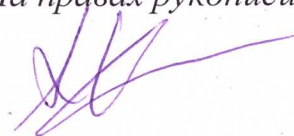


Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Донецкий национальный технический университет»

На правах рукописи



Харитонов Антон Юрьевич

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ОТОПЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

д.т.н., профессор

Бирюков А.Б.



Идентичность всех экземпляров заверена

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 01.005.01



З. В. Удовиченко

Донецк – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАЗДЕЛ 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР СПОСОБОВ АНАЛИЗА И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ.....	11
1.1 Подходы к отоплению общественных зданий. Определение требуемого расхода теплоты на отопление	11
1.2 Определение уровня энергоэффективности отопления в общественных зданиях. Критерии анализа энергоэффективности общественных зданий.....	16
1.3 Существующие подходы к повышению уровня энергоэффективности общественных зданий	23
1.4 Программно-технические средства для анализа энергоэффективности на основе оперативного сбора и обработки данных.....	26
Выводы по разделу 1	30
РАЗДЕЛ 2 МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОТЫ ОБЩЕСТВЕННЫМИ ЗДАНИЯМИ	32
2.1 Описание процесса получения экспериментальных данных	32
2.2 Критерии анализа энергосбережения общественных зданий	39
2.3 Определение рациональных параметров утепления стен здания на основании экспериментальных данных.....	50
2.4 Математическая модель нестационарных процессов потребления теплоты зданием.....	54
Выводы по разделу 2	61
РАЗДЕЛ 3 АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ.....	63
3.1 Анализ энергоэффективности теплоснабжения общественных зданий на основе валового потребления теплоты	63

3.2 Анализ энергоэффективности отопления общественных зданий с помощью идентификации тепловых характеристик здания.....	70
3.3 Анализ энергоэффективности теплоснабжения общественных зданий на основе параметра отопительной системы и сравнения действительного параметра с расчетным параметром отопительной системы	76
3.4 Реализация подхода к поиску рациональных параметров утепления стен здания	79
3.5 Реализация математической модели нестационарных процессов потребления теплоты зданием	82
Выводы по разделу 3	88
РАЗДЕЛ 4 СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ГОРОДА ДОНЕЦКА	90
4.1 Технологическая структура системы анализа энергоэффективности отопления общественных зданий	90
4.2 Информационный обмен между компонентами системы анализа энергоэффективности отопления общественных зданий	96
4.3 Разработка информационного и программного обеспечения системы анализа энергоэффективности отопления	101
4.4 Внедрение результатов работы системы и экономическая эффективность от внедрения системы энергоэффективности отопления общественных зданий	105
Выводы по разделу 4	106
ВЫВОДЫ.....	107
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	109
ПРИЛОЖЕНИЕ А	124
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	134
ПРИЛОЖЕНИЕ В	138

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Несмотря на существующие геополитические процессы планетарного масштаба, цена на энергоресурсы будет расти, и вопросы экономии энергии будут стоять перед человечеством.

Общественные здания являются особым классом объектов отопления, потому что находятся в управлении министерств и ведомств, которые централизованно регулируют подачу теплоты; однако, контроль за оптимизацией этого процесса осуществлять довольно затруднительно. В данном случае руководство должно найти и применить инструменты анализа энергоэффективности группы объектов для принятия рациональных решений.

Что касается типовых решений по энергосбережению, то мероприятия по реконструкции представлены заменой окон, утеплением стен. Дополнительным решением может быть отопление с циклически изменяющимся уровнем тепловой нагрузки. Для выбора зданий, которые в первую очередь нуждаются в энергосберегающих мероприятиях и определении их рациональных параметров, необходимо изучение эксплуатационных характеристик здания и определение критериев энергоэффективности. Поэтому использование оперативного анализа для повышения энергоэффективности отопления общественных зданий является актуальной задачей.

Степень разработанности темы.

Проблема эффективного потребления теплоты зданиями широко рассмотрена в работах В.Н. Богословского, Е.Я. Соколова, Л.А. Климова, В.Е. Козина.

В настоящее время проблемам анализа и управления эффективностью теплоснабжения бытовых объектов посвящены работы следующих отечественных и зарубежных ученых – современников: И.А. Башмакова, А.В. Лукьянова, А.А. Олексюка, С.М. Сафьянца и др., которые внесли большой вклад в решение данных проблем.

Зарубежные авторы, такие как E. Taylor, J. Heinz, J. Kurnitski, G. B. Hanna, занимаются оптимизацией отдельных составляющих процесса энергоэффективности.

Проблема рационального расхода энергоресурсов, выделяемых на отопление общественных зданий, не теряет актуальности и постоянно находит свое отражение в создании новых технологий и методов.

Цель работы. Повышение энергоэффективности отопления общественных зданий с помощью оперативного анализа потребления теплоты.

Задачи исследования:

- исследовать существующие способы анализа энергоэффективности отопления общественных зданий;
- обосновать целесообразность и эффективность оперативной идентификации критериев энергоэффективности для анализа отопления общественных зданий и разработать методику оперативной идентификации критериев энергоэффективности на основании оперативного определения и обработки текущих значений основных параметров;
- разработать подходы к рациональному выбору изоляционных материалов для утепления зданий;
- создать математическую модель нестационарных тепловых процессов при отоплении зданий, учитывающую нестационарное тепловое состояние ограждающих конструкций, а также обосновать наиболее целесообразный способ адаптации данной модели к условиям конкретных зданий;
- установить возможность экономии теплоты за счет периодического снижения тепловой нагрузки отопления;
- создать и внедрить аппаратно-программный комплекс оперативного анализа для повышения энергоэффективности отопления общественных зданий.

Объект исследования – эффективность потребления теплоты системами отопления общественных зданий.

Предмет исследования – способы оперативного анализа для оценки критериев энергоэффективности отопления общественных зданий.

Научная новизна полученных результатов:

– впервые научно обоснованы целесообразность и эффективность оперативной идентификации критериев энергоэффективности отопления общественных зданий на основании моментального сбора и расчетной обработки текущих значений температур наружного и внутреннего воздуха и показаний теплосчетчика, что позволяет получать информацию об условиях теплопотребления зданий в режиме реального времени;

– впервые разработана методика оперативного анализа для повышения энергоэффективности отопления общественных зданий и сравнения ее показателей как различных зданий, так и одних и тех же в течение разных отопительных сезонов с помощью критериев энергоэффективности отопления общественных зданий. Это позволяет установить базовый уровень энергопотребления и анализировать соотношение значений соответствующих критериев с базовым уровнем энергопотребления;

– разработана математическая модель нестационарных тепловых процессов при отоплении зданий, описывающая изменение температуры воздуха внутри помещений, и процесс теплопередачи через ограждающие конструкции. Введено понятие полной теплоемкости внутреннего объема здания для адаптации рассматриваемой математической модели к условиям конкретных зданий;

– в результате адаптации разработанной математической модели к условиям школ г. Донецка установлено, что значение полной теплоемкости mc внутреннего объема здания V может быть описано в виде определенной зависимости: $mc = kV$, где k – коэффициент пропорциональности, равный $(4,5...4,8) \cdot 10^5$, Дж/(м³·К), что позволяет наиболее быстро осуществлять адаптацию математической модели нестационарного теплообмена к условиям конкретных школ.

Теоретическая и практическая значимость работы:

– разработана и внедрена система сбора экспериментальных данных в общественном здании с помощью датчиков температуры и модулей считывания данных с теплосчетчиков в автоматическом режиме;

– разработана методика оперативного анализа для повышения энергоэффективности отопления общественных зданий с помощью критериев энергоэффективности на основании оперативного определения и расчетной обработки текущих значений с датчиков температуры и теплосчётчиков и присвоения зданию определенного класса энергоэффективности;

– предложены подходы к выбору теплоизоляционных материалов для утепления общественных зданий на основе измеренных теплотехнических характеристик для конкретного здания;

– создана математическая модель нестационарных тепловых процессов при отоплении зданий и обоснован наиболее целесообразный параметр для адаптации модели к условиям конкретных зданий;

– разработанные модели и методы внедрены в информационное и программное обеспечение для отдела образования Администрации Куйбышевского района г. Донецка;

– разработанные модели и методы внедрены в учебный процесс при чтении курса лекций по дисциплинам «Теплоснабжение», «Отопление», для студентов направления 08.04.01 «Строительство» профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Методология и методы исследования. В процессе выполнения работы автором применен системный подход к анализу энергоэффективности отопления общественных зданий. Для определения критериев энергоэффективности использовались методы обследования объектов, систематизация, выявление и анализ основных параметров, оказывающих влияние на процесс потребления теплоты зданиями. При помощи компьютерного моделирования с использованием основных принципов теплопередачи через многослойную ограждающую конструкцию решен вопрос выбора рациональных параметров теплоизоляционных материалов. С использованием метода математического моделирования построена детерминированная математическая модель нестационарных процессов потребления теплоты зданием, решение которой

производится численным методом, а так же обоснован наиболее целесообразный способ адаптации данной модели к условиям конкретных зданий.

Личный вклад соискателя включает постановку цели и задач исследований, выбор критериев энергоэффективности отопления общественных зданий, систему сбора экспериментальных данных в общественном здании, подходы к выбору рациональных параметров изоляционных материалов для утепления зданий, математическую модель нестационарных тепловых процессов при отоплении зданий и аппаратно-программный программный комплекс оперативного анализа для повышения энергоэффективности отопления общественных зданий.

Основные положения, выносимые на защиту:

- система сбора экспериментальных данных с датчиков температуры и теплосчетчиков в общественном здании;
- критерии энергоэффективности отопления общественных зданий;
- подходы к определению рациональных параметров теплоизоляционных материалов для утепления здания;
- математическая модель нестационарных тепловых процессов при отоплении зданий.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Тема диссертационной работы и полученные результаты отвечают проблематике хоздоговорных работ, которые выполнялись в Донецком национальном техническом университете. Диссертационная работа была выполнена в рамках НИР № 26-13 «Моделирование, мониторинг и информационные технологии при исследовании сложных динамических систем», НИР №08-198 «Автоматизация учета потребления энергоресурсов объектов бюджетной сферы» (по договору с Донецким городским советом), НИР №09-275 «Развитие автоматизированной системы учета потребления энергоресурсов», кафедральной научно-исследовательской темы Н8-16 «Методы и средства компьютерного моделирования объектов, систем и процессов». Автор был ответственным исполнителем всех НИР. Также он является соавтором

комплексной программы «Энергосбережение в г. Донецке на 2010-2014 гг.», утвержденной сессией Донецкого городского совета от 12.05.2010 г. № 44/6, которая была разработана для обеспечения энергосберегающей модели развития города, повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, а также полного использования имеющегося потенциала энергосбережения.

Степень достоверности и апробация результатов диссертации.

Достоверность результатов исследования подтверждается использованием основополагающих положений теории теплового баланса, современных методов математического моделирования. Достоверность обеспечивается широкой публикацией работ по данной теме и обсуждением их на конференциях различного уровня, а так же опытом практической эксплуатации.

Результаты диссертационной работы были представлены, обсуждены и одобрены на следующих научных и научно-технических конференциях, выставках и семинарах: III Международной научно-практической конференции-выставке «Экологические проблемы промышленных мегаполисов» (г. Донецк, 2006 г.); выставке «Энергосбережение 2009» (г. Донецк, 2009 г.); выставке «Eco Solutions - New Technologies, 2010» (г. Львов, 2010 г.); Международной научной конференции «Техногенно-экологическая безопасность и гражданская защита» (г. Киев, 2010 г.); на I Форуме «IT-industry 2012» (г. Донецк, 2012 г.); I-й Международной научной конференции «Энергетические, управляющие и информационные системы» (г. Белгород, 2016 г.); I-III Международном Научном Форуме ДНР (г. Донецк, 2015-2017 гг.); Региональной университетской научно-практической конференции КГУ (г. Калуга, 2017 г.); совещаниях по обучению ответственных за ввод данных в автоматизированную систему учета потребления энергоресурсов объектов бюджетной сферы г. Донецка.

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы автором и в соавторстве в 12 печатных научных работах, общим объемом 10 п. л., в том числе 1 работа опубликована в издании, входящем в перечень специализированных научных журналов, утвержденный МОН Украины, 11 – в

научных специализированных изданиях, индексируемых в базах данных РИНЦ (РФ). Технические решения, полученные автором в процессе работы, закреплены патентом Украины на изобретение № 88192 (опубликован 25.09.2009 г., бюллетень №18).

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы – 140 страниц, в том числе 123 страницы основного текста; содержит 55 рисунков, 14 таблиц, 14 страниц списка использованных источников; 16 страниц приложений.

РАЗДЕЛ 1

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР СПОСОБОВ АНАЛИЗА И ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ1.1 Подходы к отоплению общественных зданий. Определение
требуемого расхода теплоты на отопление

В настоящее время существует несколько подходов к отоплению общественных зданий. Разные механизмы передачи теплоты предполагают два базовых типа отопления: лучистое и конвективное.

Лучистое отопление представляет из себя процесс нагрева объекта излучением инфракрасных волн. Данный способ является самым быстрым способом доставки теплоты потребителю и обладает возможностью передавать тепло в вакууме. Современные инфракрасные обогреватели обладают рядом преимуществ и недостатков, и заняли определенный сегмент рынка отопления помещений [1].

Конвективное отопление – обогрев помещений, основанный на передаче в них теплоты главным образом конвекцией, при котором температура воздуха в помещении поддерживается на более высоком уровне (в отличие от лучистого отопления), чем средняя температура внутренней поверхности (радиационная температура помещения) его ограждающих конструкций. Различают несколько конструктивно различных видов отопления зданий, в основе которых лежит принцип конвективного отопления: электрическое, водяное, паровое или воздушное отопление. В случае с воздушным отоплением, теплообменник может отсутствовать, поскольку происходит непосредственное смешение горячего и холодного воздуха. В остальных случаях необходим теплообменник, разделяющий среды [2].

Согласно классическому представлению, теплоснабжение общественных зданий осуществляется при помощи системы отопления, которая представляет собой совокупность конструктивных элементов со связями между ними,

предназначенных для получения, переноса и передачи необходимого количества теплоты в обогреваемые помещения, в частности:

- теплоисточник – для получения теплоты;
- теплопровод – для переноса теплоты от теплоисточника к отопительным приборам;
- отопительный прибор – для передачи теплоты в помещения [3].

По теплопроводам передается теплоноситель – жидкая или газообразная рабочая среда.

Подобное представление теплоснабжения применяется и в других странах, где часто фиксируются низкие температуры окружающей среды, например в США [4], Шотландии [5] и Китае [6].

В случае отопления общественных зданий теплоисточником может выступать как индивидуальный источник отопления, так и здание может быть включено в тепловую сеть зависимой (одноконтурной) и независимой конструкцией, с двумя контурами и дополнительным теплообменником. Наиболее распространены радиальная и кольцевая тепловые сети, которые подключены к газовым котельным [7]. Анализ состояния отопления общественных зданий, который отражен в комплексной программе «Энергосбережение в г. Донецке на 2010-2014 гг.», соавтором которой является автор данной диссертационной работы, показывает, что 95% школ г. Донецка включены в радиальные тепловые сети (городская застройка). Остальные школы подключены к индивидуальным газовым или угольным котельным (частный сектор) [8].

В настоящее время используется большая часть зданий общественного назначения, которая была построена после 1960 г. [9], требуемый расход теплоты которых определялся по СНиП 2.04.05-91* «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [10]. Для определения требуемого расхода теплоты используются следующие параметры:

- потери теплоты через ограждающие конструкции;
- расход теплоты на нагрев инфильтрационного воздуха, поступающего в отапливаемые помещения;

- расход теплоты на нагрев материалов, оборудования и транспортных средств и т. д.;
- теплота, поступающая от различных источников, находящихся в отапливаемых помещениях, в том числе от людей.

Тепловые потери здания, таким образом, состоят из трех составляющих: трансмиссионного, потерь на нагрев инфильтрующегося воздуха и на нагрев воздуха, удаляемого системой вентиляции [11].

Величина трансмиссионных потерь (потерь из-за теплопередачи через ограждающие конструкции здания) зависит от конструкции и размера стен и окон, пола, потолка и теплофизических свойств материалов ограждающих конструкций. Нормируемые значения плотности теплового потока, q'' , Вт/м², одинаковы, то есть, для обеспечения одинаковой плотности теплового потока в местностях с более низкой температурой наружного воздуха применяются ограждающие конструкции с большим сопротивлением теплопередаче [12].

При определении суммарных тепловых потерь через ограждающие конструкции (трансмиссионные потери) зданий учитываются основные и дополнительные потери теплоты.

Основные и дополнительные потери теплоты определяются суммированием теплотерь через отдельные ограждающие конструкции по формуле

$$Q_O = F(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})n \frac{1}{R} (1 + \sum \beta_i), \quad (1.1)$$

где F – расчетная площадь ограждающей конструкции, м²;

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура воздуха в помещении, °С;

$t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха, °С;

β_i – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь;

n – поправочный коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности и ограждающей конструкции;

R – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, (м²·К)/Вт.

Приведенная выше формула применяется при определении тепловых потерь отдельных зданий при расчетной температуре [13].

Потери теплоты любого отапливаемого здания можно охарактеризовать через усредненную теплотехническую характеристику этого здания, отнесенную к объему здания или к суммарной площади наружных ограждающих конструкций, а также к общей площади полов жилых помещений [14].

В первом случае этим показателем при определении теплопотерь служит трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания или удельная тепловая характеристика – объемная q_o , Вт/(м³·К) – тепловые потери здания при разности температуры между внутренним и наружным воздухом, равной 1°C, приходящиеся на 1 м³ объема здания.

Во втором случае это приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания, который можно также определить как удельную тепловую характеристику q''_o , Вт/(м²·К). Данный коэффициент характеризует тепловые потери здания при разности температуры между внутренним и наружным воздухом, равной 1°C, приходящиеся на 1 м² поверхности здания (ограждающую оболочку здания).

В третьем случае это приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания, который можно также определить как удельную тепловую характеристику, отнесенную к отапливаемой площади $q^{жс}_o$, Вт/(м²·К). Данный коэффициент характеризует тепловые потери здания при разности температуры между внутренним и наружным воздухом, равной 1°C, приходящиеся на 1 м² общей площади полов здания [15].

Расход теплоты на подогрев инфильтрирующего воздуха в помещениях жилых и общественных зданий при естественной вентиляции определяется при помощи зависимостей, которые были представлены в работах Ю.А. Табунщикова и М.М. Бродача [16].

Практические расчеты А.П. Кылатчанова и В.Л. Попова показывают, что величина инфильтрации, исходя из требований санитарно-гигиенических норм, всегда больше определенной по воздухопроницаемости, и не зависит от

этажности и параметров, характеризующих воздухопроницаемость ограждающих конструкций и других параметров здания (компактность, этажность), а зависит только от вентилируемого объема помещений и расчетных параметров воздуха [17].

Предлагаемая различными учреждениями и авторами методика определения основных теплопотерь зданий базируется на трех показателях:

- расчетные температуры наружного и внутреннего воздуха, °С;
- объем отапливаемого здания, м³;
- теплотехнические характеристики (теплозащитных свойств) ограждающих конструкций [18, 19].

В своде правил ISO 13790:2008 «Энергетическая эффективность зданий – расчет потребления энергии для отопления и охлаждения» дано определение расчетной тепловой нагрузки системы отопления. Согласно ему, расчетная тепловая нагрузка на систему водяного отопления $Q_{отр}$, кВт, складывается из расчетных теплопотерь всех отапливаемых помещений и включает потери теплоты трубопроводами, проложенными в неотапливаемых помещениях (подвал, чердак и т.д.), дополнительные потери $Q_{тпдоп}$, связанные с округлением сверх расчетной величины площади нагрева отопительных приборов. Ее следует определять по формуле

$$Q_{отр} = \frac{\sum Q_{тп пр.}}{\beta_2} 10^{-3} \beta_3 + Q_{тпдоп}, \quad (1.2)$$

где $\sum Q_{тп пр.}$ – сумма расчетных теплопотерь всех отапливаемых помещений без запаса, Вт;

β_2 – коэффициент запаса в поверхности нагрева отопительных приборов на возможность компенсации теплопотерь через внутренние ограждения смежных помещений, в которых термостаты выставлены на режим сниженного отопления или для возможности интенсивного прогрева помещений перед началом рабочего дня при режиме ночного снижения в общественных зданиях (как правило,

$\beta_2 = 1,0-1,2$), а также – на прогрев помещений в первые годы эксплуатации дома после окончания строительства;

β_2 – коэффициент учета дополнительного теплового потока устанавливаемых отопительных приборов за счет округления сверх расчетной величины, берется из таблицы 3 в [20] при отсутствии термостатов на отопительных приборах; при наличии $\beta_3 = 1$.

1.2 Определение уровня энергоэффективности отопления в общественных зданиях. Критерии анализа энергоэффективности общественных зданий

В настоящее время проблемам анализа и управления эффективностью теплоснабжения бытовых объектов посвящены работы следующих ученых – современников, как отечественных (И.А. Башмаков, А.В. Лукьянов, А.А. Олексюк, С.М. Сафьянц) [20-23], так и зарубежных (Е. Taylor, J. Heinz, J. Kurnitski, G.B. Hanna) [24, 25]. В своих работах авторы опираются на соответствующие стандарты в данной области [26, 27].

Согласно своду правил EN 15316-2-1:2007 «Системы отопления зданий – метод расчета энергетических характеристик и показателей эффективности системы» в структуре энергетических потерь при теплоснабжении здания фигурируют:

- первичная энергия;
- потери на добычу топлива;
- потери на транспортировку топлива;
- потери с продуктами сгорания и на источнике теплоты;
- потери в тепловой сети;
- нерациональные потери энергии в здании;
- затраты электроэнергии на подачу теплоносителя;
- теплоснабжение зданием [28, 29].

В системе теплоснабжения должен сохраняться баланс, при котором сумма притоков теплоты, поступающей в систему теплоснабжения, вместе с

аккумулируемой теплотой, равна сумме истоков теплоты от системы теплоснабжения. Если данный баланс не соблюдается, то возникает дисбаланс, показывающий неэффективность отопления [30].

Согласно [20], энергетическая эффективность это эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов, использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня энергетического обеспечения зданий (или технологических процессов на производстве), а так же достижение экономически оправданной эффективности использования технико-экономических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды [8].

Один из способов определения уровня энергоэффективности – составление энергетического паспорта здания, согласно которому зданию присваивается определенный класс энергетической эффективности. В зарубежных источниках [31-33] рассматриваются схожие программы определения энергоэффективности отопления общественных зданий.

В ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» и ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 «Руководство по разработке и составлению энергетического паспорта домов при новом строительстве и реконструкции» установлено 6 уровней (классов) энергетической эффективности здания. Их наличие предоставляет возможность унификации соответствующих экономически обоснованных мер по экономии энергии в зданиях, которые различаются в силу определенных причин (год постройки, конструкция, нормы проектирования, условия эксплуатации).

Класс энергетической эффективности здания устанавливают при проектировании, введении в эксплуатацию и по данным контроля и оценки фактического уровня теплопотерь на отопление. Этот класс может быть уточнен по результатам эксплуатации и внедрения мероприятий по энергосбережению. Он обозначается латинскими буквами «А», «В», «С», «D», «Е», «F» (от наилучших до наихудших показателей энергетической эффективности).

Возможность и способы повышения энергоэффективности являются частью Национальных стратегий энергосбережения [34,35] различных стран:

Великобритании [36], Ирландии [37] США [38,39], Швейцарии [40], Италии [41], Украины [42]. Их цель – обеспечивать сохранность природной среды и устойчивое развитие общества. Эти стратегии в полной мере отражены в законах Российской Федерации [43] и Донбасса. В г. Донецке существует своя Программа по реализации энергосберегающих мероприятий на объектах бюджетной сферы, в которой первоочередная роль отводится проблеме теплоснабжения города, модернизации объектов бюджетной сферы за счет внедрения энергосберегающих технологий, автоматизации учета потребления энергоресурсов на объектах бюджетной сферы [44].

В основу классификации зданий по энергетической эффективности положен уровень относительного отклонения расчетных и нормативных значений удельного расхода теплоты на отопление.

В энергетическом паспорте определена процедура подтверждения соответствия проекта нормативным требованиям и указаны составляющие контроля энергоэффективности в процессе эксплуатации. В случае с частной собственностью энергетический паспорт определяет мотивацию владельцев частных зданий к снижению энергопотребления и подтверждает энергетическое качество здания при оценке его стоимости на рынке жилья. Данный подход описан в работах А.С. Копеца и Р.В. Кишканя (председателя Государственного комитета по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республике) [45].

Анализ энергоэффективности предполагает определение критериев энергоэффективности. Совместно с классическим определением этого термина, энергоэффективностью зданий может выступать сравнение с неким эталоном, или, если его нет – то сравнение зданий друг с другом. Для этого необходимо определить критерии энергоэффективности. Согласно словарю Брокгауза и Ефрона, «критерий — мерило для оценки истинности суждения или факта. Критерием называется такое положение или признак, по которому можно определить истинность или ложность суждения».

Среди всевозможных критериев энергоэффективности общественных зданий в литературе наиболее часто упоминаются следующие:

– Удельное теплopotребление, $\text{Дж}/\text{м}^2$. Данная характеристика показывает отношение потребленного тепла (чаще всего в гДж, иногда в гкал или тоннах условного топлива) к площади отапливаемых помещений. Эта простейшая характеристика, используемая управляющими организациями, показывает, сколько теплоты необходимо зданию в соответствии с площадью отапливаемых помещений. Отчетность для вышестоящих органов формируется именно на основании этой характеристики, что подтверждается работой А.А. Лукьянченко (мэр г. Донецка в 2002—2014 гг.), Г.А. Гришина, С.М. Сафьянца (начальник центра энергоменеджмента Донецкого национального технического университета) [46]. В ряде постсоветских стран она используется для определения лимитов на потребление теплоты. Кроме этого, управляющие организации используют данную характеристику для сравнения общественных зданий друг с другом, что позволяет рассматривать данную характеристику как критерий. Однако недостатком данного критерия является то, что для анализа используется только площадь отапливаемых помещений и не учитываются прочие составляющие, влияющие на потребление теплоты, в том числе и такие, которые не являются статическими и меняются со временем.

– Расчетное значение удельных теплотерь здания $q_{\text{здан}}$, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ или $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$. Данный критерий показывает плановые потери теплоты на отопление здания на протяжении отопительного периода. Он указан в ДБН В.2.6-31:2016 «Тепловая изоляция зданий» в перерасчете на площадь или объем отапливаемых помещений. Разработчиками данной нормы являются Г.Ф. Фаренюк, М.В. Тимофеев, Е.Г. Фаренюк, П.К. Павлюк. Однако недостатком этого критерия является несоответствие данных расчетных значений фактическому состоянию энергоэффективности здания [47].

– Валовый отпуск (потребление) теплоты Q_o , Вт. Критерий представляет собой только показания теплосчетчика, не учитывает все прочее составляющее энергоэффективности, поэтому критерием считаться не может. Однако, если

представить величину валового потребления теплоты с теплосчетчика как функцию, зависящую от температуры окружающей среды (в тот день, когда сняты показания с теплосчетчика), то появляется возможность предложить ее как критерий для сравнения здания самого с собой в разные отопительные периоды при условии, что изоляционные и теплотехнические параметры здания остаются без изменений. Функция величины валового потребления теплоты от температуры окружающей среды может быть назначена линией энергопотребления и нужна, чтобы любую текущую точку сопоставить с этой линией и сделать определенный вывод. В отличие от валового показателя, линия энергопотребления учитывает условия энергопотребления. Данный способ позволяет провести сравнение эффективности потребления тепла различных зданий друг с другом.

Кроме того, сравнение валового отпуска теплоты с расчетным значением может показывать избыток или недостаток выработки теплоты, как показано в работах В.Н. Богословского, А.Н. Сканава [48-50]. Расчетное значение необходимого количества теплоты может быть рассчитано исходя из уравнения

$$Q = q_0 \cdot V_{зд} \cdot (t_{вн} - t_{нар}), \quad (1.3)$$

где Q – теплота, которая теряется зданием в окружающую среду за единицу времени, Вт;

q_0 – удельная отопительная характеристика здания, Вт/(м³·К), принимаемая по СНиП 41-01–2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [51].

$V_{зд}$ – объем здания по наружному обмеру, м³.

$t_{вн}$ – необходимая температура воздуха в помещении, °С;

$t_{нар}$ – температура окружающей среды, °С.

– Удельная отопительная характеристика здания q_0 , Вт/(м³·К), характеризует термическое изменение конструкции. Отопительная характеристика общественных зданий определяется исходя из объема здания по наружному обмеру (таблица 1.1) [52].

Эта характеристика была описана в работе Е.Я. Соколова [53]. Однако на

самом деле характеристика q_0 не является постоянной. Тепловые характеристики здания изменяются под действием различных факторов, как техногенных, так и естественных (инсоляция, внешняя температура, скорость и направление ветра, облачность).

Удельная отопительная характеристика здания q_0 может быть рассчитана на основании фактических значений и позволяет сравнить здания друг с другом и быть показателем уровня энергопотребления.

Таблица 1.1. Удельная отопительная характеристика общественных зданий

Здания	Расчетная температура воздуха в помещениях, $t_{вн}$	Объем здания по наружному обмеру, $V_n, м^3$	Удельная отопительная характеристика, Вт/($м^3K$)	
			отопительная, q_0	вентиляционная, q_v
Школы, высшие и средние специальные учебные заведения	18	<5000	0,45	0,1
		5000-10000	0,41	0,09
		>10000	0,38	0,08

Есть возможность уточнить q_0 на основании обработки физических величин, характеризующих процесс, добавить q_0 как результат адаптации.

Описанный показатель позволяет указать на составляющие, влияющие на теплопотребление здания (окна, ограждающие конструкции и т.д.). Ухудшение данных составляющих, визуализируемое показателем, может происходить плавно, или скачкообразно. Это – количественное выражение класса энергоэффективности, позволяющее ранжировать объекты по показателям теплоэффективности.

Вентиляционная отопительная характеристика в данной работе не рассматривается, поскольку во всех рассматриваемых объектах для анализа вентиляция является естественной и влияние ее изменений не является весомым.

– Параметр отопительной системы Φ_0 , Вт/К. Данный параметр отвечает на вопрос достаточности отопительных приборов для полноценной отопительной нагрузки здания в текущем их состоянии. Данный параметр был описан в работе

В.Е. Козина, Т.А. Левиной, А.П. Маркова и других авторов [54]. Он выражается из уравнений теплового баланса отопительной системы и определяется как отношение потребленного тепла зданием к температурному напору, который обеспечивает система отопления здания. Действительный параметр Φ_0 отопительной системы (который определяет теплоотдачу отопительной системы) определяется в расчетных условиях

$$\Phi_0 = k \cdot F \cdot \left(\frac{t_{\text{вн}} - t_o^p}{t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}} \right)^{0,2}, \quad (1.4)$$

где k – средний коэффициент теплопередачи от воды, циркулирующей в отопительных приборах, к воздуху в помещениях, Вт/(м²·К);

F – площадь теплообменной поверхности отопительных приборов, установленных в здании, м²;

t_o^p – расчетная температура обратного теплоносителя, °С.

При проведении анализа энергоэффективности отопления зданий необходимо, чтобы сравнение производилось при равных условиях. Первые два критерия не дают возможности сравнить здания сами с собой в разные периоды времени в силу разных причин (например, не учитывается температура наружного воздуха), как в разный период, так и между собой. Необходимо выбрать критерии, которые позволят учесть реальные условия.

В результате анализа были рекомендованы критерии, которые позволяют учесть меняющиеся внешние условия: удельная отопительная характеристика здания и параметр отопительной системы, а кроме того предложено величину валового потребления теплоты с теплосчетчика рассмотреть под новым углом как функцию от текущей температуры окружающей среды и тоже предложить ее как базисный критерий для оценки энергоэффективности отопления общественных зданий.

Для качественного анализа энергоэффективности отопления общественных зданий выбранные критерии представляют особый интерес потому, что в качестве

входных данных используются оперативные показания теплосчетчиков и датчиков температуры. До недавнего времени такой анализ был маловозможен, однако с развитием и удешевлением средств автоматического измерения появляется возможность определять эти критерии в режиме реального времени, а значит с более высокой точностью.

1.3 Существующие подходы к повышению уровня энергоэффективности общественных зданий

Общественные здания являются особым классом объектов отопления, потому что находятся в управлении министерств и ведомств, которые централизованно регулируют подачу теплоты. Однако контроль над оптимизацией этого процесса осуществлять довольно затруднительно.

Описанные и выбранные в предыдущем подразделе критерии используются для поиска и выделения проблемных объектов [55-57], для которых могут быть применены энергосберегающие мероприятия.

Наиболее базовыми мероприятиями являются: утепление стен и замена окон. Чаще всего происходит замена устаревших или отработавших свой срок деревянных окон на металлопластиковые. Кроме реконструкции фасадов, окна меняют, в том числе с целью повышения класса энергосбережения. Энергосберегающие характеристики современных окон представлены в таблице 1.2 [58].

В целом, можно отметить, что вопросы энергосбережения зданий с помощью замены окон в литературе рассмотрены достаточно широко [59]. Утепление является более дорогим и качественным мероприятием, что требует определенного подхода к выбору вида, марки, толщины утеплителя. Литературный обзор показал, что для выбора теплоизоляционных материалов используются следующие характеристики – плотность, кг/м^3 , теплопроводность, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$, паропроницаемость, $\text{мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$. Характеристики некоторых теплоизоляционных материалов представлены в таблице 1.3 [60].

Таблица 1.2. Термическое сопротивление оконных профилей различной конструкции

Система	Термическое сопротивление пакета профилей	Коэффициент теплопередачи пакета профилей
	$R, \text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$	$K, \text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$
ПВХ пакет профилей (коробка + створка), включая армирование		
2-х камерная система	0,52	1,9
3-х камерная система	0,59	1,7
4-х камерная система	0,71	1,4
Алюминий		
Профиль с термовставкой	0,40	2,3
Дерево – сосна = 0,18 Вт/м·К		
Толщина коробки $d = 80 \text{ мм}$	0,44	2,3
Толщина коробки $d = 120 \text{ мм}$	0,67	1,5
Дерево – дуб = 0,23 Вт/м·К		
Толщина коробки $d = 80 \text{ мм}$	0,35	2,9
Толщина коробки $d = 120 \text{ мм}$	0,52	1,9

Таблица 1.3. Характеристики некоторых теплоизоляционных материалов

Материал	Плотность, $\text{кг} / \text{м}^3$	Теплопроводность, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$	Паропроницаемость, $\text{Мг} / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$	Эквивалентная толщина, м при сопротивлении теплопередаче = $4,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$	Эквивалентная толщина, м при сопротивлении паропроницанию = $1,6 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$
Минвата	200	0,070	0,49	0,30	0,784
Пенополистирол	33	0,031	0,013	0,13	0,021
Пенополистирол экструдированный	45	0,036	0,013	0,13	0,021
Пенополистирол	150	0,05	0,05	0,21	0,08
Пенополиуретан	80	0,041	0,05	0,17	0,08
Пенополиуретан	30	0,020	0,05	0,09	0,08

Однако, для наиболее оптимального выбора изоляционного материала, кроме знания толщины и теплофизических характеристик материалов конструкций стен, необходимо знать особенности расположения здания и его тепловой режим. Известны случаи утепления фасада только одной стороны здания, либо использование утеплителя с меньшими теплоизоляционными характеристиками как следствие определенного температурного графика подачи теплоносителя.

Для цели получения наиболее рационального технико-экономического эффекта нужен научный инструмент, который рассматривает все параметры здания. Необходимы подходы, которые позволили бы рассмотреть добавление термического сопротивления к ограждающим конструкциям здания как функцию от экономии теплоносителя, чтобы с учетом разной цены и сопротивления утеплителей различных фирм была возможность выбирать рациональные решения и заранее, приступая к реконструкции, видеть – какой будет получен результат.

В Донецкой области имелся опыт мероприятий по экономии энергии за счет организации циклического режима отопления. Режим требует дополнительного исследования и наличия инструмента, который позволяет им управлять.

Для возможности экономии теплоты за счет периодического снижения тепловой нагрузки отопления необходимо создать математическую модель нестационарных тепловых процессов при отоплении зданий, учитывающую нестационарное тепловое состояние ограждающих конструкций.

Известны математические модели теплового режима зданий авторства В. М. Постолатия, С. В. Панферова [61, 62].

Тепловой режим здания может быть описан следующим дифференциальным уравнением

$$k_{B1} \frac{dt_B}{d\tau} + t_B(\tau) = k_{B2} \frac{dt_H}{d\tau} + t_H(\tau) + \frac{W_{co}(\tau)}{q_0 V}, \quad (1.5)$$

где $t_B(\tau)$, $t_H(\tau)$ – соответственно температура воздуха в помещении и температура наружного воздуха, К;

k_{B1} , k_{B2} – соответственно постоянные времени для внутреннего и наружного воздуха;

$W_{co}(\tau)$ – удельная мощность системы отопления, Вт/К;

τ – время;

$q_0 V$ – тепловая характеристика здания, Вт/К.

Однако данная модель не учитывает аккумуляцию ограждающих конструкций и нестационарные процессы, происходящие внутри здания.

Данная модель может быть использована для определения возможности экономии теплоты за счет периодического снижения тепловой нагрузки отопления.

