

Внесена
30.06.2023

На правах рукописи

Оверченко Мира Викторовна



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

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» на кафедре «Проектирование зданий и строительная физика».

- Научный руководитель: **Белоус Алексей Николаевич**,
кандидат технических наук, доцент
- Официальные оппоненты: **Ватин Николай Иванович**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий Лабораторией
самовосстанавливающихся
конструкционных материалов
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого»
- Семиненко Артём Сергеевич**,
кандидат технических наук, доцент
кафедры теплогасоснабжения и вентиляции
ФГБОУ ВО «Белгородский
государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова»
- Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Донецкий национальный
технический университет»

Защита состоится «28» сентября 2023 года в 10:00 часов (по местному времени) на заседании диссертационного совета 02.2.001.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г.о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2, учебный корпус №1, зал заседаний ученого совета.

Тел. факс: +7(856) 343-70-33, e-mail: d01.005.01@donnasa.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г.о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2 (<http://donnasa.ru>).

Автореферат разослан «__» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 02.2.001.1  Удовиченко Злата Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Сокращение энергетических природных ресурсов остро ставит проблему поиска оптимальных конструктивных решений наружных ограждений с учетом 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 тепловой баланс здания.

Таким образом, проблема энергосбережения и поддержания требуемых параметров микроклимата помещений влечет за собой необходимость исследования влияния бытовых теплопоступлений на энергетические параметры зданий общеобразовательных организаций.

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).

Степень разработанности темы. Вопросами строительной теплотехники и параметров внутренней среды помещений занимались такие ученые как В.Д. Мачинский, Л.А. Семенов, О.Е. Власов, К.Ф. Фокин, А.М. Шкловер, В.Н. Богословский.

В настоящее время проблемами энергоэффективности зданий и вопросами параметров микроклимата занимаются О.Д. Самарин, Ю.А. Табунщиков, Н.В. Тимофеев, С.В. Корниенко, С.И. Монах, А.Б. Бирюков, Е.Г. Малявина, Н.И. Ватин, Д.В. Немова, В.В. Бухмиров.

Среди зарубежных ученых, занимающихся изучением определения комфортных условий внутренней среды для пребывания человека в помещениях, можно выделить Jr. P. E. McNall, R. Biddison, V. Olesen, P. Fanger, A. Gagge, L. Harrington, J. Gauvrit, 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.

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

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.

Объект исследования – энергетический баланс зданий общеобразовательных организаций.

Предмет исследования – бытовые теплопоступления 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 теплопоступлений 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 энергетического 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 теплопоступлениях в зданиях общеобразовательных организаций, разработку теплотехнического измерительного комплекса для исследования температурного режима помещений; определение коэффициентов зависимости бытовых теплопоступлений от численности людей, объемно-планировочных и конструктивных решений зданий общеобразовательных организаций.

Основные положения, выносимые на защиту:

- методика расчета переменных бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций за отопительный период;
- коэффициенты зависимости величин бытовых теплопоступлений от численности людей, объемно-планировочных и конструктивных решений зданий общеобразовательных организаций;
- энергетические и температурные показатели учебных помещений зданий общеобразовательных организаций с переменными поступлениями теплоты, полученные в ходе натурных исследований.

Степень достоверности подтверждена данными натурных исследований, которые выполнены с применением современных технологий и сертифицированного оборудования.

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-й 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, 4 работы в изданиях 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 литературы и приложений. Общий объем работы составляет 162 страницы, в том числе 116 страниц основного текста, 9 полных страниц с рисунками и таблицами, 30 страниц списка литературы, 7 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи научного исследования, изложена научная новизна, практическая значимость и реализация результатов работы.

В **первом разделе** рассмотрено состояние проблемы нормирования температурного режима и параметров микроклимата в учебных помещениях зданий общеобразовательных организаций, рассмотрены существующие методики расчета величин бытовых теплопоступлений.

Данные по величинам теплопоступлений от людей, находящихся в помещениях, приняты в нормативных документах усредненно, без учета возрастной категории и физиологических особенностей человека. При этом величина бытовых теплопоступлений в отечественных и зарубежных источниках отличается, что не позволяет однозначно оценить влияние данного вида теплопоступлений на тепловой баланс здания.

На формирование энергетического баланса также оказывает влияние состояние ограждающих конструкций зданий. Проведенный анализ конструктивных и объемно-планировочных решений зданий общеобразовательных организаций позволил выявить наиболее распространенные типовые серии существующих эксплуатируемых зданий общеобразовательных организаций в настоящее время. Составлена классификация зданий общеобразовательных организаций, представленная на рисунке 1.

