

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт Математики, физики и информационных технологий
(наименование института полностью)

Кафедра «Прикладная математика и информатика»
(наименование кафедры полностью)

01.03.02 Прикладная математика и информатика
(код и наименование направления подготовки, специальности)

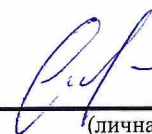
Компьютерные технологии и математическое моделирование
(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Реализация технологии замещающих методов оценки потребления ГВС на примере компании АО "Элдис"

Обучающийся

М.К. Давыденко
(Инициалы Фамилия)


(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, А.Б. Кузьмичев
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии),
Инициалы Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент О.Н. Берега
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии),
Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Тема выпускной квалификационной работы «Реализация технологии замещающих методов оценки потребления ГВС на примере компании АО "Элдис"».

Выпускная квалификационная работа посвящена реализации технологии, предназначенной для получения замещающих значений, в случае частичного или полного отсутствия достоверных данных о потреблении энергоресурсов. Несмотря на некоторую степень неточности, полученные данные в результате расчетов можно считать достоверными, что позволит использовать их в практической деятельности компании.

Цель работы заключается в выполнении технической задачи по реализации технологии замещающих методов для оценки потребления горячего водоснабжения при частичном или полном отсутствии достоверных данных о потреблении энергоресурсов.

Объектом исследования является технология расчета оценки потребления горячего водоснабжения, а предметом исследования - замещающие методы оценки потребления горячего водоснабжения.

В ходе работы выполнены следующие задачи: изучены замещающие методы оценки потребления и установлена приоритетность их применения. Определены условия проверки измерений на достоверность. Проанализирован массив тестовых данных, на основе которого будет осуществляться реализация технологии. Построена математическая модель потребления энергоресурса.

Выпускная квалификационная работа представлена на 57 страницах, включает 23 иллюстраций, 2 таблиц, 36 формул, и список используемой литературы, состоящий из 22 источников.

Abstract

The topic of the final qualifying work is «Implementation of substitution methods technology for assessing hot water consumption: A case study of AO “Eldis”. »

The final qualifying work is devoted to the implementation of a technology designed to obtain replacement values in cases of partial or complete absence of reliable data on energy consumption. Despite some degree of inaccuracy, the data obtained as a result of calculations can be considered reliable, which will allow them to be used in the practical activities of the company.

The purpose of the work is to fulfill the technical task of implementing the technology of replacement methods for assessing the consumption of hot water in the partial or complete absence of reliable data on energy consumption.

The object of the study is the technology for calculating the assessment of hot water consumption, and the subject of the study is the replacement methods for assessing the consumption of hot water.

In the course of the work, the following tasks were performed: replacement methods of consumption assessment were studied and the priority of their application was established. The conditions for checking the measurements for reliability are determined. An array of test data has been analyzed, on the basis of which the technology will be implemented. A mathematical model of energy consumption is constructed.

The final qualifying work is presented on 57 pages, includes 23 illustrations, 2 tables, 36 formulas, and a list of used literature consisting of 22 sources.

Оглавление

Введение	5
Глава 1 Описание задачи по проблемам оценки потребления горячего водоснабжения	7
1.1 Основная проблематика оценки потребления энергоресурсов и ее значение для компании	7
1.2 Постановка задачи на разработку технологии замещающих методов оценки в компании АО «Элдис».....	12
Глава 2 Разработка технологии оценки потребления горячего водоснабжения	17
2.1 Существующие методы оценки и определение приоритетности их применения	17
2.2 Анализ и верификация исходных данных	28
2.3 Построение математической модели	35
Глава 3 Реализация технологии и анализ результатов	41
3.1 Реализация технологии замещающих методов оценки.....	41
3.2 Анализ результатов моделирования.....	50
Заключение	55
Список используемой литературы и используемых источников	56

Введение

Энергетические ресурсы являются важнейшим элементом, однако, для эффективного управления потреблением энергии необходимы точные данные о ее расходе. Традиционно для этой цели используются сертифицированные приборы учета. Но возможны ситуации, когда в следствии нештатных ситуаций, данные о потреблении будут частично или полностью отсутствовать. Возникает необходимость в использовании технологий и методов, позволяющих осуществлять замещение отсутствующих значений на расчетные. Технологии замещающих методов оценки используются в качестве альтернативы приборам учета, позволяющие получить пускай и с определенной погрешностью, но достаточно точные данные.

В настоящее время, когда требования к точности измерений и сокращению потребления энергоресурсов все выше, замещающие методы оценки потребления горячего водоснабжения становятся особенно актуальными.

Использование замещающих методов позволяет оценить объем потребляемых энергоресурсов, используя различные факторы. Эти методы основаны на замене реальных показателей потребления энергии некоторыми альтернативными показаниями, которые могут быть выведены расчетным путем на основе среднестатистических данных с других объектов, построенные на основе частично полученных значений с объекта или спрогнозированы на основе данных о проектных или договорных нагрузках. Максимально точные данные позволяют обеспечить более эффективное управление использованием энергоресурсов.

Цель выпускной квалификационной работы - выполнение технической задачи по реализации технологии замещающих методов оценки потребления горячего водоснабжения. Реализовать технологию замещающих методов оценки потребления, на примере предоставленной компанией тестового

набора данных о потреблении энергоресурсов. Это позволит получить замещающие значения о потреблении для конкретного примера.

Объектом исследования является технология расчета оценки потребления горячего водоснабжения, а предметом исследования - замещающие методы оценки потребления горячего водоснабжения.

В первой главе рассматривается основная проблематика, связанная с техническими аспектами оценки потребления энергоресурсов, выделены ключевые проблемы в методах оценки потребления энергоресурсов приборами учета. Уделено особое внимание актуальности проблемы для компании. Установлены основные задачи и этапы требующие реализации и исследования для выполнения технической задачи по реализации технологии замещающих методов оценки потребления горячей воды в компании АО «Элдис».

Вторая глава посвящена анализу существующих методов оценки потребления горячей воды и приоритетности их применения. Устанавливается список проверок для архивных данных. Анализируются основные факторы, влияющих на объем потребления тепловой энергии. В конце главы проведено построение математической модели.

В третьей главе представлен процесс реализации и оценки технологии потребления горячей воды на основе замещающих методов. В этой главе реализуется технология замещающих методов, тестируется и анализируется результаты работы технологии в условиях компании АО “Элдис”.

Далее в выпускной квалификационной работе будет представлено детальное описание реализации технологии и анализа полученных результатов, что позволит получить полное представление о вопросах, рассмотренных в работе.

Глава 1 Описание задачи по проблемам оценки потребления горячего водоснабжения

1.1 Основная проблематика оценки потребления энергоресурсов и ее значение для компании

Компания АО «Элдис» занимается разработкой и внедрением комплексных информационно-технологических решений для построения автоматизированных систем коммерческого, технологического и индивидуального учета энергоресурсов. Имеет десятилетний опыт в создании и эксплуатации высоко нагруженных информационных систем и обслуживании приборов учета энергоресурсов. Организация предлагает своим клиентам современную облачную платформу для мониторинга приборов учета энергоресурсов, а также индивидуальные технические решения по построению и организации систем учета энергоресурсов [14].

На рисунке 1 представлены функции автоматизированной информационно-измерительной системы компании «Элдис». Возможности системы позволяют осуществлять автоматический сбор, накопление, хранение, обработку данных и визуализацию полученной информации [10].