Периодическое снижение тепловой нагрузки отопления – процесс противоречивый, иногда дает положительные результаты, но зачастую не позволяет обеспечить заданные температурные условия. Зарубежные источники, кроме перечисленного, отмечают возможные проблемы со здоровьем, связанные с некачественным регулированием теплоты [63,64].

Периодическое снижение тепловой нагрузки рассматривалось в работах П.А. Стрижак, М.Н. Морозова, Е. Ю. Анисимовой [65, 66]. В случае возможности регулирования теплоснабжения общественных зданий существенную экономию энергоресурсов обеспечивает реализация нестационарного режима отопления, то есть оптимального управления тепловым режимом здания ночью и в выходные дни. Согласно СНиП 41-01–2003 «Отопление, вентиляция, кондиционирование» в жилых, общественных, административно-бытовых и производственных зданиях в нерабочее время температуру воздуха можно поддерживать на более низком уровне, чем в остальные промежутки времени, что дает возможность снизить расход энергии на отопление [67].

1.4 Программно-технические средства для анализа энергоэффективности на основе оперативного сбора и обработки данных

В настоящее время в мире функционирует большое количество программно-технических средств анализа потребления теплоты.

Все программные средства учета энергии можно распределить на две основных группы – программы для персональных компьютеров и Интернет-услуги. Каждая группа имеет свои преимущества и недостатки.

Некоторые версии программ для персонального компьютера могут быть связаны с сервером (многопользовательские программы FASER, METRIX). Такие программы удобны для компаний, которые занимают большие территории, а также для правительственных и муниципальных организаций. Для использования Интернет услуг для учета энергии (Energy Watchdog, EnergyTrax, ENSI), нужна постоянная связь с Интернет.

Большинство из рассмотренных программ ограничиваются только учетом энергоресурсов и составлением отчетности (Utility Manager [68, 69], METRIX [68], Stark Essentials [68] и прочие), однако, некоторые из них позволяют производить анализ (FASER, ENSI и др.).

Виды анализа могут быть самые разные, в зависимости от поставленных задач. Например, Energy Watchdog и EnergyTrax выполняют сравнительный анализ потребления, обладая возможностью сравнивать аналогичные периоды разных лет или разных объектов. Особенностью услуги Energy Watchdog (Pro) является система оплаты, которая зависит от числа счетов, которые пользователь отслеживает в системе.

Особенностью программы Utility Manager является поддержка дерегулированного энергетического рынка. Программа осуществляет поддержку принятия решения о приобретении энергии у тех или иных энергопоставляющих организациях [70].

Кроме этого, дополнительные опции (подпрограммы) фирмы SMR позволяют получать счета по электронной почте от поставщиков коммунальных услуг, взаимодействовать со счетами, которые подлежат оплате, или с системой общего бухгалтерского учета [71].

Программный продукт METRIX обладает возможностью анализировать потребление методом многовариантной линейной регрессии (устанавливая «базовую линию» потребления, с включением в анализ до 5 величин: отопления, охлаждения и трех величин, которые задает пользователь, а так же включать в анализ финансовые показатели управления погодными рисками CDD и HDD [72].

Программа EnergyCAP (FASER) анализирует корреляцию ежедневной температуры, в зависимости от использования энергии, примененную к периоду

базовой линии для уменьшения расхода ресурсов, осуществляет создание виртуальных вспомогательных счетчиков для выставления счетов субпотребителям (аренда и субподрядчики) [71].

Программный продукт EZ Sim позволяет пользователю использовать счета за коммунальные услуги для моделирования потребления ресурсов. Если полученная модель согласовывается со счетами за коммунальные услуги, то такую модель можно использовать для оценки потенциальной экономии энергии. С помощью EZ Sim можно выяснить, каким образом используется энергия в пределах здания для определения причин избыточного потребления энергии или недостаточного функционирования систем здания. EZ Sim может использоваться для прогнозирования будущих счетов, а также устанавливает количественные показатели, при проведении энергоэффективных мероприятий [73].

Система online энергомониторинга ENSI (Норвегия) основана на модели клиентского сервера с использованием инфраструктуры сети Интернет для организации связи между пользователями и базой данных. Для анализа данных система строит диаграмму «энергия-температура» [74].

С помощью программы «Энергоплан» (Украина) формируется база данных всех бюджетных домов в г. Львов. При этом выстраивается иерархическая структура базы данных от уровня города к уровню конкретного оборудования в здании, установленного в одном из домов. «Энергоплан» осуществляет несколько типов учета энергоносителей исходя из данных счетов за коммунальные услуги, исходя из показаний счетчиков и исходя из расчета тепловой мощности установленных приборов [75,76].

Российский программный продукт ЛЭРС УЧЕТ предназначен для мониторинга и архивации, технологического и коммерческого учета параметров теплоты, воды, пара, газа, электроэнергии. В качестве аналитического модуля ЛЭРС УЧЕТ позволяет сравнить фактическое потребление и договорные нагрузки точки учета теплоснабжения и вывести в таблице и графиках как в абсолютных величинах, так и в процентах [77].

Более подробный обзор представлен в приложении А и таблице 1.4.

Таблица 1.4 Обзор программных продуктов анализа энергоэффективности зданий

Наименование	Страна	Поддержка принятия решений	Платформа	Виды анализа	Цена
Utility Manager	США	Отсутствует	СУБД Microsoft Access	Отсутствуют	\$ 2500
METRIX	США	Установка бюджета и лимитов потребления	Прикладное ПО	Многовариантная линейная регрессия	\$ 4995
FASER	США	Формирование бюджета	Прикладное ПО	Анализ корреляции ежедневной температуры	\$ 3995
Stark Essentials Level 1	Великобритания	Формирование бюджета и прогнозирование движения средств	Прикладное ПО	Нет данных	Нет данных
EZ Sim	США	Прогнозирование счетов за коммун. услуги, установление колич. показателей, при проведении энергосберегающих мероприятий	БД Microsoft Excel	Использование счетов за коммунальные услуги для моделирования потребления ресурсов	\$ 299
Energy Watchdog	США	Отсутствует	WEB-интерфейс	Сравнительный анализ потребления	Зависит от кол-ва объектов
EnergyTrax	США	Отсутствует	WEB-интерфейс	Сравнение данных	\$ 700 за 1 объект
ENSI	Норвегия	Отсутствует	WEB-интерфейс	ЭТ-диаграмма	Нет данных
Энергоплан	Украина	Отсутствует	Прикладное ПО	Отсутствуют	250 тыс.грн
ЛЭРС УЧЕТ	Россия	Отсутствует	Прикладное ПО	Сравнение фактического потребления и договорных нагрузок	От 3000 руб за 5 счетчиков

Анализ существующих продуктов выявил недостаток аналитических модулей, позволяющих провести качественный анализ энергоэффективности отопления общественных зданий в режиме реального времени.

Выводы по разделу 1

1. Анализ теплофикации общественных зданий, который отражен в Комплексной программе «Энергосбережение в г. Донецке на 2010-2014 гг.», соавтором которой является автор диссертационной работы, показывает, что 95% школ г. Донецка включены в радиальные тепловые сети (городская застройка). Остальные школы подключены к индивидуальным газовым или угольным котельным (частный сектор).

2. Анализ энергоэффективности предполагает определение критериев энергоэффективности, которые в дальнейшем используются для сравнения с неким эталоном либо друг с другом. Поскольку данные критерии будут использованы не только для анализа, но и для повышения энергоэффективности, они должны отвечать на вопросы оценки эффективности проводимых рациональных энергосберегающих мероприятий. При проведении анализа энергоэффективности отопления зданий необходимо, чтобы сравнение производилось при равных условиях.

3. Обосновано, что для объективного анализа необходимо проводить определение значений критериев энергоэффективности в режиме реального времени. До недавнего времени такой анализ был мало возможен, однако с развитием и удешевлением средств автоматического измерения появляется возможность определять данные критерии моментально с фиксацией теплового режима здания, а значит с более высокой точностью.

4. В качестве основных выбраны следующие критерии, учитывающие температуру наружного воздуха:

– валовый отпуск теплоты Q_0 , кВт, в зависимости от температуры наружного воздуха;

- удельная отопительная характеристика q_0 , Вт/(м³·К);
- параметр отопительной системы Φ_0 , Вт/К.

5. Отбор вышеназванных критериев обусловлен необходимостью выбора критериев, которые могут быть проанализированы с большей точностью на основании сбора данных в режиме реального времени с помощью современных средств автоматизированного сбора данных.

6. Обосновано, что полученные критерии позволяют провести анализ эффективности применения некоторых типовых решений по повышению энергоэффективности зданий. Проанализированы типовые подходы по повышению энергоэффективности зданий. Выявлено, что для выбора рациональных параметров утепления стен необходима разработка соответствующего научного инструмента. Также обосновано, что в дополнительном исследовании нуждается режим наладки работы систем отопления с циклически изменяющимся уровнем тепловой нагрузки.

РАЗДЕЛ 2

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОТЫ
ОБЩЕСТВЕННЫМИ ЗДАНИЯМИ

2.1 Описание процесса получения экспериментальных данных

В первом разделе обосновано, что для качественного анализа энергоэффективности при помощи соответствующих критериев, их необходимо идентифицировать в режиме реального времени с использованием математической модели. Исходя из задач, поставленных в первом разделе, для оперативного анализа повышения энергоэффективности отопления общественных зданий необходимы следующие статические и динамические параметры:

Статические параметры:

1) основные общие инженерные характеристики здания: площадь постройки, общий объем, отапливаемый объем, отапливаемая площадь, этажность, периметр, высота, длина здания по пяти сторонам, которые подвержены инсоляции [78]: южной, юго-восточной, юго-западной, восточной, западной.

2) температура подаваемого и обратного теплоносителя в системе теплоснабжения объекта в соответствии с календарным графиком;

3) теплофизические свойства ограждающих конструкций.

Динамические параметры:

- 1) дата и время замера;
- 2) наработка счетчика;
- 3) общее количество потребленного тепла;
- 4) мгновенное теплopotребление;
- 5) накопленный расход теплоносителя тепла;
- 6) мгновенный расход теплоносителя;
- 7) температура теплоносителя из тепловой сети;
- 8) температура теплоносителя, уходящего в тепловую сеть;
- 9) средняя температура воздуха в рабочей зоне здания;

10) температура наружного воздуха.

Для анализа был осуществлен сбор данных о территориальном расположении, температурном режиме и потреблении теплоты зданиями бюджетной сферы при обосновании и соблюдении необходимого метрологического сопровождения. Для сбора статистических параметров используются паспорта зданий, карты солнечной активности [79] и информация теплоснабжающих организаций.

Что касается динамических параметров, то организационно в разных зданиях измерение данных проводилось двумя различными способами:

- измерение температуры наружного воздуха и температуры внутреннего воздуха в рабочей зоне расчетных помещений (с помощью ртутного термометра) с привлечением обслуживающего персонала и ежедневный съем данных с теплосчетчика с переносом в автоматизированную систему [80] сбора и анализа данных;

- автоматический сбор данных температур наружного и внутреннего воздуха, а так же данных теплосчетчика с сохранением результатов измерений в автоматизированную систему сбора и анализа данных.

В случае ручного измерения, температура наружного воздуха и в помещении измеряется термометром расширения стеклянным жидкостным этаноловым. Действие термометров расширения основано на изменении объема жидкостей и твердых тел при изменении температуры. Термометры заполняются жидкостью (ртуть, толуол, этиловый спирт и др.), которая с увеличением температуры расширяется и поднимается вверх по капилляру [81]. Термометрические показатели этанола представлены в таблице 2.1.

Методика измерения температуры рассмотрена в соответствующем стандарте [82]. Несмотря на то, что данный стандарт обязует использование психрометрической будки, более реалистичная методика предписывает измерять температуру окружающего воздуха ежедневно в одно и то же время (обычно около 9:00), отойдя от наружной стены здания минимум на пять метров, держа термометр на расстоянии вытянутой руки.

Таблица 2.1. Термометрические показатели этанола

Средняя температура, °С:	затвердевания	-114,4
	кипения	78
Пределы применяемой температуры, °С:	нижний	-80
	верхний	70
Средний температурный коэффициент объемного расширения, 105K-1:	действительный	105
	видимый по прибору	103

Для измерения температуры воздуха в рабочей зоне помещения используется ГОСТ 30494-2011 «Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [83]. Согласно описанной в стандарте методике, термометры устанавливаются по возможности на высоте 1,5 м от пола, вдали от холодных наружных ограждений и оборудования, излучающего тепло, и вне зоны действия приточных струй и солнечных лучей. Резервуары термометров должны свободно омываться воздухом. В [83] указано, в каких комнатах измерять температуру в помещении, однако на практике пользуются усредненным методом, согласно которому замер температуры производят единоразово во всех отапливаемых помещениях (комнатах, коридорах), определяют помещение, температура в котором наиболее близка к средней, и в дальнейшем производят изменение температуры только в этом помещении.

Информация о количестве отпущенной теплоты получена с помощью теплосчетчиков с соблюдением метрологических норм и требуемых классов точности. Все рассматриваемые теплосчетчики комплектуются тепловычислителем. Тепловычислителем называется прибор, который высчитывает и показывает количество потреблённой теплоты на основании разницы температур теплоносителя и его расходе. При сборе данных о потреблении теплоты использовались следующие типы тепловычислителей, которые представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Типы используемых тепловычислителей в процентах использования

Тип тепловычислителя	Процент использования, %
SONOCAL	43
MULTICAL	39
X 12	12
INFOCAL	6

Все расходомеры, входящие в состав теплосчетчиков, относятся к ультразвуковым, с классами точности: 2, 3. Они измеряют расход ультразвуковым время-импульсным методом [84].

В состав теплосчетчиков входят комплекты первичных преобразователей температуры Pt100 (Pt500), которые устанавливаются следующим образом: в подающий и обратный трубопровод системы теплоснабжения вваривается стакан на глубину не более радиуса трубы, который заполняют маслом. В данный стакан помещается преобразователь температуры [85].

На основании данных, полученных от датчиков температуры, производят расчет объема теплоносителя и отпущенного им тепла. Тепловычислитель предоставляет следующие данные для анализа:

- наработка счетчика в часах;
- общее количество потребленного тепла;
- мгновенная тепловая мощность;
- накопленный расход теплоносителя тепла;
- мгновенный расход теплоносителя;
- температура подающего теплоносителя;
- температура обратного теплоносителя.

Все вышеперечисленные данные записываются в журнал учета, куда, кроме показаний, снятых с тепловычислителя, входят: температура в рабочей зоне здания и температура наружного воздуха. Измерения проводятся каждый день в рабочее время с 9:00 до 10:00 соответствующим сотрудником – заведующим по хозяйственной части.

Схема измерения температуры и показаний тепловычислителя в ручном режиме представлена на рисунке 2.1.

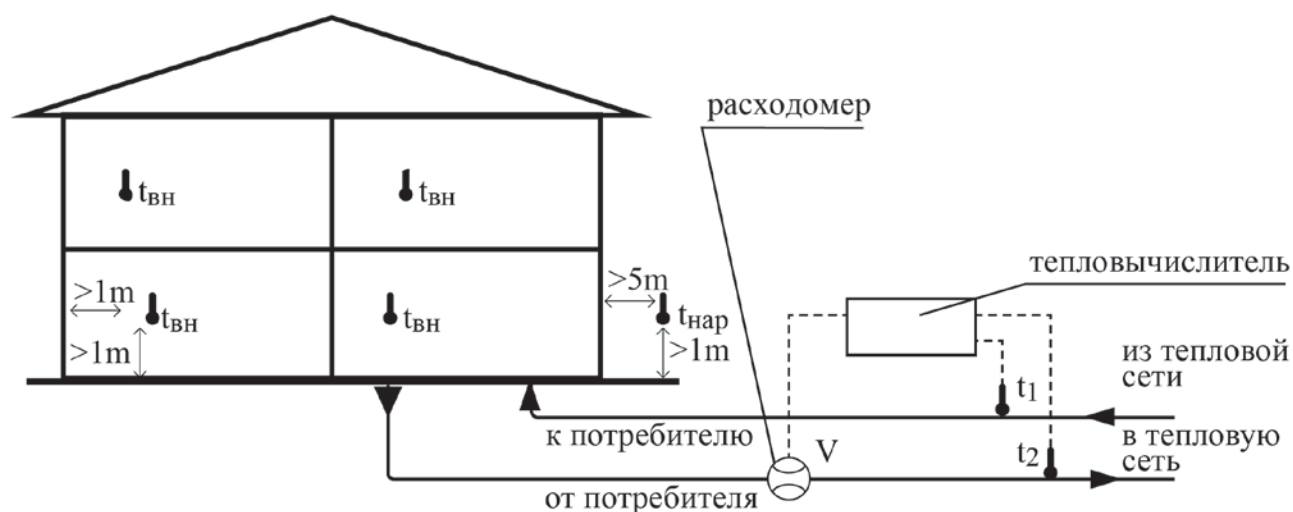


Рисунок 2.1 – Схема фиксации динамических параметров техническими средствами мониторинга в ручном режиме:

$t_{вн}$ – температура воздуха в помещении;

$t_{нар}$ – температура наружного воздуха;

t_1 – температура подаваемого теплоносителя;

t_2 – температура обратного теплоносителя;

V – объем теплоносителя.

В случае когда общественное здание снабжено автоматизированным измерительным постом, данные поступают в режиме реального времени.

Были проанализированы некоторые схемы автоматизированного сбора и передачи данных [86].

В состав автоматизированного измерительного поста входят:

- аналоговые датчики измерения температуры LM335с диапазоном измерения от -40 до $+100^{\circ}\text{C}$, с погрешностью измерения $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ [87];
- тепловычислитель;
- контроллер со встроенным аналогово-цифровым преобразователем (АЦП);
- промышленный миникомпьютер;
- ADSL-модем;

- 5-ти портовый свитч;
- источник бесперебойного питания.

В процессе работы разработана технологическая схема экспериментального образца и обобщенная структура аппаратных средств системы. В соответствии со схемой работы данные температуры и показаний тепловычислителя поступают на контроллер, который производит ее предварительную обработку, формирует посылку и отправляет данные на промышленный миникомпьютер. Промышленный миникомпьютер окончательно обрабатывает информацию с контроллера и отправляет пакет данных.

Технологическая схема измерительного поста представлена на рисунке. 2.2.

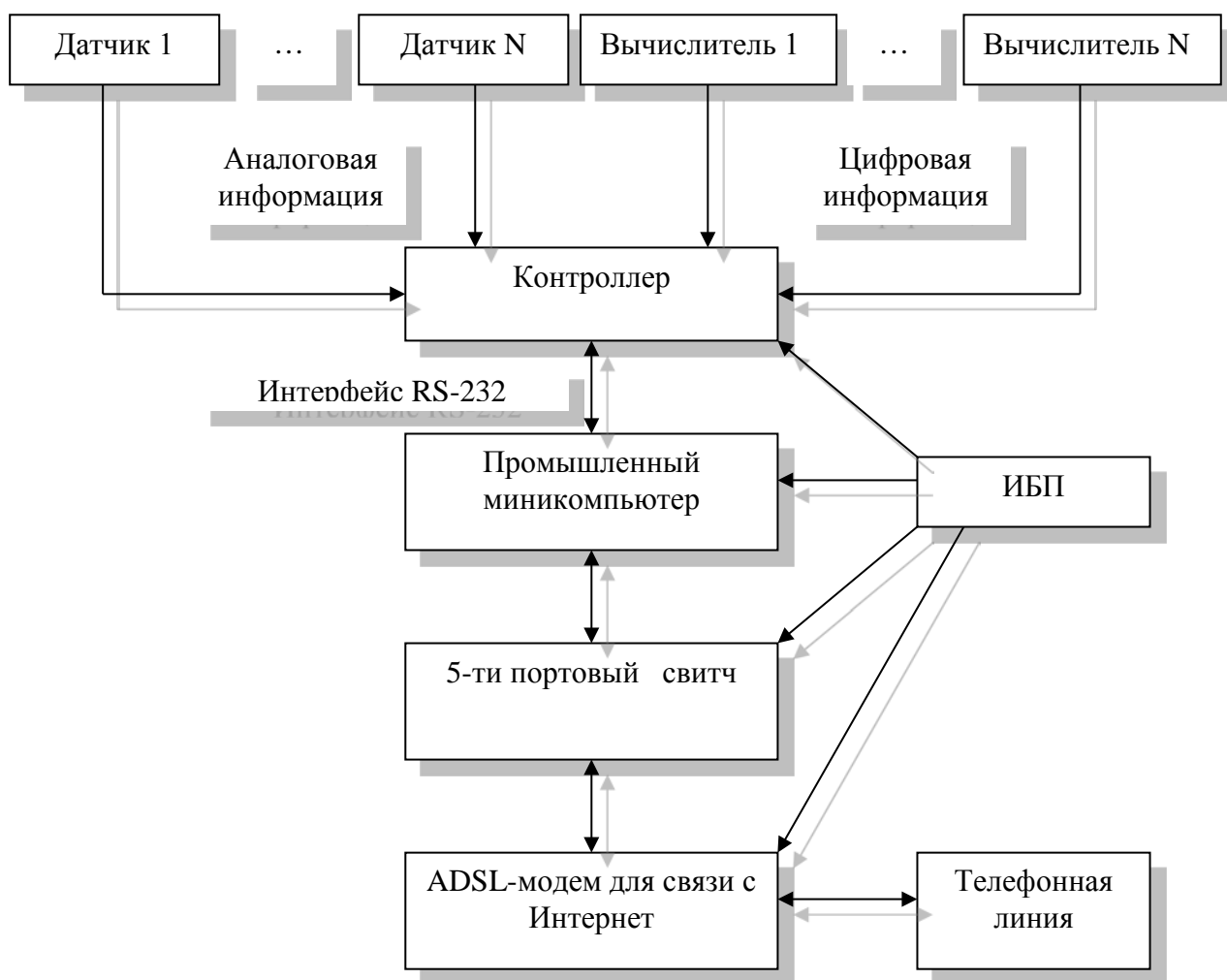


Рисунок 2.2. Структурная схема измерительного поста

Схема измерения температуры и показаний тепловычислителей в автоматическом режиме с помощью автоматизированного измерительного поста представлена на рисунке 2.3. Опционально датчики температуры, измеряющие температуру в наиболее далеко отстоящих комнатах могут комплектоваться контроллером беспроводной связи.

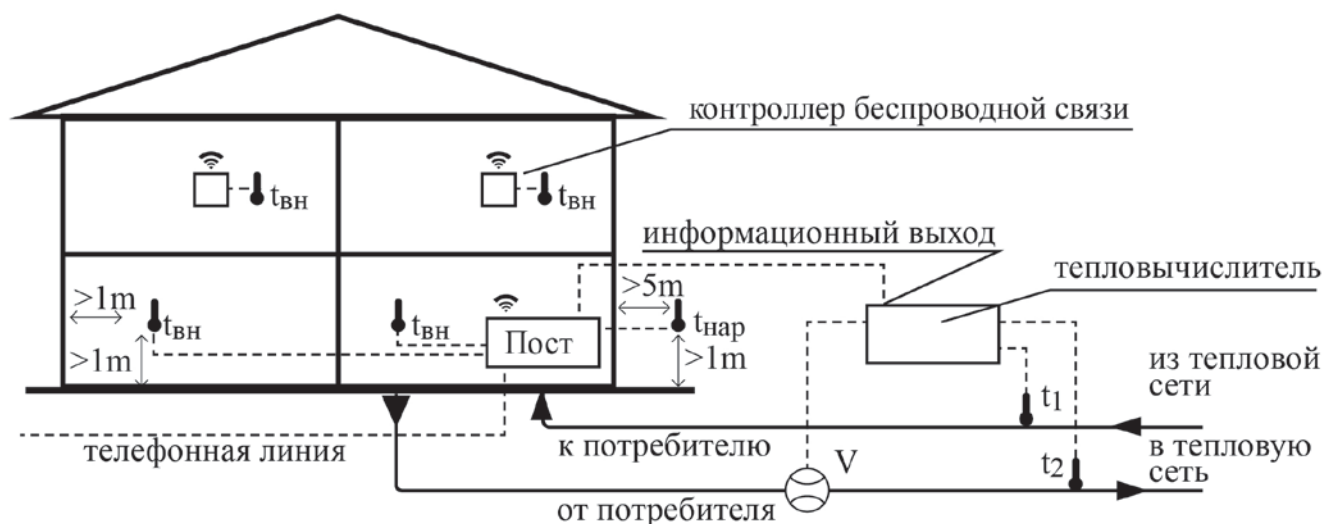


Рисунок 2.3 – Схема фиксации динамических параметров техническими средствами мониторинга в автоматическом режиме:

$t_{вн}$ – температура воздуха в помещении;

$t_{нар}$ – температура наружного воздуха;

t_1 – температура подаваемого теплоносителя;

t_2 – температура обратного теплоносителя;

V – объем теплоносителя.

Полученные данные были собраны и обработаны. Данная методика получения экспериментальных данных температуры и потребления тепла общественными зданиями в реальном времени использована для анализа энергоэффективности потребления теплоты зданием в нестационарном режиме с определением рациональных параметров изоляционных материалов для утепления здания.

2.2 Критерии анализа энергосбережения общественных зданий

Для качественного анализа энергосбережения общественных зданий необходимо проводить измерения в режиме реального времени. В предыдущем подразделе был рассмотрен процесс получения экспериментальных данных температуры и потребления тепла общественными зданиями в реальном времени. До недавнего времени такой анализ был мало возможен, однако с развитием и удешевлением средств автоматического измерения появляется возможность определять данные критерии моментально с фиксацией теплового режима здания [88], а значит с более высокой точностью.

В качестве основных критериев, учитывающих температуру наружного воздуха, в разделе 1 были выбраны следующие критерии:

- валовый отпуск теплоты Q_0 , кВт/ч, в зависимости от температуры наружного воздуха;
- удельная отопительная характеристика q_0 , Вт/(м³·К);
- параметр отопительной системы Φ_0 , Вт/К.

2.2.1. Анализ валового отпуска теплоты

Анализ валового потребления теплоты и сравнения действительной и расчетной тепловой нагрузки строится на основании теплового баланса здания, который выражается следующими уравнениями

$$Q_1 = q_0 \cdot V_{зд} \cdot (t_{вн} - t_{нар}), \quad (2.1)$$

где Q_1 – тепловой поток, который теряется зданием в окружающую среду, кВт;

q_0 – удельная отопительная характеристика здания, Вт/(м³·К);

$V_{зд}$ – объем здания по наружному обмеру, м³;

$t_{вн}$ – температура воздуха в помещении;

$t_{нар}$ – температура наружного воздуха.

Компенсация этих потерь осуществляется за счет подачи теплоты из тепловой сети

$$Q_2 = G \cdot c \cdot (\tau_1 - \tau_2), \quad (2.2)$$

где G – расход воды в сети отопления, кг/с;

c – теплоемкость воды, кДж/(кг·К), в рабочем интервале температур изменяется незначительно и может приниматься равной 4,187 кДж/(кг·К).

Для передачи тепла непосредственно в помещениях здания используются отопительные приборы (радиаторы, конвекторы) [89]. Тепло, передаваемое отопительными приборами, определяется выражением

$$Q_3 = k \cdot F \cdot \Delta t_{\text{ср}}, \quad (2.3)$$

где k – средний коэффициент теплопередачи от воды, циркулирующей в отопительных приборах к воздуху в помещениях, Вт/(м²·К);

F – площадь теплообменной поверхности отопительных приборов, установленных в здании, м²;

$\Delta t_{\text{ср}}$ – среднелогарифмический температурный напор между отопительными приборами и воздухом помещений.

В стационарном режиме, при отсутствии дополнительных внутренних источников тепловыделения, прогрета помещений за счет инсоляции и т.д.

$$Q_1 = \eta \cdot Q_2 = Q_3, \quad (2.4)$$

где η – коэффициент полезного действия отопительной системы.

Поскольку тепловой счетчик фактически фиксирует тепло, отдаваемое отопительными приборами с учетом передачи тепла от труб внутреннего отопительного контура (а оно также может быть учтено в формуле (2.4)), то в любом режиме

$$\eta \cdot Q_2 = Q_3. \quad (2.5)$$

Тепловыделениями человеческих тел и бытовых электроприборов можно пренебречь [90]. В случае необходимости учета этой величины, она определяется по формуле

$$Q_{\text{ТВ}} = q_0^{\text{табл}} \cdot V_{\text{зд}} \cdot (t_{\text{вн}} - t'_{\text{вн}}), \quad (2.6)$$

где $t'_{\text{вн}}$ – средняя температура в здании, которую создает система отопления без учета внутренних источников тепла.

Значение $q_0^{\text{табл}}$ является константой. Значения $q_0^{\text{табл}}$ выбираются из таблиц в справочниках или нормативной литературе. Критериями выбора являются:

- тип и назначение здания;
- год постройки здания (только для жилых зданий);
- объем здания по наружному обмеру [91, 92].

Следующим этапом является определение расчетной (необходимой) отопительной нагрузки здания, в зависимости от температуры наружного воздуха

$$Q_0^{\text{р}} = q_0^{\text{табл}} \cdot V_{\text{зд}} \cdot (t_{\text{вн}}^{\text{р}} - t_{\text{нар}}^{\text{тек}}), \quad (2.7)$$

где $t_{\text{вн}}^{\text{р}}$ – расчетная температура в здании, °С;

$t_{\text{нар}}^{\text{тек}}$ – текущая температура наружного воздуха, °С.

Сравнение расчетной (необходимой) отопительной нагрузки здания с фактическим отпуском теплоты, который фиксируется теплосчетчиком, является частью анализа, представленного в диссертационной работе.

Валовый отпуск теплоты, систематизированный в зависимости от температуры наружного воздуха (тепловая нагрузка здания), представляет собой облако точек с трендом в виде обратно пропорциональной кривой. Анализ расположения точек относительно базовой линии (сравнение точек друг с другом,

Рис. 2.4) или базовых линий одного здания для разных отопительных периодов (Рис. 2.5) позволяет определять изменение теплотехнических характеристик ограждающих конструкций. В случае проведения энергосберегающих мероприятий появляется возможность выполнения количественной оценки полученного результата в натуральном или экономическом показателях (в случае проведения энергосберегающих мероприятий базовая линия опустится ниже).

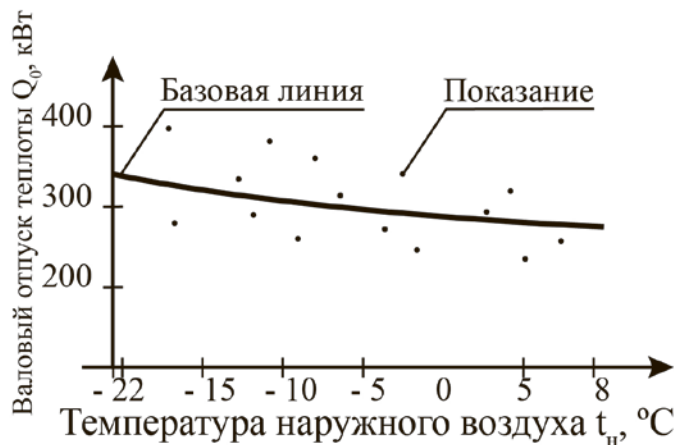


Рисунок 2.4 Значения валового отпуска теплоты Q_0 , систематизированные относительно температуры наружного воздуха для одного здания

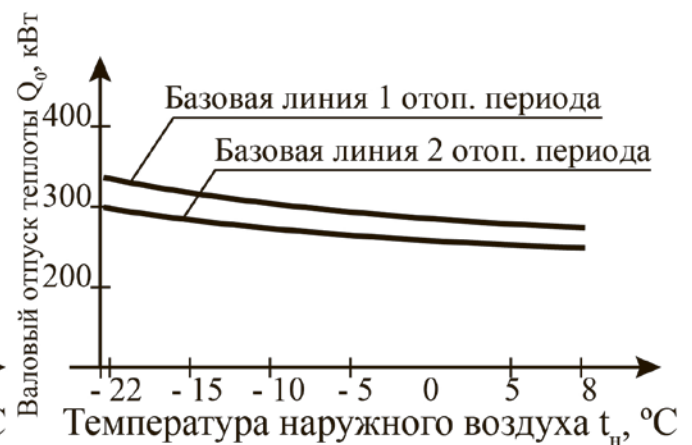


Рисунок 2.5 Значения валового отпуска теплоты Q_0 для двух отопительных периодов

Для того чтобы поставить точку одного дня проведенного эксперимента на графике, нужно убедиться, что система находится в стационарном режиме. Это предполагает, что в пределах промежутка измерения температура была стабильной (квазиравновесный случай – сумма теплопритоков равна сумме потерь). Но на практике за диапазон измерения – 1 день (рабочие дни) или 3 дня (с пятницы до понедельника), – температура меняется. Аккумуляцию изменения температуры необходимо учитывать уравнениями математической статистики и относительной погрешностью.

На рисунке 2.6 треугольниками показана область возможной недостаточной подачи теплоносителя и возможной чрезмерной подачи теплоносителя. Чем ниже температура окружающего воздуха, тем сильнее расхождение между расчетной и действительной тепловой нагрузкой в сторону недоподачи тепла, чем выше

температура окружающего воздуха, тем сильнее расхождение между расчетной и действительной тепловой нагрузкой в сторону чрезмерной подачи теплоносителя.

Данный анализ отталкивается от качественного выбора удельной отопительной характеристики общественных зданий по таблицам соответствия удельной отопительной характеристики общественных зданий их объему [93]. Если удельная отопительная характеристика, указанная в таблице, точно соответствует выбранному зданию, либо была правильно выбрана из таблицы, то действительная и расчетная нагрузка здания должны соответствовать друг другу. Пример анализа сравнения расчетной и действительной тепловой нагрузки представлен на рисунке 2.6.

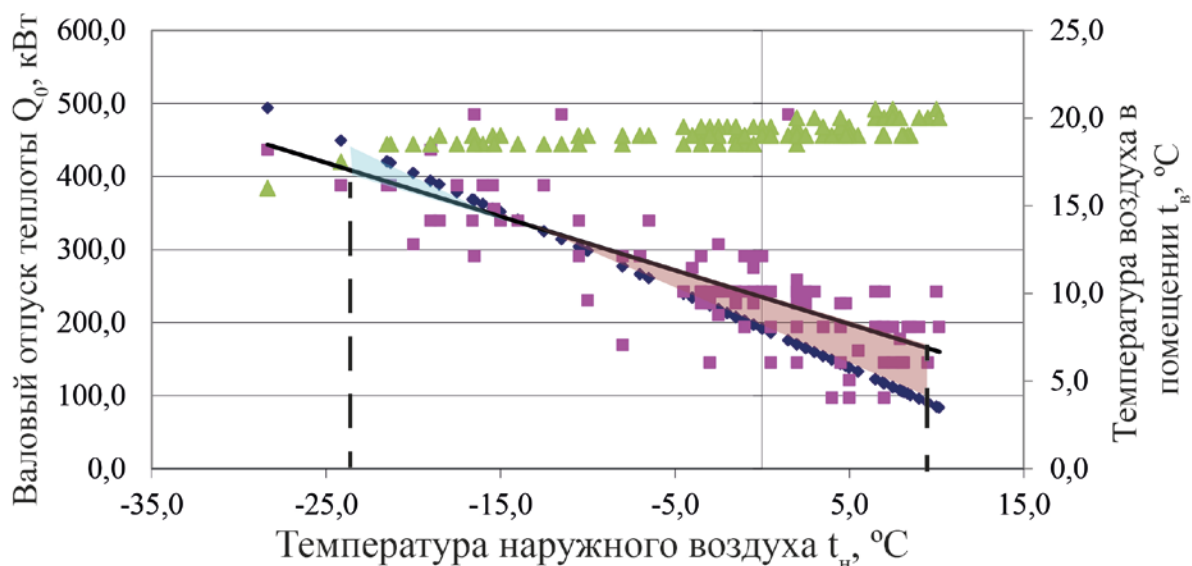


Рисунок 2.5 Графики распределения нагрузки отопления. Пример сравнения действительной и расчетной тепловой нагрузки за один отопительный период:

- — действительная тепловая нагрузка по счетчику (зависимость среднесуточной тепловой нагрузки от температуры наружного воздуха);
- ◆ — расчетная тепловая нагрузка здания (зависимость необходимой нагрузки от температуры наружного воздуха);
- — область недостаточной подачи теплоносителя (слева);
- — область чрезмерной подачи теплоносителя (справа);
- ▲ — температура воздуха в помещении.

Данный критерий будет участвовать в анализе энергоэффективности отопления общественных зданий, который будет рассмотрен в разделе 3.

2.2.2 Идентификация тепловых характеристик здания на основе удельной отопительной характеристики.

На территории СССР здания возводились по типовым проектам, и их тепловые характеристики тоже были типовыми, что позволяло однозначно оценивать качество отопительной системы. Но в современных условиях использования зданий реальность такова, что их тепловые характеристики меняются стохастически, вследствие естественных нарушений ограждающих материалов и последующих за этим различных энергосберегающих мероприятий (замена окон, утепление стен и прочее). Как было указано в пункте 2.2.1, q_0 является отопительной характеристикой здания и табличной величиной. Однако ее можно идентифицировать из уравнений теплового баланса.

Характеристика q_0 не является постоянной. Тепловые характеристики здания изменяются под действием различных факторов, как техногенных, так и естественных (инсоляция, внешняя температура, скорость и направление ветра, облачность).

Есть возможность уточнить q_0 на основании обработки физических величин, характеризующих процесс, добавить q_0 как результат адаптации.