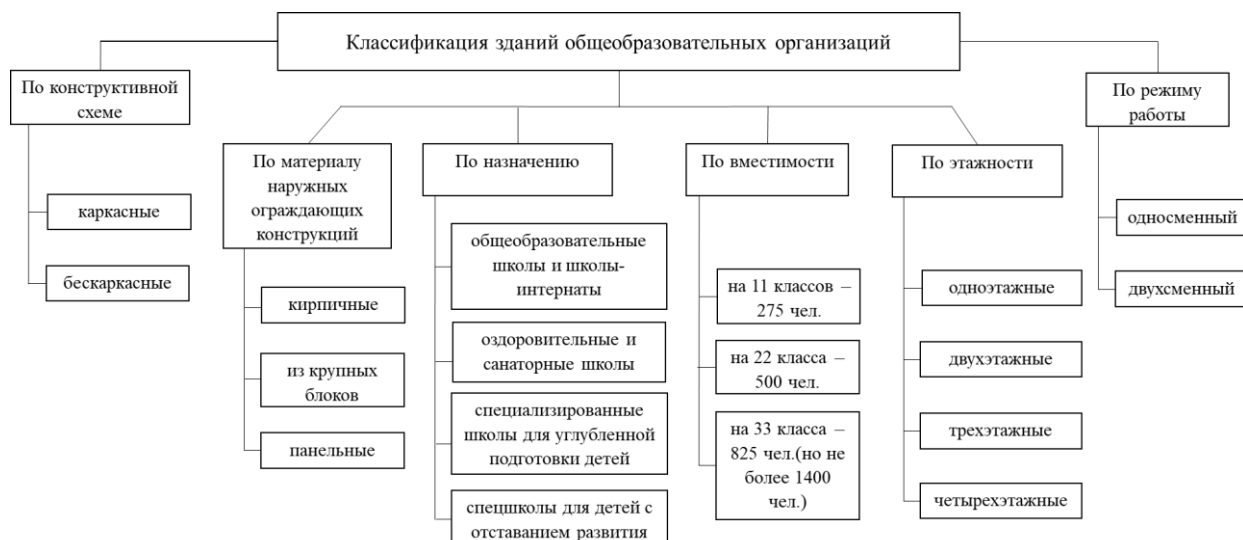


Рисунок 1 – Классификация зданий общеобразовательных организаций

Второй раздел посвящен разработке методики расчета бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций.

Для проведения работы была разработана логическая схема исследования бытовых теплопоступлений и их доли влияния на энергетический баланс зданий общеобразовательных организаций, представленная на рисунке 2.

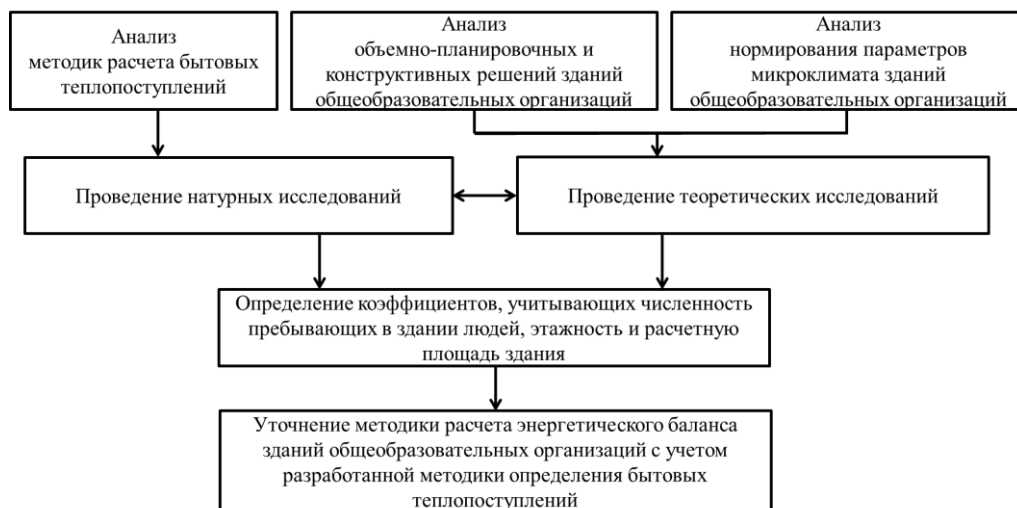
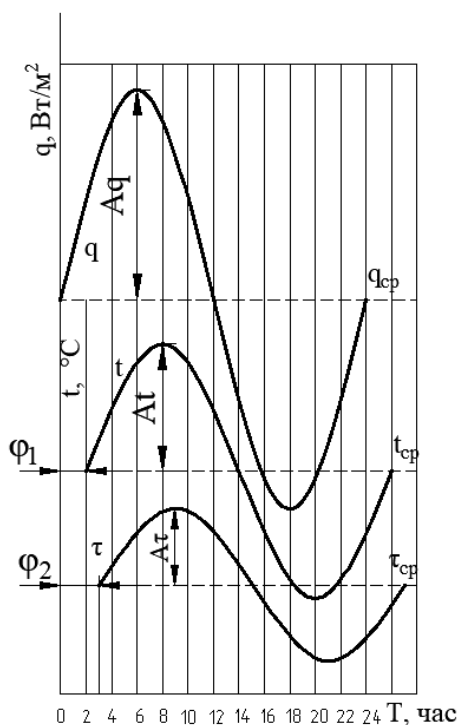


Рисунок 2 – Логическая схема исследования бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций

При нестационарном тепловом режиме в помещениях с периодическим пребыванием людей тепловой поток изменяется во времени по закону гармонической функции, что влечет за собой и колебания температуры внутреннего воздуха в помещении (Рисунок 3). Таким образом, происходит

запаздывание процесса передачи теплоты, который вызывает сдвиг фаз на графиках гармонических колебаний.



q , t , τ – колебания теплового потока, температуры воздуха во времени и температуры поверхности ограждения; $q_{ср}$, $t_{ср}$, $\tau_{ср}$ – средние значения колебаний указанных величин соответственно; A_q , A_t , A_τ – амплитуды колебаний теплового потока, температуры воздуха и температуры поверхности; ϕ_1 , ϕ_2 – углы сдвига фаз

Рисунок 3 – Зависимость температур и теплового потока с учетом сдвига фаз

В помещении должен существовать баланс между теплотой, выделяемой в помещении W , и теплотой, поглощаемой всеми стенками

$$W = \Delta t_{возд} \sum B_0 \cdot F. \quad (1)$$

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

$$Q_n = \alpha_k (\Delta t_{возд} - \Delta t_n) + \alpha_l (\Delta t_{окр} - \Delta t_n) + \frac{\varepsilon_n \cdot W}{F_n}. \quad (2)$$

Уравнение баланса доли выделяемой в помещении теплоты η , передающейся от источника всем ограждениям

$$W\eta = \alpha_k (\Delta t_{возд} - \Delta t_o) F_o. \quad (3)$$

Тепловой баланс с учетом величин теплопоглощения и теплоусвоения поверхностей

$$W = \sum Q_n F_n = (\Delta t_{возд} + \frac{W\eta}{F_o \alpha_g} - \frac{W\eta}{F_o \alpha_k}) \cdot B_o F_o + \frac{W}{\alpha_g} \sum \varepsilon_n B_n. \quad (4)$$

Зависимость колебаний температуры внутреннего воздуха в помещении от теплового баланса, основываясь на зависимости (4), выражается уравнением

$$\Delta t_{\text{возд}} = \frac{W}{F_o} \left[\frac{1}{B_o} - \frac{1}{\alpha_g} \left(\eta + \frac{(1-\eta)B_\varepsilon}{B_o} \right) + \frac{\eta}{\alpha_\kappa} \right]. \quad (5)$$

Согласно логической схеме исследования было выполнено уточнение методики определения энергетического баланса зданий, изложенной в ГОСТ Р 55656–2013 (ISO 13790:2008) «Энергетические характеристики зданий. Расчет использования энергии для отопления помещений» с учетом разработанной методики определения величины бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций (Рисунок 4) и уточненной величины тепловыделений от людей, находящихся в помещениях.