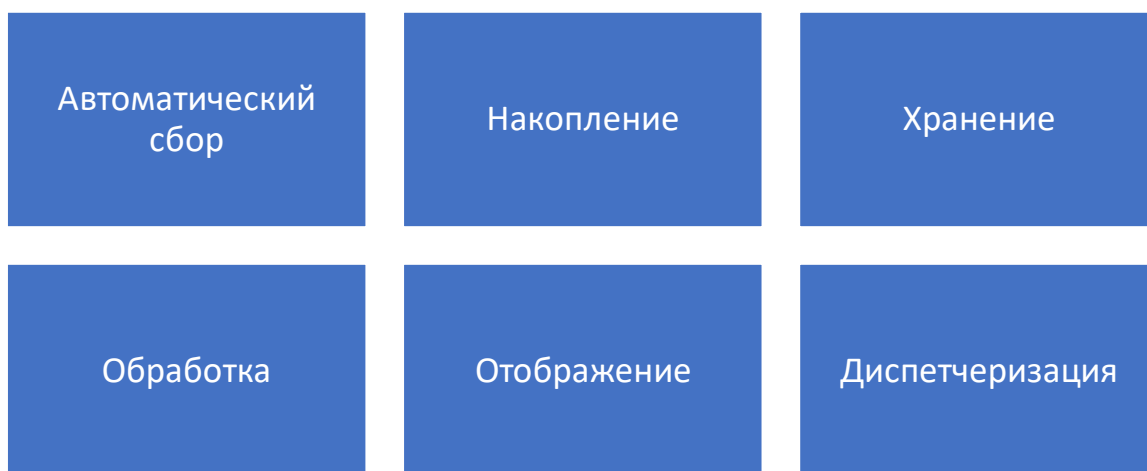


Рисунок 1 – Основные функции системы «Элдис»

Поддерживается работа с различными видами энергии и количественными характеристиками: тепловой энергии, массы и объема теплоносителя, объема холодной воды, природного газа и количества электроэнергии.

Автоматизированный комплекс представляет многоуровневую систему с централизованным управлением. Схема представлена на рисунке 2. Измерительные каналы позволяют получить физические величины в виде цифровых или импульсных сигналов. Результат измерений технологического параметра будет физической величиной с соответствующей единицей измерения.

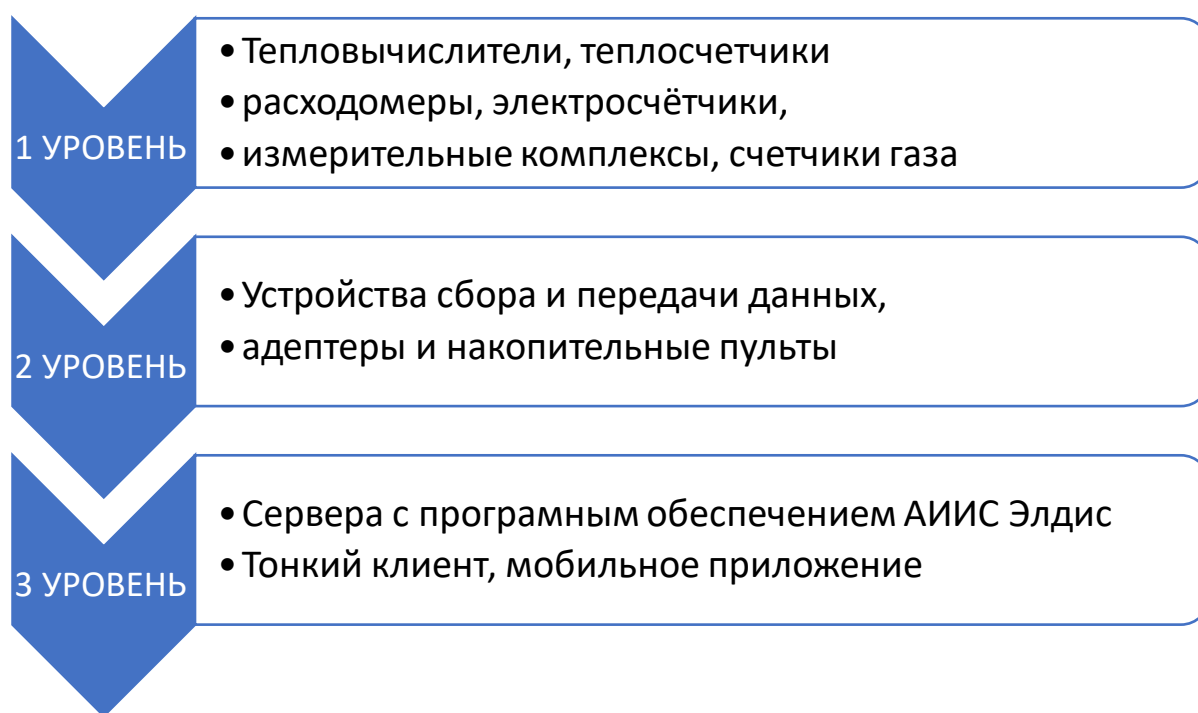


Рисунок 2 – Схема системы «Элдис»

Предоставление клиентам доступа к единому информационному пространству позволяет в прозрачном режиме и в реальном времени отслеживать количество и качество поставляемых и потребляемых энергоресурсов, опираясь на достоверные данные считанные с приборов учета.

Единое информационное пространство позволяет вести коммерческий, технологический и индивидуальный учет. Осуществлять удаленный контроль и оповещение об изменении состояния датчиков на объектах. Проводить удаленное изменение настроечных параметров и автоматизированный контроль. Система, созданная компанией, позволяет вести учет, всех видов потребляемых энергоресурсов.

Это позволяет решать ряд актуальных задач, представленных на рисунке 3, для ресурса снабжающих организаций, управляющих компаний, муниципальных организаций, обслуживающих компаний, администрации всех уровней и жителей.



Рисунок 3 – Задачи, решаемые компанией АО «Элдис»

Для решения заявленных задач компании необходима точная оценка потребления энергоресурсов на предприятиях и объектах. Только наличие достоверных данных позволит осуществлять аналитику и необходимые

расчеты для перерасчетов, до счётов и подготовки данных. Оценка потребления энергоресурсов позволяет организации проводить анализ потребления энергоресурсов, планировать мероприятия по энергосбережению и контролировать их выполнение.

Достоверными можно считать данные полученные на прямую с сертифицированных приборов учета, но в следствии возникновения нештатных ситуаций, оборудование не всегда может предоставить исчерпывающий и достаточно точный набор данных [1]-[6]. На рисунке 4 представлен ряд проблем, возникающих при оценке потребления.



Рисунок 4 – Проблемы и ограничения при оценке потребления энергоресурсов

Данные обстоятельства вынуждают использовать альтернативные методы оценки потребления энергоресурсов. Компанией АО «Элдис» применяются современных методы и технологии, а также использует собственные разработки. Применение замещающих методов оценки позволяет в ходе расчетов получить данные, пускай и с определённой погрешностью, но претендующие на достоверность, что позволит использовать их в работе аналитиками компании.

При оценке потребления возникает ряд проблем и ограничений, которые могут снижать их точность, достоверность и применимость. Потребление энергоресурсов может варьироваться в зависимости от времени суток, времени года и погодных условий. Для оценки потребления необходимо иметь достаточное количество точных данных, но в реальной практике такие данные зачастую отсутствуют, недоступны или устаревают. Для выбора наиболее подходящего метода необходимо учитывать цель оценки, тип энергоресурса, характер и условия его использования, наличие и качество исходных данных. Кроме того, необходимо адаптировать метод к конкретным условиям компании или региона [15]. Результаты замещающих методов могут учитывать только определенные аспекты или стадии потребления энергоресурсов, чего не всегда достаточно. Решение вышеописанных проблем требует использования различных методов и подходов, включая статистический анализ, моделирование, интерполяцию и другие методы.

В данной главе познакомились с компанией, осуществляющей разработку и внедрение автоматизированных систем коммерческого, технологического и индивидуального учета энергоресурсов. Была представлена информационная платформа, на базе которой осуществляется подготовка данных, перерасчеты, до счетов и различная аналитика, направленная на улучшение прозрачности и предотвращения потери энергоресурсов. Рассмотрели ряд проблем, возникающие при получении данных с приборов учета. Они приводят к тому, что невозможно получить исчерпывающий набор данных. Установили, что технологии замещающих методов оценки позволяют решить эту проблему. Несмотря на некоторую степень неточности, полученные данные в результате расчетов можно считать достоверными, что позволит использовать их в практической деятельности. Предприятию необходимы методы и технологии, способные обеспечить точную оценку потребляемых энергоресурсов.