Рассмотренный показатель позволяет указать на составляющие, влияющие на теплотребление здания (окна, ограждающие конструкции и т.д.). Ухудшение отопительной характеристики здания, визуализируемой показателем, может происходить плавно, или скачкообразно.

Отношение данного показателя к температуре окружающей среды представляет собой линию, которая будет назначена линией энергопотребления для сопоставления любой текущей точки с этой линией и возможности сделать определенный вывод. Линия энергопотребления учитывает условия энергопотребления, в отличие от валового показателя. Данный способ позволяет

провести сравнение зданий друг с другом. Это – количественное выражение класса энергоэффективности, позволяющее ранжировать объекты по показателям теплоэффективности.

Сопоставление значений q_0 идентифицированных по предложенному способу могут быть сопоставлены с соответствующими табличными значениями этой величины, что позволит сделать вывод о точности справочной информации применительно к конкретному объекту. Использование неточных значений q_0 определяет неточность нормирования теплоты по формуле 2.7. Это значит, что тепловой баланс здания, который должен сходиться при внутренней расчетной температуре, всё равно сойдется, но внутренняя текущая температура будет изменяться, до тех пор, пока уравнение баланса не сойдется (пока теплоступления не станут равны тепловым расходам). То есть, в расчетах будет получена большая температура, а на практике будет получена меньшая температура воздуха в помещении, и будут нарушены комфортные условия жизнедеятельности. А, следовательно, q_0 представляет собой линию энергопотребления здания – как зависимость характеристики от внешних факторов

$$q_0^{\text{факт}} = \frac{Q_0}{V_{\text{зд}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})}, \quad (2.8)$$

где $q_0^{\text{факт}}$ – фактическая удельная отопительная характеристика здания, Вт/(м³·К).

Стандарт ISO 50001 «Системы энергоменеджмента. Требования с руководством по применению» предписывает строить линии энергопотребления и на их основе судить о энергоэффективности, ведь в энергоэффективности важно сравнение с каким-либо эталоном (с установленной нормой), а не просто фактическое потребление. Данная линия энергопотребления является эталоном. Для идеальных условий данная линия имеет вид прямой, ориентированной горизонтально [94]. Пример получения уровня энергопотребления при анализе

способа идентификации тепловых характеристик различных зданий представлен на рисунке 2.6.

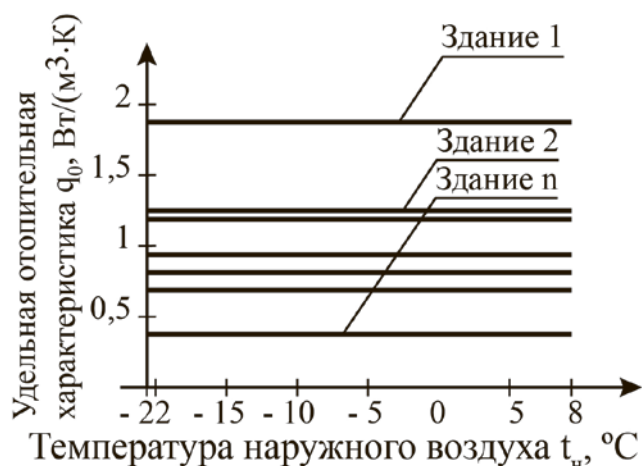


Рисунок 2.6 Сравнение уровней энергопотребления различных зданий

Данный критерий будет участвовать в анализе энергоэффективности отопления общественных зданий, который будет рассмотрен в разделе 3.

2.2.3 Анализ характеристик отопительной системы

В литературе [95] описаны тепловые характеристики теплообменных аппаратов отопительной системы.

Тепло, передаваемое отопительными приборами, определяется выражением

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{\text{ср}}, \quad (2.9)$$

где k — средний коэффициент теплопередачи от воды, циркулирующей в отопительных приборах к воздуху в помещениях, Вт/(м²·К) или ккал/(ч·м²·К);

F — площадь теплообменной поверхности отопительных приборов, установленных в здании, м²;

$\Delta t_{\text{ср}}$ — среднелогарифмический температурный напор между отопительными приборами и воздухом помещений.

Для отопительных приборов справедливо выражение

$$k \cdot F = \Phi \sqrt{W_M W_6}, \quad (2.10)$$

где Φ – параметр отопительных приборов системы отопления, Вт/К, для каждого прибора величина практически постоянная;

W_M и W_6 – меньший и больший эквиваленты расхода сетевой воды, поступающей в смесительное устройство узла ввода, Вт/К.

Вычисление этого параметра производится из уравнений теплового баланса отопительной системы. Новизна работы заключается в том, что этот критерий динамически определяется на основании оперативной обработки данных. К примеру, если потребление теплоты растет, то исследование параметра отопительных приборов системы отопления позволит ответить на вопрос об изменении качества ограждающих конструкций (при проверке условия соблюдения температуры воздуха внутри помещений). Особенностью критерия Φ_0 является то, что данный критерий позволяет уйти от необходимости отслеживания изменения температуры окружающей среды.

Процесс передачи теплоты через отопительные приборы определяется теплоотдачей к внутренней поверхности прибора, теплопередачей через его стенку, и теплоотдачей от наружной поверхности прибора [96]. Если начинается выпадение отложений на внутренней поверхности прибора, коэффициент теплопередачи снижается. Представляется возможным определить и его фактическое значение при снижении теплопередачи.

Действительный параметр Φ_0 отопительной системы, (который определяет теплоотдачу отопительной системы) определяется в расчетных условиях

$$\Phi_0 = k \cdot F \cdot \left(\frac{t_{вн} - t_{нар}^p}{t_{вн} - t_{нар}} \right)^{0,2}, \quad (2.11)$$

где $t_{нар}^p$ – расчетная температура наружного воздуха, °С.

При этом отопительная система должна быть в состоянии нормальной эксплуатации. В таком случае Φ_0 будет постоянной величиной в любом режиме и

при любых температурных условиях. Снижение данной характеристики в дальнейшем будет свидетельствовать о необходимости проведения профилактических или ремонтных работ (засорении отопительных приборов и необходимости их промывки или ревизии).

Исходя из раздела 2.2 расчетная (необходимая) отопительная нагрузка здания определяется

$$Q'_0 = q_0 \cdot V_{зд} \cdot (t_{вн} - t_o^p), \quad (2.12)$$

далее находится параметр Φ'_0 отопительной системы в расчетных условиях, который необходим для расчета отопительной нагрузки здания

$$\Phi'_0 = \frac{Q_0}{\Delta t_{ср}^p}, \quad (2.13)$$

где $\Delta t_{ср}^p$ – температурный напор, который должна создать система отопления здания в расчетных условиях, °С.

При сравнении действительного значения Φ_0 , определенного по формуле (2.11) с необходимым расчетным Φ'_0 (2.13) можно сделать некоторые выводы:

1) если $\Phi_0 < \Phi'$, то существующей поверхности отопительных приборов недостаточно для полноценной отопительной нагрузки здания, даже если тепловая сеть будет строго выполнять проектный температурный график. При этом отклонение уже на 10% является критическим, при котором увеличив расход теплоносителя в допустимых пределах невозможно добиться необходимого увеличения температурного напора. Частными случаями снижения Φ_0 могут быть: загрязнение, гидравлическая разбалансировка отопительного контура, загромождение отопительных приборов и т. д.;

2) если $\Phi_0 > \Phi'$, то отопительная система здания имеет достаточную тепловую мощность для удовлетворения расчетной нагрузки и возможен переход

на пониженный температурный график по отношению к проектному, или снижение расхода теплоносителя относительно проектного значения.

Делать вывод о том, что тепловая сеть недодает или дает с избытком тепловую энергию для отопления здания можно лишь на основании анализа температурного графика тепловой сети с учетом индивидуального расхода теплоносителя на заданный объект.

Однако, учитывая специфику работы тепловой сети, отклонение от проектного температурного графика нельзя заранее считать нарушением, и, соответственно, делать вывод о недостаточной или чрезмерной подаче теплоносителя. Так, если действительные характеристики зданий и их отопительных систем отличаются от проектных значений, (а это чаще всего так и происходит, так как системы проектируются с определенным запасом), или они изменились в процессе эксплуатации, возникает необходимость корректировки температурного графика. Температура сетевой воды в подающей линии для всех потребителей примерно одинакова (для удаленных потребителей она снижается из-за тепловых потерь в сети). В то же время температура в обратной линии может существенно отличаться для разных потребителей в зависимости от индивидуальных характеристик их отопительных систем. При наладке тепловой сети, нагрузки потребителей корректируются расходами теплоносителя.

На основании определенных выше параметров системы отопления и характеристики здания можно произвести расчет индивидуального температурного графика для каждого здания. Далее, сравнивая действительные значения параметров сетевой воды с полученным индивидуальным графиком, можно делать вывод о дефиците или избытке теплоты, подаваемой из тепловой сети. Пример сравнения фактического, паспортного и расчетного параметра Φ_0 системы отопления представлен на рисунке 2.7.

Данный критерий будет участвовать в анализе энергоэффективности отопления общественных зданий, который будет рассмотрен в разделе 3.

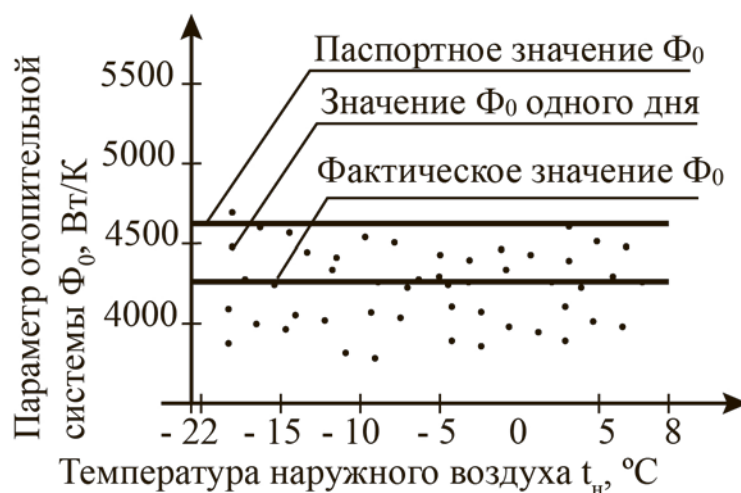


Рисунок 2.7 Сравнение фактического и паспортного параметра Φ_0 системы отопления

2.3 Определение рациональных параметров утепления стен здания на основании экспериментальных данных

Рассмотренные в предыдущем подразделе критерии необходимы для анализа, результатом которого является определенные энергосберегающие мероприятия для определенных общественных зданий.

Базовыми мероприятиями являются: утепление ограждающих конструкций и замена окон. Литературный обзор показал, что процесс замены окон изучен достаточно хорошо, а утепление является более дорогим и качественным мероприятием, требующим определенного подхода к выбору вида, марки, толщины утеплителя [97, 98]. С целью получения наиболее рационального технико-экономического решения создан научный инструмент.

На практике чаще всего общественные здания имеют однослойную ограждающую конструкцию (кирпич, бетон). В таком случае имеют место три термических сопротивления:

- термическое сопротивление теплопередаче тепла от воздуха к внутренней поверхности конструкции;
- термическое сопротивление ограждающих конструкций;
- термическое сопротивление теплоотдаче в окружающую среду.

Для того чтобы уменьшить количество теплоты, необходимо увеличить сопротивление системы за счет увеличения термического сопротивления ограждающих конструкций. Для этого используются теплоизоляционный материал с коэффициентом теплопроводности существенно меньше, чем коэффициент теплопроводности базовой конструкции. При добавлении к конструкции теплоизолятора небольшой толщиной существенно увеличивается сопротивление [99, 100].

Термическое сопротивление многослойных ограждающих конструкций определяется по формуле

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (2.14)$$

где R – термическое сопротивление, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$;

δ_i , λ_i – толщина (м) и коэффициент теплопроводности от наружной и внутренней поверхности стен, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ i -го слоя соответственно.

Плотность теплового потока через стену, определяется по формуле

$$q_{\text{пот}} = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}}}, \quad (2.15)$$

где $q_{\text{пот}}$ – плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$\alpha_{\text{вн}}$ – значение коэффициента теплоотдачи к внутренним поверхностям стен, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$\alpha_{\text{нар}}$ – конвективная составляющая коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности стен, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Задача оптимизации утепления состоит в том, чтобы подобрать необходимый теплоизоляционный материал, не только удовлетворяющий условиям для определенного общественного здания, но и наиболее экономичный.

А значит, выбрать из всей широкой номенклатуры марок, толщины и характеристик наиболее оптимальный теплоизоляционный материал [101].

Предлагается следующий подход к выбору наиболее оптимального теплоизоляционного материала. Вводится понятие вектора добавленных сопротивлений $R_{доб}$, который участвует в расчете плотности теплового потока. На основании данных о фактической температуре наружного воздуха и температуре воздуха внутри помещений, а так же данных ограждающих конструкций, к расчету циклически добавляется вектор добавленных сопротивлений. В таком случае, плотность теплового потока является функцией добавленного сопротивления

$$q_{пот} = f(R_{доб}). \quad (2.16)$$

На каждом шаге добавления сопротивления проверяется, будет ли плотность теплового потока удовлетворять необходимому условию утепления определенного общественного здания.

Окончательно расчет плотности теплового потока выглядит следующим образом

$$q_{пот} = \frac{t_{вн} - t_{нар}}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_{доб} + \frac{1}{\alpha_{нар}}}, \quad (2.17)$$

где $R_{доб}$ – добавленное термическое сопротивление, $(м^2 \cdot К)/Вт$.

С ростом сопротивления тепловые потери снижаются, но закон изменения тепловых потерь убывает по обратно экспоненциальной форме. При дальнейшем увеличении сопротивления результат все менее эффективен. С одной стороны уменьшаются теплопотери, с другой стороны растут экономические затраты на утеплитель. Экономическая кривая носит экстремальный характер. У кривой будет минимум, который будет достигнут при оптимальном значении теплового сопротивления. Вид функции добавления термических сопротивлений представлен на рисунке 2.8.

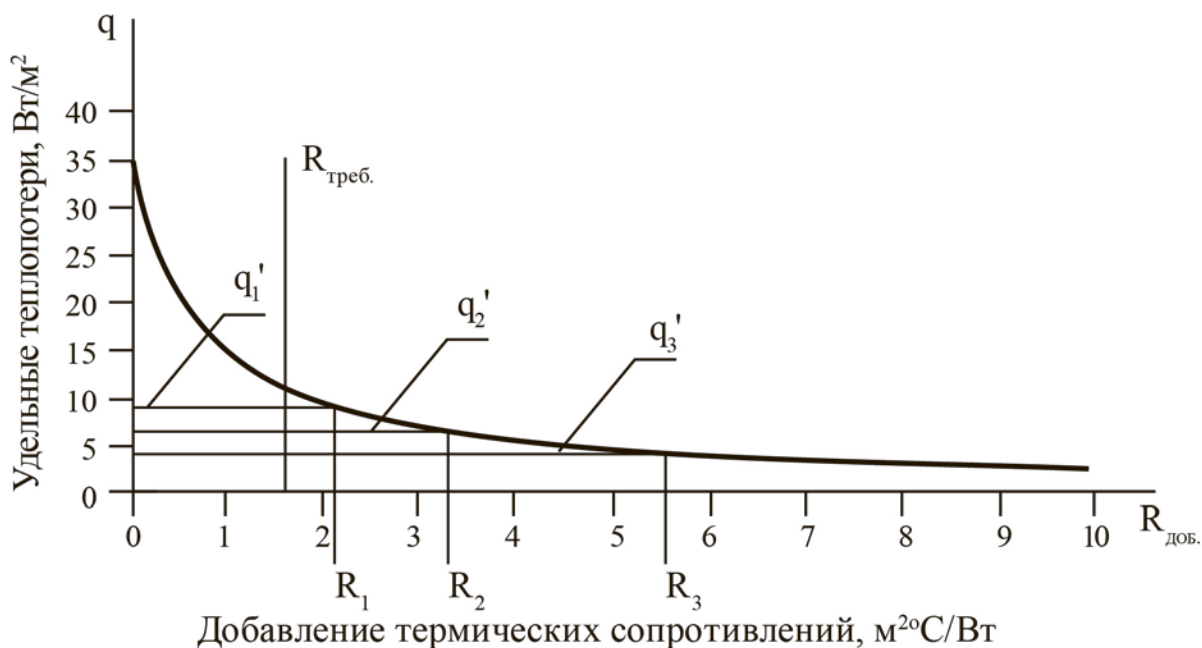


Рисунок 2.8 Функция добавления термических сопротивлений:

$Q_{э1}, Q_{э2}, Q_{э3}$ – сэкономленная энергия вследствие утепления тем или иным теплоизоляционным материалам вследствие изменения плотности теплового потока по формулам (2.19-2.21), Вт;

q'_1, q'_2, q'_3 – плотности теплового потока вследствие утепления изолятором с тем или иным добавленным термическим сопротивлением, Вт/м²

$$R + R_{доб} = R_{треб}; \quad (2.18)$$

$$Q_{э1} = (q - q'_1)F; \quad (2.19)$$

$$Q_{э2} = (q - q'_2)F; \quad (2.20)$$

$$Q_{э3} = (q - q'_3)F, \quad (2.21)$$

где F – площадь ограждающих конструкций, м².

В результате разработана методика, которая позволяет рассмотреть экономию топлива как функцию добавленного термического сопротивления. С учетом разной цены и сопротивления утеплителей различных фирм, есть возможность выбирать рациональные решения и заранее, приступая к реконструкции, видеть, какой будет получен результат.

2.4 Математическая модель нестационарных процессов потребления теплоты зданием

В Донецкой области имелся опыт мероприятий по экономии энергии за счет организации уменьшения подачи теплоты в выходные дни [46]. Опыт противоречив. Иногда он давал положительные результаты, иногда не позволял обеспечить заданные температурные условия. Поэтому такой режим требует дополнительного исследования и наличия инструмента, который позволяет им управлять. Для этого необходимо построить математическую модель [102,103] нестационарных процессов потребления теплоты общественными зданиями.

Несмотря на то, что почти все школы построены по типовым проектам, в реальности все они имеют разные характеристики теплопотребления [46]. Необходимо разработать способ адаптации создаваемой модели для каждой школы.

Идентификация модели будет производиться по параметру полной теплоемкости внутреннего объема здания mc [104]. Данный параметр не является заданным инженерным параметром. Рекомендуется подбирать его методом подбора так, чтобы совпали кривые реального изменения температуры внутреннего и наружного воздуха и переданной зданию теплоты с рассчитанными данными об изменении температуры воздуха в помещении [105]. При правильном подборе параметра полной теплоемкости модель будет считаться идентифицированной и адаптированной под конкретную школу. Будут получены уравнения регрессии зависимости параметра mc от строительных характеристик зданий (объема и общей площади отапливаемых помещений).

Составлена сопряженная модель дифференциальных уравнений из 2-х уравнений и их условий однозначности.

Уравнение № 1: уравнение 1 порядка, описывающее изменение температуры воздуха в отапливаемом помещении, являющееся, по сути, уравнением теплового баланса. Уравнение учитывает выход теплоты через

внутренние поверхности ограждающих конструкций, поступление теплоты через отопительную систему

$$mc \frac{dt_B}{d\tau} = - \sum_{i=1}^n \alpha_B F_i (t_B - t_{\Pi_i}) - Q_B + Q_0 + Q_{TB}, \quad (2.22)$$

где m – масса внутреннего объема здания, включая воздух, перегородки и т.д., кг;

c – средневзвешенная теплоемкость внутреннего объема здания, Дж/(кг·К);

$\sum_{i=1}^n \alpha_B F_i (t_B - t_{\Pi_i})$ – сумма текущих тепловых потерь через все ограждающие поверхности;

α_B – коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·К);

F_i – площадь различных ограждающих конструкций, м², в которую входят:

- F_{Π} – площадь пола (потолка);
- F_{HO} – площадь поверхности новых окон;
- F_{CO} – площадь поверхности старых окон;
- F_{CT} – площадь поверхности стен;

t_{Π_i} – температура поверхностей различных ограждающих конструкций, °С;

t_B – температура воздуха внутри помещений, °С;

Q_B – количество теплоты, затрачиваемой в единицу времени на догрев поступающего в помещение воздуха, Вт;

Q_0 – количество теплоты, переданной зданию через отопительную систему за единицу времени, Вт;

Q_{TB} – количество теплоты, переданной зданию за единицу времени в виде внутренних тепловыделений, Вт.

Уравнение № 2: дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности в одномерной постановке, описывающее теплопередачу через ограждающие конструкции (решается отдельно для каждого вида ограждающих конструкций, за исключением оконных проемов):

$$\frac{\partial t_{\text{ст}}}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t_{\text{ст}}}{\partial x^2} \right), \quad (2.23)$$

где a – коэффициент температуропроводности материалов ограждающих конструкций, характеризующий тепловую инерцию материала, $\text{м}^2/\text{сек}$;

$$a = \frac{\lambda}{\rho c_p}, \quad (2.24)$$

где λ – теплопроводность материалов ограждающих конструкций, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

ρ – плотность материалов ограждающих конструкций, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c_p – теплоемкость материалов ограждающих конструкций, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

Полученные уравнения объединены в систему

$$\begin{cases} mc \frac{dt_{\text{в}}}{d\tau} = -\sum_{i=1}^n \alpha_{\text{в}} F_i (t_{\text{в}} - t_{\text{п}i}) - Q_{\text{в}} + Q_0 + Q_{\text{тв}} \\ \frac{\partial t_{\text{ст}}}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t_{\text{ст}}}{\partial x^2} \right). \end{cases} \quad (2.25)$$

Для этих уравнений задаются граничные и начальные условия.

Условием однозначности для уравнения, описывающего распределение температуры воздуха (2.22) являются начальные условия

$$\tau = 0 \quad t_{\text{в}} = t_{\text{в}}^{\text{нач}}, \quad (2.26)$$

где $t_{\text{в}}^{\text{нач}}$ – температура воздуха в начальный момент времени;

τ – начальное время моделирования.

Для начальных условий уравнения, описывающего теплопередачу через ограждающие конструкции, задается распределение температур по стене здания, толщина и теплотехнические характеристики материалов.

Начальные условия для уравнения, описывающего изменение температуры ограждающих конструкций

$$\tau = 0 \quad t_{\text{ст}} = t_{\text{ст}}(x), \quad (2.27)$$

где $t_{\text{ст}}(x)$ – линейный закон изменения температуры по толщине ограждающих конструкций.

Граничные условия теплообмена на внутренней и наружной поверхностях ограждающих конструкций

$$x = 0 \quad -\lambda \frac{dt}{dx} = \alpha_{\text{в}}(t_{\text{в}} - t_{\text{пi}}); \quad (2.28)$$

$$x = \delta \quad -\lambda \frac{dt}{dx} = \alpha_{\text{н}}(t_{\text{нi}} - t_{\text{ос}}), \quad (2.29)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·К);

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·К);

$t_{\text{нi}}$ – температура наружной поверхности ограждающих конструкций, °С;

$t_{\text{ос}}$ – температура окружающей среды, °С.

Теплофизические характеристики материалов ограждающих конструкций: для построения модели предусмотрено наличие двух слоев ограждающих конструкций $(0 \dots \delta_1 \dots \delta)$, с соответствующими теплопроводностью, плотностью и теплоемкостью для каждого слоя

$$0 \ll x \ll \delta_1 \quad \lambda_1 \quad \rho_1 \quad c_1; \quad (2.30)$$

$$\delta_1 \ll x \ll \delta \quad \lambda_2 \quad \rho_2 \quad c_2. \quad (2.31)$$

Данная модель будет решаться численным методом, с помощью системы сопряжения. На каждом шаге уравнения обмениваются между собой данными.

Для численного решения задачи последовательно рассматриваются:

- цикл последовательного добавления слоев времени;
- цикл исследования пространства.

Первое уравнение системы будет преобразовано для получения конечно-разностного уравнения 1-й производной

$$t_b = \left(t_b + \left(Q_0 \Delta\tau + Q_{\text{инф}} \Delta\tau + Q_{\text{тв}} \Delta\tau - (1,1\alpha_b F_{\text{ст}}(t_a - t_{\text{ст}}[0]) + 1,3\alpha_b F_{\text{пол}}(t_a - t_{\text{пол}}[0]) + 0,7\alpha_b F_{\text{п}}(t_a - t_{\text{пот}}[0]) + k_{\text{но}} F_{\text{но}}(t_a - t_n) + k_{\text{со}} F_{\text{со}}(t_a - t_{\text{п}})) \right) \Delta\tau \right) / mc, \quad (2.32)$$

где t_b - температура наружного воздуха, °С;

$t_{\text{п}}$ - температура воздуха в помещении, °С;

$\Delta\tau$ - шаг по времени;

$F_{\text{ст}}$ - площадь стен, м²;

$t_{\text{ст}}$ - температура внутренней поверхности стены, °С;

$t_{\text{пот}}$ - температура потолка, °С;

$t_{\text{пол}}$ - температура пола, °С;

$k_{\text{со}}$ - коэффициент поверхности старых окон;

$k_{\text{но}}$ - коэффициент поверхности новых окон;

$F_{\text{со}}$ - площадь поверхности старых окон, м²;

$F_{\text{но}}$ - площадь поверхности новых окон, м².

Коэффициенты (1,3; 0,7) – учитывают особенности протекания естественной конвекции для различно ориентированных горизонтальных плоскостей (газообразная среда над поверхностью и под поверхностью).

Поведение температуры ограждающих конструкций было задано следующими массивами:

- $t_{\text{ст}}[0 \dots (n - 1)]$ – распределение температур стены в разрезе;
- $t_{\text{пот}}[0 \dots (n - 1)]$ – распределение температур потолка в разрезе;

– $t_{\text{пол}}[0 \dots (n - 1)]$ – распределение температур пола в разрезе.

При задании температуры на внутренней поверхности стены, пола и потолка в начальный момент времени учтено, что они на несколько градусов меньше $t_{\text{в}}$. В реализации модели предусмотрена отдельная возможность задания этой величины для каждой поверхности.

Аналогичным образом, температуры наружной поверхности стен самого верхнего перекрытия потолка и самого нижнего перекрытия пола задаются с учетом того, что он на несколько градусов выше $t_{\text{ос}}$. В дальнейшем распределение температуры по толщине ограждающих конструкций задано из предположения ее линейного распределения.

Остальные значения массивов распределения температуры по толщине стен, пола и потолка задаются следующим образом

$$t_{\text{ст}}[i] = t_{\text{ст}}[0] - \frac{t_{\text{ст}}[0] - t_{\text{ст}}[n - 1]}{t_{\text{ст}}[n - 1]} i, \quad (2.33)$$

$$t_{\text{пот}}[i] = t_{\text{пот}}[0] - \frac{t_{\text{пот}}[0] - t_{\text{пот}}[n - 1]}{t_{\text{пот}}[n - 1]} i; \quad (2.34)$$

$$t_{\text{пол}}[i] = t_{\text{пол}}[0] - \frac{t_{\text{пол}}[0] - t_{\text{пол}}[n - 1]}{t_{\text{пол}}[n - 1]} i. \quad (2.35)$$

Для моделирования используется линейный закон изменения подачи теплоты по теплосчетчику, температура воздуха внутри здания и температуры окружающей среды. Начальные и конечные точки моделирования – реальные данные, снятые раз в сутки.

Второе уравнение системы (2.25) решается отдельно для каждого вида ограждающих конструкций. Для составления конечно-разностного аналога второго уравнения системы (2.25) использована явная схема аппроксимации (2.36) – для каждого узла искомая температура по толщине определяется (послойно) над известными температурами предыдущего временного слоя

$$t[j] = t^{\text{np}}[j] + \frac{a[j]\tau}{\Delta x^2} (t^{\text{np}}[j+1] - 2t^{\text{np}}[j] + t^{\text{np}}[j-1]), \quad (2.36)$$

где $t^{\text{np}}[j]$ – известные температуры предыдущего временного слоя.

Были преобразованы граничные условия

$$\begin{aligned} \lambda \frac{t[1] - t[2]}{\Delta x} &= \alpha_{\text{BH}} F_{\text{CT}} (t_a[i] - t[1]); \\ t[1] &= \frac{\alpha_{\text{BH}} F_{\text{CT}} t_a[i] + \frac{\lambda}{\Delta x} t[2]}{\frac{\lambda}{\Delta x} + \alpha_{\text{BH}} F_{\text{CT}}}; \end{aligned} \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned} \lambda \frac{t[m-1] - t[m]}{\Delta x} &= \alpha_{\text{H}} F_{\text{CT}} (t[m] - t_{\text{H}}); \\ t[m] &= \frac{\frac{\lambda}{\Delta x} t[m-1] + \alpha_{\text{H}} t_{\text{H}}}{\alpha_{\text{H}} + \frac{\lambda}{\Delta x}}. \end{aligned} \quad (2.38)$$

$$t = t^{\text{np}}.$$

При выборе параметров пространственно-временной сетки учитывается соотношение (2.39), что обеспечивает устойчивость вычислительной процедуры

$$\Delta \tau_{\text{пред}} \leq 0,5 \frac{\Delta x^2}{a}. \quad (2.39)$$

На каждом временном шаге вычисления уравнения обмениваются между собой данными. Блок-схема работы алгоритма, реализующего работу модели, представлена на рисунке 2.10.

Математическая модель может быть использована для изучения возможности экономии теплоты за счет периодического снижения тепловой нагрузки отопления.

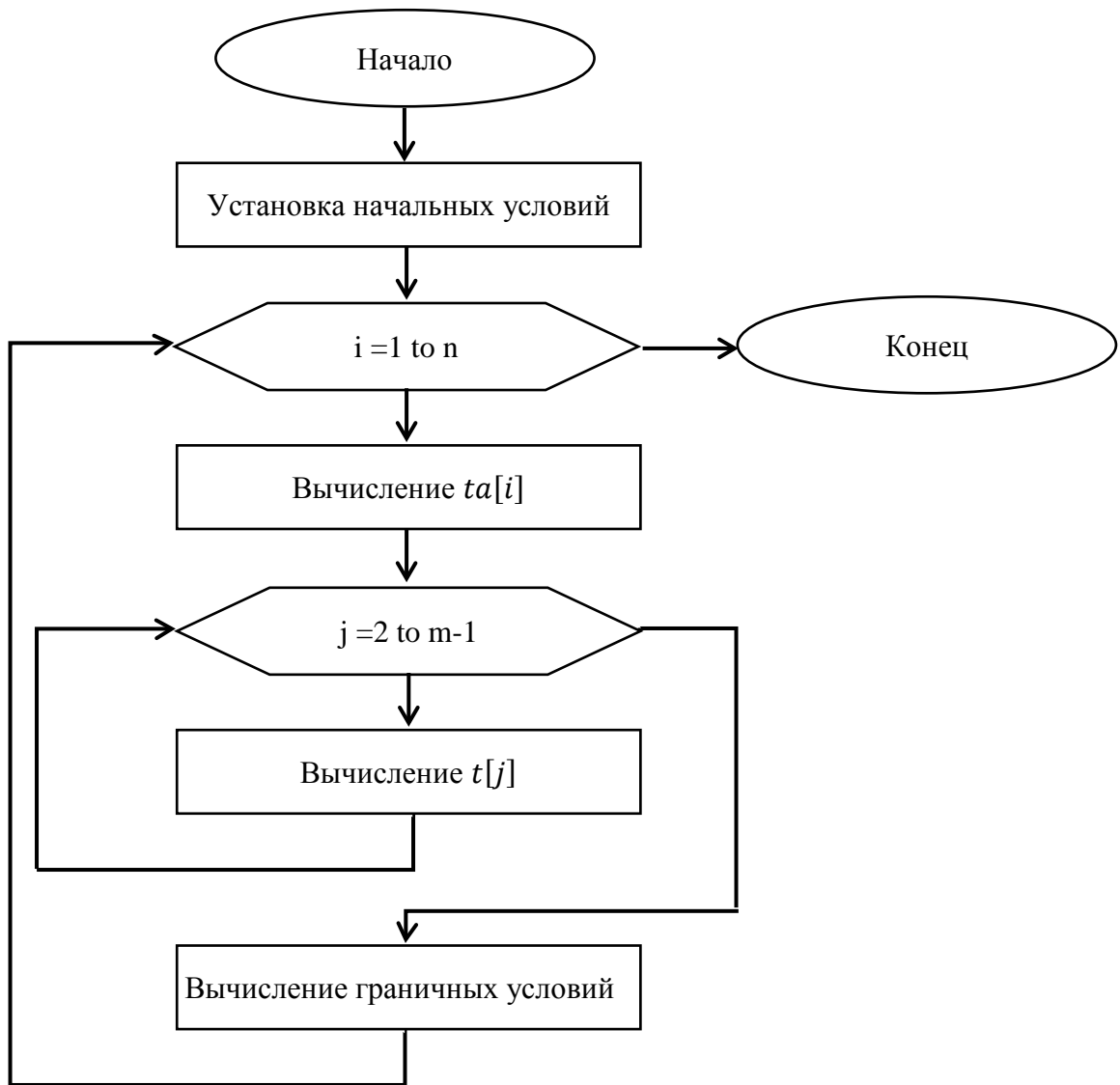


Рисунок 2.9 Блок-схема работы алгоритма, реализующего работу модели

Выводы по разделу 2

1. Для идентификации значений выбранных для анализа критериев энергоэффективности отопления общественных зданий в реальном времени были описаны процессы измерения соответствующих физических величин и подобраны соответствующие измерительные приборы.

Был проведен сбор данных динамических параметров с помощью датчиков температуры и тепловычислителей с соблюдением метрологических норм и требуемых классов точности. При сборе данных о потреблении теплоты в теплосчетчиках использовались следующие типы тепловычислителей: SONOCAL,

MULTICAL, INFOCAL, X 12. Все расходомеры, входящие в состав теплосчетчиков, относятся к ультразвуковым, с классами точности: 2, 3. Температура наружного воздуха и температура воздуха в помещениях были измерены спиртовыми термометрами расширения с соблюдением метрологических норм и требуемых классов точности. В случае автоматического измерения температуры используется аналоговый датчик измерения температуры LM335 (погрешность измерения 0,5). Была составлена технологическая схема экспериментального образца и обобщенная структура аппаратных средств системы для оперативного сбора данных.

2. Была создана методика анализа энергоэффективности отопления общественных зданий, включающая:

- анализ валового потребления теплоты и сравнения действительной и расчетной тепловой нагрузки на основании теплового баланса здания;
- идентификацию тепловых характеристик здания на основе удельной отопительной характеристики;
- анализ характеристик отопительной системы.

3. Разработаны подходы к определению рациональных параметров утепления стен здания на основании реальных данных, которые позволяют рассмотреть экономию теплоты как функцию добавленного термического сопротивления. С учетом разной цены и сопротивления утеплителей различных фирм, данные подходы позволяют выбирать рациональные решения и заранее, приступая к реконструкции, видеть – какой будет получен результат.

4. Разработана математическая модель нестационарных тепловых процессов при отоплении зданий, представленная системой двух уравнений: обыкновенное дифференциальное уравнение 1-го порядка, описывающее изменение температуры воздуха внутри помещений, полученное из моментального теплового баланса отапливаемого здания, и дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности ограждающих конструкций, описывающее тепловое состояние и процесс теплопередачи через ограждающие конструкции.

РАЗДЕЛ 3

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ
ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Анализ энергоэффективности отопления общественных зданий на основе критериев энергосбережения и математических моделей опирается на экспериментальные данные, которые были собраны с помощью процесса получения экспериментальных данных, описанной в подразделе 2.1. Данные были собраны в школах г. Донецка во временном диапазоне с 2005 по 2010 гг. Для анализа была взята наиболее репрезентативная выборка школ Киевского и Ворошиловского районов.

3.1 Анализ энергоэффективности теплоснабжения общественных зданий на
основе валового потребления теплоты

В ходе сбора данных были построены графики распределения нагрузки отопления здания в зависимости от температуры наружного воздуха за определенный отопительный период. На данные графики были наложены расчетные данные необходимой тепловой нагрузки здания, полученные исходя из взятой из [51] удельной отопительной характеристики. Кроме этого, для анализа данных на графики была наложена температура воздуха внутри помещений, чтобы проследить, насколько сильно изменение валовой отопительной нагрузки влияет на температуру воздуха внутри помещений.

Данные графики показывают, что по критерию валового потребления теплоты, школы можно условно разделить на несколько категорий:

- 1) из сезона в сезон действительная тепловая нагрузка ниже расчетной тепловой нагрузки;
- 2) с каждым новым сезоном действительная тепловая нагрузка ниже, чем в предыдущем сезоне;

3) с каждым новым сезоном действительная тепловая нагрузка выше, чем в предыдущем сезоне;

4) из сезона в сезон действительная тепловая нагрузка выше расчетной тепловой нагрузки.

Данные категории будут рассмотрены более подробно.

Категория 1. Из сезона в сезон действительная тепловая нагрузка ниже расчетной тепловой нагрузки. К таковым относятся: школа № 17, школа №57 (корпус 2). Пример графика распределения нагрузки отопления школы, относящейся к данной категории, представлен на рисунке 3.1.