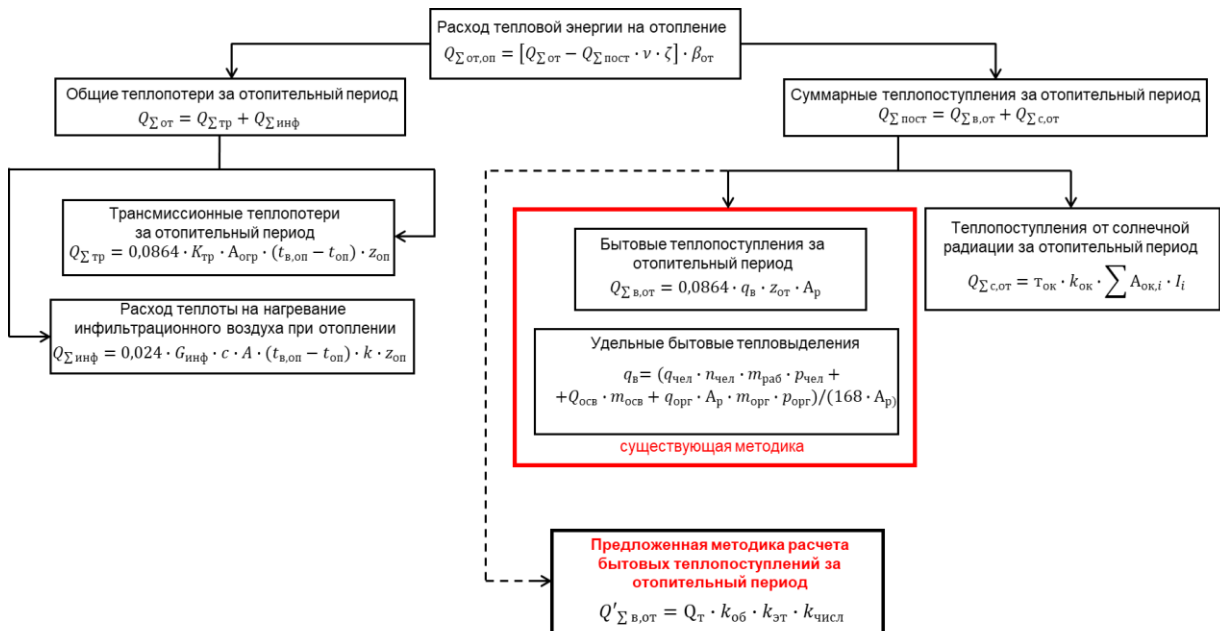


Рисунок 4 – Методика расчета расхода тепловой энергии на отопление по ГОСТ Р 55656–2013 и предложенное решение по определению бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций

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 теплоты от системы освещения и оборудования, которое используется в здании. Расчет бытовых теплопоступлений предложено выполнять по формуле

$$Q'_{\sum_{в,от}} = Q_m \cdot k_{числ} \cdot k_{эт} \cdot k_{об} , \quad (6)$$

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 , м².

Коэффициенты получены в результате статистической обработки данных по результатам моделирования различных типовых серий зданий общеобразовательных организаций и представлены в таблице 1.

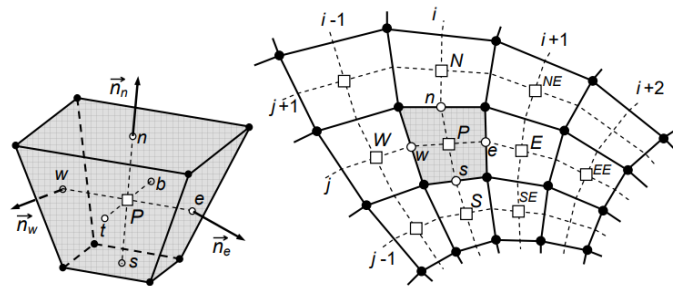
Таблица 1 – Коэффициенты для определения величины бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций

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

В третьем разделе для решения задач исследования в качестве математического аппарата был выбран метод конечных объемов (МКО), который заключается в поиске некоторой величины φ (энергии, температуры) в конкретном объеме Ω , ограниченном поверхностью $S = \sum S_k$ с внешней нормалью \vec{n} , описываемый уравнением баланса (7)

$$\int_{\Omega} \frac{\partial \rho \phi}{\partial t} d\Omega + \sum_k \int_{\Omega} \vec{n} \cdot \vec{q} ds = \int_{\Omega} Q d\Omega, \quad \vec{q} = \rho \vec{V} \phi - \alpha \nabla \phi. \quad (7)$$

В соответствии с МКО пространственная дискретизация задачи осуществляется разбиением расчетной области на небольшие соприкасающиеся объемы, для каждого из которых записывается уравнение балансового соотношения (Рисунок 5).



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

Рисунок 5 – Структурированная сетка контрольных объемов с «привязкой» переменных к центру ячеек

Уравнение баланса (7) применительно к задаче исследования температурного режима учебного помещения и энергетических показателей зданий общеобразовательных организаций возможно решить при моделировании в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation.