1.2 Постановка задачи на разработку технологии замещающих методов оценки в компании АО «Элдис»

В данном разделе представлена постановка задачи на разработку технологии замещающих методов оценки потребления горячего водоснабжения, которая определяет цель и требования, стоящие перед выпускной квалификационной работой. Цель данного раздела состоит в ясном определении проблемы и задачи, а также установлении основных требований, которые должны быть учтены при реализации технологии.

Реализация технологии направлено на решение проблемы частичного или полного отсутствия исчерпывающего набора достоверных данных, полученных с приборов учета энергоресурсов. На рисунке 5 представлена информация о основных задачах решаемые в работе.

Целью являться выполнение технической задачи по реализации технологии замещающих методов оценки потребления горячего водоснабжения, направленной на получение недостающих данных, в случае частичного или полного отсутствия информации о потреблении энергоресурса.

Рассмотрим требования предъявляемые к технологии оценки потребления горячего водоснабжения. Методы требуют частичного набора данных полученных на прямую с приборов учета, наличие статистических архивных достоверных показаний за максимально большой отрезок времени или данные о договорные нагрузки применимые к конкретному объекту.

Верификация данных является важным этапом, поскольку применение заведомо недостоверных данных не несет практического смысла, в виду отсутствия результата, отражающего действительность. Эти данные могут включать информацию о количестве потребляемой горячей воды, температуре воды, используемой в системе. Необходимо установить список проверок, которая должна пройти каждая запись в предоставленной базе данных. Все данные не удовлетворяющие условиям проверки должны быть исключены.

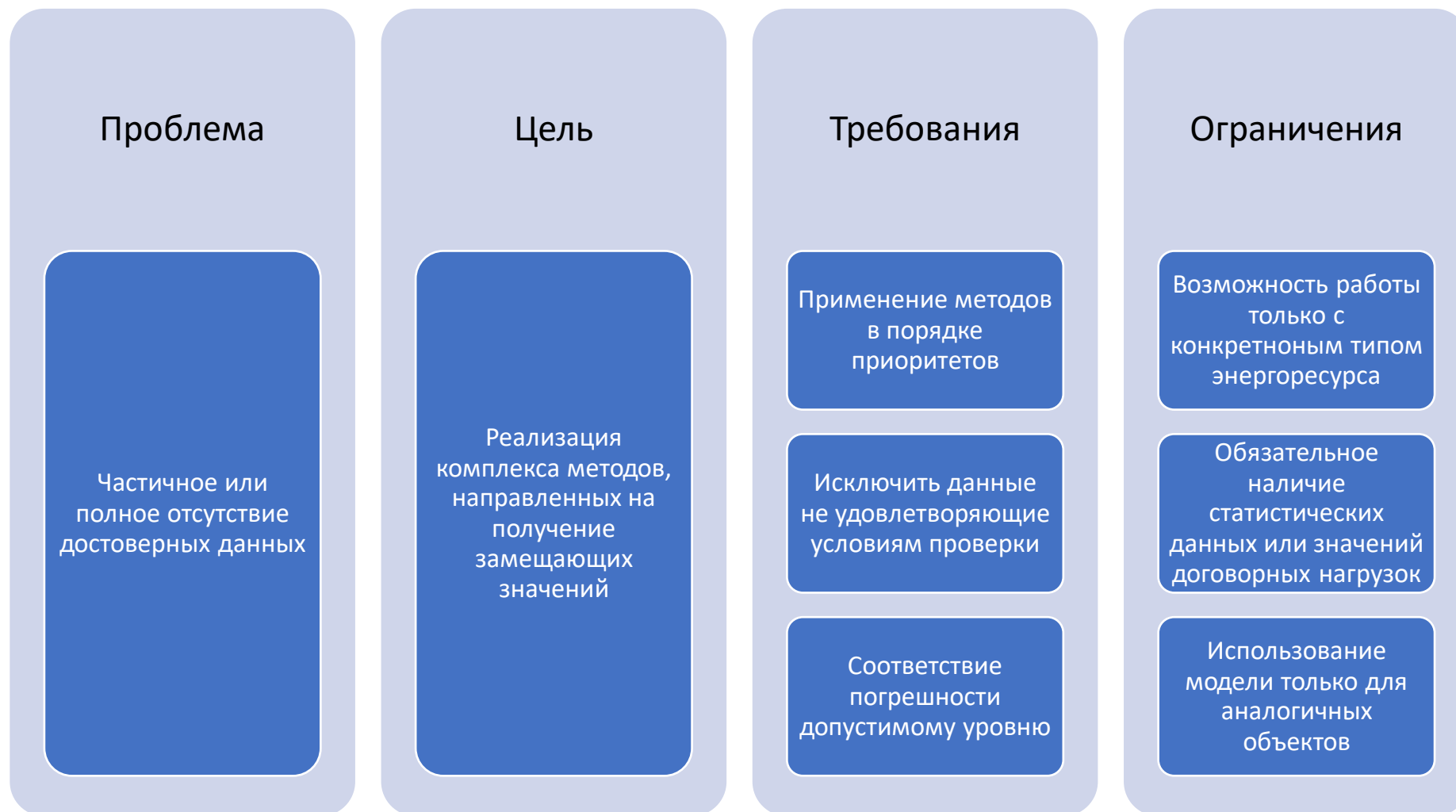


Рисунок 5 – Графическое представление информационной карты

Применение замещающих методов следует производить в некотором порядке приоритетов, сначала необходимо пробовать наиболее точные, и если их использование по каким-то причинам невозможно, то использовать менее точные. Применение замещающих методов будет зависеть от вида ресурса, количества тепловых вводов на объекте и количестве доступной информации о потреблении. Раздел с приоритетностью применения этих методов должен раскрыть порядок их применения в различных ситуациях.

Ограничения в использовании замещающих методов заключаются в том, что расчеты направлены на получение недостающих данных осуществляются на основе уже существующей статистики. Соответственно, чем меньше исходных данных, тем больше будет погрешность применяемого метода. Это вынуждает использовать несколько различных подходов, отличающиеся между собой в сложности и требуемом объеме и качестве исходных данных. Требуется наличие достоверных показаний за максимально большой отрезок времени.

Представленные этапы подразумевают реализацию технологии, применимую к конкретному типу энергоресурса, в данном случае это горячее водоснабжение. Использование рассмотренных методов для других типов энергоресурса является невозможным, поскольку может привести к большим неточностям в полученных результатах. Использование их для других типов энергоресурсов потребует дополнительного переосмысления используемых методов и обновление условий.

Реальные данные являются коммерческой тайной, что не даёт возможности их использовать. По этой причине компанией был предоставлен доступ к тестовой базе данных, отражающий реальные результаты потребления за 4,5 года на группе многоквартирных домов. Эти данные не отражают реальные значения, но дают возможность создать базовую модель и реализовать технологию на их основе.

Основные этапы представлены на рисунке 6. Необходимо проанализировать собранные данные для выявления закономерностей и связей между переменными. Требуется определить основные зависимости, которые будут влиять на потребление горячего водоснабжения. В зависимости от количества и веса этих факторов будет зависеть точность итоговой математической модели.



Рисунок 6 – Концептуальная схема основных этапов работы

Основные этапы работы, необходимые для реализации технологии по оценке потребления горячего водоснабжения. Их совокупность образует технологию.

На текущем этапе важно установить используемый оптимальный замещающий метод, на основе которого будут проводиться расчеты.

Помимо общих этапов, необходимо определить дополнительные задачи для методов, требующие сложных математических расчетов:

- Анализ исходного набора данных;
- Определение ключевых зависимостей, влияющих на потребление;
- Определение договорных нагрузок для конкретного объекта;
- Построение математической модели.

На основе проведенного анализа данных, необходимо построить математическую модель. Важно выбрать модель, которая наилучшим образом отражает связь между переменными и потреблением энергии для горячего водоснабжения [7]-[9]. Необходимо проверить точность модели с помощью дополнительных независимых данных.