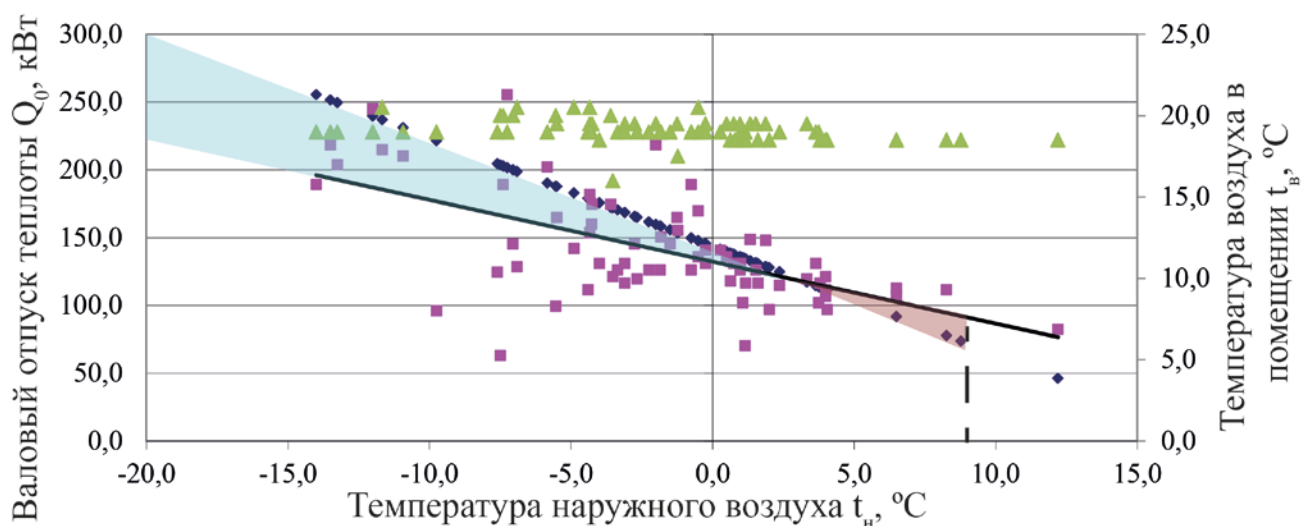


Рисунок 3.1 График распределения нагрузки отопления школы № 17 в зависимости от температуры наружного воздуха за отопительный период 2008-2009 гг.:

■ — действительная тепловая нагрузка по счетчику (зависимость среднесуточной тепловой нагрузки от температуры наружного воздуха);

◆ — расчетная тепловая нагрузка здания (зависимость необходимой нагрузки от температуры наружного воздуха);

— область недостаточной подачи теплоносителя (слева);

— область чрезмерной подачи теплоносителя (справа);

▲ — температура воздуха в помещении.

Это может свидетельствовать о постоянной недостаточности отопления. Область недостаточной подачи теплоносителя в каждом отопительном сезоне значительно больше, чем область чрезмерной подачи теплоносителя. Кроме этого, заметно, что температура воздуха в помещениях была в пределах нормы. Учитывая постоянную недостаточность отопления, можно предположить, что температура воздуха в помещениях поддерживается с нарушением норм вентиляции, либо при использовании дополнительных источников тепла, в частности – электрических [106].

Однако данные выводы могут быть сделаны только на основании того, что удельная отопительная характеристика, выбранная из СНиП 41-01–2003, является правильной.

Категория 2. С каждым новым сезоном действительная тепловая нагрузка ниже, чем в предыдущем сезоне. К таковым относятся: школа № 98, школа № 23, учебно-воспитательный комплекс №5 (корпус 2). Пример графиков распределения нагрузки отопления школы, относящейся к данной категории, представлен на рисунке 3.2 и рисунке 3.3.

Из рисунка 3.1 видно, что температура воздуха в помещении остается в пределах санитарных норм. Значит, разница между действительной и расчетной нагрузками является указателем степени неточности нормирования.

Учитывая прочие составляющие, которые не меняются из года в год, это может свидетельствовать об ухудшении состояния системы отопления. Вопросы ухудшения состояния системы отопления рассмотрены в подразделе 3.3.

Однако температура воздуха в помещениях этих школ находится в пределах санитарных норм, что может сказать о том, что уменьшение действительной нагрузки происходит из-за улучшения термического сопротивления ограждающей конструкции здания (например, модернизация большого количества заполненных световых проемов).

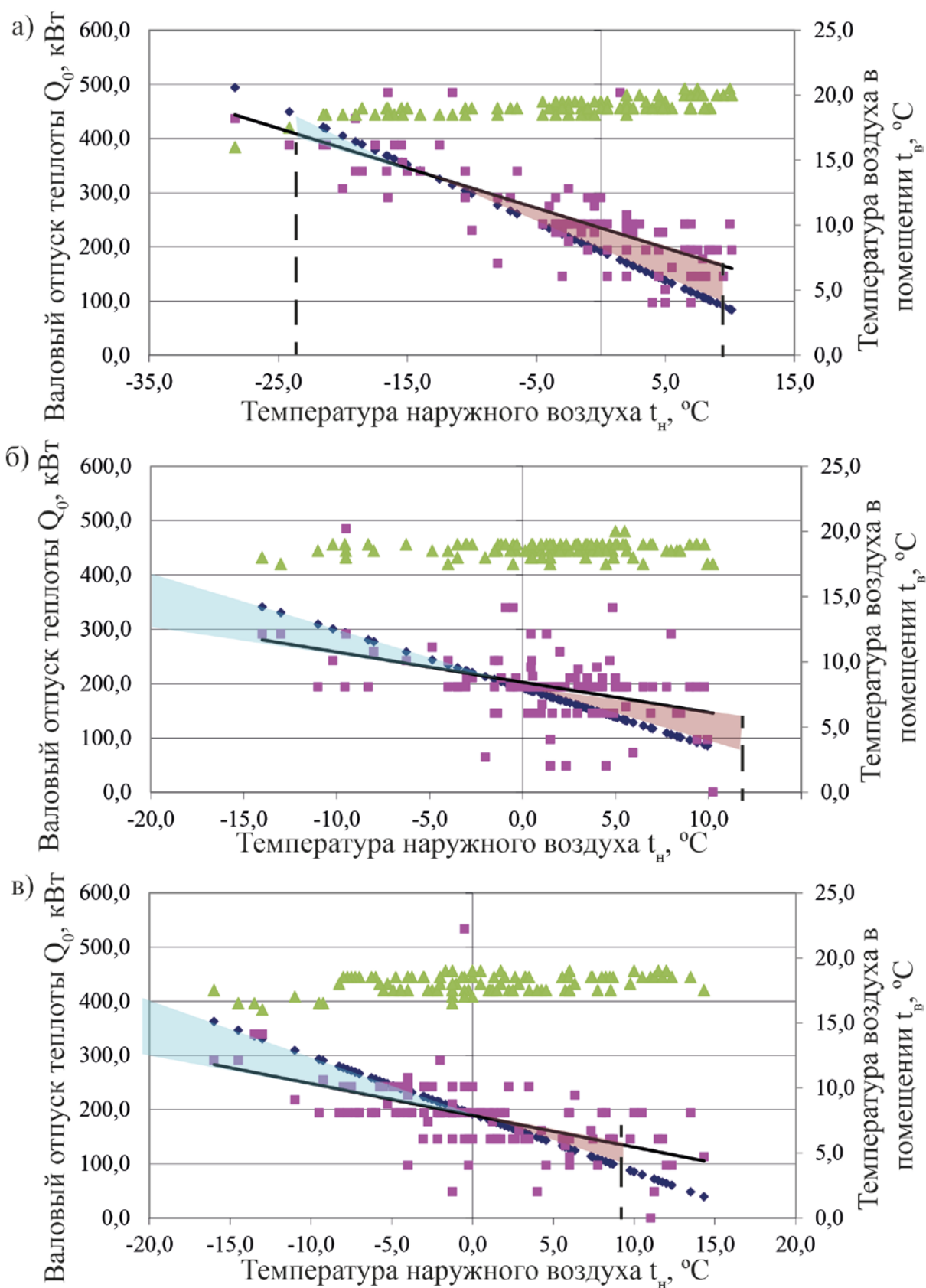


Рисунок 3.2 Графики распределения нагрузки отопления. Сравнение действительной и расчетной тепловой нагрузки в школе №98 за три отопительных периода: а) 2005-2006 гг., б) 2006-2007 гг., в) 2007-2008 гг.:

■ – действительная тепловая нагрузка по счетчику (зависимость среднесуточной тепловой нагрузки от температуры наружного воздуха);

◆ – расчетная тепловая нагрузка здания (зависимость необходимой нагрузки от температуры наружного воздуха);

— область недостаточной подачи теплоносителя (слева);

— область чрезмерной подачи теплоносителя (справа);

▲ – температура воздуха в помещении.

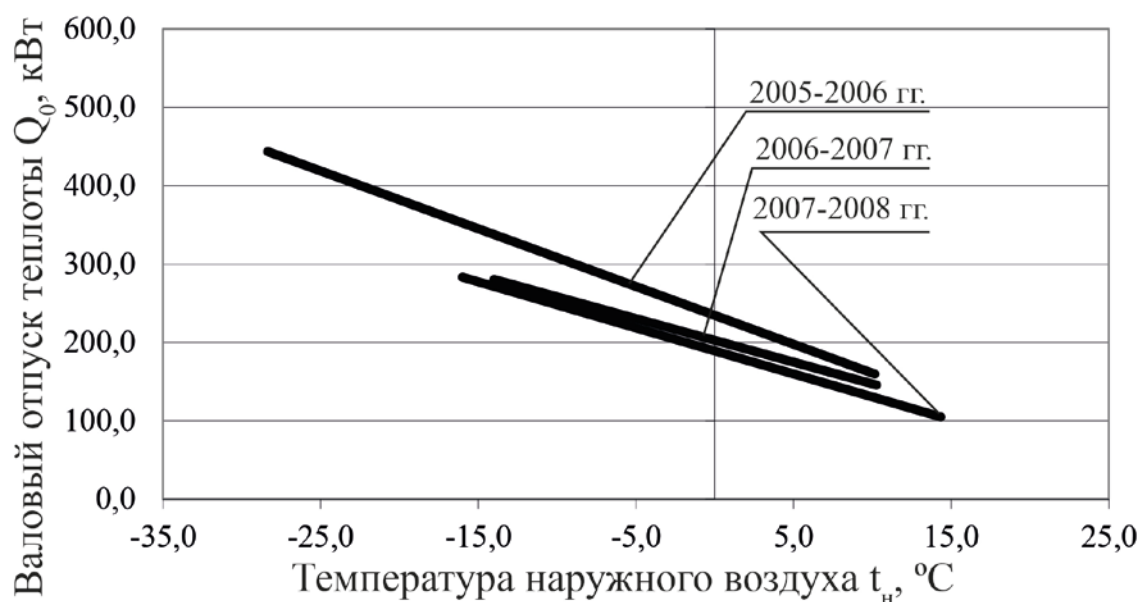


Рисунок 3.3 – Графики распределения действительной нагрузки отопления школы № 98 в зависимости от температуры наружного воздуха за три отопительных периода подряд

Категория 3. Из сезона в сезон действительная тепловая нагрузка выше расчетной тепловой нагрузки. К таковым относятся: школа № 2, школа № 13, школа № 14. Пример графиков распределения нагрузки отопления школы, относящейся к данной категории, представлен на рисунке 3.4.

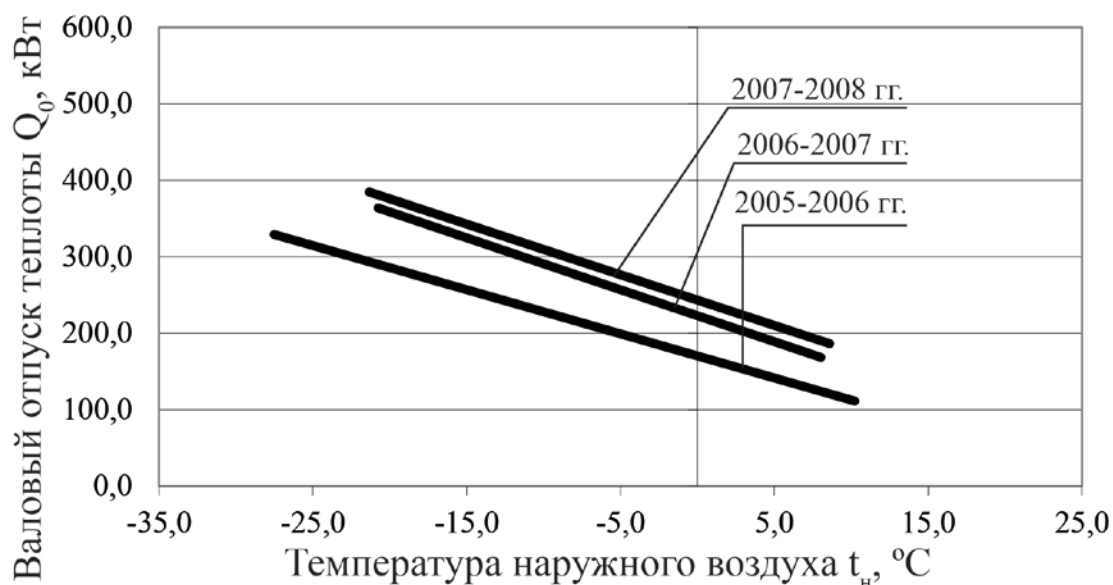


Рисунок 3.4 – Графики распределения нагрузки отопления школы № 14 в зависимости от температуры наружного воздуха за три отопительных периода подряд

Учитывая прочие составляющие, которые не меняются из года в год, это может свидетельствовать об ухудшении состояния системы отопления, либо постоянном увеличении количества отпущенного тепла. Вопросы ухудшения состояния системы отопления рассмотрены в подразделе 3.3.

Температура воздуха в помещениях этих школ остается в пределах санитарных норм, что может сказать о том, что увеличение действительной нагрузки происходит из-за ухудшения термического сопротивления ограждающей конструкции здания, что должно послужить сигналом для проведения в данной школе дополнительного энергоаудита [107].

Категория 4. Из сезона в сезон действительная тепловая нагрузка выше расчетной тепловой нагрузки

К данной категории относятся школы, у которых на первый взгляд, ситуация с отоплением является положительной (например, у школы № 43 за 2009-2010 гг. отношение действительной к расчетной нагрузке более чем в 2 раза). Это свидетельствует об избыточном потреблении теплоты. Само по себе избыточное потребление теплоты не может быть проблемой для школы – при

наличии постоянного проветривания температура понижается до пределов санитарных норм. Однако в условиях экономии теплоты данное расточительство должно быть выявлено (Рис. 3.5) и должны быть применены соответствующие меры.

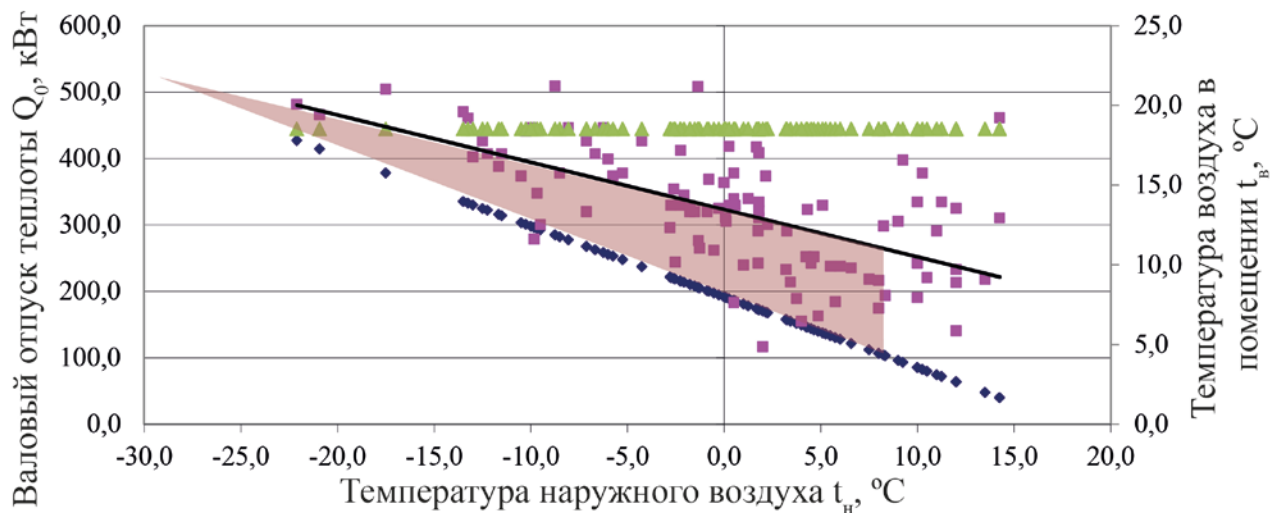


Рисунок 3.5 – График распределения нагрузки отопления школы № 53 в зависимости от температуры наружного воздуха за три отопительных периода подряд:

- – действительная тепловая нагрузка по счетчику (зависимость среднесуточной тепловой нагрузки от температуры наружного воздуха);
- ◆ – расчетная тепловая нагрузка здания (зависимость необходимой нагрузки от температуры наружного воздуха);
- область чрезмерной подачи теплоносителя;
- ▲ – температура воздуха в помещении.

Сводная таблица отклонения от расчетной тепловой нагрузки (доли) представлена в Приложении Б (таблица Б.4).

В результате проведенного анализа, информация о валовом потреблении теплоты была проанализирована и структурирована в четыре категории. Однако поскольку данный критерий анализирует потребление тепла, проводя сравнение с расчетной нагрузкой, которая рассчитывается на основе взятой из [108] удельной отопительной характеристики, что доказывает, что использовать такую характеристику некорректно.

Анализ показал, что в подавляющем большинстве школ измеренная температура в помещении удовлетворяет необходимой, а значит, что количество теплоты подается правильно, и это есть «идеальная» и правильная зависимость валовой тепловой нагрузки от температуры окружающей среды. И, соответственно, на графиках указаны области лишь «кажущейся» недостаточной/чрезмерной подачи теплоносителя. Поскольку удельная отопительная характеристика взята из справочника, то линия расчетной тепловой нагрузки здания позиционирована неправильно.

Уместным способом получить правильный расчет необходимой подачи тепла зданию является использование не справочной, а расчетной величины удельной отопительной характеристики, которая будет рассмотрена в подразделе 3.2.

3.2 Анализ энергоэффективности отопления общественных зданий с помощью идентификации тепловых характеристик здания

В предыдущем подразделе был представлен анализ эффективности отопления общественных зданий с помощью сравнения валового потребления теплоты с рассчитанным значением, на основе удельной отопительной характеристики, взятой из справочника. Было доказано, что более верным является не выбор справочной, а расчет удельной отопительной характеристики.

В подразделе 2.2 была представлена методика определения удельной отопительной характеристики q_0 . Считается, что удельная отопительная характеристики q_0 представляет собой уровень энергопотребления здания. По результатам анализа видно, что в большинстве случаев общественные здания из года в год имеют одинаковую удельную отопительную характеристику. Однако, в некоторых школах характеристика может меняться под воздействием определенных внутренних факторов, таких как изменение термического сопротивления ограждающих конструкций (утепление стен, замена окон).

Графики удельной отопительной характеристики каждого здания, из тех, которые были подвергнуты анализу, представлены на рисунке 3.6.

В результате анализа были выявлены общественные здания, которые имеют аномально высокую отопительную характеристику. Это школа №43, школа №53, лицей №22, гимназия №18. Данные школы были подвергнуты дополнительному анализу, для них была построена отопительная характеристика за каждый отопительный сезон. Для примера полученного результата, на графике показана удельная отопительная характеристика лицея № 22 за три отопительных периода подряд и удельная отопительная характеристика, взятая из справочника для данной школы.

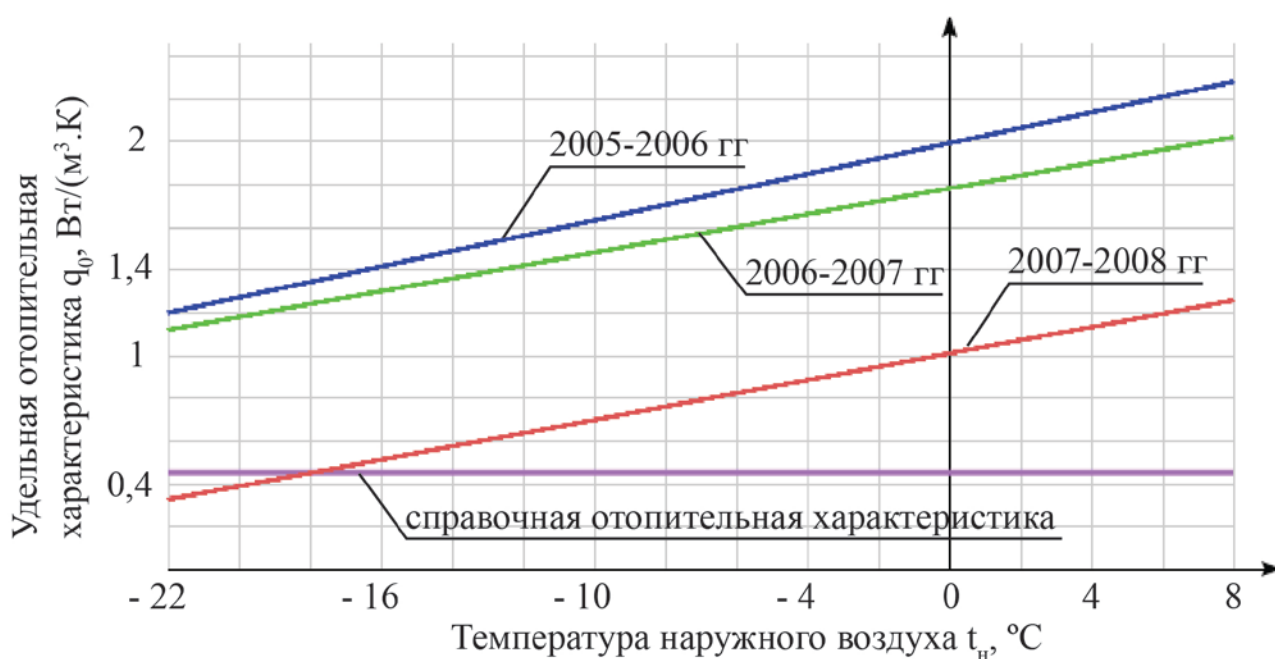


Рисунок 3.6 Удельная отопительная характеристика лицея № 22 за три отопительных периода подряд

Видно, что из года в год удельная отопительная характеристика уменьшается, что может говорить об улучшении теплотехнических характеристик здания. Однако даже с этими улучшениями здание нуждается в проведении энергоаудита для выяснения особенностей завышенной отопительной характеристики.

Удельная отопительная характеристика школы № 43 наоборот, повышается. Это свидетельствует о резком ухудшении термического сопротивления

ограждающих конструкций здания за последний год, и, соответственно, требует принятия определенных мер по улучшению ситуации (Рис. 3.7).

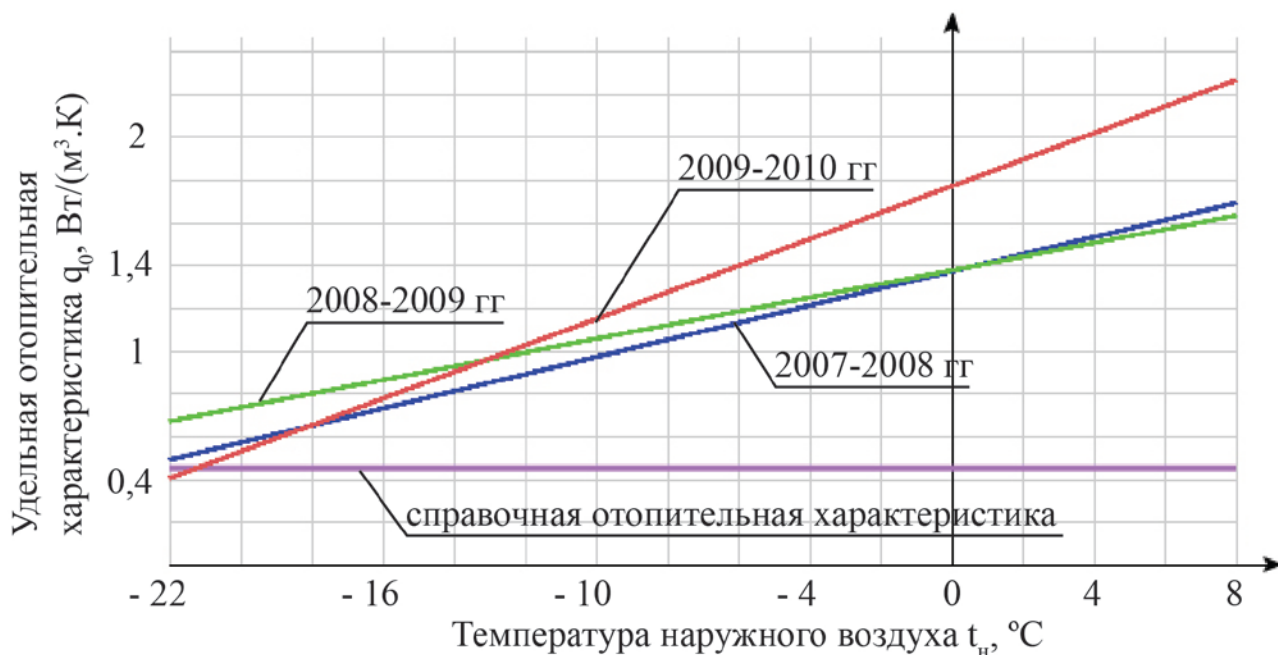


Рисунок 3.7 Удельная отопительная характеристика школы № 43 за три отопительных периода подряд

Несмотря на то, что удельная отопительная характеристика представляет из себя прямую горизонтальную линию (поскольку в теории характеристика не зависит от температуры окружающей среды и остается постоянной на всем диапазоне температур), на практике же видно, что в некоторых школах фактический q_0 зависит от температуры окружающей среды: с увеличением температуры q_0 увеличивается. Это свидетельствует о том, что при более высоких температурах здание перетапливается настолько сильно, что это сказывается на удельной отопительной характеристике. Однако любое отклонение удельной отопительной характеристики от горизонтальной линии является некорректным и должно быть сигналом для проведения дополнительного энергоаудита.

Наложение уровней энергопотребления различных зданий на один график и сравнение с нормативным значением дало возможность задать классы

энергопотребления зданий для внутреннего потребления. Были назначено четыре класса энергопотребления зданий:

I – наиболее высокий класс энергоэффективности. К ним относятся школа №2 и школа № 14. Известно, что это центральные школы, ближе всех расположенные к Дому Правительства и Администрации г. Донецка соответственно, в которых своевременно были проведены все возможные энергосберегающие мероприятия;

II – стандартный оптимальный класс энергоэффективности, подтвержденный справочными значениями удельной отопительной характеристики. Здания, которые попадают в этот класс, не рассматриваются как объекты, на которых необходимо проводить энергоаудит;

III – класс энергоэффективности, объекты которого могут рассматриваться как объекты, на которых необходимо проводить энергоаудит, в случае наличия необходимой финансовой поддержки;

IV – самый низкий класс энергоэффективности. Общественные здания, попавшие в этот класс, должны быть подвергнуты энергоаудиту с последующим проведением энергосберегающих мероприятий. К данному классу были отнесены школа №43, школа №53, лицей №22, гимназия №18.

Границы классов были определены для внутреннего потребления. Было принято считать фактом попадания определенной линии энергосбережения в тот или иной класс энергосбережения по пересечению линии энергосбережения осью ординат. Таблица диапазонов классов энергосбережения представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Таблица диапазонов классов энергосбережения

Класс энергоэффективности	Пределы, Вт/м ³ К
I	до 0,2
II	0,2-0,6
III	0,6-0,8
IV	от 0,8

Таблица с уравнениями линейной аппроксимации и определением класса энергоэффективности для каждого здания из тех, которые были подвергнуты анализу, представлена на таблице 3.2.

Таблица 3.2 Уравнения линейной аппроксимации и определением класса энергоэффективности для каждого здания из тех, которые были подвергнуты анализу: x – температура наружного воздуха, °С; y – удельная отопительная характеристика q_0 , Вт/(м³·К).

Школа	Уравнение линейной аппроксимации	Класс
Гимназия №18	$y = 0,010x + 1,312$	IV
УВК КОРН	$y = 0,007x + 0,702$	III
УВК №5	$y = 0,009x + 0,519$	II
УВК №5 (корпус 2)	$y = 0,006x + 0,429$	II
ОШ №9	$y = 0,005x + 0,402$	II
Лицей №22	$y = 0,025x + 1,814$	IV
ОШ №2	$y = -0,000x + 0,102$	I
ОШ №14	$y = 0,001x + 0,118$	I
Гимназия № 70	$y = 0,014x + 0,3349$	II
Школа № 59	$y = 0,002x + 0,267$	II
ОШ № 13	$y = 0,008x + 0,467$	II
ДСФМШ №17	$y = 0,006x + 0,314$	II
Школа № 43	$y = 0,039x + 1,368$	IV
Школа № 23	$y = 0,008x + 0,683$	III
Школа № 53	$y = 0,031x + 1,410$	IV
Школа № 57	$y = 0,008x + 0,361$	II
Школа № 57 (корпус2)	$y = 0,003x + 0,518$	III
Школа № 58	$y = 0,005x + 0,444$	II
Школа № 58 (корпус2)	$y = 0,018x + 0,740$	III
Школа № 102	$y = 0,017x + 0,537$	II

Графики удельной отопительной характеристики каждого здания, из тех, которые были подвергнуты анализу, визуализированные по цветам для принадлежности к определенному классу энергоэффективности, представлены на рисунке 3.8. Специалистами отдела энергоменеджмента каждое из представленных зданий школ было отнесено к определенному классу энергоэффективности потребления теплоты.

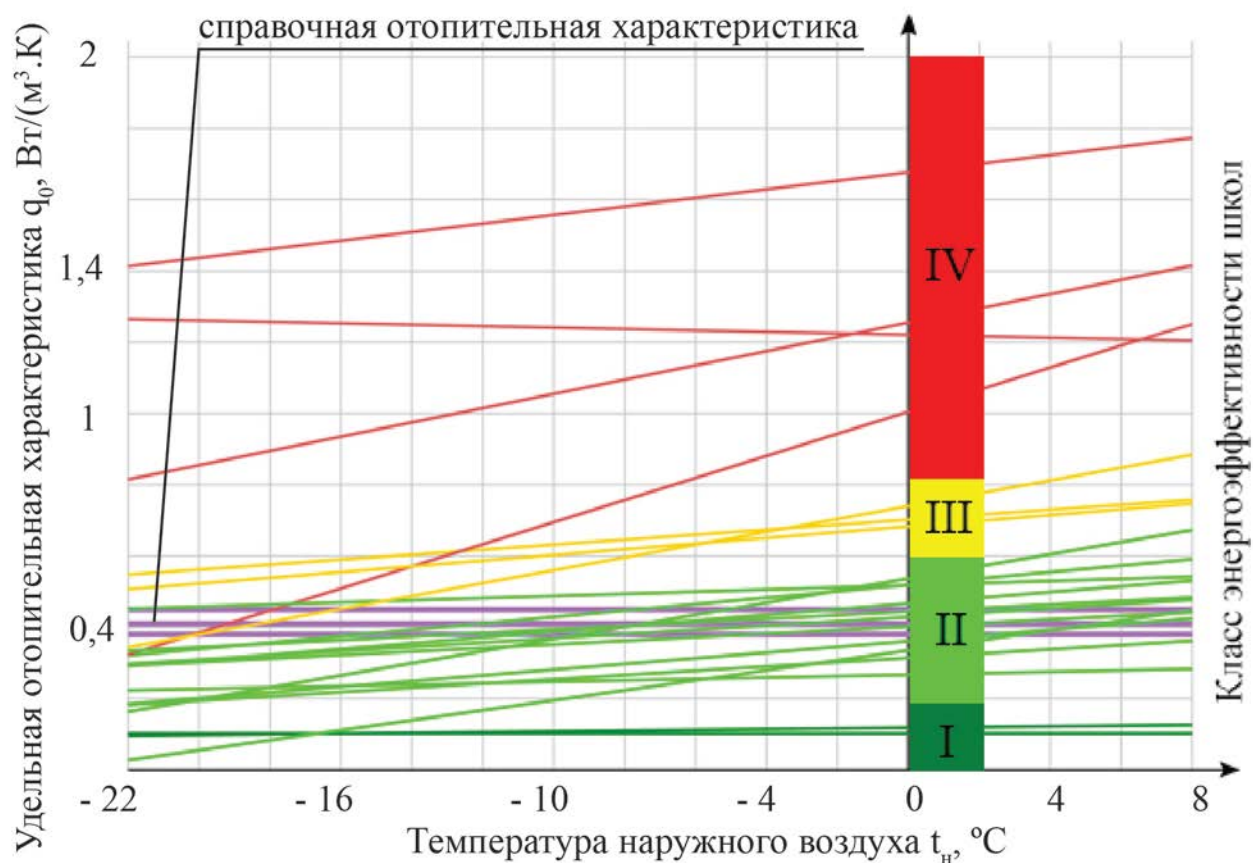


Рисунок 3.8 – Линии удельных отопительных характеристик всех объектов, подвергнутых анализу, визуализированных по цветам для принадлежности к определенному классу энергоэффективности

Определение фактической отопительной характеристики для задания классов энергоэффективности является важной составляющей анализа энергоэффективности отопления общественных зданий. Однако анализ свидетельствует о том, что из года в год отопительная характеристика общественных зданий меняются в динамике, что показывает необходимость анализа отопительной системы, который будет рассмотрен в подразделе 3.3.

3.3 Анализ энергоэффективности теплоснабжения общественных зданий на основе параметра отопительной системы и сравнения действительного параметра с расчетным параметром отопительной системы

В пункте 2.2.3 был описан анализ характеристик отопительной системы, в том числе параметр Φ_0 отопительной системы, который определяет теплоотдачу отопительной системы.

Были проанализированы три параметра Φ_0 отопительной системы:

- фактический параметр, для каждого отопительного периода свой. Фактический параметр был измерен экспериментально за каждый день сбора данных;
- достоверный параметр для здания – вычислен на основании данных взятых за десять дней с самой низкой температурой наружного воздуха, как доказательство того, что в эти дни нагрузка на отопительную систему была максимальной;
- паспортный параметр для здания – определяется по [51], на основании температурного графика подачи теплоносителя, рассчитанного для отопительной сети данного здания, указанного в паспорте здания.

В ходе сбора данных были построены графики распределения параметра Φ_0 отопительной системы в зависимости от температуры наружного воздуха за определенный отопительный период. В диссертационной работе на рисунке 3.9 приведен график сравнения фактического, паспортного и расчетного параметра Φ_0 системы отопления на примере гимназии №15.

Все данные анализа были сведены в таблицу Б.1 Приложения Б, в которой по каждой школе присутствуют: фактический параметр за каждый из отопительных периодов, в которых проводился съем данных, достоверный параметр, паспортный параметр.

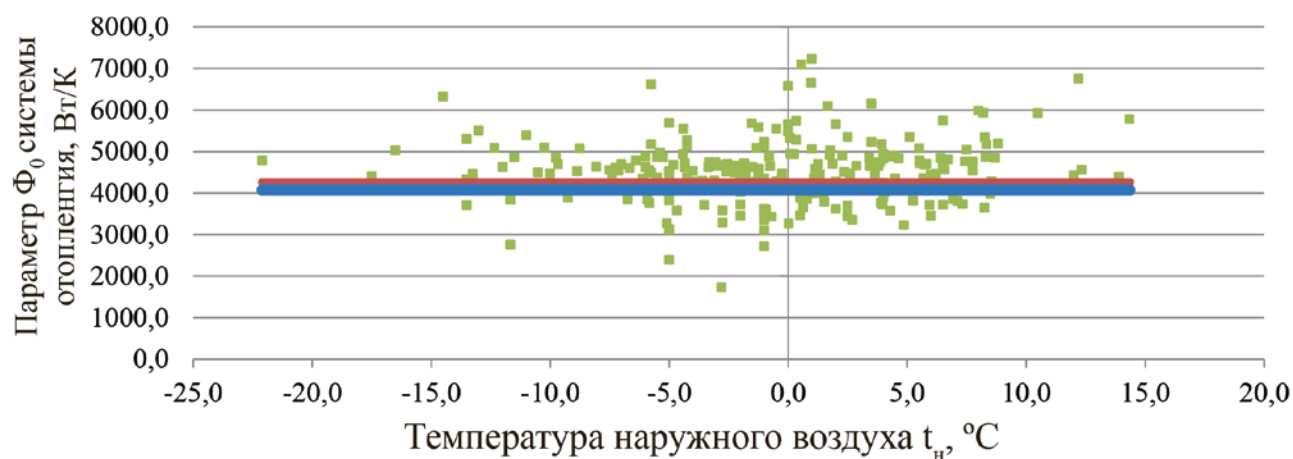


Рисунок 3.9 Сравнение фактического, паспортного и расчетного параметра Φ_0 системы отопления на примере гимназии №15:

- – фактическое Φ_0 , Вт/К;
- достоверное фактическое Φ_0 , Вт/К;
- паспортное Φ_0 для температурного графика 95/70, Вт/К.

В ходе анализа было определено, что практически во всех школах из числа подвергшихся анализу, отклонение параметра Φ_0 отопительной системы от паспортного значения составляет значительно больше 10%. Исключение составили школы № 2 и №17. Отклонения в процентах представлены в таблице Б.2 Приложения Б.

