствор декоративный (с каменной крошкой) (м3)	3 100% <sub>0,03</sub>	572		1716				
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах						44749,37	2628,43	511,16 94,37		271,68 8,78
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Индексы изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ, определяемых с применением отраслевой сметно-нормативной базы на I квартал 2023 года ОЗП=29,24; ЭМ=15,07; ЗПМ=29,24; МАТ=9,19)						466952,36	76855,3	7703,18 2759,37		271,68 8,78
Накладные расходы						82056,65				
Сметная прибыль						48404,33				

## Гранд-Смета (вер.8.1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Итого по разделу 1 Вариант 1 :</b>										
	Итого					597413,34				271,68 8,78
В том числе:										
	Материалы					382393,88				
	Машины и механизмы					7703,18				
	ФОТ					79614,67				
	Накладные расходы					82056,65				
	Сметная прибыль					48404,33				
<b>Итого по разделу 1 Вариант 1</b>						597413,34				271,68 8,78
<b>Раздел 2. Вариант 2</b>										
5	ФЕР26-01-039-01	Изоляция стен изделиями из волокнистых и зернистых материалов насухо (м3)	10 100% <sub>0,1</sub>	142,72 98,29	44,43 6,96	1427,2	982,9	444,3 69,60	10,58 0,6	105,8 6
6	ФССЦ-12.2.01.08-0007	Конструкции теплоизоляционные из матов минераловатных прошивных в обкладке из металлотетки с защитным слоем из листов алюминиевых сплавов толщиной 1 мм марки: КТПП типоразмер 1040x3020 мм, толщина 40 мм (м3)	7 100% <sub>0,07</sub>	4646,91		32528,37				
7	ФЕР15-02-005-01	Высококачественная штукатурка фасадов декоративным раствором по камню: стен гладких (100 м2)	1 100 / 100	2896,97 1645,53	66,86 24,77	2896,97	1645,53	66,86 24,77	165,88 2,78	165,88 2,78
8	ФССЦ-04.3.01.06-0001	Раствор декоративный (с каменной крошкой) (м3)	3 100% <sub>0,03</sub>	572		1716				
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах						38568,54	2628,43	511,16 94,37		271,68 8,78
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Индексы изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ, определяемых с применением отраслевой сметно-нормативной базы на I квартал 2023 года ОЗП=29,24; ЭМ= 15,07; ЗПМ=29,24; МАТ=9,19)						410150,53	76855,3	7703,18 2759,37		271,68 8,78
Накладные расходы						82056,65				
Сметная прибыль						48404,33				
<b>Итого по разделу 2 Вариант 2 :</b>										
	Итого					540611,51				271,68 8,78
В том числе:										
	Материалы					325592,05				
	Машины и механизмы					7703,18				
	ФОТ					79614,67				
	Накладные расходы					82056,65				
	Сметная прибыль					48404,33				
<b>Итого по разделу 2 Вариант 2</b>						540611,51				271,68 8,78