Реализация технологии замещающих методов оценки направлена на решение проблемы частичного или полного отсутствия исчерпывающего набора достоверных данных, полученных с приборов учета энергоресурсов. Целью исследования является выполнение технической задачи, по реализации комплекса методов, направленных на получение замещающих значений. Постановка задачи включает в себя реализацию таких этапов как определению приоритетности, верификации данных, выделения ключевых факторов влияния, проверки полученных результатов на достоверность. Совокупность этих методов будут образовывать технологию для подготовки, расчетов и проверки данных на достоверность. При выполнении этой задачи необходимо учитывать различные условия и факторы, определяющие приоритетность применения методов расчета, проводить анализ и проверку исходных данных, строить математический аппарат. Заключительным этапом является анализ погрешности при использовании замещающих методов, что поможет повысить точность оценки и уменьшить вероятность ошибок. Результатом исследования должно стать эффективное средство оценки потребления.

Глава 2 Разработка технологии оценки потребления горячего водоснабжения

2.1 Существующие методы оценки и определение приоритетности их применения

В данном разделе представлены основные замещающие методы, применяемые для оценки потребления горячего водоснабжения. Применение замещающих методов следует производить в некотором порядке приоритетов, сначала необходимо пробовать наиболее точные, и если их использование по каким-то причинам невозможно, то использовать менее точные. Применение замещающих методов будет зависеть от вида ресурса и количества тепловых вводов на объекте. На рисунке 7 представлены используемые компанией методы оценки потребления горячего водоснабжения.

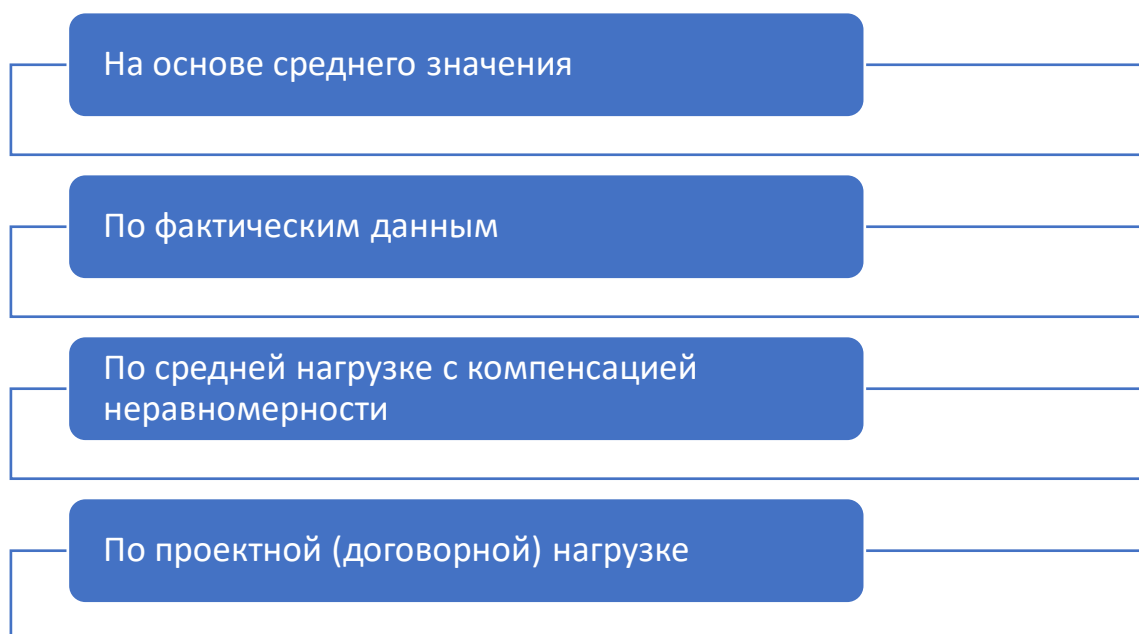


Рисунок 7 – Замещающие методы оценки горячего водоснабжения

Расчет по средним показаниям за несколько суток. Если измеренных результатов недостаточно для формирования полноценной статистики, но данные частично в наличии, то можно воспользоваться способом расчета по имеющимся в наличии результатам. Любые алгоритмы обработки результатов всегда работают на некотором ограниченном периоде времени [11]. У объекта в этом периоде могут оказаться недостоверные результаты измерений за несколько суток. При этом можно использовать метод оценки результатов потребления, основанный на среднем значении ближайших достоверных показаний.

Расчет по ближайшим достоверным значениям выполняется следующим образом. При нахождении очередного недостоверного архива в заданном интервале времени надо найти ближайшие к нему достоверные архивы и из среднего значения этих достоверных архивов вычислить замещающее значение для недостоверного. При этом величины любых расходов любого типа, а также тепловая энергия горячего водоснабжения просто принимаются равными этим средним значениям. Для отопительного сезона потребуется корректировка на температуру наружного воздуха:

$$Q_{\text{испр}} = \frac{Q_{\text{сред}} \cdot (T_{\text{вп}} - T_{\text{нв}})}{T_{\text{вп}} - T_{\text{нвСред}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{испр}}$ - тепловая энергия, замещающая недостоверные результаты;

$Q_{\text{сред}}$ - среднее значение тепловой энергии за сутки;

$T_{\text{вп}}$ - расчетная температура внутри помещения для объекта потребителя;

$T_{\text{нв}}$ - температура наружного воздуха в сутки с недостоверными данными;

$T_{\text{нвСред}}$ - средняя температура наружного воздуха за сутки с достоверными данными, из которых вычислялось среднее значение.

Если полученная величина $Q_{испр}$ окажется отрицательной, это может произойти при $T_{вп}$ меньше $T_{нв}$, то ее следует принять равной нулю. Также следует учитывать, что при расчете по среднему ближайших достоверных показаний следует избегать одновременного попадания в диапазон обрабатываемых данных дней отопительного и меж отопительного периода, потому что при этом ошибка вычислений по данному методу может многократно вырасти.

По фактическим данным в случае временного отсутствия показаний приборов. Этот метод основан на долговременной стабильности характеристики объекта. Под долговременной стабильностью здесь понимается неизменность теплофизических свойств ограждающих конструкций объекта в течение длительных периодов времени – как минимум до нескольких лет. Отсюда становится понятно, что в случае преднамеренного изменения этих теплофизических свойств, данный метод перестает работать, а если точнее, то потребует определенной корректировки. Что можно понимать под таким преднамеренным изменением – например, мероприятия по энергосбережению: утепление фасадов, замену оконных конструкций на энергосберегающие и т.п.

Объемы потребления горячего водоснабжения очень сильно зависят от целого ряда факторов, что делает гораздо более сложным их прогнозирование при отсутствии реальных результатов измерений. В зависимости от количества и веса этих факторов будет зависеть точность итоговой математической модели.

Требуется построить модель потребления тепловой энергии горячего водоснабжения. Эта зависимость будет достаточно сложной, не очень точной и индивидуальной. В связи с невозможностью учесть все факторы, возможны неучтенные в математической модели дополнительные влияющие факторы. Применимость построенной математической модели будет возможно только к той группе объектов, для которой эта зависимость была построена.

Применимость изложенной методики будет ограничена только конкретным типом объекта. Для корректного построения такой математической модели обязательно необходимо иметь в наличии большой массив реально измеренных данных о расходе энергоресурса. Как минимум необходимы архивные данные за период не менее трех лет, лучше всего использовать за максимально большой доступной промежуток времени. В связи со всеми ограничениями логично предположить, что лучшей альтернативой замещающему расчетному методу всегда будут являться исправные приборы учета, которые выполняют соответствующие измерения, в связи с чем необходимость в применении замещающих методов отпадает.

Расчет по средней нагрузке с компенсацией суточной неравномерности. Способ определения проектной (договорной) нагрузки на горячем водоснабжении изначально предполагает существенное ее завышение относительно реального среднесуточного потребления и поэтому расчеты в первую очередь для основных потребителей горячей воды дают очень сильно завышенные результаты. А эти завышенные результаты вносят в свою очередь очень большую ошибку в расчеты по определению потерь в ситуациях, когда объем тепловой энергии в горячей воде достаточно велик по отношению к другим составляющим балансового уравнения, например, меж отопительный сезон.