Это показывает несовершенство расчета паспортного параметра Φ_0 отопительной системы относительного температурного графика отопительной системы, либо постоянно не выдерживаемое значение температурного графика отопительной сети. Очевиднее всего второе, поскольку практически все школы (кроме школ № 2 и №17) на практике более сильно охлаждают проходящую через них сетевую подготовленную воду. Кроме того, состояние тепловой изоляции тепловых сетей не позволяет быть уверенным, что температура теплоносителя из тепловой сети соответствует заявленной. Сравнивая между собой фактическую и паспортную температуру теплоносителей видно, что температура теплоносителя из тепловой сети почти у всех школ намного ниже, чем паспортная подача по

температурному графику. В правильности съема значений температуры теплоносителя не приходится сомневаться, поскольку температура теплоносителя автоматически снимается поверенными термометрами, входящими в состав тепловычислителей. А значит, имеет место невыдерживание температурного графика.

Учитывая такую систематическую особенность, вызванную плановым подходом к отоплению, корректнее анализировать параметр Φ_o отопительной системы относительно достоверного параметра Φ_o отопительной системы.

В результате анализа имеется следующая картина.

1) Отопительные системы УВК КОРН и школы №9 работают практически одинаково во все сезоны так, как и в дни с максимальной нагрузкой (в дни с максимально низкой температурой окружающей среды). Отклонение составляет не более 2%.

2) Отопительная система школ №2, №53, №57 имеет более чем достаточную тепловую мощность для удовлетворения расчетной нагрузки и даже возможен переход на пониженный температурный график по отношению к проектному, или снижение расхода теплоносителя относительно проектного значения. Кроме этого, стоит отметить, что в школе №2 на протяжении 4-х отопительных сезонов подряд наблюдается устойчивое улучшение параметра отопительной системы.

3) Отопительные системы школ №14, №17, №23 имеют недостаточную тепловую мощность для удовлетворения расчетной нагрузки.

4) Отопительные системы гимназии №18, УВК №5 (корпус 2), школ №59, №58, №102 имеют ярко выраженную недостаточную тепловую мощность для удовлетворения расчетной нагрузки с отклонением более чем на 10%. Такое отклонение является критическим, при котором, увеличив расход теплоносителя в допустимых пределах невозможно добиться необходимого увеличения температурного напора. Данные школы должны быть подвергнуты дополнительному анализу для выявления загрязнения, гидравлической развертки отопительного контура, загромождения отопительных приборов.

Остальные школы имеют из года в год противоречивые показатели отношения параметра Φ_0 отопительной системы относительно достоверного параметра Φ_0 отопительной системы.

Отклонения параметра Φ_0 отопительной системы относительно достоверного параметра Φ_0 отопительной системы в процентах представлены в таблице Б.3 Приложения Б.

Проведенный анализ позволил выявить отклонения в отопительной системе и выбрать школы, в которых необходимо провести аудит отопительной системы.

3.4 Реализация подхода к поиску рациональных параметров утепления стен здания

Вышеописанный анализ с помощью критериев энергоэффективности позволяет выявить и применить к определенным школам энергосберегающие мероприятия.

По каждой школе из рассмотренных, были получены их удельные отопительные характеристики зданий. Каждое здание имеет свою удельную отопительную характеристику. Анализ показал, что некоторые школы имеют завышенные значения отопительной характеристики, что определяет неоправданно высокие теплопотери.

Есть несколько способов уменьшить удельную отопительную характеристику. В подразделе 2.3 был рассмотрен подход к определению рациональных параметров утепления стен здания на основе экспериментальных данных.

Для цели получения наиболее рационального технико-экономического эффекта от утепления зданий данный подход был применен на практике для каждой школы, имеющей низкую отопительную характеристику.

Удельная отопительная характеристика позволила определить удельные теплопотери. Удельные теплопотери для каждой школы легли в основу

определения термического сопротивления ограждающих конструкций, что является отправной точкой в приросте добавленных сопротивлений.

Подход к определению рациональных параметров утепления стен был применен к школам г. Донецка. Для примера, в диссертационной работе представлен расчет рациональных параметров утепления стен школы №9 с параметрами:

тип стены – красный кирпич;

$$\alpha_{\text{вн}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) ;$$

$$\alpha_{\text{нар}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$\delta = 0,37 \text{ м};$$

$$\lambda = 0,77 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$$

$$t_{\text{вн}} = 18 \text{ }^\circ\text{С}; t_{\text{нар}} = -5 \text{ }^\circ\text{С}.$$

По формуле (2.15), была высчитана плотность теплового потока, теряющегося через стену $q_{\text{пот}} = 32,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Согласно результатам, полученным с помощью методики оперативного анализа потребления теплоты общественными зданиями, одним из объектов для реализации энергосберегающих мероприятий была выбрана школа №9. Исходя из характеристик реальных утеплителей было выбрано минимальное значение $R_{\text{доб}}$, равное $= 1,5(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$, не противоречащее требованиям СНиП 23-02-2003.

Был предложен выбор из трех теплоизоляционных материалов, исходя из наличия на рынке и цены на момент выбора. Для каждого материала, на основании его заявленной толщины и табличной теплопроводности [109], по формуле (2.14) было высчитано добавочное термическое сопротивление $R_{\text{доб}}$. Результат расчета для теплоизоляционных материалов представлен в таблице 3.3.

Подход к определению рациональных параметров утепления стен здания промоделирован в среде программирования LabVIEW [110, 111]. Для математической модели роста вектора добавленных сопротивлений была запрограммирована формула (2.17). Результат моделирования графика роста добавленных сопротивлений и определения требуемого изолятора представлен на рисунке 3.10.

Таблица 3.3 Результат расчета термического сопротивления

Теплоизоляционный материал	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	Толщина δ , м	Термическое сопротивление $R_{\text{доб}}$, м ² ·К/Вт
Вата минеральная тяжелая	0,055	0,1	1,8
Пенополистирол (ГОСТ 15588-70)	0,038	0,1	2,6
Пенополиуретан (ТУ В-56-70)	0,029	0,1	3,5

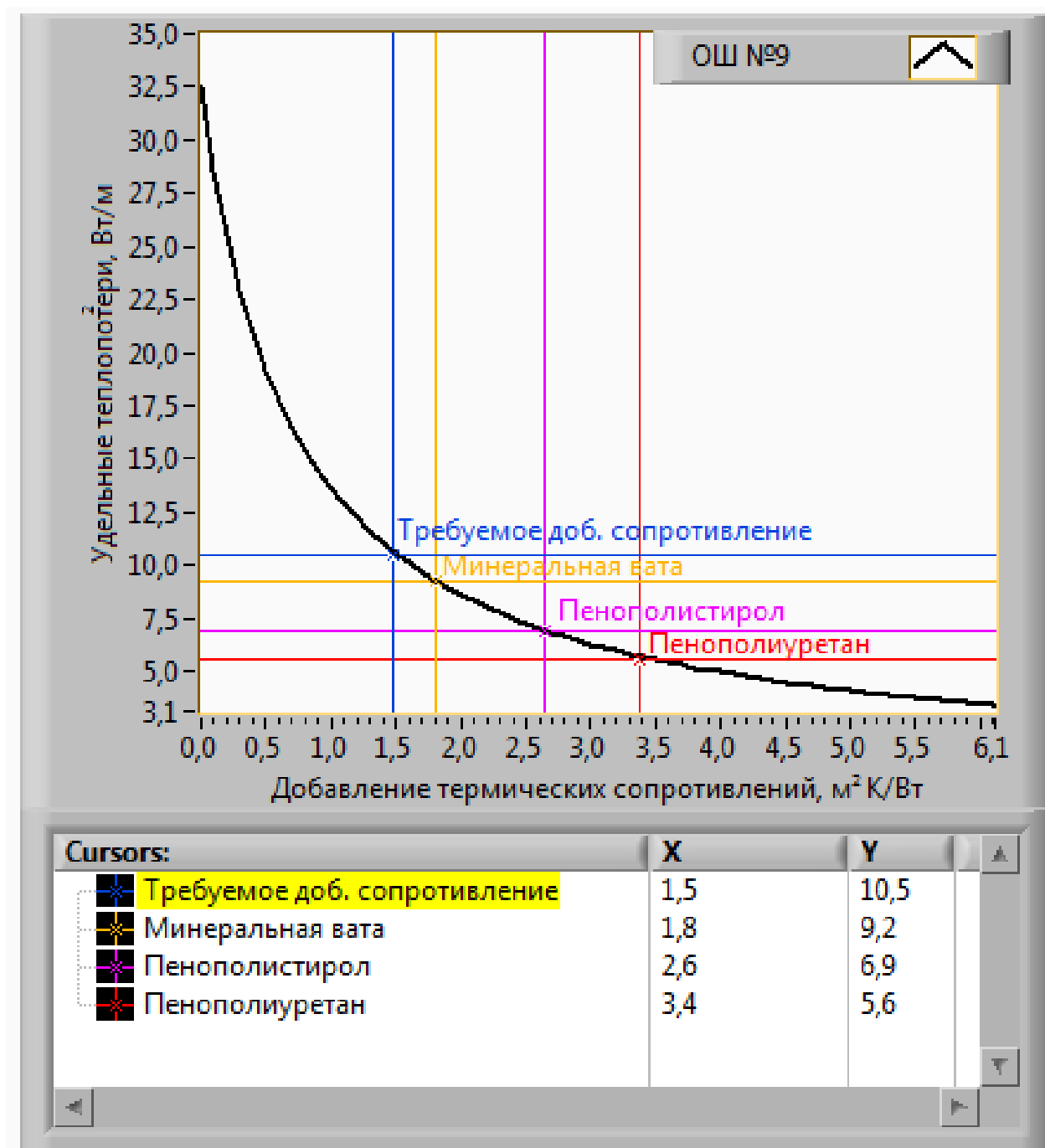


Рисунок 3.10 – Определение рациональных параметров теплоизоляционных материалов для школы №9, которой необходимо утепление фасада:

$R_{\text{треб}}^{\text{доб}} = 1,5 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$ (требуемое добавленное термическое сопротивление для гимназии №15);

$R_1, R_2, R_3 = 1,8; 2,6; 3,4 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$ (для минеральной ваты, пенополистирола, пенополиуретана соответственно);

$q'_1, q'_2, q'_3 = 9,2; 6,9; 5,6 \text{ Вт/м}^2$ (плотности теплового потока в следствие утепления минеральной ватой, пенополистиролом, пенополиуретаном соответственно).

Для отдельных школ, которые нуждаются в утеплении наружных стен, продемонстрировано использование разработанных подходов к определению теплоизоляционных материалов для утепления здания, где удельная плотность теплового потока, через наружные стены, зависит от величины добавленного термического сопротивления при температуре наружного воздуха -5°C . Это позволяет оперировать информацией о снижении величины тепловых потерь в зависимости от параметров теплоизоляции одновременно с учетом их стоимости в процессе технико-экономического обоснования энергосберегающих мероприятий. Результатом является выбор наиболее экономически обоснованного утеплителя.

3.5 Реализация математической модели нестационарных процессов потребления теплоты зданием

В подразделе 2.4 была рассмотрена математическая модель нестационарных процессов потребления теплоты зданием.

Данная математическая модель была реализована для школ г. Донецка. Программная реализация математической модели была запрограммирована с помощью среды графического программирования LabVIEW [112,113]. Программное обеспечение моделирует систему уравнений (2.25) с начальными условиями (2.26), (2.27), граничными условиями теплообмена на внутренней и наружной поверхностях ограждающих конструкций (2.28), (2.29), теплофизическими характеристиками материалов ограждающих конструкций (2.30), (2.31). Данное программное обеспечение реализует решение математической

модели численным методом, с помощью системы сопряжения: на каждом шаге уравнения обмениваются между собой данными.

В диссертационной работе представлен пример реализации модели на основе данных, взятых как из паспорта здания гимназии №15, так и на основе выбранных наблюдений:

$F_{\Pi} = 3500 \text{ м}^2$ – площадь пола (потолка);

$F_{\text{но}} = 1049 \text{ м}^2$ – площадь поверхности новых (металлопластиковых) окон;

$F_{\text{со}} = 858 \text{ м}^2$ – площадь поверхности старых окон;

$F_{\text{ст}} = 2862 \text{ м}^2$ – площадь поверхности стены без окон;

$d_{\text{ст}} = 0,5 \text{ м}$ – толщина стены;

$d_{\Pi} = 0,25 \text{ м}$ – толщина пола (потолка).

$\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности ограждающих конструкций;

$\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждающих конструкций.

t_i – температура поверхностей различных ограждающих конструкций;

$Q_{\text{вТВ}} = 4000 \text{ Вт}$ – количество теплоты, переданной зданию в качестве внутренних тепловыделений.

$\lambda = 1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – теплопроводность кирпичной стены;

$\rho = 2500 \text{ кг}/\text{м}^3$ – плотность кирпичной стены;

$c_p = 1000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – теплоемкость кирпичной стены.

$\lambda = 0,3 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – теплопроводность гипсовой штукатурки;

$\rho = 800 \text{ кг}/\text{м}^3$ – плотность гипсовой штукатурки;

$c_p = 840 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – теплоемкость гипсовой штукатурки [114].

Для каждого опыта в нестационарных тепловых условиях (изменение температуры окружающей среды) были использованы данные, полученные с датчиков и тепловычислителей:

$Q_{0 \text{ нач}}$ – количество теплоты, переданной зданию через отопительную систему в начале опыта, Вт;

$Q_{0 \text{ кон}}$ – количество теплоты, переданной зданию через отопительную систему в конце опыта, Вт;

$t_{\text{нар нач}}, t_{\text{нар кон}}, t_{\text{вн нач}}, t_{\text{вн кон}}$ – температуры воздуха внутри помещений и окружающей среды в начале и конце опыта.

Внешний вид окон ввода вышеописанной информации в интерфейсе программного обеспечения, реализующего математическую модель [115], представлен на рисунке 3.11. Данные, которые не представлены на лицевой панели, записаны в программе как константы.

Рисунок 3.11 Внешний вид окон ввода вышеописанной информации в интерфейсе программного обеспечения, реализующего математическую модель

На первом шаге путем подбора была получена идентификация модели, которая производилась по параметру mc полной теплоемкости внутреннего объема здания. Данный параметр не является заданным инженерным параметром. Он был подобран так, чтобы совпали кривые реального изменения температуры внутреннего и наружного воздуха и переданной зданию теплоты с рассчитанными данными об изменении температуры воздуха в помещении. Проанализировав одну из школ, было установлено, что значение полной теплоемкости внутреннего объема внутри здания, может быть описано в виде определенной

зависимости: $mc=kV$, где k - коэффициент пропорциональности, равный $(4,5...4,8) \cdot 10^5$, Дж/(м³·К). Данный коэффициент был проверен на всех других школах.

После прохождения предварительной адаптации, обосновано достаточное соответствие численных экспериментов [116] и практических данных по замеру температур. Модель подтверждена для зданий школ г. Донецка, для каждой школы проведено количество экспериментов, равное количеству дней замера информации, в нестационарных тепловых условиях (Рис. 3.12).

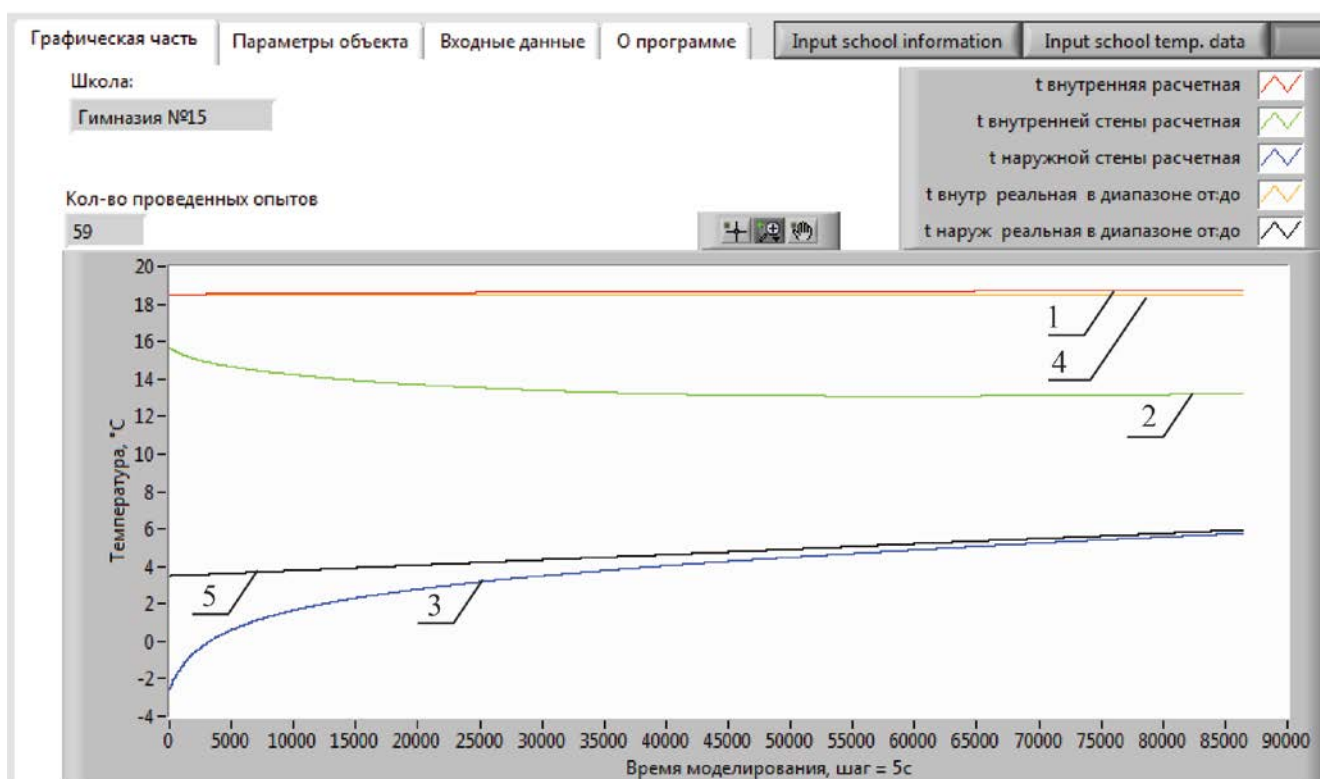


Рисунок 3.12 Визуализация одного опыта в программном обеспечении: достижение сходимости расчетных и реальных значений температур внутреннего и наружного воздуха соответственно для гимназии №15:

- 1 – смоделированная температура воздуха в помещении;
- 2 – смоделированная температура внутренней поверхности стены;
- 3 – смоделированная температура наружной поверхности стены;
- 4 – изменение фактической температуры воздуха в помещении за день;
- 5 – изменение фактической температуры наружного воздуха за день.

Результаты экспериментов представлены на гистограммах отклонения рассчитанных результатов моделирования с фактической измеренной температурой воздуха в помещении и температурой наружного воздуха. На рисунке 3.13 по оси ординат показана разница между измеренной температурой воздуха внутри помещений и рассчитанной температурой в результате моделирования, а по оси абсцисс показан подсчет опытов для каждого температурного интервала. Разница в температурах не превышает $\pm 1^\circ\text{C}$, что показывает сходимость результатов и адекватность модели [117, 118], а кроме этого показывает правильность идентификации математической модели путем подбора параметра mc .

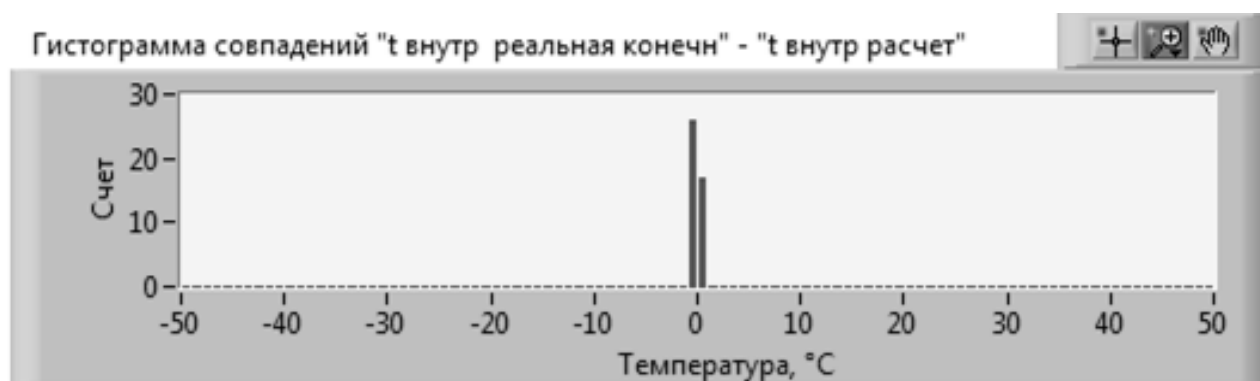


Рисунок 3.13 – Визуализация подтверждения адекватности модели для гимназии №15

Данная модель была применена для изучения эффективности отопления с циклически меняющейся тепловой нагрузкой. Различные реализации программного обеспечения для расчета оптимального режима прерывистого отопления зданий уже имели место [119, 120]. При условно фиксированной температуре наружного воздуха был промоделирован процесс снижения отопительной нагрузки в выходные дни, с выключением отопления в пятницу после окончания рабочего дня, выходом на пониженный расход теплоты и включением ночью с воскресенья на понедельник повышенной тепловой нагрузки вплоть до выхода на заданную температуру внутреннего воздуха (таблица 3.4).

Таблица 3.4 График изменения отопительной нагрузки

Этапы моделирования, шаг (1 час = 45 шагов)	Время	Подаваемая тепловая нагрузка, кВт
от 0 до 810	Пт, 0:00 – Пт, 18:00	400
от 810 до 1080	Пт, 18:00 – Сб, 0:00	0
от 1080 до 2700	Сб, 0:00 – Вс, 12:00	345
от 2700 до 3510	Вс, 12:00 – Пн, 5:00	500

Данные результатов моделирования процесса снижения отопительной нагрузки в выходные дни были сравнены с данными моделирования процесса подачи непрерывной нагрузки 400 кВт. Результаты моделирования показали, что экономия затрат теплоты имеет место и не превышает 10%.

Визуализация моделирования процесса снижения отопительной нагрузки в выходные дни для гимназии №15 представлена на рисунке 3.14.

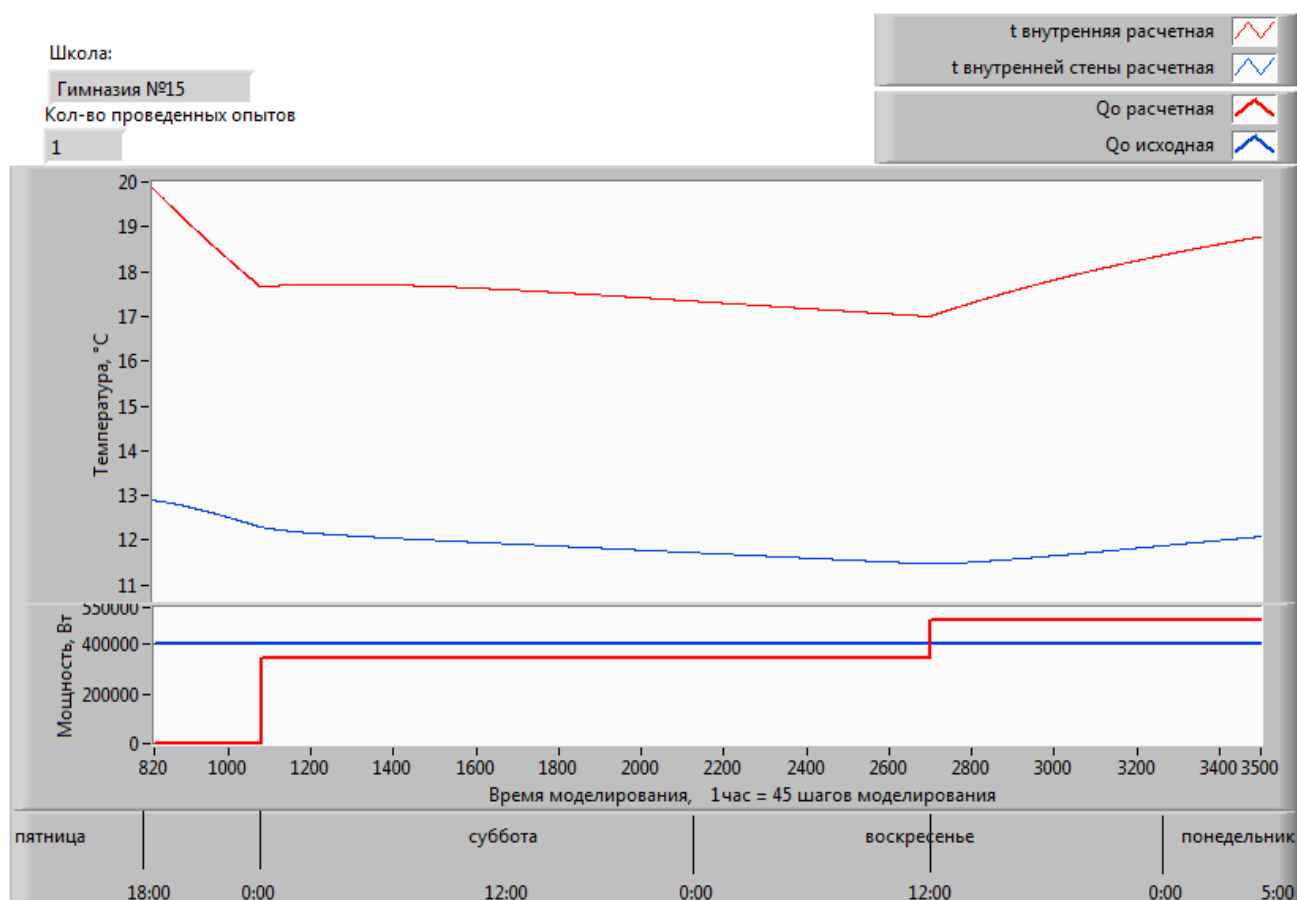


Рисунок 3.14. Визуализация моделирования процесса снижения отопительной нагрузки в выходные дни для гимназии №15

В результате проведения численных экспериментов с помощью математической модели нестационарных процессов потребления теплоты зданием установлено, что при снижении тепловой нагрузки отопления в школе на выходные дни при неизменной температуре наружного воздуха и ограничении на минимальное значение внутренней температуры 16°C , (которая устанавливается при отсутствии обучающихся), и последующем выходе на уровень 18°C экономия затрат теплоты не превышает 10%.

Также данная модель, в качестве инструмента, позволяет исследовать поведение зданий в нештатных ситуациях, связанных с аварийным отключением отопления.

Выводы по разделу 3

1. Были проанализированы системы теплоснабжения школ г. Донецка по трем критериям энергоэффективности, построены соответствующие графики. Отклонения фактических параметров от расчетных были сведены в таблицы. По каждому критерию школы были ранжированы и предложены соответствующие мероприятия по энергоэффективности.

2. Обосновано, что зависимость тепловых потерь через ограждающие конструкции здания от величины добавленного сопротивления утеплителя носит ниспадающий гиперболический характер, что определяет экстремальный характер кривой, описывающей приведенные затраты на компенсацию тепловых потерь и приобретение и монтаж утеплителя и показывает целесообразность поиска величины добавленного термического сопротивления, при котором достигается минимум затрат, в каждом конкретном случае. По каждой школе были получены диапазоны термических сопротивлений для оптимального выбора утеплителей из предложенных рынком сбыта утеплителей на момент проведения энергосберегающих мероприятий.

3. С помощью математической модели нестационарных тепловых процессов были проанализированы системы теплоснабжения школ г. Донецка.

Обосновано, что наиболее целесообразным параметром для адаптации модели к условиям конкретных зданий является полная теплоемкость всего, что находится внутри здания.

4. В результате адаптации разработанной математической модели к условиям школ г. Донецка установлено, что значение полной теплоемкости всего, что находится внутри здания, может быть описано в виде следующей упрощенной зависимости: $mc=kV$, где k – коэффициент пропорциональности, равный $(4,5...4,8) \cdot 10^5$, Дж/(м³·К).

5. Полученная модель, как инструмент, позволяет исследовать поведение школ в нештатных ситуациях, связанных с аварийным отключением отопления. Например, в случае аварийного отключения подачи теплоносителя необходимо знать время, за которое температура в здании опустится до минимально допустимого значения по санитарным нормам.

6. В результате проведения численных экспериментов с помощью математической модели нестационарных процессов потребления теплоты зданием установлено, что при снижении тепловой нагрузки отопления в школе на выходные дни при неизменной температуре наружного воздуха и ограничении на минимальное значение внутренней температуры 16°C, (которая устанавливается при отсутствии обучающихся), и последующем выходе на уровень 18°C экономия затрат теплоты не превышает 10%.

РАЗДЕЛ 4

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО
АНАЛИЗА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ
ЗДАНИЙ ГОРОДА ДОНЕЦКА4.1 Технологическая структура системы анализа энергоэффективности
отопления общественных зданий

Для качественного оперативного анализа энергоэффективности отопления общественных зданий была создана автоматизированная система оперативного анализа энергоэффективности отопления общественных зданий [121]. Автоматизированная система оперативного анализа энергоэффективности отопления общественных зданий была выполнена по договору с Донецким городским советом в рамках НИР №08-198 "Автоматизация учета потребления энергоресурсов объектов бюджетной сферы", НИР №09-275 «Развитие автоматизированной системы учета потребления энергоресурсов». Автоматизированная система состоит из аппаратной и программной части.

Структура аппаратных средств автоматизированной системы оперативного анализа энергоэффективности определяется множеством реализуемых функций. Средства автоматизированной системы анализа энергоэффективности отопления общественных зданий города Донецка обеспечивают создание нескольких автоматизированных рабочих мест (АРМ).

Общая структура системы оперативного анализа энергоэффективности представлена на рисунке 4.1. Все средства системы в соответствии с приведенной схемой объединены в два основных конструктивных устройства и промежуточный сервер, работающий по протоколу «file transfer protocol» (FTP-сервер).

В состав экспериментального образца системы входят: измерительный пост, FTP-сервер, диспетчерский пункт (сервер + БД).

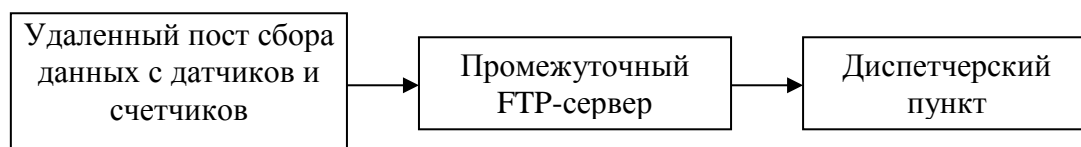


Рисунок 4.1. Структура опытного образца автоматизированной системы анализа энергоэффективности отопления общественных зданий

В состав измерительного поста (подсистема сбора и передачи информации) входят:

- аналоговые датчики температуры воздуха [122];
- теплосчетчики, включающие тепловычислитель;
- контроллер со встроенным АЦП (аналогово-цифровым преобразователем);
- промышленный миникомпьютер;
- ADSL-модем;
- 5-ти портовый свитч;
- источник бесперебойного питания.

Подробно процесс сбора информации с помощью измерительного поста был описан в подразделе 2.1.

В состав диспетчерского пункта входят:

- ПЭВМ;
- ADSL-модем;
- сканер;
- принтер;
- источник бесперебойного питания.

В качестве промежуточного FTP-сервера для обмена данными может использоваться любой компьютер с выходом в Интернет, внешним IP адресом и установленным на него соответствующим программным обеспечением.

В процессе работы была разработана технологическая схема экспериментального образца и обобщенная структура аппаратных средств системы. В соответствии со схемой работы информация с измерителей поступает

на контроллер, который производит ее предварительную обработку, формирует посылку и отправляет данный на промышленный миникомпьютер [123, 124]. Промышленный миникомпьютер окончательно обрабатывает информацию с контроллера и отправляет данные на FTP-сервер, а также следит за запросами с диспетчерского пункта.

Технологическая схема измерительного поста представлена на рисунке 2.5.

Все средства системы в соответствии с приведенной структурой, объединены в следующие конструктивные устройства:

- аналоговые датчики температуры (термопары) – ($T_1 \dots T_n$);
- счетчики расхода тепла и энергии – ($C_1 \dots C_n$);
- схемы защиты входов микроконтроллера по напряжению – ($Z_1 \dots Z_n$);
- аналоговый коммутатор – (АК);
- аналогово-цифровой преобразователь – (АЦП);
- микроконтроллер – (МК);
- преобразователь уровней сигналов $TTL \leftrightarrow RS-232$ – (ПУ);
- промышленный миникомпьютер – (МПК);
- 5-ти портовый свитч – (СВ);
- ADSL-модем – (МОД);
- источник бесперебойного питания – (ИБП).

Информация с теплосчетчиков (цифровой выход тепловычислителя) $C_1 \dots C_n$ непосредственно поступает на цифровые входы микроконтроллера МК. Данные с аналоговых датчиков температуры $T_1 \dots T_n$ сначала проходят защитные цепи по напряжению $Z_1 \dots Z_n$ и поступают на вход аналогового коммутатора (АК). Микроконтроллер (МК) по адресному входу (АК) выбирает номер аналогового сигнала, который будет измеряться с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). АЦП, АК и МК представляют собой единое устройство в виде одной микросхемы. После измерения и предварительной обработки данных МК передает информацию через преобразователь уровня сигналов (ПУ) на порт RS-232 промышленного миникомпьютера (МПК). МПК в свою очередь дополнительно преобразует данные и формирует пакет для отправки на

удаленный FTP-сервер, а также следит за внешними запросами со стороны диспетчерского пункта. Данные проходят через 5-ти портовый коммутатор (СВ), к которому планируется подключать еще несколько промышленных миникомпьютеров и поступают на ADSL-модем (МОД), который в свою очередь связан с телефонной линией. Питание всех устройств – стабилизированное и производится от источника бесперебойного питания (ИБП).

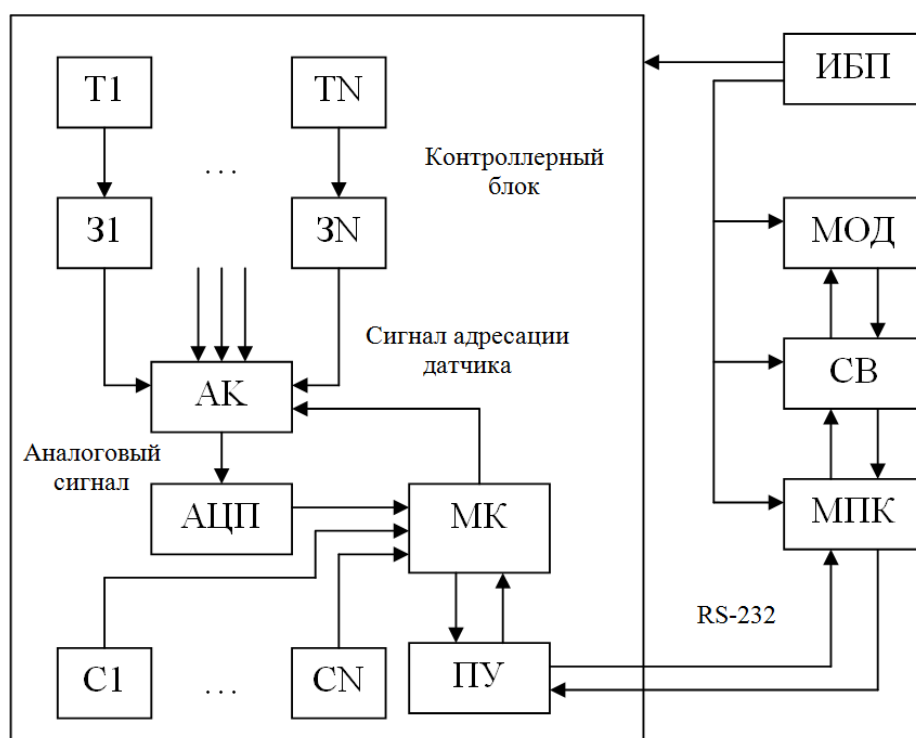


Рис. 4.2. Обобщенная структура аппаратных средств системы

Система была развернута в школе № 66 Куйбышевского района г. Донецка.

Фотографии датчиков температуры LM335 (в корпусе с контроллером беспроводной связи) представлены на рисунке 4.3.

Внешний вид программного обеспечения промышленного миникомпьютера в режиме приема данных с датчиков температуры в помещении представлен на рисунке 4.4.

Фотография микроконтроллера, промышленного миникомпьютера и коммутатора представлена на рисунке 4.5.