Необходимым условием для решения уравнений в частных производных является корректное указание условий на границах рассматриваемой области. Для решения задач, связанных с конвективным теплообменом, необходимо корректно задать граничные условия на входе – задается начальная температура рассматриваемой среды, и граничные условия на стенке – задается температура поверхностей (граничное условие первого рода); тепловой поток (граничное условие второго рода); коэффициент теплоотдачи (граничное условие третьего рода).

Моделирование зданий общеобразовательных организаций выполнялось в несколько этапов:

- на первом этапе было выполнено моделирование двух типовых серий зданий школ, существующих и эксплуатируемых в настоящее время: серия 260 и серия 2-02-05. Результаты моделирования для указанных типовых серий были проверены натурными исследованиями, проведенными в указанных общеобразовательных организациях;

- на втором этапе выполнено моделирование еще 16-ти типовых серий зданий образовательных организаций. Каждая типовая серия моделировалась как неутепленной, так и с учетом слоя теплоизоляции.

Всего исследовано 36 моделей зданий общеобразовательных организаций в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation с учетом конструктивных особенностей исследуемых зданий.

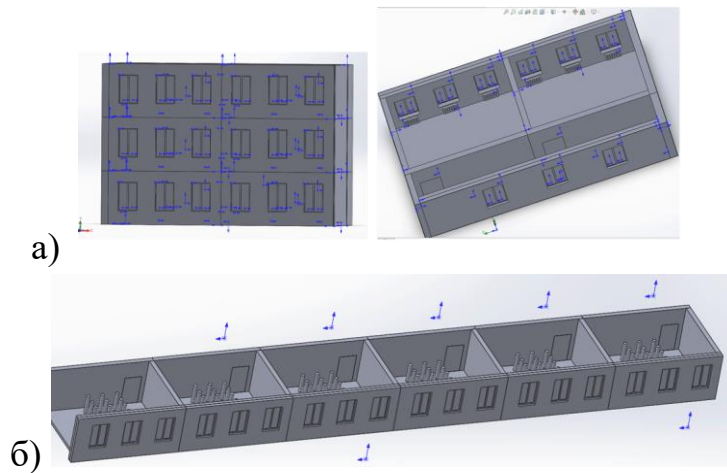
Начальными условиями задачи являются температуры в помещениях в начале рабочего дня до прихода людей. Граничные условия, применяемые для расчета модели учебного помещения, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – 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»: средняя температура месяца исследования, коэффициент α_n «Реальная стенка» – показатели внутренней среды помещений, коэффициент α_b
	Реальная стенка	
	Идеальная стенка	
Тепловые источники	Объемные	Радиаторы: температура поверхности Люди: теплоотдача от человека в положении сидя, занятого умственным трудом
	Поверхностные	

Результаты моделирования различных по конструктивному и объемно-планировочному решению зданий общеобразовательных организаций и

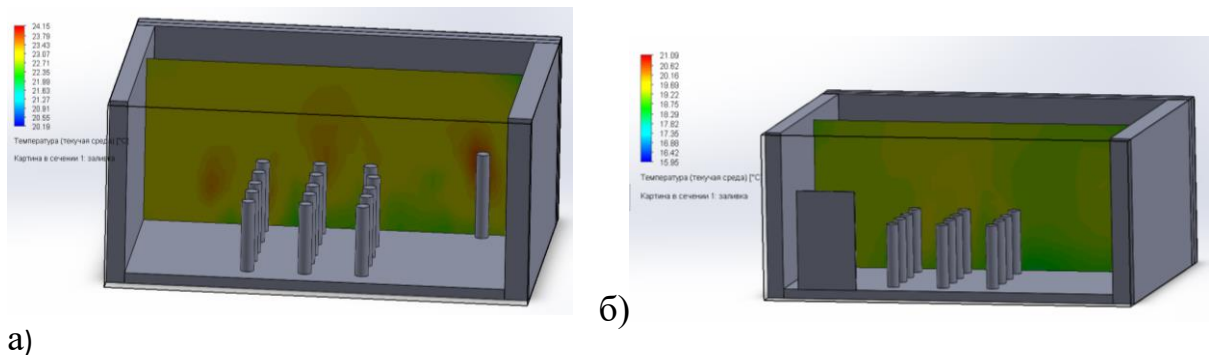
учебных помещений для определения величины бытовых теплопоступлений и температурного режима помещений представлены на рисунках 6–7.



а) серия 2-02-05; б) серия 260

Рисунок 6 – Фрагмент фасада и этажа здания общеобразовательной организации

Получены распределения температур внутреннего воздуха в исследуемых учебных помещениях по времени (Рисунок 7).