Использование других замещающих методов, обладающих меньшей погрешностью по сравнению с расчетом по договорной нагрузке, не всегда оказывается возможным. Способ, использующий договорную и среднюю нагрузку, и позволяющий существенно снизить погрешность оценки объемов потребления тепловой энергии в горячей воде. Он будет заключаться в определении среднесуточного потребления горячего водоснабжения по показаниям приборов учета с одновременной компенсацией суточной неравномерности расхода горячей воды, обусловленной в основном температурой холодной воды.

Следует разделить описываемый способ расчета по договорной нагрузке для объектов, у которых имеются достоверные результаты измерений в достаточном количестве и где измерений нет, включая объекты совсем без измерений. Следует различать виды объектов в части режима потребления горячей воды, основными из которых являются жилье и детские дошкольные учреждения.

Таким образом, если использовать в качестве опорного значения суточную величину договорного объема расхода тепловой энергии, полученную с помощью формулы (6), то необходимо еще определить 12 значений специальных коэффициентов $K_{1\text{МЕС}}$, $K_{2\text{МЕС}}$... $K_{12\text{МЕС}}$ для пересчета этой договорной нагрузки в приблизительное значение суточного расхода тепловой энергии для каждого из месяцев.

Проверка достоверности результатов измерений выполняется стандартная, с дополняющим расчетом времени наработки. Но кроме стандартных проверок следует еще убедиться в наличии договорной нагрузки для каждого объекта, в случае отсутствия этой нагрузки у объекта применение к нему данного метода невозможно. Следует учитывать информацию об отключениях – все сутки, в которых было такое отключение, следует также считать недостоверными независимо от показаний приборов и исключать эти данные из анализа.

Для объектов, имеющих достаточное количества достоверных результатов измерений, величины коэффициентов $K_{i\text{МЕС}}$ принимаются равными средневзвешенным для данной системы теплоснабжения. Средневзвешенные значения определяются через сумму потребления тепловой энергии и договорные нагрузки объектов одной системы теплоснабжения, у которых имеются достоверные результаты измерений в достаточном количестве, т.е. тех объектов, для которых был возможен расчет месячных коэффициентов.

Расчет при отсутствии фактических данных по проектной (договорной) нагрузке. Данный метод требует дополнительного пояснения этапа с оценкой

расхода энергоресурсов с помощью договорных нагрузок. Использование договорных (проектных) нагрузок для оценки объемов потребления тепловой энергии и теплоносителя в замещающих методах является наихудшим и, следовательно, самым последним из всех возможных вариантов, когда ни один из прочих не может быть использован по каким-либо причинам. Виды договорных нагрузок на рисунке 8.

Кроме того, что этот способ потенциально дает наибольшую ошибку. Существенным минусом является факт того, что невозможно выполнить оценку величины этой ошибки, т.е. определить погрешность данного замещающего метода.

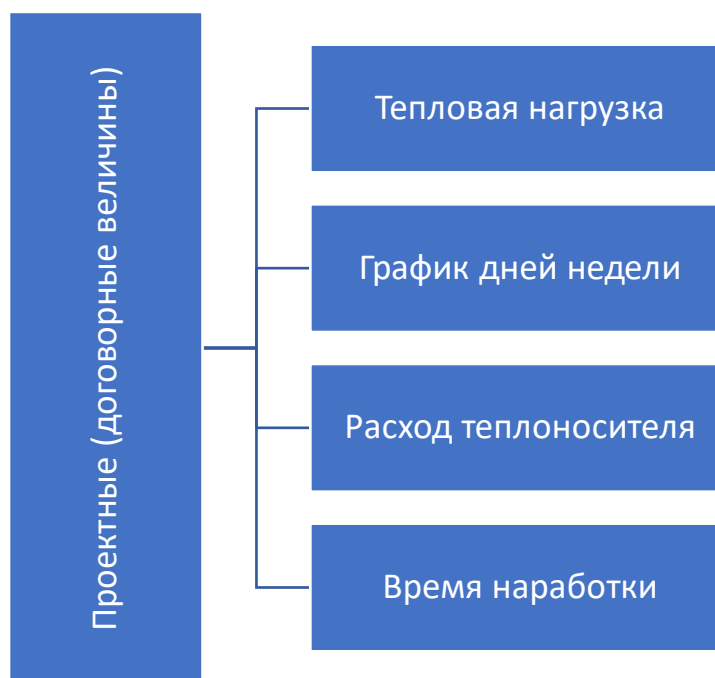


Рисунок 8 – Виды проектных (договорных величин)

В зависимости от ситуации для горячего водоснабжения в системе АО «Элдис» могут быть указаны следующие проектные (договорные величины):

Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение, нагрузка на горячее водоснабжение по расходу теплоносителя. Дни недели, в которые горячее водоснабжение используется, либо не используется в зависимости от недельного цикла работы объекта. Если этот параметр отсутствует, то

принимается ежедневное использование контура горячее водоснабжение. Указана продолжительность использования горячее водоснабжение в часах за сутки.

Для оценки потребления тепловой энергии при наличии соответствующей договорной нагрузки вычисление тепловой энергии производится пересчетом этой нагрузки с учетом текущего дня недели и продолжительности работы системы горячее водоснабжение часов в сутки. Опишем способ оценки объемов потребления при помощи договорных (проектных) нагрузок для контуров конечного потребителя.

Для оценки суточного расхода теплоносителя при решении материальных балансовых уравнений используется формула:

$$M_1 = M_2 = G_{от} \cdot 24, \quad (2)$$

где $G_{от}$ – Значение массового расхода проектной (договорной) нагрузки;

M_1 - Масса теплоносителя по первой трубе;

M_2 - Масса теплоносителя по второй трубе.

Иногда может оказаться, что проектная (договорная) нагрузка по расходу теплоносителя для данного объекта отсутствует. Тогда ее можно рассчитать при известной $Q_{от}$ по формуле:

$$G_{от} = \frac{Q_{от}}{T_1 - T_2} \cdot 1000 \quad (3)$$

где $Q_{от}$ – Значение тепловой энергии проектной (договорной) нагрузки;

T_1 - расчетные температуры прямой сетевой воды;

T_2 - расчетные температуры обратной сетевой воды.

Если для анализа требуется именно величина тепловой энергии горячего водоснабжения, например, при решении уравнений теплового баланса, то в первую очередь следует использовать имеющуюся величину договорной

нагрузки и если только она не описана в базе данных или равна нулю, можно будет использовать значение массового расхода для вычисления из нее величины тепловой энергии по формуле:

$$Q = G \cdot 0.065, \quad (4)$$

где G – расход теплоносителя.

Если для анализа требуется величина расхода теплоносителя, например, то в первую очередь следует использовать именно величину договорной нагрузки G , и только в случае ее отсутствия или равенстве нулю при ненулевом значении Q , вычислить ее величину из имеющейся Q по формуле:

$$Q = \frac{G}{0.065}. \quad (5)$$

Для оценки суточного потребления тепловой энергии используется формула:

$$Q_{\text{дог}} = Q_{\text{гвс}} \cdot N_{\text{час}} \cdot K_{\text{сут}}, \quad (6),$$

где $N_{\text{час}}$ - количество часов потребления горячего водоснабжения в сутки. Если он не определен, то следует принять его значение равным 24;

$K_{\text{сут}}$ - коэффициент, равный 1 или 0, в зависимости от дня недели и параметра дни потребления. Если этот параметр не определен, то он всегда принимается равным 1.

Если схема водоснабжения реализована по открытой схеме используется суточная оценка израсходованной массы горячей воды по формуле:

$$M_1 - M_2 = dM = G_{\text{гвс}} \cdot N_{\text{час}} \cdot K_{\text{сут}}, \quad (7),$$

где dM - Разность масс.

Для оценки потребления тепловой энергии ГВС при отсутствии тепловой нагрузки либо равенстве нулю и одновременной ненулевой величине расходу теплоносителя вычисляется приближенное значение по формуле:

$$Q_d = K \cdot G_d, \quad (8)$$

где K - коэффициент пересчета;

Q_d – договорная тепловая нагрузка;

G_d - договорной расход теплоносителя.

Величины коэффициента пересчета определяется в основном температурой холодной воды и может быть примерно определена для конкретного источника тепловой энергии в зависимости от месяца.