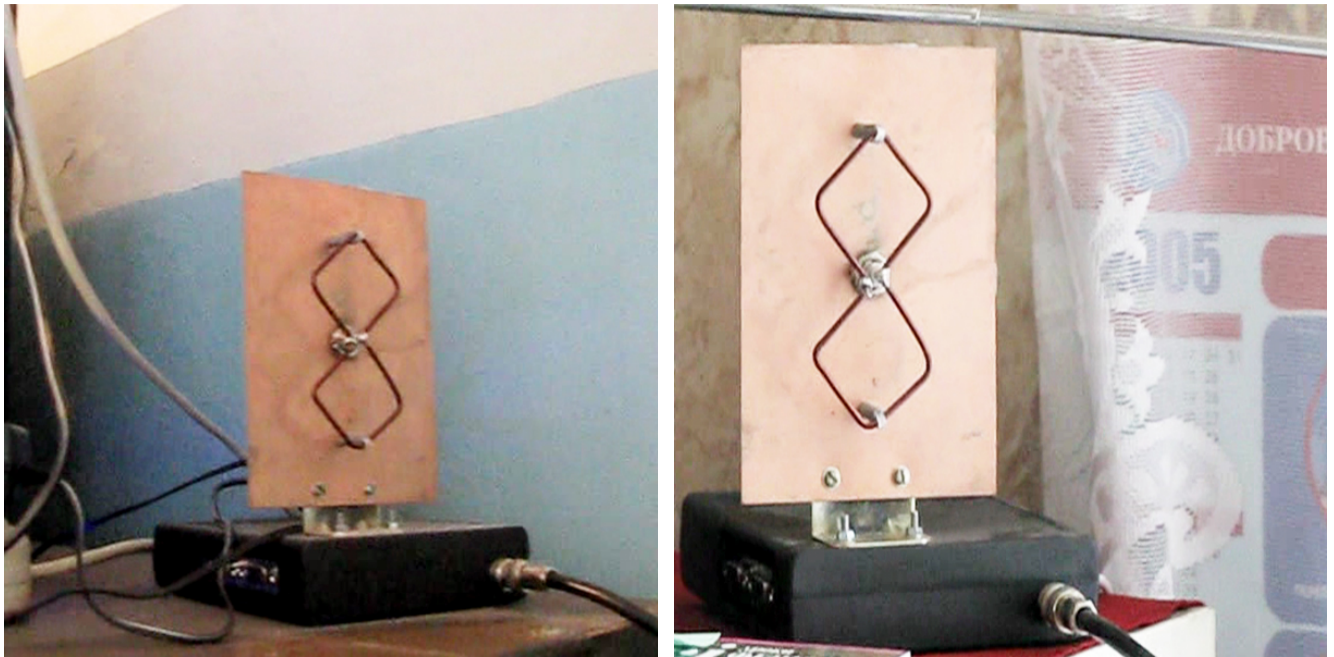


Рис. 4.3 Фотографии датчиков температуры LM335 (в корпусе с контроллером беспроводной связи)

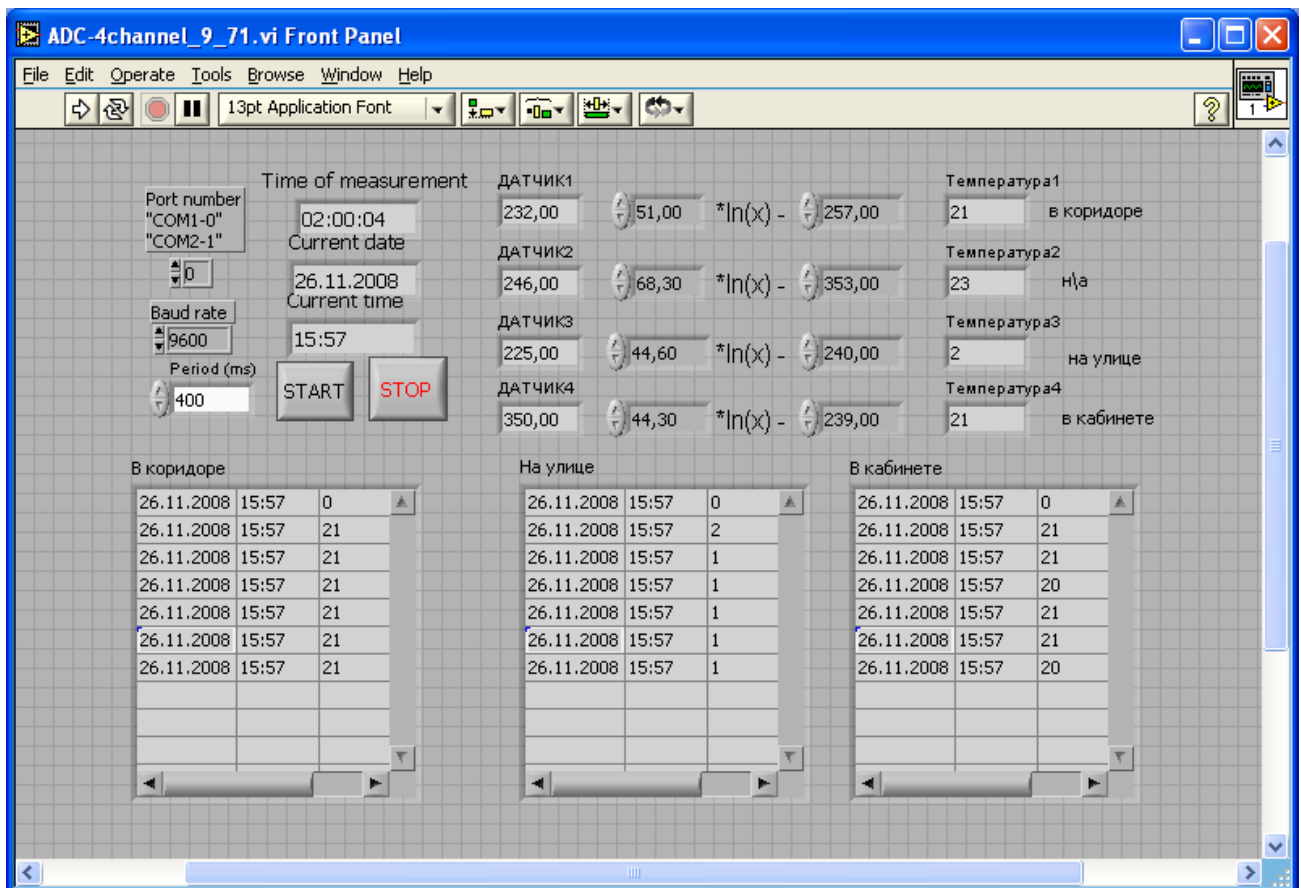


Рис. 4.4 Внешний вид программного обеспечения промышленного миникомпьютера в режиме приема данных с датчиков температуры в помещении

Фотография тепловычислителя, входящего в состав теплосчетчика, представлена на рисунке 4.6. Фотография расходомера, входящего в состав теплосчетчика, представлена на рисунке 4.7. Фотография датчика температуры теплоносителя, входящего в состав теплосчетчика, представлена на рисунке 4.8.



Рис. 4.5 Микроконтроллер, миникомпьютер и коммутатор



Рис. 4.6 Тепловычислитель, входящий в состав теплосчетчика

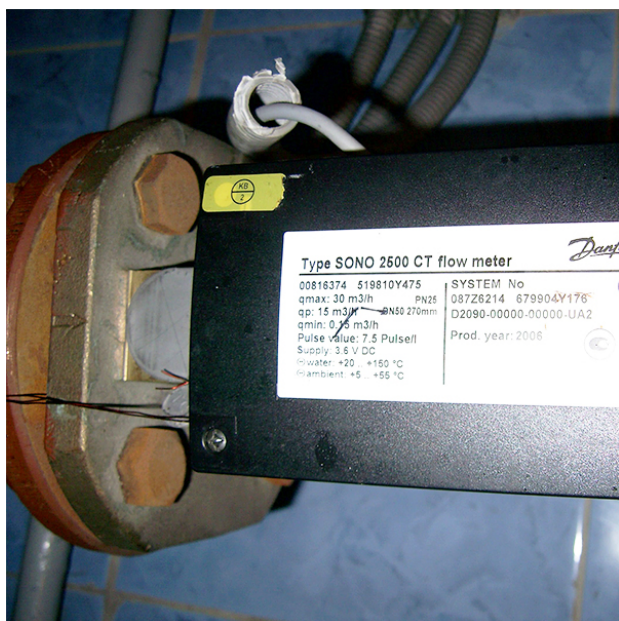


Рис. 4.7 Расходомер, входящий в состав теплосчетчика



Рис. 4.8 Датчик температуры теплоносителя

Технологическая схема диспетчерского пункта показана на рисунке 4.9.

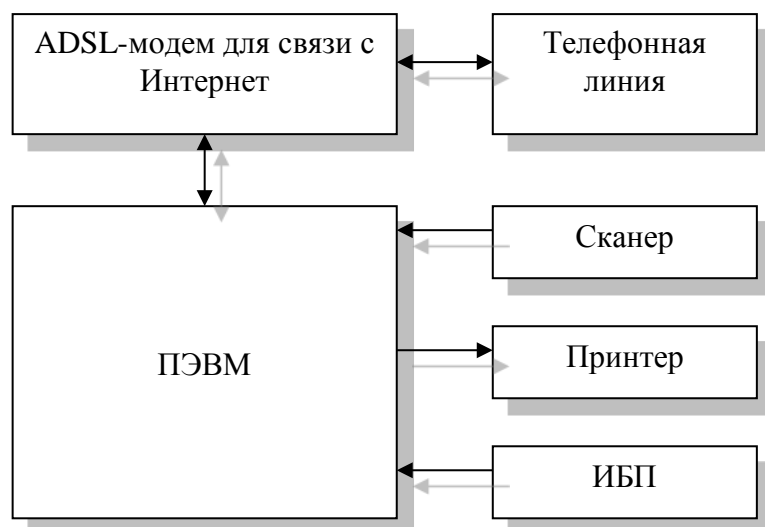


Рисунок 4.9 Структурная схема диспетчерского пункта

4.2 Информационный обмен между компонентами системы анализа энергоэффективности отопления общественных зданий

В процессах управления, поддерживаемых автоматизированной системой анализа энергоэффективности отопления соблюдается иерархичность и многофункциональность [125, 126]. Система анализа энергоэффективности отопления является многоуровневой в соответствии со структурой, приведённой в Техническом задании на автоматизированную систему анализа энергоэффективности отопления общественных зданий города Донецка (по договору с Донецким городским советом) и включает в себя внутренние и функционально-внешние составляющие.

Верхний уровень системы является общегородским и включает внутреннее ядро системы. В состав внутренних составляющих системы входят:

- информационно-аналитический диспетчерский пункт;
- автоматизированные рабочие места субъектов мониторинга;
- автоматические посты сбора данных с теплосчетчиков и датчиков температуры;

– системы связи и коммуникации между внутренними составляющими системы.

Принцип унифицированности обеспечивается за счёт применения стандартных методов анализа и измерений, типизации проектных решений и использования единых подходов при внедрении информационно-коммуникационных технологий [127, 128].

В отделе энергоменеджмента Донецкого городского Совета размещается программно-аналитический комплекс, где в систему анализа энергоэффективности отопления подключаются модули автоматизированных рабочих мест (энергоменеджера и анализа энергоэффективности отопления). В комплекс поступает информация с приборов [129, 130] в соответствии с общей функциональной схемой, приведенной на рисунке 4.8.

Информационно-логическая структура системы анализа энергоэффективности отопления содержит следующие структурные блоки:

- каталог организаций – объектов анализа;
- блок административной, территориальной, юридической и финансовой информации объектов бюджетной сферы;
- каталог зданий и построек, находящихся в ведении объектов анализа;
- блок территориальной, административной, энергетической и проектной информации зданий;
- блок информации о подключенных коммуникациях, подводах теплоносителя;
- показания с теплосчетчиков;
- температурный режим зданий, показания температуры наружного воздуха и тепловой сети.

Функциональные особенности системы, поддерживаемые автоматизированной системой анализа энергоэффективности отопления общественных зданий, можно отнести к двум типам – ввод данных и блок анализа. Согласно этому, в структуре автоматизированной системы можно все функции отнести либо к вводу данных, либо к хранению и анализу.



Рисунок 4.10 Общая функциональная схема информационного обеспечения

Система по своей функциональной структуре представляет собой несколько взаимодействующих подсистем:

- подсистему сбора, обработки и накопления информации от субъектов мониторинга;
- подсистему сбора и обработки данных автоматизированных постов;
- подсистему связи и коммуникаций;
- подсистему базы данных о состоянии потребления теплоты объектами, относящимися к различным ведомствам;
- подсистему формирования отчетов относительно потребления энергии бюджетными учреждениями;
- подсистему анализа энергоэффективности отопления общественных зданий.

Информационный обмен между компонентами системы [131] представляет собой подсистемы различного назначения.

Подсистема сбора, обработки и накопления информации от субъектов анализа представляет собой распределенную систему, автоматизированные

рабочие места которой распределены среди субъектов анализа. Обмен информации между ними происходит с помощью FTP-сервера, находящегося во введении подсистемы связи и коммуникаций.

Подсистема сбора и обработки данных автоматизированных постов находится на главном сервере в отделе энергоменеджмента и принимает информацию с автоматизированных постов через FTP-сервер. Вся информация о состоянии потребления тепла объектами, относящимися к различным ведомствам, поступает в подсистему базы данных. Подсистема формирования отчетов относительно потребления тепла бюджетными учреждениями и подсистема оценки потребления энергоресурсов получают информацию из базы данных.

С температурных датчиков автоматизированных постов аналоговый сигнал поступает на входы АЦП микроконтроллера. Сигнал оцифровывается и с помощью файлового обмена специфицированными данными, передается на FTP-сервер отдела энергоменеджмента.

Схема информационного обмена между компонентами системы представлена на рисунке 4.11.

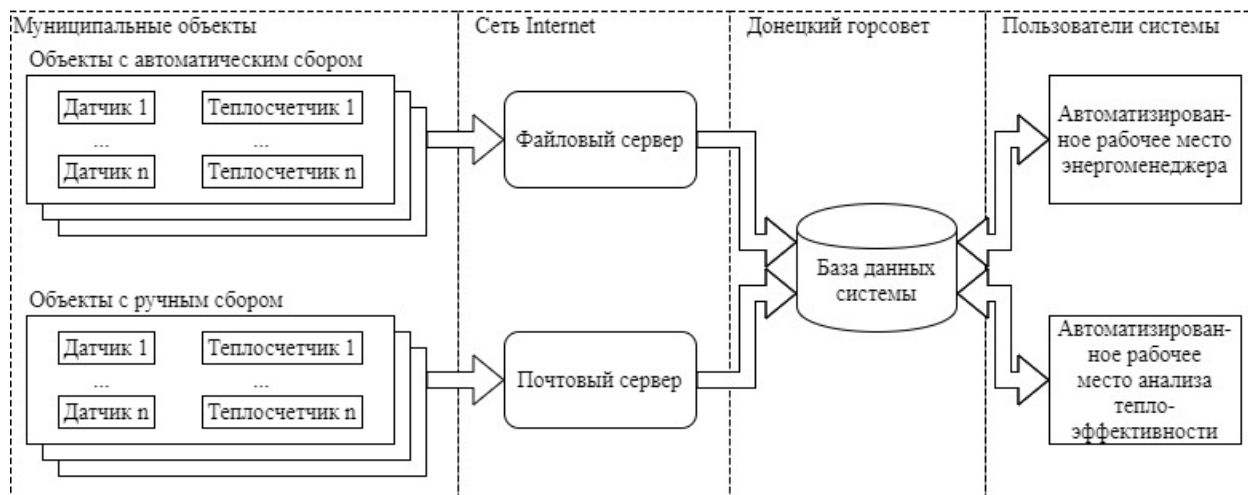


Рисунок 4.11 Схема обмена информацией между компонентами системы

Если на объекте отсутствует автоматизированный пост, данные вносятся вручную раз в сутки. Оператор снимает показания с датчиков и сохраняет их в локальный файл базы данных формата MS Access. Файл архивируется и

отсылается по электронной почте на адрес, специально выделенный для рассматриваемых целей. Оператор серверной части данного программно-аппаратного комплекса периодически инициирует макрос MS Access для автоматического получения и обработки архивов от всех муниципальных объектов, с добавлением содержащейся в них информации в базу данных системы [102].

Макрос посредством COM технологии запускает MS Outlook и просматривает письма из папки «Входящие». Для каждого еще не обработанного сообщения, тема которого удовлетворяет заданным критериям, выполняется просмотр всех вложенных в него файлов. Каждое вложение должно представлять собой файл формата «mdb» со снятыми показаниями за определенный период либо архив формата «rar», в котором запакован «mdb»-файл.

Программная реализация данной информационной модели обработки электронного письма представлена на рисунке 4.12.



Рисунок 4.12 Одна итерация обработки электронного письма

При обнаружении подходящего вложения выполняются следующие действия. По команде макроса MS Access (1) приложение MS Outlook сохраняет файл вложения во временный каталог А (2). Тот же макрос запускает специально разработанное Java приложение (3) [133] для обработки сохраненного вложения. Если файл является архивом формата «rar», то Java приложение запускает Rar архиватор (4) для распаковки архива во временный каталог В (5). Распаковка в отдельный каталог нужна для того, чтобы имя файла «mdb» могло быть произвольным (минимизация влияния человеческого фактора) и обработки ситуации содержания в архиве нескольких файлов. Корректный файл «mdb» из распакованного архива перемещается во временный каталог С (6). Показания из него добавляются в основную базу данных другим макросом MS Access (7).

4.3 Разработка информационного и программного обеспечения системы анализа энергоэффективности отопления

4.3.1 Модель данных автоматизированной системы анализа энергоэффективности отопления

В соответствии с назначением система должна выполнять следующие функции:

- ввод, изменение и обработку полного перечня энергопотребляющих объектов общественных зданий города;
- автоматизированный сбор, хранение и анализ данных о состоянии потребления теплоты общественными зданиями;
- непрерывный мониторинг потребления теплоты;
- формирование и представление обобщенных данных о расходах теплоты;
- анализ энергоэффективности отопления общественных зданий.

В соответствии с вышеперечисленными функциями, была разработана следующая схема данных, хранимых на сервере, представленная на рисунке 4.13.

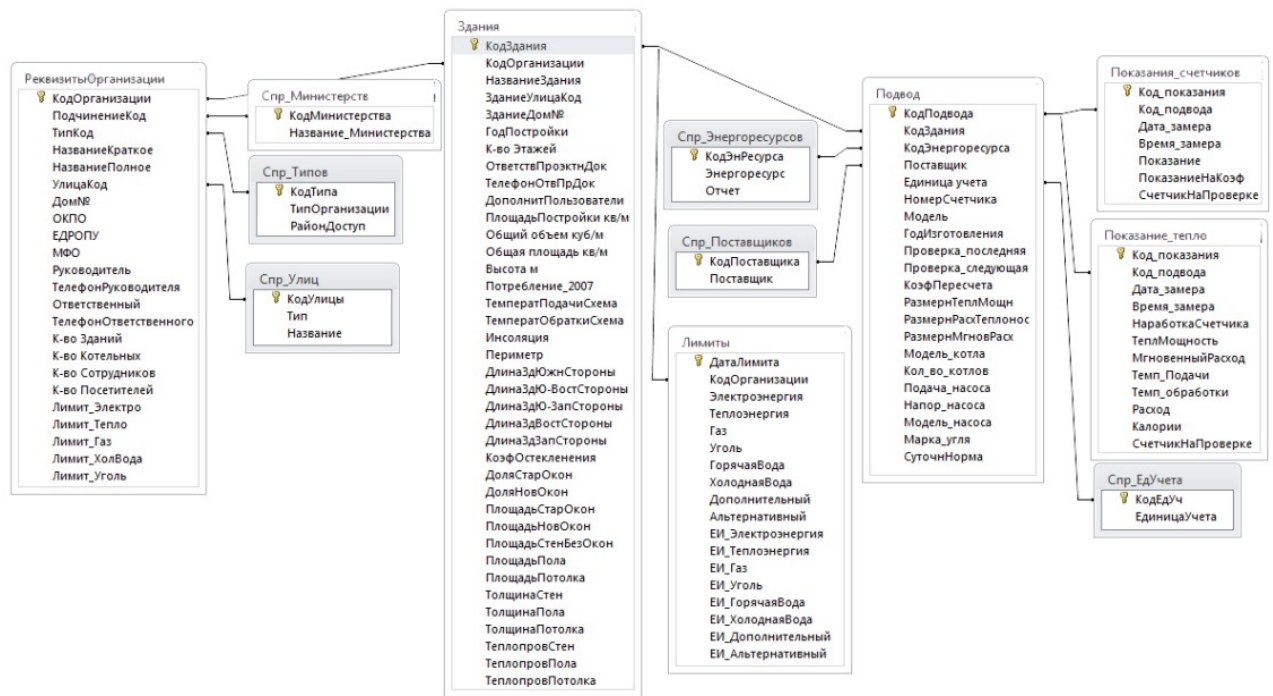


Рисунок 4.13 Схема данных автоматизированной системы анализа энергоэффективности отопления

Схема данных автоматизированной системы анализа энергоэффективности отопления создана в СУБД Microsoft Access [134 - 136]. Данные, организованные и упорядоченные базой данных на основе данной схемы, используются в работе АРМ энергоменеджера и АРМ анализа теплоэффективности.

4.3.2. Разработка программного обеспечения АРМ энергоменеджера

АРМ энергоменеджера системы анализа энергоэффективности отопления общественных зданий создана с помощью СУБД Microsoft Access (Рис. 4.14). Информацию, которая анализируется в системе, можно разделить на четыре группы, иерархично идущие одна за другой:

- информация перечня общественных организаций;
- информация по организации;
- информация об общественных зданиях, входящих в организацию;
- информация о подводе энергоресурса и данные о потреблении зданием данного энергоресурса.

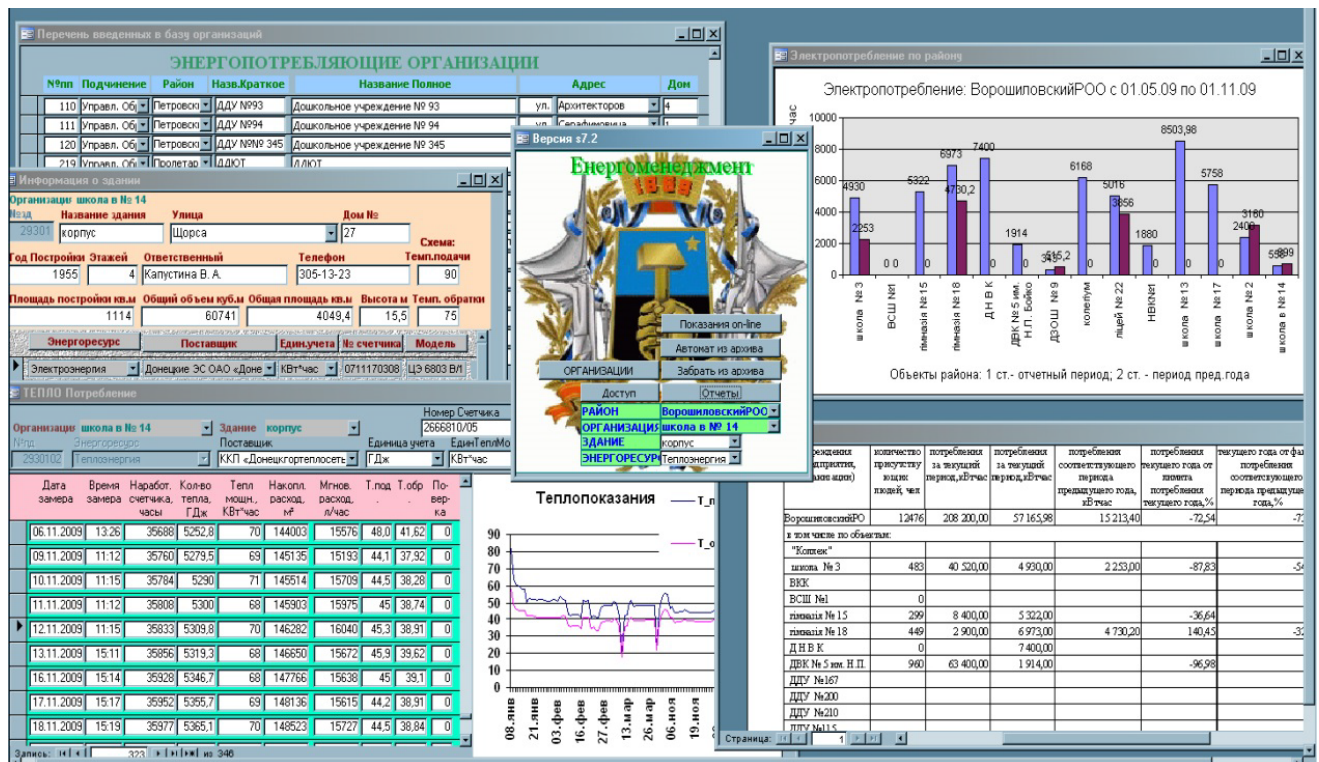


Рисунок 4.14 Интерфейс АРМ энергоменеджера в различных режимах работы

Информация, используемая в АРМ энергоменеджера системы анализа энергоэффективности отопления общественных зданий, нужна для реализации следующих функциональных возможностей:

- ввод, изменение и обработку административной, территориальной, юридической информации общественных зданий;
- ввод и изменение дополнительной информации, касающейся энергоснабжения, энергопотребления и теплоснабжения зданий;
- ввод, изменение и обработку информации о подключенных коммуникациях, подводах энергоресурсов и температурного режима общественных зданий;
- ввод, изменение и обработку информации о подключенных счетчиках энергоресурсов общественных зданий;
- ручной ввод и поддержка баз данных показаний со счетчиков энергоресурсов;
- автоматический сбор данных показаний со счетчиков энергоресурсов;

- формирование и представление пользователю данных о расходах энергоресурсов в табличной или графической форме;
- формирование нормативных отчетов и форм анализа.

4.3.3 Разработка программного обеспечения АРМ анализа энергоэффективности отопления общественных зданий

АРМ анализа энергоэффективности решает задачи математического моделирования (Рис. 4.15).

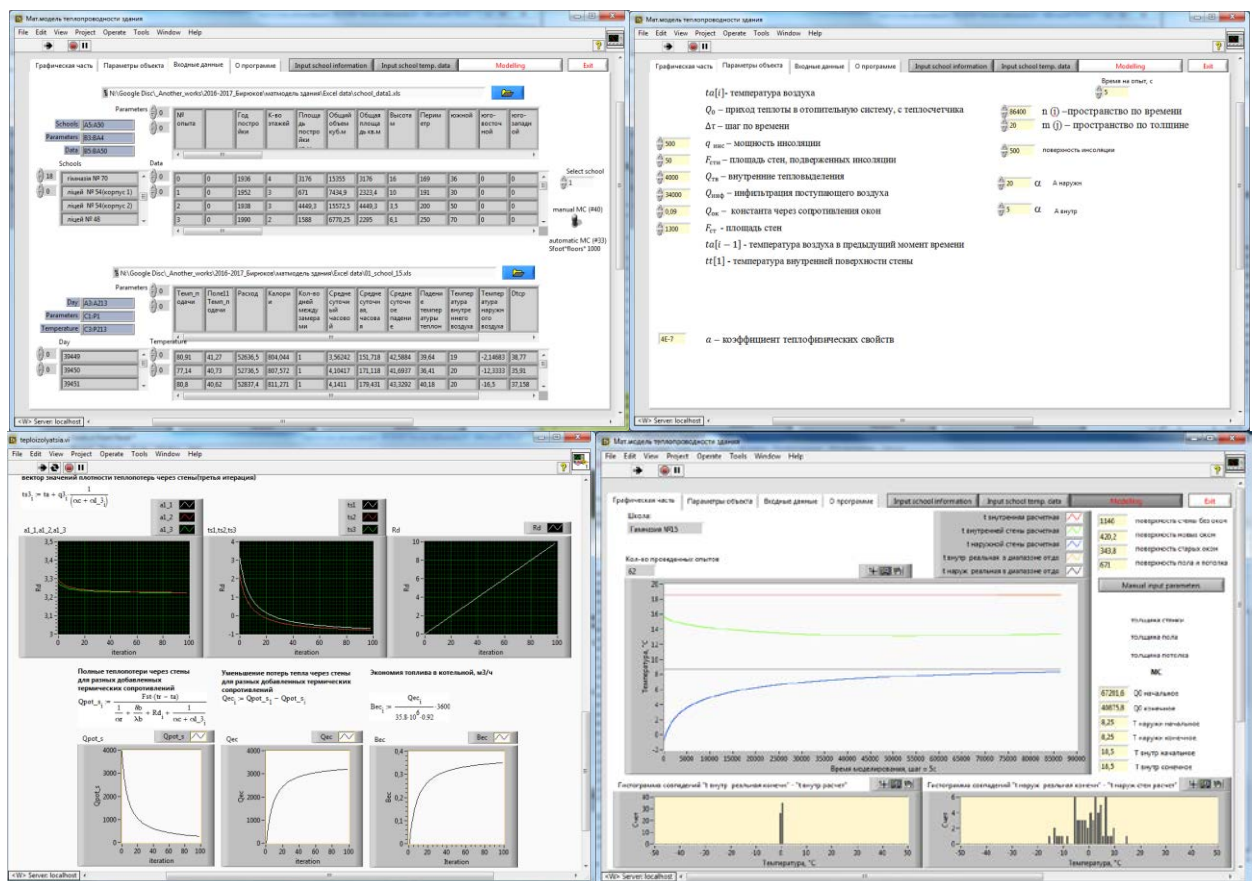


Рисунок 4.15 Интерфейс АРМ анализа энергоэффективности в различных режимах работы

АРМ анализа энергоэффективности отопления представляет собой программный продукт, который реализует следующие функции:

- подключение данных о потреблении теплоты из базы данных системы анализа энергоэффективности отопления;
- реализация подхода к определению рациональных параметров теплоизоляционных материалов для утепления здания на основании реальных данных;
- реализация математической модели изменения температуры в здании.

АРМ анализа энергоэффективности реализовано в среде графического программирования NI LabVIEW [137].

4.4 Внедрение результатов работы системы и экономическая эффективность от внедрения системы энергоэффективности отопления общественных зданий

Данная система была внедрена в отделе образования Администрации г. Донецка. Для школ г. Донецка было проведено обследование по трем критериям, которые выявили следующие отклонения фактических измерений от расчетных значений. Данные школы были разделены на классы для внутреннего потребления в зависимости от первоочередности энергосберегающих мероприятий. Результаты анализа по некоторым школам сведены в таблицу Б.4 Приложения Б.

В результате работы в двух пилотных районах города был получен следующий экономический эффект от внедрения системы:

- в Ворошиловском районе г. Донецка были проведены мероприятия по утеплению зданий в пяти школах, была проведена модернизация отопления в шести школах. Ожидаемая экономия тепла составила 1046,7 МВт (14%), экономический эффект – 2 160 000 руб;
- в Киевском районе г. Донецка были проведены мероприятия по утеплению зданий в семи школах, была проведена модернизация отопления в семи школах. Ожидаемая экономия тепла составила 814,7 МВт (10%), экономический эффект – 1 680 000 руб.

Выводы по разделу 4

1. Было создано информационное и программное обеспечение автоматизированной системы учета и анализа энергоэффективности теплоснабжения общественных зданий, в котором использовался оперативный анализ для повышения энергоэффективности отопления общественных зданий.

2. Программное обеспечение было внедрено в работу отдела образования Администрации г. Донецка.

3. Был получен следующий экономический эффект от внедрения системы:

– в Ворошиловском районе г. Донецка были проведены мероприятия по утеплению зданий в пяти школах, была проведена модернизация отопления в шести школах. Ожидаемая экономия тепла составила 1046,7 МВт (14%), экономический эффект – 2 160 000 руб;

– в Киевском районе г. Донецка были проведены мероприятия по утеплению зданий в семи школах, была проведена модернизация отопления в семи школах. Ожидаемая экономия тепла составила 814,7 МВт (10%), экономический эффект – 1 680 000 руб.

ВЫВОДЫ

В диссертационной работе решена прикладная научно-техническая задача по повышению энергоэффективности отопления общественных зданий на основании оперативного анализа потребления теплоты.

1. Исследованы существующие способы анализа энергоэффективности отопления общественных зданий и критерии энергоэффективности. Из рассмотренных были выбраны критерии: функция валового отпуска теплоты Q_0 , кВт, в зависимости от температуры наружного воздуха; удельная отопительная характеристика q_0 , Вт/(м³·К); параметр отопительной системы Φ_0 , Вт/К. Отбор вышеназванных критериев обусловлен необходимостью выбора критериев, которые могут быть проанализированы с большей точностью на основании сбора данных в режиме реального времени с помощью современных средств автоматизированного сбора данных в нестационарных тепловых условиях.

2. Разработан способ анализа энергоэффективности отопления общественных зданий и сравнения показателей энергоэффективности зданий, как в течение разных отопительных сезонов, так и между собой с помощью критериев энергоэффективности отопления общественных зданий, что позволяет установить базовый уровень энергопотребления и анализировать соотношение значений критериев энергоэффективности с базовым уровнем энергопотребления.

3. Разработаны подходы к выбору параметра теплоизоляционных материалов для утепления общественных зданий на основе измеренных теплотехнических характеристик для конкретного здания, которая позволяет рассмотреть использование информации о снижении величины тепловых потерь в зависимости от параметров теплоизоляции одновременно с учетом их стоимости.

4. Разработана математическая модель нестационарных тепловых процессов при отоплении зданий, описывающая изменение температуры воздуха внутри помещений, и процесс теплопередачи через ограждающие конструкции. Обосновано, что наиболее целесообразный параметр для адаптации модели к условиям конкретных зданий – полная теплоемкость внутреннего объема здания.

В результате адаптации разработанной математической модели к условиям школ г. Донецка установлено, что значение полной теплоемкости внутреннего объема здания может быть описано в виде определенной зависимости: $mc=kV$, где k – коэффициент пропорциональности, равный $(4,5...4,8) \cdot 10^5$, Дж/(м³·К), что позволяет наиболее быстро осуществлять адаптацию математической модели нестационарного теплообмена к условиям конкретных школ.

5. Модель была применена для получения сведений о состоянии здания при нестационарном режиме отопления. Результаты моделирования показали, что данное снижение отопительной нагрузки в определенных условиях позволяет получить экономию теплоты до 10%. Также данная модель, в качестве инструмента, позволяет исследовать поведение зданий в нештатных ситуациях, связанных с аварийным отключением отопления.

б) Разработанная система была внедрена в отделе образования Администрации

г. Донецка. В результате работы в двух пилотных районах города был получен следующий экономический эффект от внедрения системы:

- в Ворошиловском районе г. Донецка были проведены мероприятия по утеплению зданий в пяти школах, была проведена модернизация отопления в шести школах. Ожидаемая экономия тепла составила 1046,7 МВт (14%), экономический эффект – 2 160 000 руб;

- в Киевском районе г. Донецка были проведены мероприятия по утеплению зданий в семи школах, была проведена модернизация отопления в семи школах. Ожидаемая экономия тепла составила 814,7 МВт (10%), экономический эффект – 1 680 000 руб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пшеничников, В.М. Особенности энергообмена в инфракрасном (лучистом) отоплении. анализ энергетической эффективности инфракрасного отопления в промышленных зданиях [Текст] / В.М. Пшеничников // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 266-275.
2. Кувшинов, Ю.Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения [Текст] / Ю.Я. Кувшинов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 184 с.
3. Сканави, А.Н. Отопление: учебник для вузов [Текст] / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М.: Издательство АСВ, 2002. – 576 с.
4. Kok, N. The Diffusion of Energy Efficiency in Building [Текст] / N. Kok, M. McGraw, J. M. Quigley // The American Economic Review, Papers and proceedings of the one hundred twenty third annual meeting of the American economic association. – 2011. – Vol. 101, N4. – P. 77-82
5. Curtis, R. Energy Efficiency in Traditional Buildings: Initiatives by Historic Scotland [Текст] / R. Curtis // APT Bulletin. – 2012. – Vol. 43, N2/3. P. 13-20.
6. Zhichang, C. From energy efficiency to integrated sustainability in housing development in China: a case study in a hot-summer/cold-winter zone in China [Текст] / C. Zhichang, Y. Ying, R. Wennerstern // Journal of Housing and the Built Environment. – 2013. – Vol. 28 N2. – P. 329-344.
7. Короткова, Л.И. Регулирование потребления тепловой энергии в жилом фонде [Текст] / Л.И. Короткова, Н.А Толдина // Вестник МГСУ. – 2011. – №7. – С. 452-455.
8. Лукьянченко, А.А. Комплексная программа «Энергосбережение в г.Донецке на 2010-2014 гг.» [Текст] / А.А. Лукьянченко, Г.А. Гришин, С.М. Сафьянц и др. – Донецк: 2010. – 188 с.
9. Осауленка, О.Г. Статистичний збірник «Регіони України» [Текст] / О.Г. Осауленка. – Київ: 2013. – Ч. I. – 347 с.

10. Отопление, вентиляция и кондиционирование [Текст]: СНиП 2.04.05-91*. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1999. – 72 с.
11. Кылатчанов, А.П. Методы нормирования теплотехнических характеристик здания [Текст] / А.П. Кылатчанов, В.Л. Попов. – Якутск: ГУП «Полиграфист» ЯНЦ СО РАН, 2000. – 31 с.
12. Ионин, А. А. Теплоснабжение: учебник для вузов [Текст] / А.А. Ионин, В.М. Хлыбов, В.Н. Братенков, Е.Н. Тарлецкая. – М.: Стройиздат, 1982. – 332 с.
13. Богословский, В.Н. Отопление и вентиляция: учебник для вузов [Текст] / В.Н. Богословский. – М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.
14. Cavallo, J. Capturing Energy-Efficiency Opportunities in Historic Houses [Текст] / J. Cavallo // APT Bulletin. – 2005. – Vol. 36 N4. – P. 19-23.
15. Еремкин, А.И. Тепловой режим зданий [Текст] :учебное пособие / А.И. Еремкин, Т.И. Королева. – М.: Издательство АСВ, 2000 – 368 с.
16. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст]: 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2015. – 204 с.
17. Кылатчанов, А.П. Методы нормирования теплотехнических характеристик здания [Текст]: / А.П. Кылатчанов, В.Л. Попов. – Якутск: ГУП «Полиграфист» ЯНЦ СО РАН, 2000. – 31 с.
18. Кудряшов, В.В. Методика распределения объемов и стоимости поставленной тепловой энергии между потребителями [Текст] / В.В. Кудряшов, В.И. Ливчак, Ю.А. Табунщиков и др. // Энергосбережение. – 2002. – № 1. – 212 с.
19. Энергосбережение. Методика анализа и расчет потребления энергоресурсов [Текст]: ANSI/IEEE 739:1995, NEQ. – Київ: Держстандарт України, 2002. – 10 с.
20. Энергетическая эффективность зданий. Расчет потребления энергии для отопления и охлаждения [Текст]:Свод правил СП (EN ISO 13790:2008). – М.: Стандартинформ, 2013. – С. 6-8.
21. Олексюк, А.А. Определение области рационального использования различных систем теплоснабжения [Текст]: / А.А. Олексюк, А.Ф. Радько,

А.А. Козлов. // Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции ПГАСА, г. Пенза. – 2003. – С. 36-39.