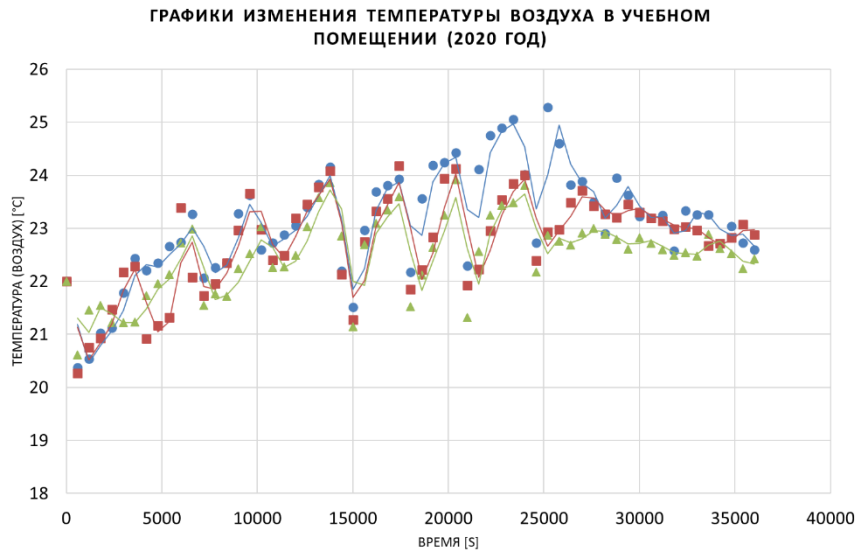


а) исследования 2020 года; б) исследования 2021 года

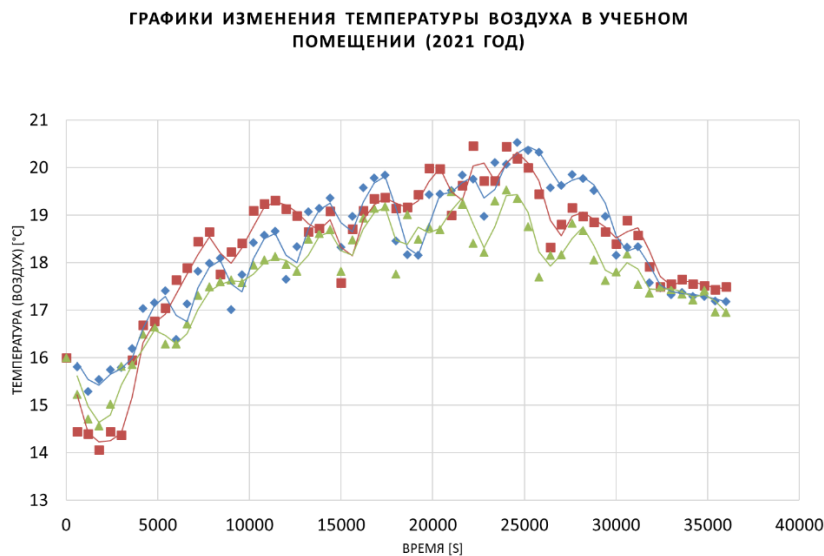
Рисунок 7 – Результаты моделирования температурного режима учебных помещений в программном комплексе

По данным, полученным в ходе моделирования, построены графики изменения температуры внутреннего воздуха в учебном помещении. Распределения температур в точках, представленных на графиках, соответствует местам расположения датчиков при проведении натурного исследования по ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» (Рисунок 8).

а)



- – 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



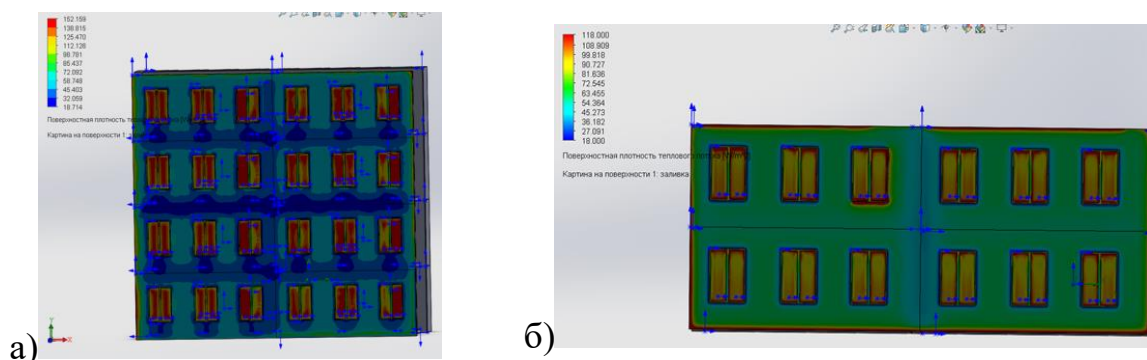
- – изменение температуры воздуха в точке, расположенной на высоте 1,7 м от пола
- – изменение температуры воздуха в точке, расположенной на высоте 0,6 м от пола
- ▲ – изменение температуры воздуха в точке, расположенной на высоте 0,1 м от пола
- ~ – скользящее среднее значение для каждого измерения

б)

а) исследования 2020 года; б) исследования 2021 года

Рисунок 8 – Графики температурного режима учебных помещений по результатам моделирования в программном комплексе

Для определения величины бытовых теплопоступлений найдены значения теплового потока для каждого из исследуемых зданий общеобразовательных организаций. Результаты распределения теплового потока представлены на рисунке 9.



а) серия 260; б) серия 2-02-05

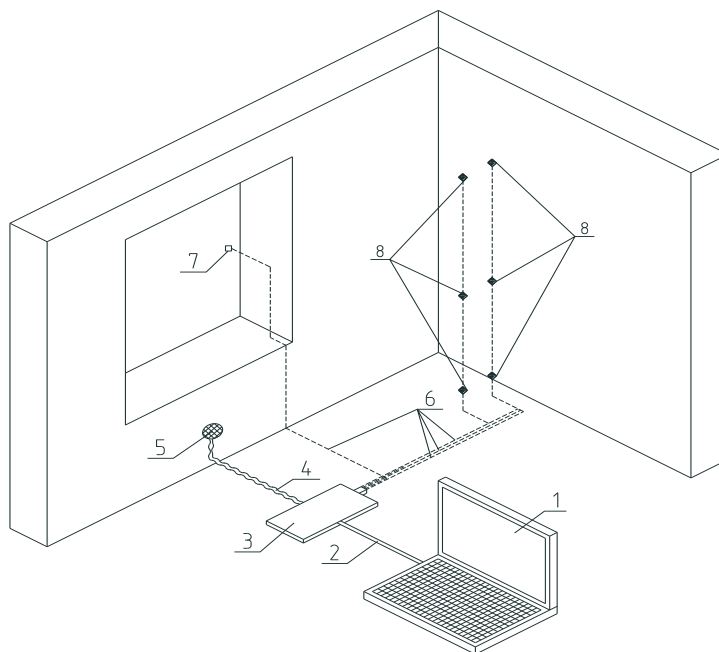
Рисунок 9 – Результаты распределения теплового потока на фасадах исследуемых зданий

Полученные данные позволили определить величину бытовых теплопоступлений в зданиях общеобразовательных организаций исследуемых типовых серий. Значения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Бытовые теплопоступления в зданиях общеобразовательных организаций различных типовых серий.