Затем расчет потребления тепловой энергии выполняется аналогично предыдущему случаю с учетом дня недели и продолжительности часов за сутки.

Для оценки потребления теплоносителя на горячем водоснабжении при наличии соответствующей договорной нагрузки G_d вычисление количества теплоносителя производится пересчетом этой нагрузки с учетом текущего дня недели и продолжительности работы системы горячем водоснабжении часов в сутки.

Для оценки потребления тепловой энергии при отсутствии G_d либо равенстве ее нулю и одновременной ненулевой величине Q_d вычисляется приближенное значение по формуле:

$$G_d = \frac{Q_d}{K}, \quad (9)$$

где K - коэффициент пересчета, для определения количества тепловой энергии.

Затем расчет потребления количества теплоносителя выполняется аналогично предыдущему случаю с учетом дня недели и продолжительности часов за сутки.

Приоритетность применение методов оценки установлена на рисунке 9. Проверка каждого метода требует выполнение большого объема тестов, сравнивая результаты применения методов замещения с показаниями приборов учета. В рамках данной работы не будет подробно рассматриваться обоснование порядка применения. Для каждого метода описан общий порядок его применения. Данной информации будет достаточно для определения подходящего метода, который необходимо будет использовать.

Прерывать проверку следует при первом же нарушении любого из условий в указанной очередности с учетом применения дополняющего расчета.

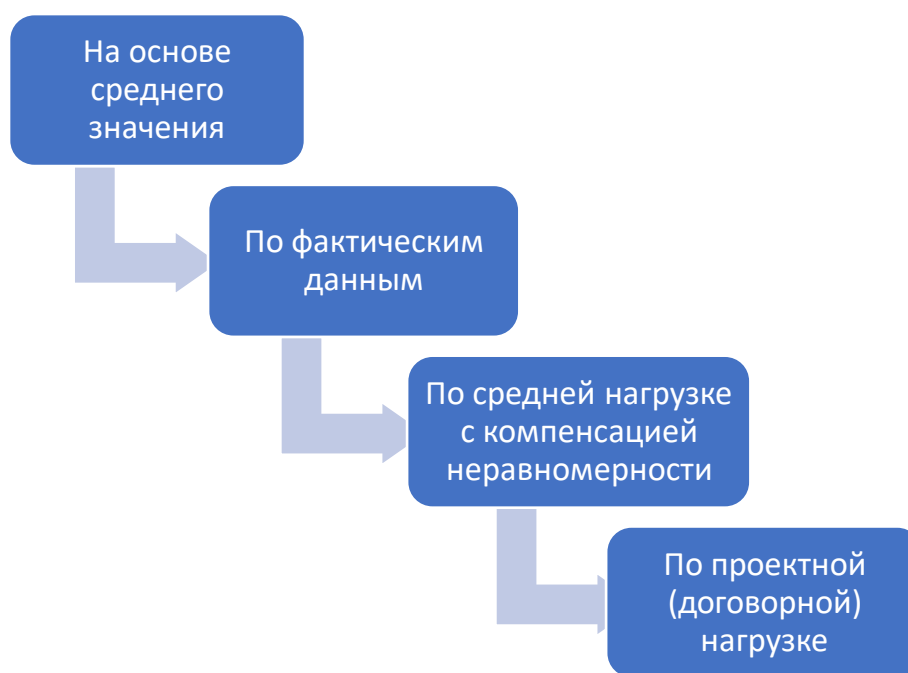


Рисунок 9 – Приоритетность применения замещающих методов

Применение замещающих методов следует производить в некотором порядке приоритетов - сначала надо пробовать наиболее точные, и если их

использование по каким-то причинам невозможно, то использовать менее точные.

Метод по средним значениям ближайших показаний необходимо применять в первую очередь. Метод по фактической нагрузке значительно уступает по точности предыдущему, требует большого количества статистических данных о использовании энергоресурса. Следует использовать следующий метод по средней нагрузке с компенсацией суточной неравномерности. Крайним методом необходимо применить метод по договорной нагрузке.

Поскольку расчетные формулы замещающих методов, основанных на некоторой статистике реальных измерений, получены на базе измеренных параметров за некоторый ограниченный период времени, то они также будут иметь ограниченный срок применения и должны регулярно пересматриваться и обновляться на базе новых статистик измерений. Это связано с тем, что сами физические характеристики объектов со временем изменяются. Поэтому для каждого замещающего метода, основанного на статистике фактических измерений, должен быть еще определен своеобразный срок годности его формулы.

Точнее говоря, применение замещающего метода, основанного на данных предыдущего года или отопительного сезона, следует использовать только на один последующий год или отопительный сезон, а по прошествии аналогичного интервала времени требуется выполнять построение обновленной формулы замещающего метода.

Были рассмотрены методы позволяющие получить замещающие значения. Это метод расчета на основе среднего значения, по фактическим данным, по средней нагрузке с компенсацией суточной неравномерности и по проектной нагрузке. Применять данные методы стоит в некотором порядке приоритетов, поскольку использовать менее точные методы следует только в случае, когда наиболее точные в конкретном случае не могут быть применены. Следует учитывать срок годности данных и обновлять модели.

2.2 Анализ и верификация исходных данных

Массив фактических измерений, на основе которого строится расчет по замещающему методу, обязательно должен пройти проверки, представленные на рисунке 10. Все недостоверные данные должны быть исключены [16].



Рисунок 10 – Перечень проверок для исключения недостоверных результатов

Проверка наличия архивных значений за указанный период времени для требуемых параметров Q, M_1, M_2, T_1, T_2 . где:

Q - Тепловая энергия;

M_1 и M_2 - Масса теплоносителя;

T_1 и T_2 – Температура теплоносителя.

Если система горячего водоснабжения является тупиковой, проверка параметров M_2 и T_2 не производится.

Проверка значений массовых расходов и энергии на максимальные и минимальные значения для точки учета и объектов конечных потребителей:

$$0 \leq M_1; M_2 \leq 3 \cdot 10^4; 0 \leq Q \leq 2,4 \cdot 10^3. \quad (10)$$

Для отдельных специфических объектов и источников, и других технологических объектов, и конечных потребителей максимально допустимые значения расхода и тепловой энергии могут быть определены индивидуально.

Проверка времени наработки на соблюдение условия:

$$\frac{|(T_{\text{раб}} - 24\text{ч})|}{24\text{ч}} \leq 0,05. \quad (11)$$

где $T_{\text{раб}}$ – время нормальной работы.

При отсутствии параметра $T_{\text{раб}}$ в архиве эта проверка пропускается. Определенным исключением для этой проверки является ситуация, когда установлен флаг дополняющего расчета при недостаточной величине $T_{\text{раб}}$, подробное описание приведено ниже в конце текущего раздела [17]-[19].

Проверка согласованности каналов измерения расходов на соблюдение условия

$$M_1 \geq 0,96 \cdot M_2. \quad (12)$$

Эта проверка пропускается для тупиковых систем горячего водоснабжения и на технологические нужды, для однородных вводов многовходовых объектов.

Проверка правильности программирования каналов расхода в вычислителе на соблюдение условия

$$M_1 < 2 \cdot M_2. \quad (13)$$

Эта проверка выполняется только если ГВС реализована по закрытой схеме.

Проверка соответствия расчета энергии по одной из инженерных формул:

$$Q_{\text{инж1}} = \frac{M_1 \cdot (T_1 - T_{\text{ХВ}}) - M_2 \cdot (T_2 - T_{\text{ХВ}})}{1000}, \quad (14)$$

$$Q_{\text{инж2}} = \frac{M_1 \cdot (T_1 - T_2)}{1000}, \quad (15)$$

$$Q_{\text{инж3}} = \frac{M_2 \cdot (T_1 - T_2)}{1000}. \quad (16)$$

Для тупиковых систем, вычисление $Q_{\text{инж}}$ производится только по формулам $Q_{\text{инж1}}$ и $Q_{\text{инж2}}$ с подстановкой значений M_2 равно 0 и T_2 равно 0.