22. Грановский, В.Л. Энергоэффективные системы отопления: тенденции, практика, проблемы [Текст]: / В.Л. Грановский // АВОК. – 2011. – №8. – С. 40-44.

23. Иншеков, Е.Н. Внедрение системы энергетического менеджмента на базе стандарта ISO 50001:2011: путеводитель для специалистов компаний и предприятий [Текст] / Е.Н. Иншеков, А.С. Сафьянц, С.М. Сафьянц и др. – К.: GIZ. – 2014. – 38 с.

24. Kurnitski, J. Getting Energy Efficiency Applied in Buildings [Текст] / J. Kurnitski, G.B. Hanna, A.B. Birtles // Energy & Environment. – 1993. – Vol. 4, N3. – P. 221-252.

25. Taylor, E. Assessing the Energy Efficiency Gap [Текст] / E. Taylor, J. Heinz, T. D. Gerarden, R. G. Newell, R. N. Stavins. // Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM). – 2015. – 33 p.

26. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні [Текст]: КТМ 204 України 244-94. – Київ: Державний комітет України по житлово-комунальному господарству, 2001. – 10 с.

27. Міжгалузеві норми споживання електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України [Текст]: Державний комітет України по житлово-комунальному господарству, – Київ: 1999. – № 91. – С. 5-12.

28. Системы отопления зданий. Метод расчета энергетических характеристик и показателей эффективности системы [Текст]: Свод правил СП (EN 15316-2-1:2007). – М: – 2013. – С. 8-10.

29. Gillingham, K. Energy Efficiency Economics and Policy [Текст] / K. Gillingham, R. G. Newell, K. Palmer. // Annual Review of Resource Economics. – 2009. – Vol. 1. – P. 597-619.

30. Кылатчанов, А.П. Методы нормирования теплотехнических характеристик здания [Текст] / А.П. Кылатчанов, В.Л. Попов. – Якутск: ГУП «Полиграфист» ЯНЦ СО РАН, 2000. – 31 с.

31. Dembach, J. C. Energy Efficiency and Conversation: New Legal Tools and Opportunities [Текст] / J. C. Dembach, R. B. McKinstry Jr, D. Lowder. // Natural Resources & Environment. – 2011. – Vol. 25, N4. – P. 7-11.

32. Kelly, M. J. Energy Efficiency, Resilience to Future Climates and Long-term Sustainability: The Role of the Built Environment [Текст] / M. J. Kelly. // Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 2010. – Vol. 368, N1914. – P. 1083-1089.

33. Barret, L. The Process for Adopting an Energy Efficiency Code in Existing Homes: A Case Study of Boulder, Colorado's SmartRegs Program [Текст] / L. Barret, S. Glick, C. Clevenger. // The Journal of Sustainable Real Estate. – 2011. – Vol. 3, N1. – P. 192-210.

34. Защита окружающей среды Европы – четвертая оценка [Текст]: Европейское агентство по окружающей среде. – Копенгаген: 2007. – 452 с.

35. World Energy Outlook [Текст]: OECD/IEA (Organization for Economic Cooperation and Development/International Energy Agency). – NYC: – 2013. – 700 p.

36. Boardman, B. Energy efficiency incentives and UK households [Текст] / B. Boardman // Energy & Environment. – 1993. – Vol. 4, N4. – P. 316-334.

37. Shanks, K. B. P. Appropriate Energy Efficient Building Envelope Technologies for Social Housing in the Irish Climate [Текст] / K. B. P. Shanks, S. N. G. Lo, B. Norton // Journal of Housing and the Built Environment. – 2006. – Vol. 21, N2. – P. 191-202.

38. Lester, R. K. The First Wave of Innovation: Energy Efficiency in Buildings [Текст] / R. K. Lester, D. M. Hart // Unlocking Energy Innovation: How America Can Build a Low-Cost, Low-Carbon Energy System. MIT Press. – 2012. – P. 77-98.

39. Shorr, N. Household Heating and Cooling Energy Use in the Northeast USA: Comparing the Effects of Climate Change with those of Purposive Behaviors [Текст] / N. Shorr, R. G. Najjar, A. Amato, S. Graham. // Climate Research. – 2009. – Vol. 39, N1. – P. 19-30.

40. Alberini, A. Energy Efficiency Investments in the Home: Swiss Homeowners and Expectations about Future Energy Prices [Текст] / A. Alberini, S. Banfi, C. Ramseier // The Energy Journal. – 2013. – Vol. 34, N1. – P. 49-86.

41. Alberini, A. How Effective Are Energy-Efficiency Incentive Programs?: Evidence from Italian Homeowners [Текст]/ A. Alberini, A. Bigano // Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM). – 2014. – 36 p.

42. Указ Президента Украины «О решении Совета национальной безопасности и обороны Украины от 30 мая 2008 года «О состоянии реализации государственной политики по обеспечению эффективного использования топливно-энергетических ресурсов» № 679/2008 от 28 июля 2008 года [Электронный ресурс] / мат. сайта www.president.gov.ua/: Администрация президента Украины. – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE 6.0. – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://www.president.gov.ua/ru/documents/8158.html>

43. ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] / мат. сайта Президент России – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://kremlin.ru/acts/bank/30163/page/1>

44. Решение Донецкого городского совета от 20.05.2008 г. № 19/14 О Программе по реализации энергосберегающих мероприятий на объектах бюджетной сферы [Электронный ресурс] / мат. сайта lukuanchenko.dn.ua: Официальный сайт городского головы и городского совета г. Донецка. – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: http://lukuanchenko.dn.ua/public_echo.php?id=459

45. Копец, А.С. Практическое руководство по повышению энергоэффективности муниципальных систем [Текст] / А.С. Копец; под ред. Р.В. Кишканя. – Донецк: 2007. – 204 с.

46. Лукьянченко, А.А. Комплексная программа «Энергосбережение в г.Донецке на 2010-2014 гг.» [Текст] / А.А. Лукьянченко, Г.А. Гришин, С.М. Сафьянц и др. – Донецк: 2010. – 188 с.
47. Фаренюк, Г. Тепловая изоляция зданий [Текст]: ДБН В.2.6-31:2016 / Г. Фаренюк, П. Павлюк, Е. Фаренюк и др. – К.: Укрархбудінформ, 2017. – 37 с.
48. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания [Текст] / В.Н. Богословский. – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с.
49. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) [Текст]: учебник для вузов / В.Н. Богословский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1982. 415с., ил.
50. Богословский, В.Н. Отопление: учебник для вузов [Текст] / В.Н. Богословский, А.Н. Сканава. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.
51. Тепловая защита зданий [Текст]: СНиП 23-02-2003 (актуализированная редакция). – М: Росстандарт, 2014. – 95 с.
52. Хиж, Э.Б. МДК 4-05.2004. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения [Текст] / Э.Б. Хиж, Г.М. Скольник, О.М. Бытенский, А.С. Толмасов. – 2003. – 203 с.
53. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст] / Е.Я. Соколов. – М.: Энергия, 1975. – 376 с.
54. Козин, В.Е. Теплоснабжение [Текст] / В.Е. Козин, Т.А. Левина, А.П. Марков и др. – М.: Высш. школа, 1980. – 408 с.
55. Бобух, А.А. Повышение энергосбережения закрытого централизованного теплоснабжения города при реконструкции центрального и модернизации индивидуального тепловых пунктов [Текст] / А.А. Бобух, Д.А. Ковалев // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2014. – № 13 (121). – С. 12-18.
56. Панферов, С.В. Некоторые проблемы энергосбережения и автоматизации в системах теплоснабжения зданий [Текст] / С.В. Панферов,

А.И. Телегин, В.И. Панферов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2010. – № 22 (198). – С. 79-86.

57. Грановский, В.Л. Энергоэффективные системы отопления: тенденции, практика, проблемы [Текст] / В.Л. Грановский // АВОК. – 2011. – № 8. – С. 40-44.

58. Нормирование и расчет теплозащитных характеристик окон [Электронный ресурс] / мат. сайта <https://okna.ua>. – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: https://okna.ua/library/art-normirovanie_i_raschet_teplozaschitnyh

59. Крупнов, Б.А. Об энергоэффективности и экономии тепловой энергии в зданиях различного назначения [Текст] / Б.А. Крупнов // Вестник МГСУ. 2011. №3-1. С.411-414

60. Таблица теплопроводности строительных материалов [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://cementu.com>. – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://cementu.com/spravka-cementa/teploprovodnost-stroitelnykh-materialov>

61. Постолатий, В.М. Разработка математической модели системы отопления многоэтажного дома [Текст] / В.М. Постолатий, В.М. Суслов, М.В. Гродецкий // Проблемы региональной энергетики. – 2009. – №2. – С. 92-96.

62. Панферов, С.В. К задаче параметрической идентификации математической модели теплового режима зданий [Текст] / С.В. Панферов, В.И. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2012. – № 17 (276). – С. 73-76.

63. Hemsath, T. L. A Review of Possible Health Concerns Associated with Zero Net Energy Homes [Текст] / T. L. Hemsath, A. Walburn, A. Jameton, M. Gulsvig // Journal of Housing and the Built Environment. – 2012. – Vol. 27, N3. – P. 389-400.

64. Ottinger, R. L. Energy-Efficiency: The Best Option for a Secure, Clean, Healthy Future [Текст] / R. L. Ottinger // Natural Resources & Environment. – 2005. – Vol. 19, N3. – P. 50-53.

65. Стрижак, П.А. Математическое моделирование теплового режима здания с учетом инсоляционных теплопоступлений [Текст] / П.А. Стрижак, М.Н. Морозов // Известия ТПУ. – 2015. – №8. – С. 36-46.

66. Анисимова, Е.Ю. Энергоэффективность теплового режима здания при использовании оптимального режима прерывистого отопления [Текст] / Е.Ю. Анисимова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2012. – № 38 (297). – С. 55-59.

67. Отопление, вентиляция, кондиционирование [Текст]: СНиП 41-01–2003. – Москва: Росстандарт, 2014. – 95 с.

68. EnergyCAP [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://info.energycap.com>. – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://info.energycap.com/faser-energy-accounting-software>

69. Review of Energy Accounting Tools [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://www.munee.org> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: http://www.munee.org/files/acct_software_review.pdf

70. Гаврилюк, Ю. С. Обзор компьютерных программ для учета и анализа энергопотребления муниципальными зданиями [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://www.uneec.lviv.ua>. – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://www.uneec.lviv.ua/index.php?page=../1/2/1/p92.ru>

71. Modern Review of Energy [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://www.munee.org> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: http://www.munee.org/files/modern_acct_software_review.pdf

72. Долгова, Е.А. Финансовые инструменты управления погодными рисками [Текст] / Е.А. Долгова, П.Н. Марков, Е.Ю. Щетинин // материалы международной научной конференции «Информационно-телекоммуникационные технологии и матмоделирование». – М.: РУДН. – 2012. – 372 с.

73. EZ Sim [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://advancedbuildings.net/> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://advancedbuildings.net/ez-sim>

74. Программа для проведения энергоаудита зданий [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://www.ensi.no> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://www.ensi.no/index.php?ledd2ID=140&sideID=277&sprakID=ru>

75. Франк, Т. Развитие передовых методологий для мониторинга энергоэффективности на примере украинских пилотных компаний [Текст] / Т. Франк, Д. Борст. – Envidatec GmbH. – 2014. – 104 с.

76. Копець, А. Комп'ютеризовані системи управління споживанням енергії для бюджетних установ [Текст] / А. Копець // Інформаційно-аналітичний бюлетень «Державні закупівлі України». – 2007. – №1 (31). – С. 10-15.

77. Некрасов, А.С. Современное состояние теплоснабжения России [Текст] / А.С. Некрасов, Ю.В. Синяк, С.А. Воронова, В.В. Семикашев // Проблемы прогнозирования. – 2011. – №1. – С. 30–43.

78. Карта солнечной активности в Украине [Электронный ресурс] / мат. сайта <http://suntale.com.ua/> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <http://suntale.com.ua/about-solar-activity-ukraine>

79. NASA Surface meteorology and Solar Energy – Location [Электронный ресурс] / мат. сайта <https://eosweb.larc.nasa.gov/> – Систем. требования: Pentium-500; 128 Мб RAM; Windows 98/2000/NT/XP; MSIE – Название с тит. экрана. – Режим доступа: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?uid=3030>

80. Грановский, В.Л. Энергоэффективные системы отопления: тенденции, практика, проблемы [Текст] / В.Л. Грановский // АВОК. – 2011. – №8. – С. 40-44.

81. Камразе, А.Н. Контрольно-измерительные приборы и автоматика [Текст]: учебник для средних ПТУ / А.Н. Камразе, М.Я. Фитерман. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1988. – 224 с., ил.

82. Качество воздуха. Обработка данных по температуре, давлению и влажности [Текст]: ГОСТ Р ИСО 8756-2005. – М.: Стандартинформ, 2007. – С. 1-3.
83. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Текст]: ГОСТ 30494-2011. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2013. – С. 1-5.
84. Теплосчетчики Sonocal. Описание типа средств измерений [Текст]: государственный реестр средств измерений. Регистрационный № 17735-04. – М.: 2004. – С. 1-4.
85. Иванов, И.К. Установка и эксплуатация современных средств учета тепловой энергии [Текст]: учебник для средних ПТУ / И.К. Иванов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1990. – 230 с., ил.
86. Плющаев, В.И. Система дистанционного мониторинга и управления объектами [Текст] / В.И. Плющаев и др. // Журнал Системы Технологической Автоматизации. – 2003. – №2. – С. 6-15.
87. Precision Temperature Sensors LM135, LM235, LM335 [Текст]: Datasheet SGS-THOMSON Microelectronics, 1997. – 11 p.
88. Демин, О.Г. Современные проблемы энергетического развития и переход на новый инновационный этап развития при реализации проектов в сфере энергосбережения зданий [Текст]/ О.Г. Демин // ТДР. – 2010. – №11. – С. 137-140.
89. Кузнецов, Е.П. Качество теплоснабжения городов [Текст] / Е.П. Кузнецов, Н.В. Кобышева, Т.А. Дацюк, Ю.И. Мусийчук, В.А. Васильев, С.Е. Голубев, В.А. Таратин // ПЭИПК. – 2004. – 295 с.
90. Hartman, Т. Индустрия комфорта: возможности XXI века [Текст] / Т. Hartman // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха и строительная теплофизика. – 2001. – №3. – С. 16-20.
91. Отопление, вентиляция и кондиционирование [Текст]: СНиП 2.04.05-91*. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1999. – 72 с.
92. Системы отопления зданий – метод расчета энергетических характеристик и показателей эффективности системы [Текст]: свод правил СП (EN 15316-2-1:2007). – М.: 2013. – 4 с.

93. Хиж, Э.Б. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения [Текст]: МДК 4-05.2004 / Э.Б. Хиж, Г.М. Скольник, О.М. Бытенский, А.С. Толмасов. – К.: 2003. – 203 с.

94. Иншеков, Е. Внедрение системы энергетического менеджмента на базе стандарта ISO 50001:2011 [Текст]: путеводитель для для специалистов компаний и предприятий / Е. Иншеков, А. Сафьянц, С. Сафьянц, А. Чернявский. – К.: GIZ. – 2014. – 38 с.

95. Козин, В.Е. Теплоснабжение [Текст] / В.Е. Козин, Т.А. Левина, А.П. Марков и др. – М.: Высш. школа, 1980. – 408 с.

96. Немировский, И.А. Энергоэффективность систем теплоснабжения [Текст] / И.А. Немировский // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 18 (102). – С. 25-29.

97. Тепловая защита зданий [Текст]: СНиП 23-02-2003. Актуализированная редакция 23.02.2007 – Москва: Росстандарт, 2014. – 95 с.

98. Данилов, Н.Д. Тепловая защита зданий: учебное пособие по строительной физике [Текст] / Н.Д. Данилов. – Якутск: Издательство ЯГУ, 1999. – 64 с.

99. Панферов, В.И. Эффективные энергосберегающие решения при теплоснабжении зданий [Текст] / В.И. Панферов, Е.Ю. Анисимова, С.В. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – №4. – С. 40-48.

100. Завадский, В.Ф. Варианты стеновых конструкций с применением эффективных утеплителей: учебное пособие [Текст] / В.Ф. Завадский. – Новосибирск: НГАСУ, 2001. – 52 с.

101. Бобров, Ю.Л. Теплоизоляционные материалы и конструкции [Текст]: учебник для средних профессионально-технических учебных заведений / Ю.Л. Бобров. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 268 с.

102. Унаспеков, Б.А. Энергосбережение в тепловых пунктах жилых и общественных зданий [Текст]: Часть 2. Модель обогрева здания / Б.А. Унаспеков, К.О. Сабденов, М.Ж. Кокарев, М.В. Колобердин, Б.А. Игембаев // Известия ТПУ. – 2012. – №4. – С. 35-38.

103. Булавин, Л.А. Компьютерное моделирование физических систем: учебное пособие [Текст] / Л.А. Булавин, Н.В. Выгорницкий, Н.И. Лебовка. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 352 с.

104. Бирюков, А.Б. Математическая модель для изучения процессов воздушного охлаждения металла в печах [Текст] / А.Б. Бирюков, А.И. Волошин, П.А. Гнитиев // Сталь. – 2015. – № 7. – С. 77-81.

105. Barret, L. The Process for Adopting an Energy Efficiency Code in Existing Homes: A Case Study of Boulder, Colorado's SmartRegs Program [Текст] / L. Barret, S. Glick, C. Clevenger // The Journal of Sustainable Real Estate. – 2011. – Vol. 3, N1. – P. 192-210.

106. Шелудько, Л.П. Анализ возможности сокращения «перетопа» тепловых потребителей при «изломе» температурного графика теплосети [Текст] / Л.П. Шелудько // Новости теплоснабжения. – 2004. – № 5. – С. 41-44.

107. Толстой, М.Ю. Энергоаудит – оценка потенциала энергосбережения зданий и сооружений [Текст] / М.Ю. Толстой, И.В. Александрова // Вестник ИрГТУ. – 2010. – №3 (43). – С. 62-66.

108. Тепловая защита зданий [Текст]: СНиП 23-02-2003. Актуализированная редакция 10.03.2009 – Москва: Росстандарт, 2014. – 95 с.

109. Тимошенко, В.Е. Проведение энергосберегающих мероприятий на территории ЮВАО Москвы [Текст] / В.Е. Тимошенко // Энергосбережение. – 2007. – № 8. – С. 22-23.

110. Васильев, А.С. Основы программирования в среде LabVIEW [Текст] / А.С. Васильев, О.Ю. Лашманов – СПб: Унисерситет ИТМО, 2015. – 82 с.

111. Магда, Ю.С. LabVIEW: практический курс для инженеров и разработчиков [Текст] / Ю.С. Магда – М.: ДМК Пресс, 2012. – 208 с.

112. Трэвис, Дж. LabVIEW для всех [Текст]: 4-е изд., перераб. и доп. / Дж. Трэвис, Дж. Кринг. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 904 с.
113. Загидуллин, Р.Ш. LabVIEW в исследованиях и разработках [Текст] / Р.Ш. Загидуллин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 420 с.
114. Девятаева, Г.В. Технология реконструкции и модернизации зданий [Текст]: учебное пособие / Г.В. Девятаева. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 250 с.
115. Королев, А.Л. Компьютерное моделирование [Текст] / А.Л. Королев. – М.: БИНОМ. ЛЗ, 2013. – 230 с.
116. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
117. Басалаев, А.А. Модель системы энергоэффективного теплоснабжения зданий [Текст] / А.А. Басалаев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2012. – №23. – С. 216–218.
118. Ханнанова, В.Н. Математическая модель системы регулирования температуры внутри помещения [Текст] / В.Н. Ханнанова // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – №18. – С. 309-313.
119. Анисимова, Е.Ю. Программное обеспечение для расчета оптимального режима прерывистого отопления зданий [Текст] / Е.Ю. Анисимова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: международный сборник научных трудов. – Магнитогорск: Издательство МГТУ им. Г.И. Носова, 2014. – № 1 (4). – С. 66–71.
120. Дегтярь, А.Б. Построение алгоритма импульсного отопления зданий и исследование режимов его работы [Текст] / А.Б. Дегтярь, В.И. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2008. – №17 (117). – С. 41-44.
121. Кузнецов, Е.П. Качество теплоснабжения городов [Текст] / Е.П. Кузнецов, Н.В. Кобышева, Т.А. Дацюк, Ю.И. Мусийчук, В.А. Васильев, С.Е. Голубев, В.А. Таратин // ПЭИПК. – 2004. – 295 с.

122. Фрайден, Дж. Современные датчики [Текст]: справочник / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

123. Парр, Э. Программируемые контроллеры: руководство для инженера [Текст] / Э. Парр. – М.: БИНОМ. ЛЗ, 2007. – 516 с., ил.

124. Петров, И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования [Текст] / И.В. Петров; под ред. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с., ил.

125. Драчнев, В.П. Автоматизированная система централизованного управления работой тепловых пунктов [Текст] / В.П. Драчнев // Водоснабжение и санитарная техника. – 1982. – №11. – С. 14-17.

126. Ладугин, Д.В. Интегрированная система коммерческого учета тепловой энергии и природного газа на базе программно-технических комплексов серии “КРУГ-2000” [Текст] / Д.В. Ладугин // Журнал Датчики и системы. – 2005. – № 5. – С. 2-5.

127. Бартенев, В.Г. Энергосберегающая модульная АСУТП для распределенных объектов “СИНТАЛ ТЕЛЕТЕРМ” [Текст] / В.Г. Бартенев, М.В. Бартенев // Журнал Датчики и системы. – 2005. – № 2. – С. 32-35.

128. Карташев, А.А. Организация учета энергоносителей на источниках теплоты в бюджетной и жилищно-коммунальной сфере г. Сургута [Текст] / А.А. Карташев, В.И. Мартынов // Труды конференции “Коммерческий учет энергоносителей” XXI международная научно-практическая конференция. – СПб.: 2005. – С. 321-324.

129. Анисимов, А.Л. Проблемы и перспективы создания интегрированных коммунальных систем учета потребления энергоресурсов [Текст] / А.Л. Анисимов, А.М. Астапкович, С.В. Дмитриев и др. // Сборник «Информационно-управляющие системы и сети. Структуры. Моделирование. Алгоритмы». – СПб.: Политехника, 1999. – С. 165-185.

130. Шумилов, И.А. Перспективы создания интегрированных коммунальных систем учета потребления энергоресурсов [Текст] / И.А. Шумилов, А.Л. Анисимов, А.М. Астапкович и др. // Труды конференции «Коммерческий

учет энергоносителей, 10-я конференция». Совершенствование измерений расхода жидкости газа и пара. – СПб: Политехника, 1999. – С. 340-360.

131. Вендров, А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем [Текст] / А.М. Вендров. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 176 с.

132. Грабер, М. SQL [Текст]: справочное руководство / М. Грабер. – 2-е изд. – М.: Издательство «Лори», 2001 – 353 с.

133. Хейк, Б. JDBC: Java и базы данных [Текст] / Б. Хейк. – М.: Издательство «Лори», 1999. – 321 с.

134. Бекаревич, Ю.Б. Самоучитель Microsoft Access 2009 [Текст]/ Ю.Б. Бекаревич, Н.В. Пушкина – СПб.: БХВ – Петербург, 2009. – 720 с.

135. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных [Текст] / Дж. К. Дейт. – 6-е изд. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2008. – 848 с.

136. Михеева, В.Д. Microsoft Access 2002 [Текст] / В.Д. Михеева, И.А. Харитоновна. – СПб.: БХВ – Петербург, 2007. – 1040 с.

137. Блюм, П. LabVIEW: стиль программирования [Текст] / П. Блюм. – М.: ДМК Пресс, 2008 – 400 с., ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Краткое описание программных продуктов сбора и анализа информации энерго- и ресурсопотребления

А.1. Программный продукт “Utility Manager”

Программа Utility Manager (Pro) была создана компанией Save More Resources, Inc. (SMR) с целью предоставления помощи организациям любых масштабов контролировать их так называемые фиксированные расходы на коммунальные услуги.

Программа позволяет:

- производить ввод информации о потребителе;
- осуществлять ввод показаний счетчиков ресурсов и энергии с учетом времени, единиц измерения и цен (рисунок А.1.);
- отслеживать все расходы организации на коммунальные услуги;
- обеспечить возможность импорта, экспорта и отчетности с хранением базы данных на локальном ПК и/или сети;
- создавать детальные отчеты по энергозатратам, цветные графики (рисунок А.2.);
- использовать погодные данные или другие эксплуатационные параметры.

Платформой базы данных является СУБД Microsoft Access [6][11].

Особенностью программы является поддержка дерегулированного энергетического рынка. Программа осуществляет поддержку принятия решения о приобретении энергии у тех или иных энергопоставляющих организаций.

Кроме этого, дополнительные опции (подпрограммы) фирмы SMR позволяют получать счета по электронной почте от поставщиков коммунальных услуг, взаимодействовать со счетами, которые подлежат оплате, или с системой общего бухгалтерского учета (американские стандарты бухгалтерии), экспортировать ющую базу данных в формат данных программы Utility Manager Pro из программ FASER, Metrix, Microsoft Excel и Microsoft СУБД Access и других [7].

Программа является платной.

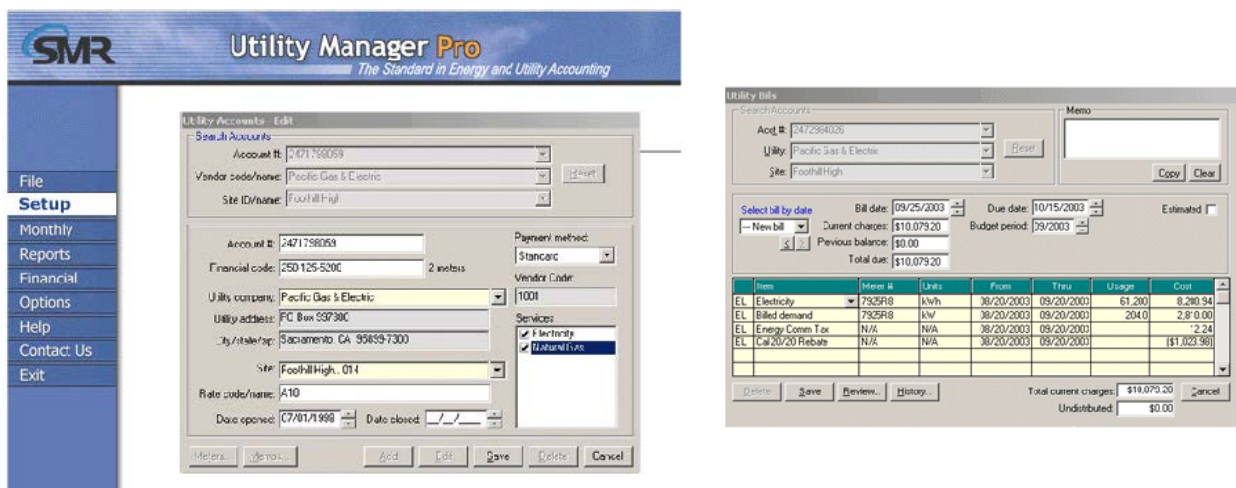


Рисунок А.1. Внешний вид работы программы Utility Manager в режиме ввода информации о пользователе и в режиме ввода информации о потреблении ресурсов

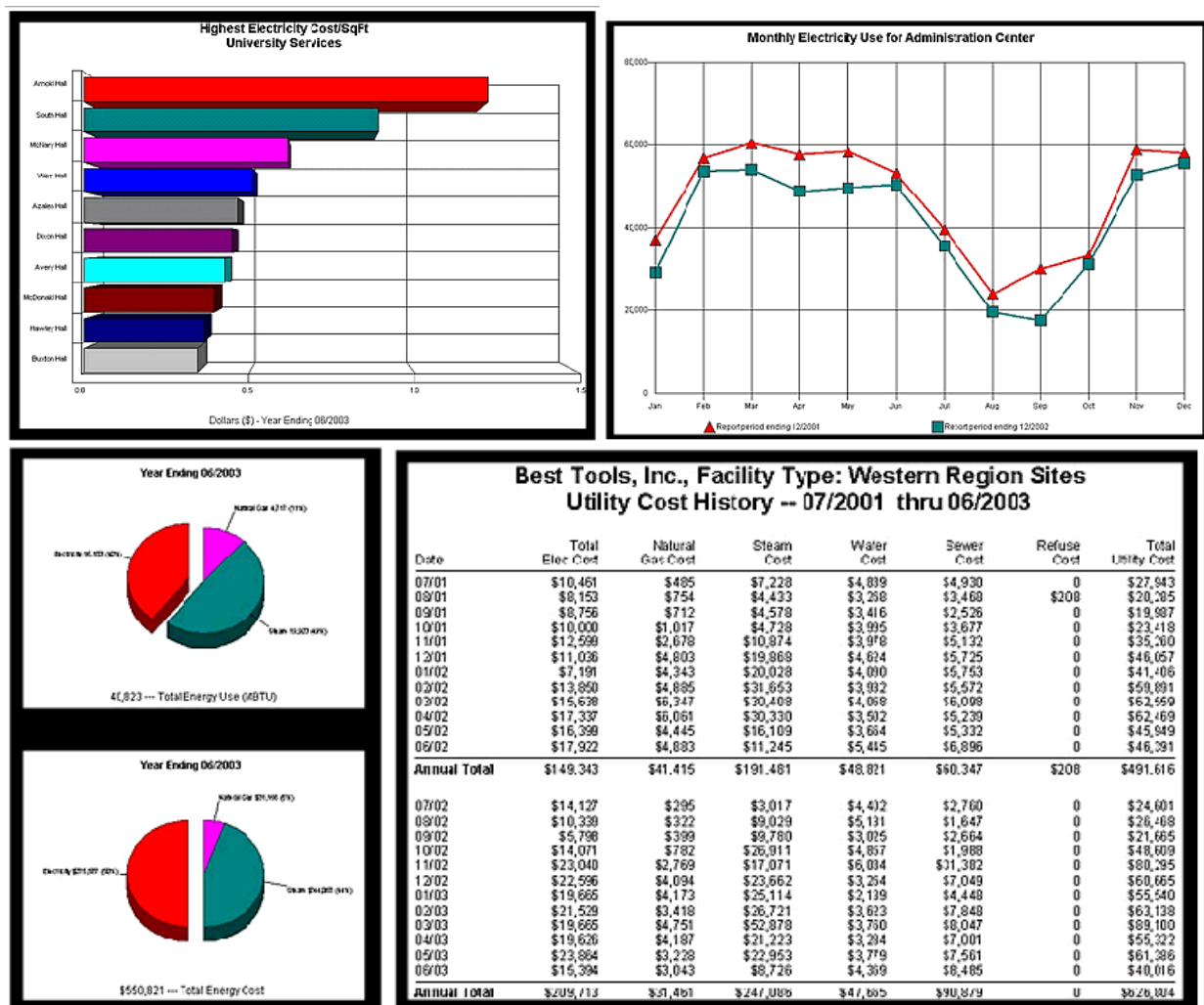


Рисунок А.2. Внешний вид работы программы Utility Manager в режиме вывода гистограмм, графиков, круговых диаграмм и отчетов потребления ресурсов и энергии.

А.2. Программный продукт “METRIX”

С помощью программы Metrix, относящейся к семейству программ для энергоаудита фирмы Abraxas Energy Consulting осуществляется мониторинг сооружений коммерческой, промышленной, учебной, жилой, и т.п. отраслей. Присутствует возможность подключения любого ресурса коммунальных услуг, включая энергию (электрику, природной газ, нефть, сжиженный газ, и т.п.), воду, твердые отходы и водоотводы. Программный продукт Metrix автоматически импортирует счета, что позволяет проводить мониторинг сразу большого количества счетчиков и объектов. Достоинством программы, по сравнению с предыдущим программным продуктом, является модуль анализа данных. Программный продукт Metrix использует историю данных потребления для установления «базовой линии» потребления. Базовая линия сравнивается с данными счетчиков, вспомогательных счетчиков и/или систем мониторинга после внедрения энергосберегающих мер для количественного определения эффекта от внедрения проекта [8][11].

К возможностям и характеристикам программы Metrix относятся:

1. Мониторинг неограниченного количества объектов, систем и счетов.
2. Составление отчетов и графиков, экспорт и импорт данных.
3. Оценка потребления методом множественной линейной регрессии, с включением в анализ до 5 величин: отопления, охлаждения и трех пользовательских величин.
4. Финансовые показатели управления погодными рисками CDD и HDD [9].