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	221-1-450.8	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

В четвертом разделе представлены результаты натурного исследования, целью которого является подтверждение разработанной методики расчета бытовых теплопоступлений и проверки корректности результатов моделирования учебного помещения в программном комплексе. Для проведения натурных исследований был разработан теплотехнический измерительный комплекс, позволяющий зафиксировать прирост температуры в течение дня в учебном помещении, по которому возможно установить количество теплоты, выделяемое учащимися в течение рабочего дня. Общий вид измерительного комплекса представлен на рисунке 10.

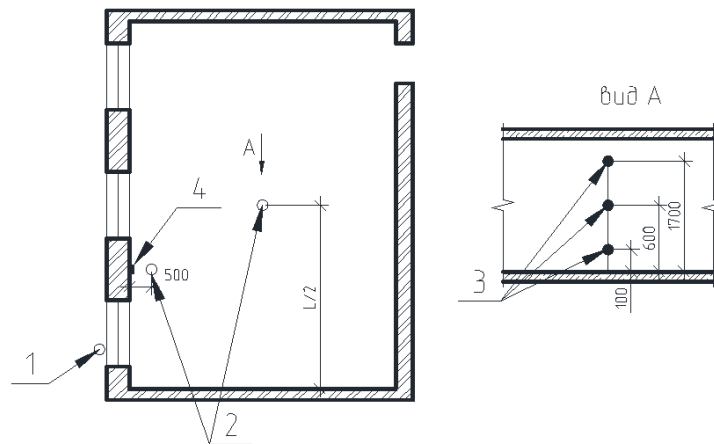


- 1 – устройство вывода информации (ноутбук); 2 – кабель питания считывающего устройства; 3 – считывающее устройство Arduino; 4 – экранированный кабель датчика теплового потока; 5 – датчик теплового потока; 6 – экранированный кабель; 7 – датчик DHT-22, расположенный снаружи помещения; 8 – датчики DHT-22,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

Рисунок 10 – Схема испытательного комплекса

Натурные исследования проводились в два этапа: в 2020 году в МБОУ «Школа №20 города Донецка» и в 2021 году в МБОУ «Средняя школа №89 города Макеевки» в холодный период года с устоявшимся температурным режимом наружного воздуха. Учебные помещения на обоих этапах были выбраны угловыми, расположенными на первых этажах исследуемых зданий общеобразовательных организаций, в соответствии с требованиями ГОСТ 30494–2011.

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 11.



1 – датчики, расположенные снаружи помещения;
 2, 3 – датчики, расположенные по вертикали по центральной оси помещения;
 4 – датчик теплового потока

Рисунок 11 – Схема расположения датчиков в учебном помещении

Каждый цикл замеров длился 12 часов. Время начала измерений – 7:00 часов, чтобы зафиксировать момент прироста 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 теплоты. На протяжении исследования во время эксплуатации помещения соблюдался санитарно-гигиенический режим, проводились проветривания при отсутствии в помещении людей.

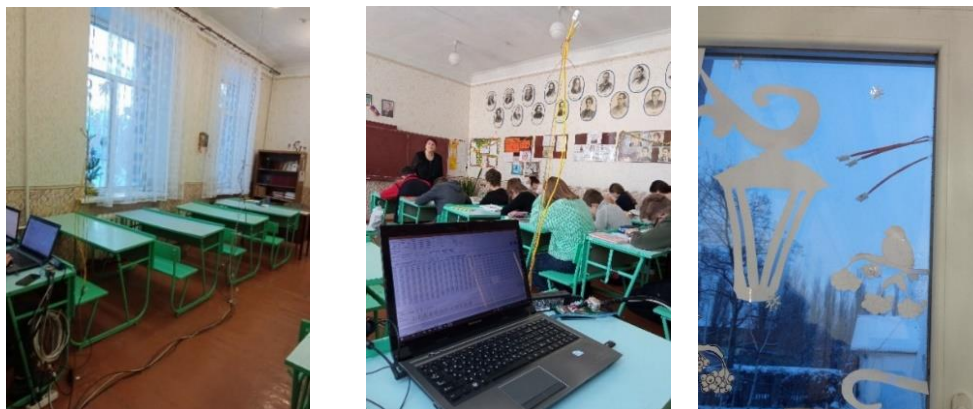


Рисунок 12 – Натурные исследования температурного режима учебного помещения, МБОУ «Средняя школа №89 города Макеевки», январь 2021 год

В результате натурального исследования были получены данные по температурному режиму в учебном помещении, которые представлены на графиках (Рисунки 13–14)