При проверке инженерными формулами проверяется соблюдение условия:

$$|Q - Q_{\text{инж}}| \leq |0,1 \cdot Q|. \quad (17)$$

В которое по очереди подставляются значения $Q_{\text{инж}}$, полученные по формулам. Проверка считается пройденной, если указанное условие соблюдается хотя бы для одного из всех полученных значений. В случае отсутствия в архиве данных о $T_{\text{ХВ}}$ допускается принимать ее значение равным нулю.

Проверка каналов измерения температур на одновременное соблюдение трех условий:

$$(0 \leq T_1 \leq 150) \& (0 \leq T_2 \leq 150) \& (T_1 > T_2). \quad (18)$$

Прерывать проверку следует при первом же нарушении любого из условий в указанной очередности.

Только анализируя достоверные данные возможно выделить основные факторы, влияющие на реальную ситуацию по потреблению энергоресурсов. Необходимо проанализировать собранные данные для выявления закономерностей и связей между переменными. Можно использовать методы статистического анализа, такие как регрессионный анализ. Требуется определить переменные, которые будут влиять на потребление горячего водоснабжения. На данном этапе необходимо четко установить используемый замещающий метод оценки и определить ключевые факторы, оказывающие влияние на потребление. В зависимости от количества и веса этих факторов будет зависеть точность итоговой математической модели.

Реальные данные являются коммерческой тайной, что не даёт возможности их использовать. По этой причине компанией был предоставлен доступ к тестовой базе данных, отражающий реальные результаты потребления за 4,5 года на группе многоквартирных домов. Эти данные не отражают реальные значения, но дают возможность создать базовую модель и реализовать технологию на их основе. Визуальное представление данных представлено на рисунке 11.

По этой причине, рассмотрим конкретный тип - горячее водоснабжения. Определим условия, при которых позволяют использовать замещающие методы оценки, и рассмотрим конкретные примеры, связанные с этим типом энергоресурса.

Централизованное горячее водоснабжение является значительной по величине нагрузкой на теплоснабжение в населенных пунктах с достаточно большим населением [20].

Прогнозирование и оценка становится значительно более сложным и зачастую даже невозможным процессом без реальных результатов измерений. Поэтому при анализе учета и сопоставления всех источников и потребителей тепловой энергии в системе теплоснабжения необходимо учитывать объемы отпускаемой тепловой энергии на горячее водоснабжение и производить анализ соответствующих потерь наравне с отоплением.

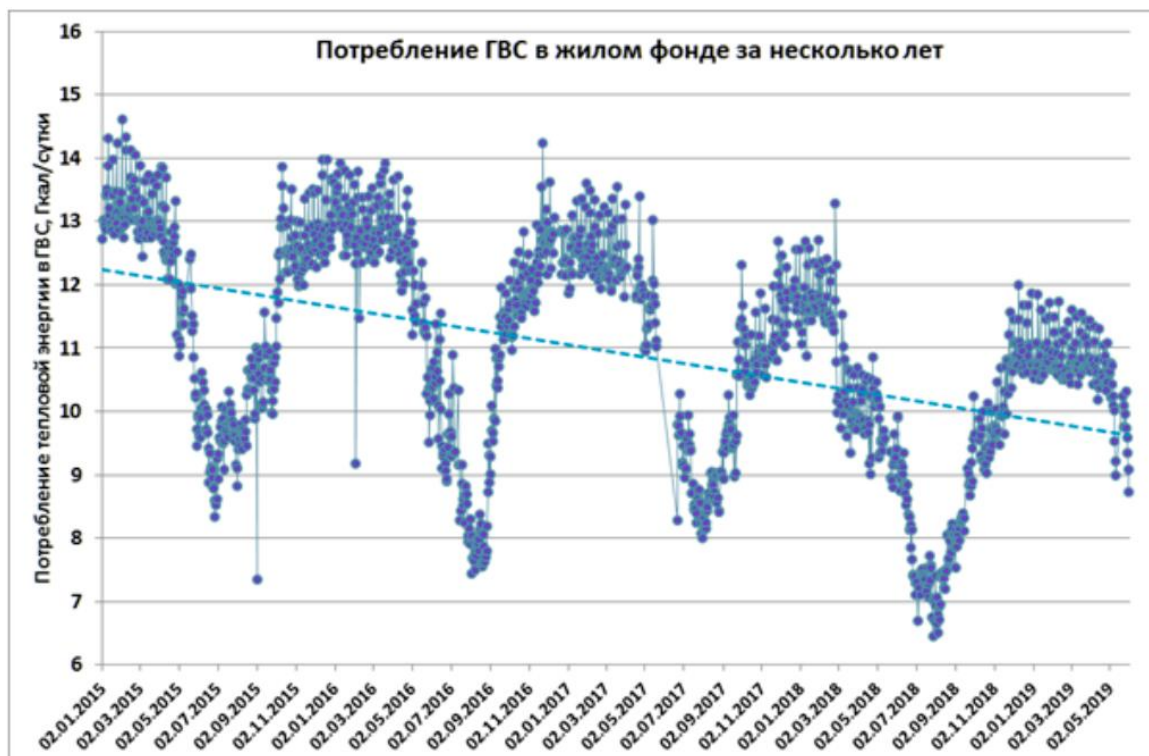


Рисунок 11 – Суточные данные о потреблении горячей воды

Использование этих данных может принести пользу, поскольку они могут помочь в создании базовой модели потребления горячей воды. Например, на основе этих данных можно выявить общие тенденции и паттерны использования горячей воды в течение дня или недели, а также определить периоды времени, когда наблюдается наибольшее потребление.

Кроме того, данные о потреблении горячей воды могут быть использованы для оценки и сравнения различных систем или технологий подачи горячей воды. Сравнивая показатели потребления в разных районах или с разными типами систем, можно выявить преимущества и недостатки определенных подходов и принять информированные решения при выборе наиболее эффективных и устойчивых систем.

Для удобного представления данных построена линейная диаграмма. Линейная диаграмма представляет собой графическое изображение зависимости между двумя переменными. В данном случае на оси X отображаются месяцы, а на оси Y - потребление энергии в Гкал\сутки. Точки на диаграмме соединяются отрезками, что позволяет визуально оценить изменение потребления энергии в течение времени. Маркеры используются для обозначения точек на графике, которые могут представлять конкретные значения потребления энергии в определенный месяц.

Объемы горячего водоснабжения сильно зависят от множества факторов, что делает прогнозирование этих объемов значительно более сложным без реальных результатов измерений. Это утверждение проиллюстрировано на Рисунке 11, который показывает потребление тепловой энергии в горячем водоснабжении на протяжении приблизительно 4,5 лет в группе крупных многоквартирных домов. На рисунке 12 представлены три основных фактора, влияющих на объем потребленной в горячем водоснабжении тепловой энергии.

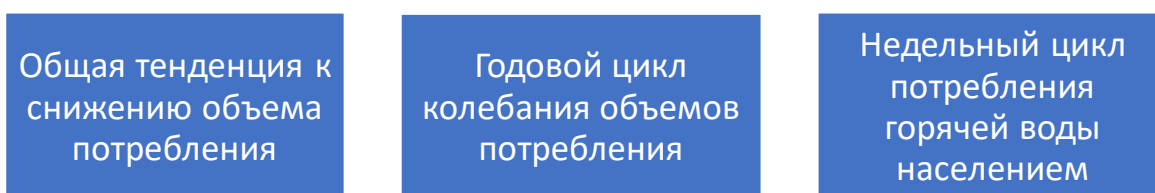


Рисунок 12 – Факторы, влияющие на потребление горячей воды

Общая тенденция к снижению объема. На рисунке 2.6 она представлена в виде прямой линии тренда, уравнение которой говорит о том, что в рассмотренном периоде времени в среднем ежедневно снижение потребления тепловой энергии на горячем водоснабжении. В целом эта тенденция наблюдается по причине энергосбережения, а именно очень аккуратного и бережливое расходование горячей воды конечными ее потребителями.

Годовой цикл колебания объемов с почти двукратной амплитудой, когда зимний максимум практически вдвое превышает по величине летний минимум. Основной причиной этого годового цикла является циклическое год от года существенное изменение температуры холодной воды, которая поступает к жильцам из открытого источника.