5. Импорт и экспорт данных в форматы представления данных других продуктов (Market Manager, FASER, импорт погодных данных из сети Интернет)

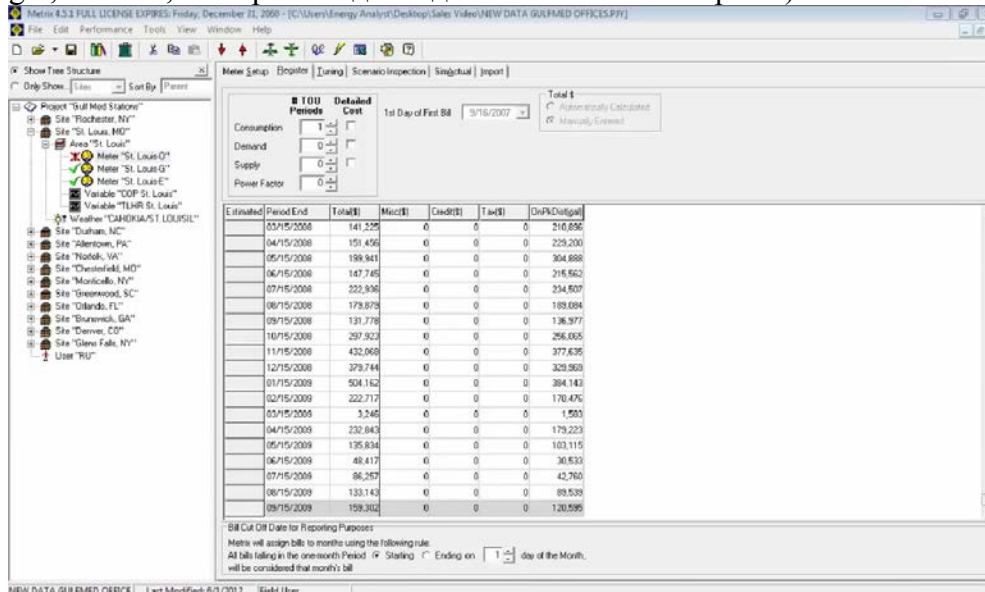


Рисунок А.3. Внешний вид работы программы Metrix в режиме ввода информации

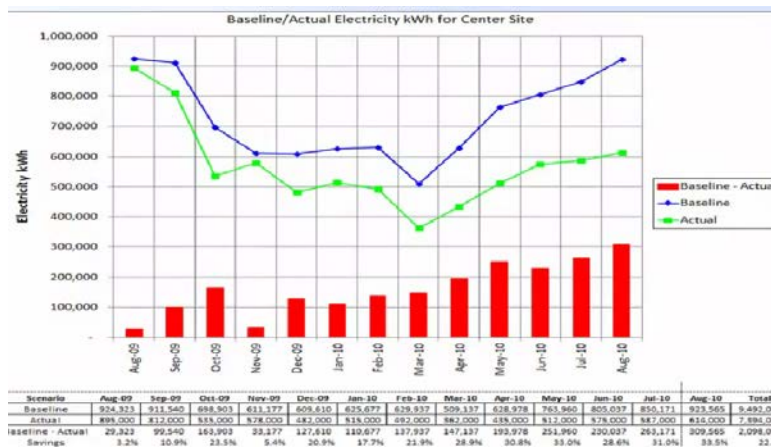


Рисунок А.4. Внешний вид работы программы Metrix в режиме отображения разницы между текущим потреблением и базовой линией потребления

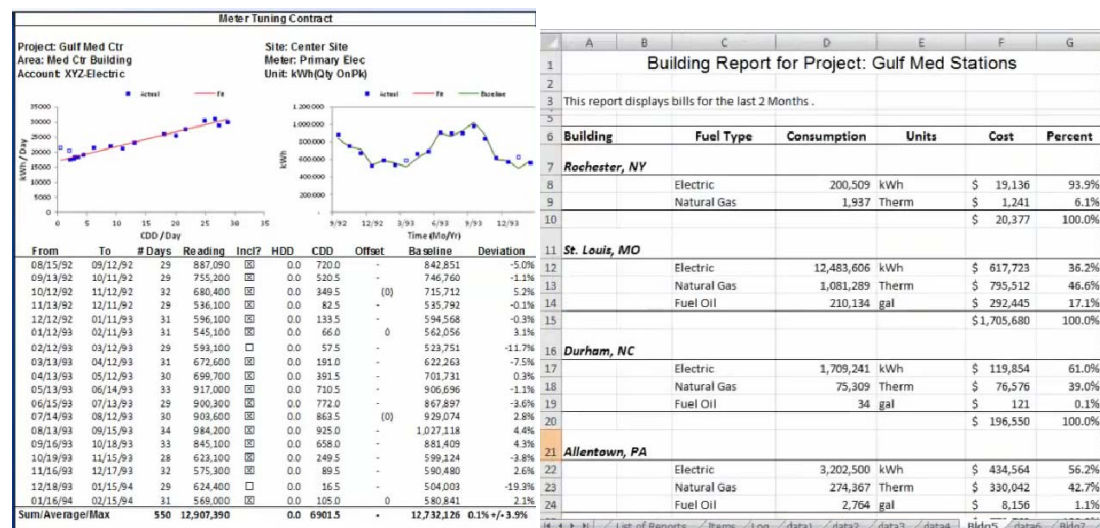


Рисунок А.5. Внешний вид работы программы Metrix в режиме построения линии тренда и при создании отчетности

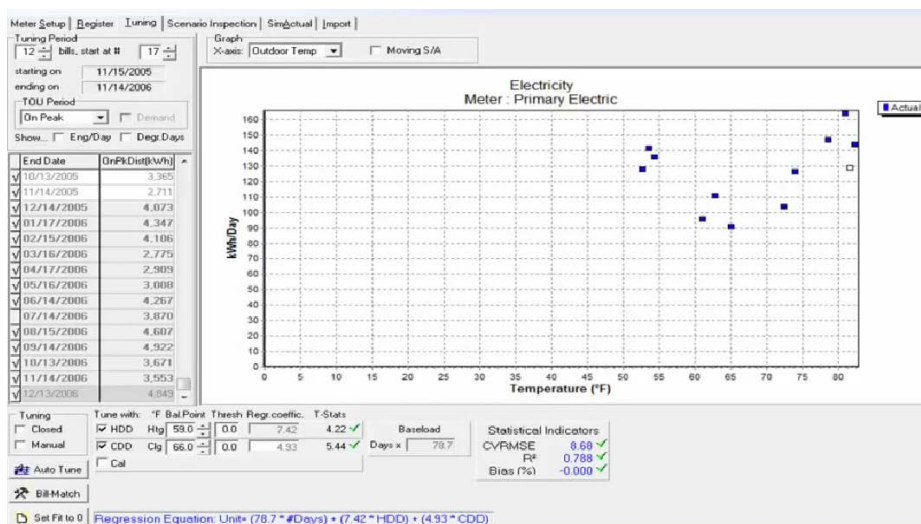


Рисунок А.6. Внешний вид работы программы Metrix в режиме построения диаграммы «энергия-температура»

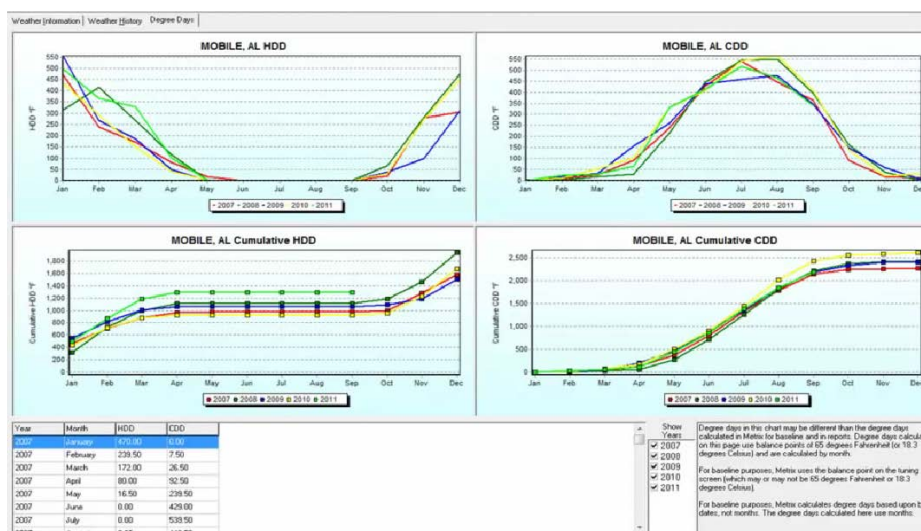


Рисунок А.7. Внешний вид работы программы Metrix в режиме финансовых инструментов, применяемых в управлении погодными рисками

А.3. Программный продукт “EnergyCAP”

Система учета энергии и составления отчетности FASER появилась на рынке еще в 1980г. С 2010г. программный продукт носит имя EnergyCAP и применяется для регистрации счетов, которые подлежат оплате. Программный продукт содержит планы тарифов и имеет возможность импорта. База данных использует SQL сервер. Особенности программы являются:

- определение ошибок в выставленных счетах за коммунальные услуги, устранение переплат, используя систему проверки счетов;
- библиотека со свыше 1000 разных тарифных планов на коммунальные услуги (только американское законодательство) для сравнения расходов, используя фактическую историю учета, создание собственного тарифного плана;
- создание виртуальных вспомогательных счетчиков на базе формулы для выставления счетов субпотребителям (аренда и субподрядчики).
- анализ корреляции ежедневной температуры в зависимости от использования энергии, примененный к периоду базовой линии для уменьшения расходов [11].



Рисунок А.8. EnergyCAP: Режим отчетности и графиков

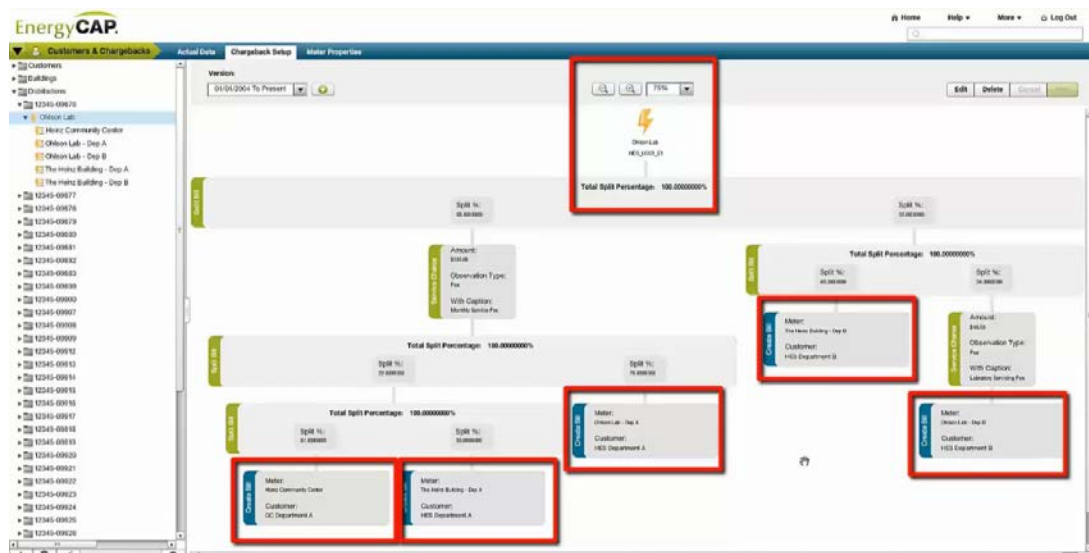


Рисунок А.9. EnergyCAP: Диаграмма последовательности потребления и оплаты

Рисунок А.10. EnergyCAP: Визуализация экономии потребления
А.4. Программный продукт “Stark Display”

Продукция компании Stark включает в себя набор аппаратного и программного обеспечения по сбору, подсчету и анализу информации о потреблении энергии. Кроме счетчиков и дата-центров, компания предлагает программу Stark Display. Это система мониторинга и контроля потребления начального уровня для организаций. Эта программа предназначена для использования, главным образом, в Великобритании, потому что она имеет базу данных погодных данных, поставщиков коммунальных услуг, официальных тарифов, и т.д.

Программный продукт Stark Display обладает следующими возможностями:

- установка контрольной цифры уменьшения потребления энергоресурсов;
- определение наиболее и наименее энергоэффективных зданий
- распределение расходов по счетам для улучшения общей отчетности [12].



Рисунок А.11. Stark Display: экранные формы в различных режимах анализа

А.5. Программный продукт “EZ Sim”

Программный продукт EZ Sim – это инструмент, построенный на базе электронных таблиц, обладает следующими возможностями:

- определяет энергетические схемы объекту и уровень потребления энергии;
- проверяет данные энергосбережения для согласования с данными фактического потребления;
- оценивает конечное потребление энергии в зданиях.

Программный продукт EZ Sim позволяет пользователю использовать счета за коммунальные услуги для моделирования потребления ресурсов. Если полученная модель согласовывается со счетами за коммунальные услуги, то такую модель можно использовать для оценки потенциальной экономии энергии. С помощью EZ Sim можно выяснить, каким образом используется энергия в пределах здания для определения причин избыточного потребления энергии или недостаточного функционирования систем здания. EZ Sim может использоваться для прогнозирования будущих счетов, а также может помочь установить количественные показатели, при проведении энергоэффективных мероприятий [13].

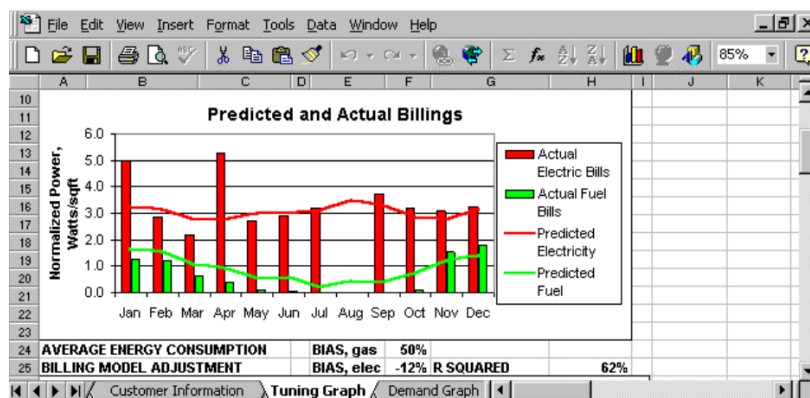


Рисунок А.12. EZ Sim: разница потребленного и ожидаемого потребления ресурса

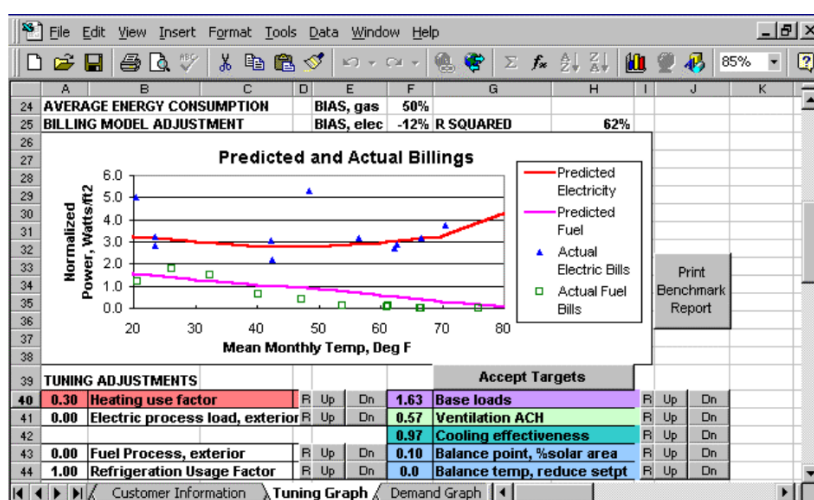


Рисунок А.13. EZ Sim: анализ «энергия-температура»

А.6. On-line пещур «Energy Watchdog (Pro)»

Energy Watchdog (Pro) компании UtiliVision Inc. является интерактивной услугой в сети Интернет для проверки счетов, мониторинга, анализа и отчетности со встроенным энергетическим руководством.

Energy Watchdog (Pro) позволяет:

- осуществлять мониторинг всех видов коммунальных услуг: потребление электроэнергии, природного и сжиженного газа, твердого и жидкого горючего, водоснабжения и стоков, телефонные услуги и вывоз мусора;
- составлять отчеты и графики анализа расходов энергоресурсов и использовании коммунальных услуг с помощью возможностей WEB-страниц;
- использовать внедренное в программу энергетическое руководство, которое помогает определить возможности экономии энергии.
- работать с базовым уровнем (периоды выставления счета, общий уровень потребления, потребность в энергии, стоимость) и уровнем высшего приоритета (к информации базового уровня добавляются такие детали как пиковые данные, налоги, плата за обслуживание, оплаты за производство, транспортирование и доставку энергоносителей, показатели мощности, и т.п.)[14].

Особенностью услуги Energy Watchdog (Pro) является гибкая система оплаты, которая зависит от числа счетов, которые пользователь отслеживает в системе.

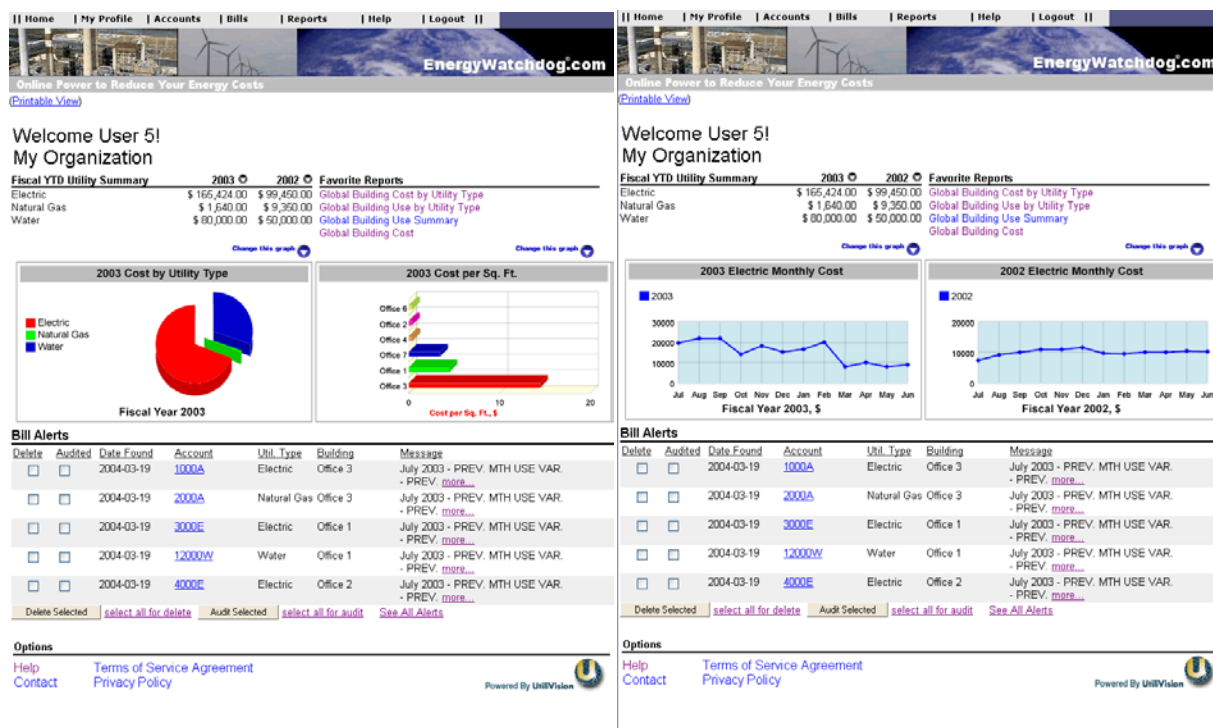


Рисунок А.14. Energy Watchdog: экранные формы web-приложения

А.7. On-line ресурс “EnergyTrax”

Программный продукт EnergyTrax фирмы Alliant Energy Integrated Service является услугой сети Internet для составления отчетности, которая позволяет контролировать использование энергии и ресурсов. EnergyTrax сохраняет все архивные и текущие данные на web-сервере. Кроме этого, в функции EnergyTrax входит:

- сравнение данных использования энергии и данных оплаты за использованную энергию по всей организации для определения наименее энергоэффективных зданий;
- сравнение доходов, рабочих часов, средних показателей в области промышленности и базовых годовых показателей потребления.

Услуга EnergyTrax позволяет работать с различными уровнями доступа, отличающихся функциями и использует для анализа данные состояния погоды [15]. К сожалению, вход в услугу и просмотр экранных форм возможны только после оплаты.

А.8. Система оперативного энергомониторинга фирмы ENSI

Система оперативного энергомониторинга фирмы ENSI (Норвегия) позволяет осуществлять мониторинг энергопотребления в зданиях.

Для этого используется информация о параметрах зданий, включая климатические данные, типы зданий и конкретные счетчики, а последующие показания счетчиков регистрируются для мониторинга и анализа потребления энергии в зданиях как до, так и после возведения нового здания, либо осуществления энергосберегающих мероприятий.

Система online энергомониторинга ENSI основана на модели клиентского сервера с использованием инфраструктуры сети Интернет для организации связи между пользователями и базой данных. База данных хранится и обслуживается в главной компьютерной системе ENSI в г. Осло [16,17].

Имеется возможность анализировать как каждое здание в отдельности, так и проводить анализ обобщенной информации.

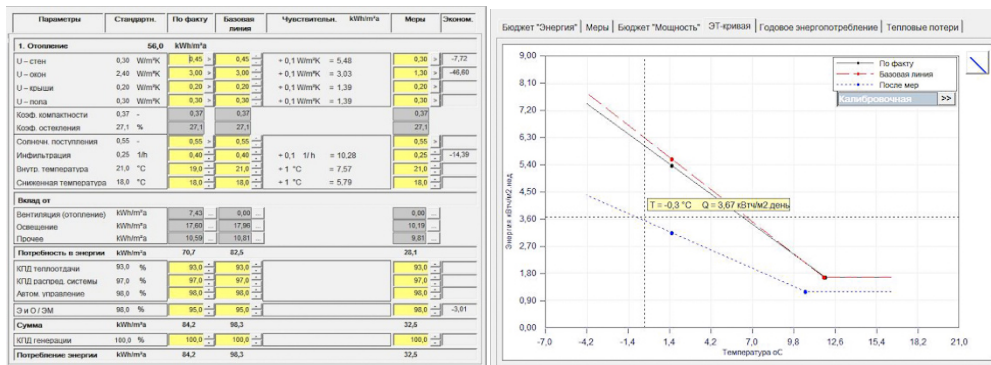


Рисунок А.15. Energy Watchdog: экранные формы web-приложения

Процедуры, используемые в системе оперативного энергомониторинга ENSI, делятся на процедуры создания и периодические процедуры. В процессе создания необходимо организовать базис проекта, определив пользователей, здания и все счетчики. Помимо этого, необходимо для каждого здания рассчитать энерго-тепловую кривую (ЭТ-кривую) и составить бюджеты. Обычно ЭТ-кривая не меняется, но, если в здании проводилась реконструкция либо модернизация энергетического оборудования, следует обновить ЭТ-кривую. Также следует раз в год изменять бюджеты. Периодическими называются те операции, которые относятся к текущей регистрации показаний счетчиков и созданию отчетов. Эти процедуры могут выполняться один раз в день, неделю или месяц, в зависимости от установленных требований. Кроме этого, система online энергомониторинга поддерживает создание отчетов и графиков.

А.9. Программа «Энергоплан» фирмы «ІТ-менеджмент»

Программа «Энергоплан» фирмы «ІТ-менеджмент» разработана для энергоменеджмента, учета энергии, планирования использованием средств энергоресурсов, а также для комплексного учета и анализа использования энергии и естественных ресурсов в общественных зданиях. Программа осуществляет учет энергоресурсов в бюджетных учреждениях: в школах, детских садах, больницах, библиотеках, административных зданий и т.д.

На сегодня программа используется в г. Львов для учета энергопотребления домов бюджетных учреждений.

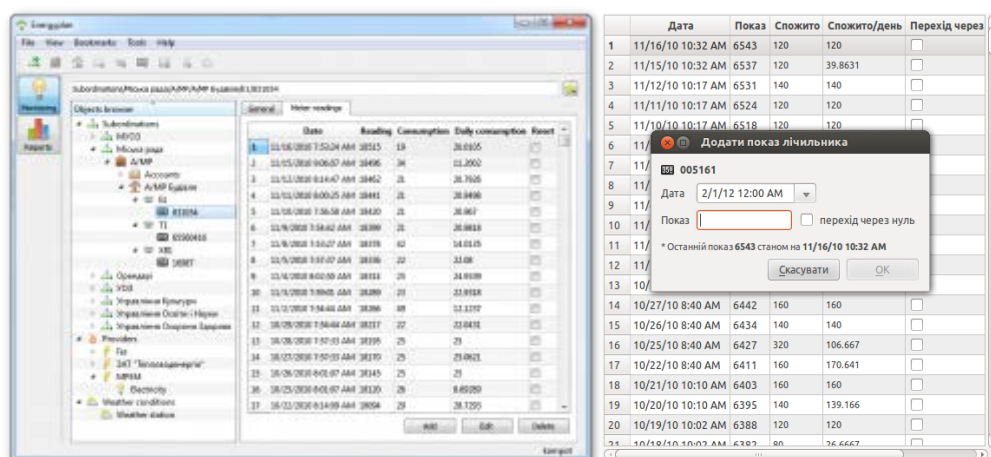


Рисунок А.16. Энергоплан: экранные формы

С помощью программы «Энергоплан» формируется база данных всех бюджетных домов города. При этом выстраивается иерархическая структура базы данных от уровня города к уровню конкретного оборудования в здании, установленного в одном из домов. «Энергоплан» осуществляет несколько типов учета энергоносителей исходя из данных счетов за

коммунальные услуги, исходя из показов счетчиков и исходя из расчета мощностей установленных приборов [18].

А.10. Система диспетчеризации и сбора архивных данных приборов учета ЛЭРС УЧЕТ фирмы «ЮР ЭНЕРДЖИ КОМПЛЕКТ»

Система диспетчеризации и сбора архивных данных приборов учета ЛЭРС УЧЕТ предназначена для мониторинга и архивации, технологического и коммерческого учета параметров тепловой энергии, воды, пара, газа, электроэнергии [56]. Область применения: объекты жилищно-коммунального хозяйства (поквартирный и общедомовой учет), промышленные и производственные предприятия, городские аварийно-диспетчерские и ситуационные центры [48]. Система позволяет автоматизировать сбор данных со счетчиков, которые имеют информационные выходы, совместимые с данным программным обеспечением. Программа по заданному расписанию, например несколько раз в сутки, запрашивает данные с устройства точки учета. Также оператор в любой момент может запросить недостающие данные одной или группы точек учета в ручном режиме [47].

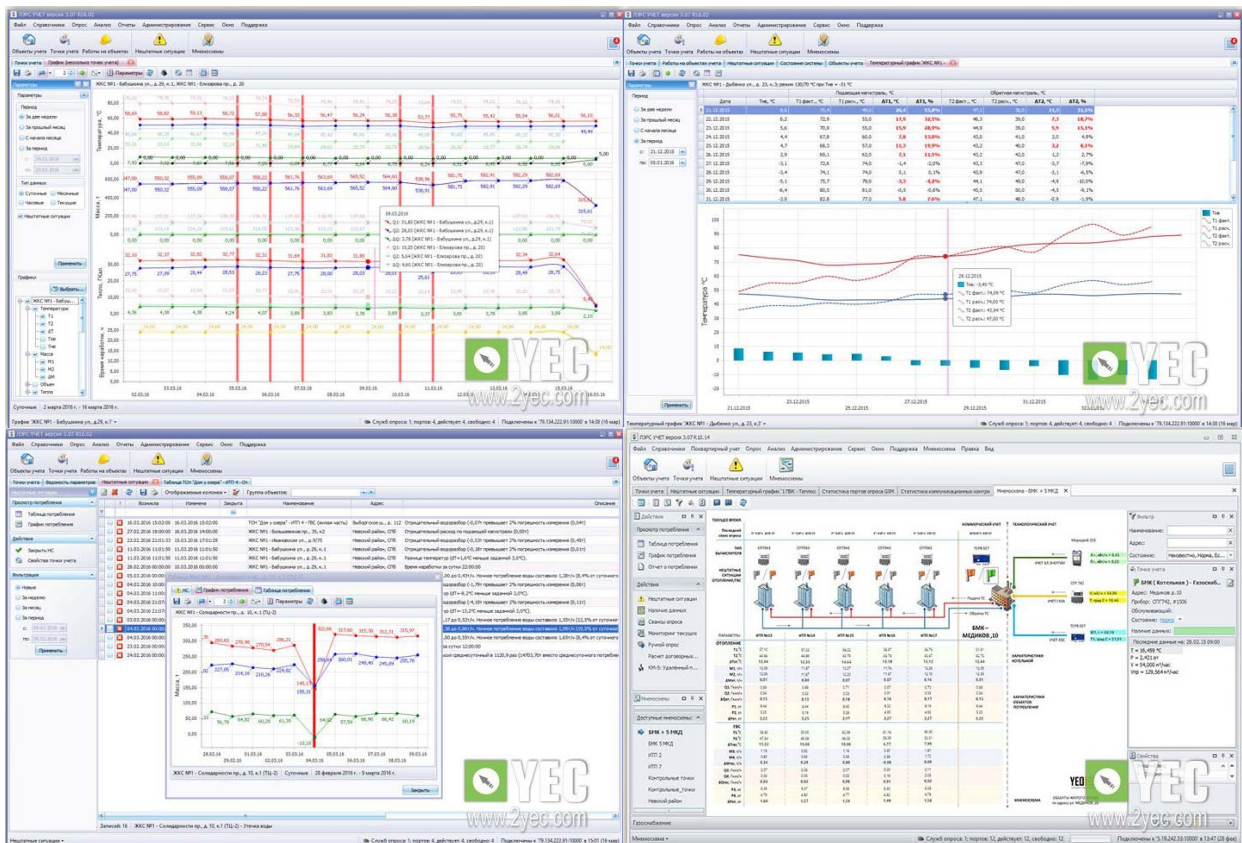


Рисунок А.17. ЛЭРС УЧЕТ: экранные формы в режиме просмотра и анализа

В качестве аналитического модуля ЛЭРС УЧЕТ позволяет сравнить фактическое потребление и договорные нагрузки по массе и тепловой энергии точки учета теплоснабжения и вывести в таблице и графиках как в абсолютных величинах, так и в процентах.

Таблица Б.1 Сводная таблица фактического, достоверного и паспортного параметра Φ_0

Школа	Фактический параметр Φ_0 по отопительным периодам					Достоверный параметр Φ_0	Паспортный параметр Φ_0
	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010		
Гимназия №18	-	-	-	17143,9	15607,6	13706,8	11199,4
УВК КОРН	3748,9	3464,6	3680,9	3597,2	3590,0	3661,5	2084,0
УВК №5	-	-	8991,5	6719,5	8577,2	7216,4	4936,3
УВК №5 корпус 2	-	-	1111,2	1195,9	1107,4	993,8	499,5
ОШ №9	-	-	10086,0	10151,7	10056,3	10147,8	7756,2
Лицей №22	21876,2	20452,4	23024,9	22953,1	24381,3	22177,5	14754,2
ОШ №2	4444,5	4648,2	4063,1	3893,2	3371,6	4066,5	6094,5
ОШ №14	-	5914,7	5865,0	5806,3	5872,0	5612,5	4473,8
Школа № 59	-	-	-	2459,8	2582,9	2057,1	1337,9
ОШ № 13	-	-	-	5506,8	5010,7	5085,3	1750,6
ДСФМШ №17	-	-	-	7707,4	7564,2	7211,4	9617,5
Школа № 43	-	-	4095,4	6348,0	5426,1	3574,2	1830,0
Школа № 23	4650,8	4691,2	7392,0	4636,0	4643,4	4479,4	3850,8
Школа № 53	13330,0	12311,9	11987,7	11936,7	14260,9	13724,2	7023,0
Школа № 57	-	-	-	6365,0	6442,6	7522,5	3644,1
Школа № 57 корпус2	-	-	-	-	2419,5	2134,3	2014,0
Школа № 58	-	-	6089,2	4760,1	-	4648,7	3218,9
Школа № 58 корпус2	-	-	1049,7	1128,1	1152,7	792,4	582,6
Школа № 102	-	-	-	4843,9	5355,8	3505,0	1828,9

Таблица Б.2 Сводная таблица отклонения параметра $\Phi_{\text{о}}$ отопительной системы от достоверного значения Φ_0 по школам за различные отопительные периоды

Школа	Отопительный период				
	2005-2006 гг.	2006-2007 гг.	2007-2008 гг.	2008-2009 гг.	2009-2010 гг.
Гимназия №18	н.д.	н.д.	н.д.	125,08	113,87
УВК КОРН	102,39	94,62	100,53	98,24	98,05
УВК №5	н.д.	н.д.	124,60	93,11	118,86
УВК №5 корпус 2	н.д.	н.д.	111,81	120,33	111,43
ОШ №9	н.д.	н.д.	99,39	100,04	99,10
Лицей №22	98,64	92,22	103,82	103,50	109,94
ОШ №2	109,30	114,30	99,92	95,74	82,91
ОШ №14	н.д.	105,39	104,50	103,45	104,62
Школа № 59	н.д.	н.д.	н.д.	119,57	125,56
ОШ № 13	н.д.	н.д.	н.д.	108,29	98,53
ДСФМШ №17	н.д.	н.д.	н.д.	106,88	104,89
Школа № 43	н.д.	н.д.	114,58	177,60	151,81
Школа № 23	103,83	104,73	165,02	103,50	103,66
Школа № 53	97,13	89,71	87,35	86,98	103,91
Школа № 57	н.д.	н.д.	н.д.	84,61	85,64
Школа № 57 корпус2	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	113,37
Школа № 58	н.д.	н.д.	130,99	102,40	н.д.
Школа № 58 корпус2	н.д.	н.д.	132,48	142,37	145,48
Школа № 102	н.д.	н.д.	н.д.	138,20	152,81

Таблица Б.3 Сводная таблица отклонения параметра Φ_0 отопительной системы от паспортного значения Φ_0 по школам за различные отопительные периоды

Школа	Отопительный период				
	2005-2006 гг.	2006-2007 гг.	2007-2008 гг.	2008-2009 гг.	2009-2010 гг.
Гимназия №18	н.д.	н.д.	н.д.	153,08	139,36
УВК КОРН	179,88	166,25	176,62	172,61	172,26
УВК №5	н.д.	н.д.	182,15	136,12	173,76
УВК №5 корпус 2	н.д.	н.д.	222,48	239,44	221,72
ОШ №9	н.д.	н.д.	130,04	130,89	129,65
Лицей №22	148,27	138,62	156,06	155,57	165,25
ОШ №2	72,93	76,27	66,67	63,88	55,32
ОШ №14	н.д.	132,21	131,10	129,78	131,25
Школа № 59	н.д.	н.д.	н.д.	183,85	193,06
ОШ № 13	н.д.	н.д.	н.д.	314,57	286,23
ДСФМШ №17	н.д.	н.д.	н.д.	80,14	78,65
Школа № 43	н.д.	н.д.	223,79	346,88	296,50
Школа № 23	120,77	121,82	191,96	120,39	120,58
Школа № 53	189,80	175,31	170,69	169,96	203,06
Школа № 57	н.д.	н.д.	н.д.	174,66	176,79
Школа № 57 корпус2	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	120,14
Школа № 58	н.д.	н.д.	189,17	147,88	н.д.
Школа № 58 корпус2	н.д.	н.д.	180,19	193,64	197,87
Школа № 102	н.д.	н.д.	н.д.	264,85	292,84

Таблица Б.4 Результаты анализа энергоэффективности отопления школ Киевского и Ворошиловского районов г. Донецка

Школа	Отклонение действительной тепловой нагрузки от расчетной нагрузки	Идентифицированный класс здания	Отклонение действительного параметра отопительной системы от паспортного параметра за 2011-2012гг
Гимназия №15	1,4	IV	1,1
Гимназия №18	0,8	V	0,9
УВК КОРН	2,1	IV	1,4
УВК №5	0,7	III	0,8
ОШ №9	0,9	III	0,7
УГК	0,5	III	0,7
Лицей №22	1,1	V	1,1
УВК №1	1,7	II	1,2
ОШ №2	0,6	I	0,7
ОШ №14	0,6	I	0,8
Гимназия № 70	0,9	I	0,6
Лицей № 54	1,4	I	1,2

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Справка о внедрении в отдел образования г. Донецка



ДОНЕЦКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА
 АДМИНИСТРАЦИЯ ГОРОДА ДОНЕЦКА
 ОТДЕЛ ОБРАЗОВАНИЯ АДМИНИСТРАЦИИ КУЙБЫШЕВСКОГО РАЙОНА ГОРОДА ДОНЕЦКА
 83087, г. Донецк, пр. Ковпака, д. 4, тел.: 2532692, E-mail: roo_kuibysh@rambler.ru

22.09.2017 № 1571

Диссертационный совет Д 01.005.01
 при ГОУ ВПО «Донбасская
 национальная академия строительства и
 архитектуры»

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы Харитонов А.Ю. на тему: «Использование оперативного анализа для повышения энергоэффективности отопления общественных зданий», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Результаты диссертационных исследований Харитонов А.Ю., в частности методика оперативной идентификации критериев энергоэффективности на основании оперативного определения и расчетной обработки текущих значений датчиков температуры и теплосчетчиков и математическая модель нестационарных тепловых процессов при отоплении зданий, учитывающую нестационарное тепловое состояние ограждающих конструкций, были применены при модернизации котельной школы № 66 Куйбышевского района г. Донецка в 2008г.

Разработанный аппаратно-программный комплекс, реализующий разработанные методики анализа энергоэффективности отопления, функционировал на базе школы № 66 Куйбышевского района г. Донецка с 2008 по 2010 гг.

В результате проведения испытаний, годовая экономия топлива на один месяц может составить свыше 10% на школу.

Предложенные методики позволяют получить экономический эффект, в частности:

- 1) принятие решения о тепловой изоляции определенных проанализированных объектов – до 15% от валового потребления теплоты.
- 2) организация циклического режима отопления зданий – экономия до 10% от валового потребления теплоты.

В дальнейшем, данная методика может лечь в основу расчета лимитов на потребление теплоэнергии.

Результаты внедрения аппаратно-программного комплекса, реализующего разработанные методики анализа энергоэффективности систем отопления, позволили сделать вывод о том, что материалы диссертационной работы Харитонов А.Ю., представляют научный и практический интерес, относятся к энергосберегающим мероприятиям и рекомендуются к внедрению на общественных зданиях г. Донецка.

Начальник отдела образования



Е.М.Нимак

Справка о результатах внедрения в учебный процесс ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

В диссертационный совет
при ГОУ ВПО «Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе
ГОУ ВПО «Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры»,
доктор технических наук, профессор

Н. М. Зайченко

2017 г.

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы
старшего преподавателя кафедры «Компьютерное моделирование и дизайн»
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

Харитонов Антона Юрьевича на тему «**Использование оперативного анализа для повышения энергоэффективности отопления общественных зданий**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение в учебный процесс ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Результаты диссертационных исследований Харитонов Антона Юрьевича, а именно методика оперативной идентификации критериев энергоэффективности на основании оперативного определения и расчетной обработки текущих значений датчиков температуры и теплосчетчиков, математическая модель нестационарных тепловых процессов при отоплении зданий, учитывающая нестационарное тепловое состояние ограждающих конструкций, внедрены в учебный процесс при чтении курса лекций по дисциплинам «Теплоснабжение», «Отопление», для студентов направления 08.04.01 «Строительство» профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция», что отражено в учебных программах вышеуказанных дисциплин.

Канд. н. гос. упр., доцент
начальник учебного отдела
Донбасской национальной академии
строительства и архитектуры



А. А. Сухина

Заведующий кафедрой
«Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция»
Донбасской национальной академии
строительства и архитектуры
д.т.н., профессор



А. В. Лукьянов

Справка о результатах внедрения в научно-исследовательскую работу ГОУ ВПО
«Донецкий национальный технический университет»



**ДОНЕЦКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

283001, г. Донецк, ул. Артема, 58 тел.: (062) 337-17-33, 335-75-62, факс: (062) 304-12-78
эл. почта: donntu.info@mail.ru

27.09.2017 № 30-12/110

На № _____

Диссертационный совет Д 01.005.01
при ГОУ ВПО «Донбасская
национальная академия строительства и
архитектуры»

СПРАВКА


о внедрении результатов исследований диссертационной работы Харитонов А.Ю. на тему: «Использование оперативного анализа для повышения энергоэффективности отопления общественных зданий», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение в научно-исследовательскую работу ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

Результаты диссертационных исследований Харитонов А.Ю., а именно математическая модель нестационарных тепловых процессов при отоплении зданий, учитывающую нестационарное тепловое состояние ограждающих конструкций, была использована при выполнении научно-исследовательской работы Н8-16 «Методы и средства компьютерного моделирования объектов, систем и процессов» в 2013-2016гг.

Проректор по научной работе
ГОУ ВПО «Донецкий национальный
технический университет»,
д.т.н., профессор



Начальник научно-исследовательской части
ГОУ ВПО «Донецкий национальный
технический университет»,
д.т.н., доцент

 Ю. Ф. Булгаков

 А.Л. Сотников

Заведующий кафедрой
«Компьютерное моделирование и дизайн»
ГОУ ВПО «Донецкий национальный
технический университет»,
к.т.н., доцент

 В. В. Карабчевский