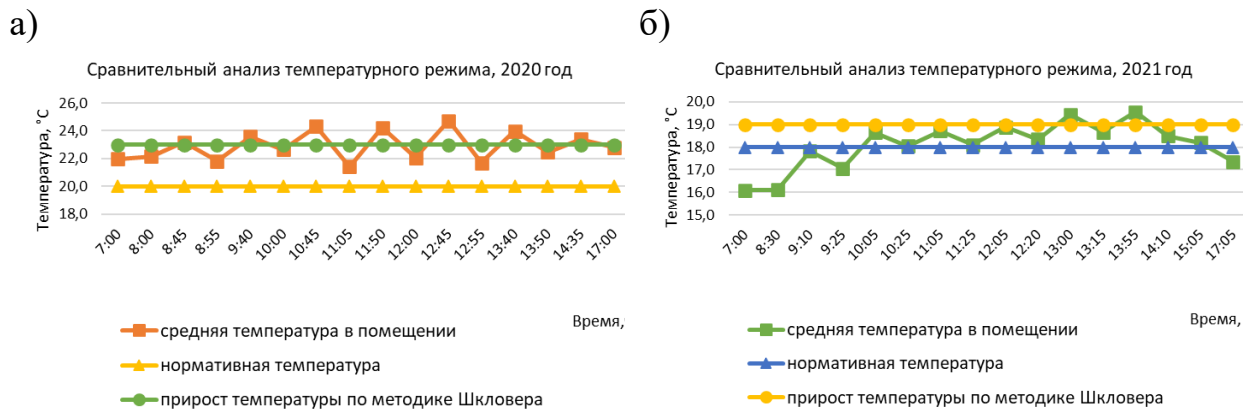
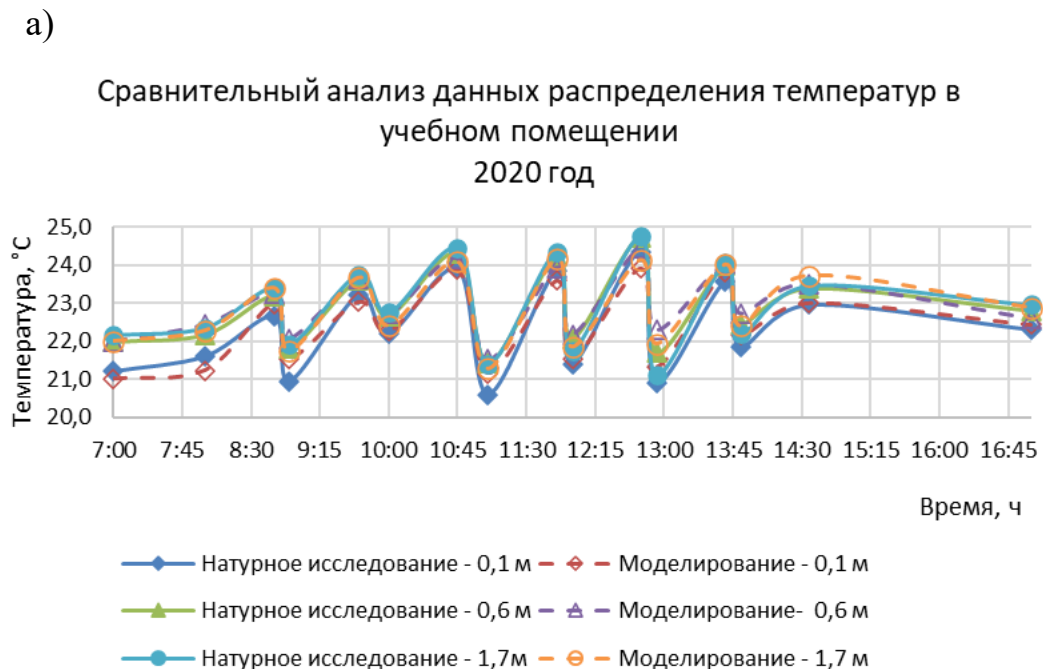
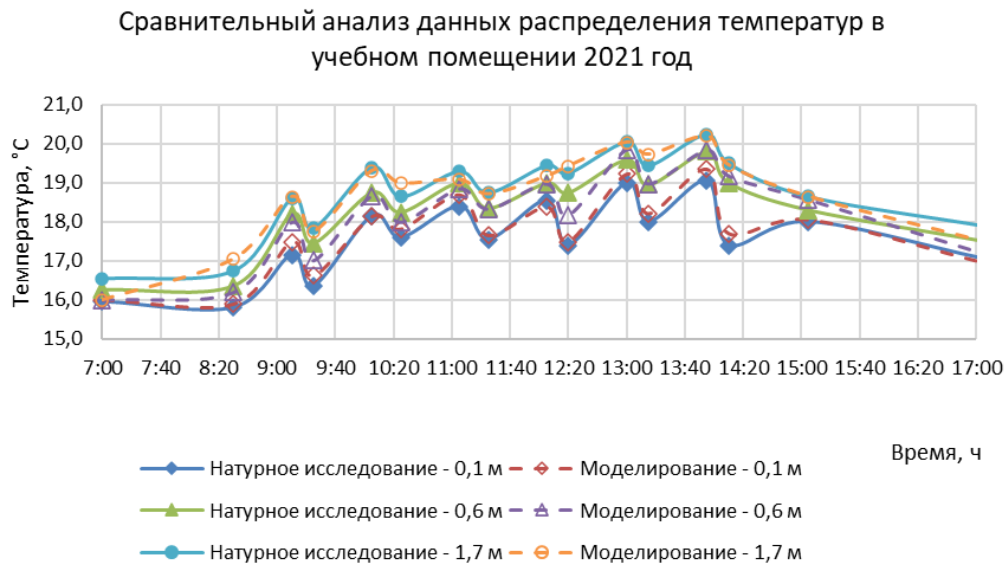


Рисунок 13 – Графики распределения температур в учебном помещении по данным натуральных исследований

Приведенные выше графики показывают, что был зафиксирован прирост температуры в учебном помещении, который составил в 3,5–4°C, что подтверждает данные аналитических исследований прироста температуры по методике Шкловера. На рисунке 14 приведен сравнительный анализ результатов натуральных исследований и моделирования в программном комплексе. По результатам статистического анализа сравниваемых значений среднеквадратичная погрешность не выходит за пределы допустимого интервала с вероятностью $P=95\%$.



б)



а) результаты за 2020 год; б) результаты за 2021 год

Рисунок 14 – Сравнительный анализ результатов натурных исследований и моделирования в программном комплексе

На рисунке 15 представлены результаты расчетов бытовых теплопоступлений по методике ГОСТ Р 55656–2013, по данным моделирования в программном комплексе, по разработанной методике расчета бытовых теплопоступлений и данные натурного 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 натурных исследований не превышает 1,5%.

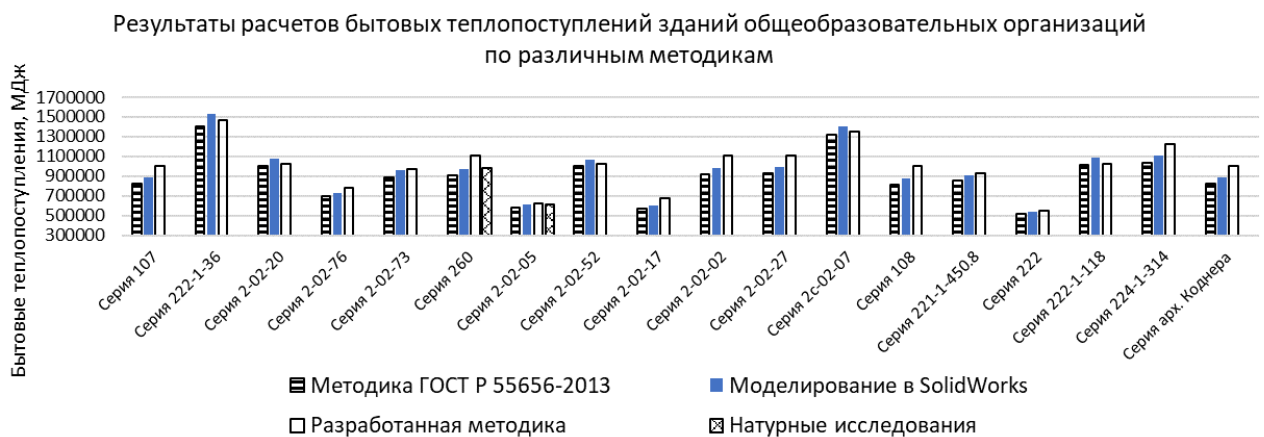


Рисунок 15 – Результаты расчетов бытовых теплопоступлений по методике ГОСТ Р 55656–2013, по данным моделирования, разработанной методике расчета и натурным исследованиям

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.

С точки зрения экономической эффективности, 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. Экономия средств на утеплении одного здания общеобразовательной организации составит 1,18 млн. руб., при проведении мероприятий по термомодернизации таких зданий по ДНР – более 350 млн. руб. На основании натурных исследований энергетических показателей для эксплуатируемых зданий общеобразовательных организаций определена ежегодная экономия средств по расходу на отопление в течение отопительного периода, которая, с учетом действующих тарифов на тепловую энергию в ДНР для бюджетных учреждений, составит 3,9 млн. руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате численных и натурных исследований достигнута основная цель работы, заключающаяся в повышении энергетической эффективности зданий общеобразовательных организаций за счет уточнения энергетических параметров. 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.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Публикации в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук:

1. Белоус, А. Н. Анализ факторов, влияющих на выбор систем утепления общеобразовательных учреждений / Белоус А. Н., **Оверченко М. В.** [Текст] // Строительные материалы и изделия, 2019. Том 2, №1. С. 24–31. *(Определены значения сопротивления теплопередаче для наиболее распространенных типовых серий общеобразовательных школ. Рассмотрены возможные способы термомодернизации).*

2. Белоус, А. Н. Разработка теплотехнического измерительного комплекса / Белоус А. Н., **Оверченко М. В.**, Белоус О. Е. [Текст] // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22, № 1. С. 140–151. *(Разработан теплотехнический комплекс для проведения натурных исследований тепловлажностного состояния ограждающих конструкций и микроклимата помещений здания).*

3. Белоус, А. Н. Бытовые теплопоступления в общеобразовательных учреждениях / Белоус А. Н., **Оверченко М. В.** [Текст] // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – Т. 22. – № 6. *(Выполнен сравнительный анализ методик расчета величин внутренних теплопоступлений. Определен прирост температуры по методике Шкловера. Проведены натурные исследования температурного режима учебной аудитории).*

4. Белоус, А. Н. Сравнительный анализ методик определения теплопоступлений от учащихся в зданиях общеобразовательных организаций / Белоус А. Н., **Оверченко М. В.** [Текст] // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2022. – Т. 24. – № 4. – С. 153-164. *(Выполнен сравнительный анализ методик определения теплопоступлений от человека в состоянии покоя и при выполнении работ различных категорий сложности, выполнено сравнение рассмотренных методик определения бытовых теплопоступлений от учащихся в образовательных организациях с данными натурального исследования).*

5. Белоус, А. Н. Моделирование теплового режима учебного помещения. Проблемы и перспективы / Белоус А. Н., **Оверченко М. В.**, Выборнов Д. В. [Текст] // Строитель Донбасса. – 2022. – № 3. – С. 68–73. *(Указаны особенности моделирования отдельных элементов конструкций и деталей с учетом их геометрических размеров и распределения температурных полей. Обозначены основные проблемы при создании расчетных моделей с нестационарным тепловым режимом).*

6. Белоус, А. Н. Теплопоступления от учащихся в зданиях общеобразовательных организаций / Белоус А. Н., **Оверченко М. В.**, Выборнов Д. В. [Текст] // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2022. – Т. 20. – № 3. – С. 127-136. *(Выполнен анализ теплопоступлений от учащихся в зависимости от вида работы, установлены факторы, влияющие на метаболизм и тепловое состояние человека).*

Публикации по материалам конференций:

7. **Оверченко, М. В.** Влажностный режим наружных ограждающих конструкций общеобразовательных учреждений после термомодернизации зданий / М.В. Оверченко // Образование. Наука. Производство : Матер. X Междунар. молодежного форума с междунар. участием, Белгород, 01–15 октября 2018 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 805–809. – EDN SAKNUD.

8. **Оверченко, М. В.** Анализ влажностного состояния ограждающих конструкций образовательных учреждений / М.В. Оверченко // Опыт прошлого – взгляд в будущее: 8-я Междунар. научно-практич. конф. молодых ученых и студентов: материалы конференции. Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. – С.170-174

9. **Оверченко, М. В.** Анализ микроклимата помещений образовательных учреждений при частичной термомодернизации / М.В. Оверченко // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : матер. II Всероссийской национальной научной конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2019 года. Том Часть 2. – Комсомольский-на-Амуре государственный университет: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019. – С. 126–130. – EDN FIUKFJ.

10. **Оверченко, М.В.** Натурные исследования тепловлажностного режима наружных ограждающих конструкций общественных зданий / М.В. Оверченко // Сб. матер. IV Междунар. очно-заочной науч. конф. «Форум молодых учёных: мир без границ» в 9 ч. Ч.2. Секция 2. – Донецк: «ДОНМАН», 2019. – С. 125–127.