В приведенном выше списке не нашли своего отражения еще ряд факторов, которые также могут существенно повлиять на расход самой горячей воды и в том числе тепловой энергии в ней. Сделана это по причине значительного усложнения построения математической модели на основе этих данных. Один из таких факторов - температура окружающей среды. Низкая температура окружающей среды может привести к большим потерям тепла через трубопроводы и другие элементы системы.

Еще одним фактором является теплоизоляция системы. Если система недостаточно изолирована, значительная часть тепла может уходить наружу, вместо того чтобы оставаться в системе для поддержания требуемой температуры горячей воды. Это также может привести к увеличению расхода горячей воды и потребления тепловой энергии.

Было установлено, что массив фактических измерений, на основе которого строится расчет по замещающему методу, обязательно должен быть проверен на корректность результатов, а все недостоверные данные исключены из него. Был установлен список и условий обязательных проверок. Такие как проверка на наличие значений, на максимальные и минимальные значения, проверка на время наработки оборудования, проверка

согласованности каналов измерения, правильности программирования каналов расхода, соответствие расчетов по инженерным формулам и проверка каналов измерения и температур. Поскольку реальные данные являются коммерческой тайной, это не даёт возможности их использовать. По этой причине компанией был предоставлен доступ к тестовой базе данных, отражающий реальные результаты потребления. Эти данные не отражают реальные значения, но дают возможность создать базовую модель и реализовать технологию на их основе. Были рассмотрены выявленные в ходе анализа факторы, оказывающие основное влияние на потребление тепловой энергии в контуре горячего водоснабжения. Такие факторы как общая тенденция к снижению объема, годовой цикл колебания объемов с почти двукратной амплитудой, недельный цикл потребления горячей воды населением, из-за которого ее расход существенно различается в обычные будни, предвыходные и выходные дни. В данном случае не нашли своего отражения еще ряд факторов, которые также могут существенно повлиять на расход самой горячей воды и в том числе тепловой энергии в ней. Сделана это по причине отсутствия части необходимых данных, для построения математической модели на основе этих данных.

2.3 Построение математической модели

Опишем процедуру построения модели потребления тепловой энергии горячего водоснабжения. Еще раз подчеркнем, что эта зависимость будет, не очень точной из-за неучтенных в математической модели дополнительных влияющих факторов, применение изложенной методики будет ограничена только объектами жилого фонда. Для корректного построения такой математической модели обязательно необходимо иметь в наличии большой массив реально измеренных данных о расходе тепловой энергии суточных архивов за период не менее трех лет. Лучшей альтернативой замещающему

расчетному методу всегда будут являться исправные приборы учета, которые выполняют соответствующие измерения, в связи с чем необходимость в применении замещающих методов отпадает.

Для формирования представительной статистики, на основе которой будут затем получены требуемые зависимости, имеющийся набор данных следует проверить по некоторым признакам. При этом из набора следует исключить следующие результаты:

- Нулевые значения Q ;
- Значения Q за сутки, в которых время нормальной работы вычислителя составило менее 95%.

Итоговая функция, моделирующая потребление тепловой энергии, будет зависеть от трех переменных - даты, температуры холодной воды и номера дня недели:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{расч}} = F(\text{Дата}, T_{\text{ХВ}}, \text{ДеньНедели}). \quad (19)$$

В первом приближении можно считать, что каждая из трех переменных влияет на объем потребляемого горячего водоснабжения тепловой энергии независимо от других, и тогда выражение можно переписать в виде [12]:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{расч}} = F1(\text{Дата}) + F2(T_{\text{ХВ}}) + F3(\text{ДеньНедели}). \quad (20)$$

В таком случае поставленная задача сводится к нахождению трех разных функций, каждая из которых зависит только от одной переменной.

В качестве первой функции $F1(\text{Дата})$ можно принять уравнение линии тренда, представленное на Рисунке 11. Единственное, что здесь необходимо сделать - это увеличить количество значащих цифр в мультипликативном коэффициенте:

$$F1 = -0,001625 \times \text{Дата} + 80,507. \quad (21)$$

где Дата - это числовое представление даты-времени в общепринятом формате, когда целая часть числа представляет собой количество суток, прошедших с 1 января 1900 года, а дробная - доли суток, т.е. фактически часы, минуты и секунды. Поскольку в нашем случае все расчеты ведутся по данным суточных архивов, то числовое представление даты будет являться здесь обычными целыми числами [21]-[22].

Далее, чтобы выявить функциональную зависимость $F2(T_{ХВ})$, исключим предварительно из выражения функцию $F1(Дата)$:

$$F2(T_{ХВ}) + F3(ДеньНедели) = Q_{ГВС}^{факт} - F1(Дата). \quad (22)$$

И построим диаграмму для полученной зависимости от $T_{ХВ}$, она приведена на Рисунке 13.

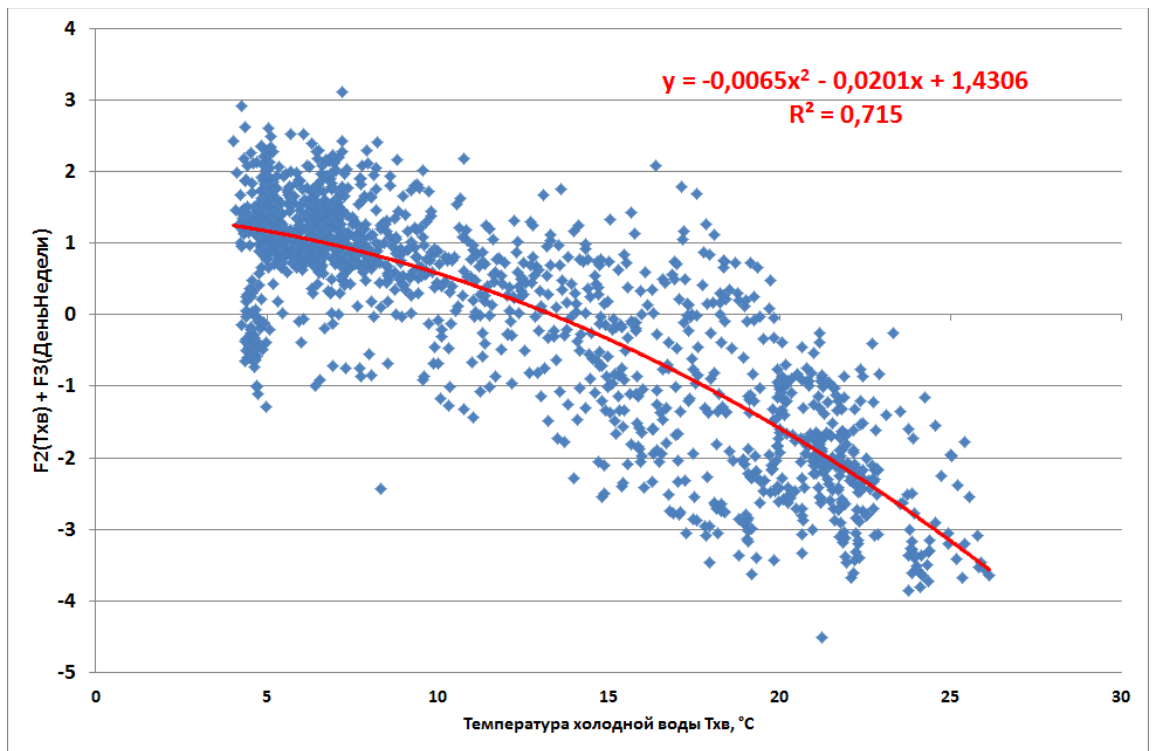


Рисунок 13 – Зависимости формулы (22) от аргумента $T_{ХВ}$

В качестве критерия наиболее оптимального уравнения линии тренда для имеющейся зависимости используем R^2 . В итоге получим полином второй степени, уравнение которого представлено здесь же на диаграмме. Представлено на рисунке 14. В принципе полиномы более высокой степени дают определенное приращение величины R^2 , но оно очень незначительно и не окупает возникающих при этом сложностей в расчете.

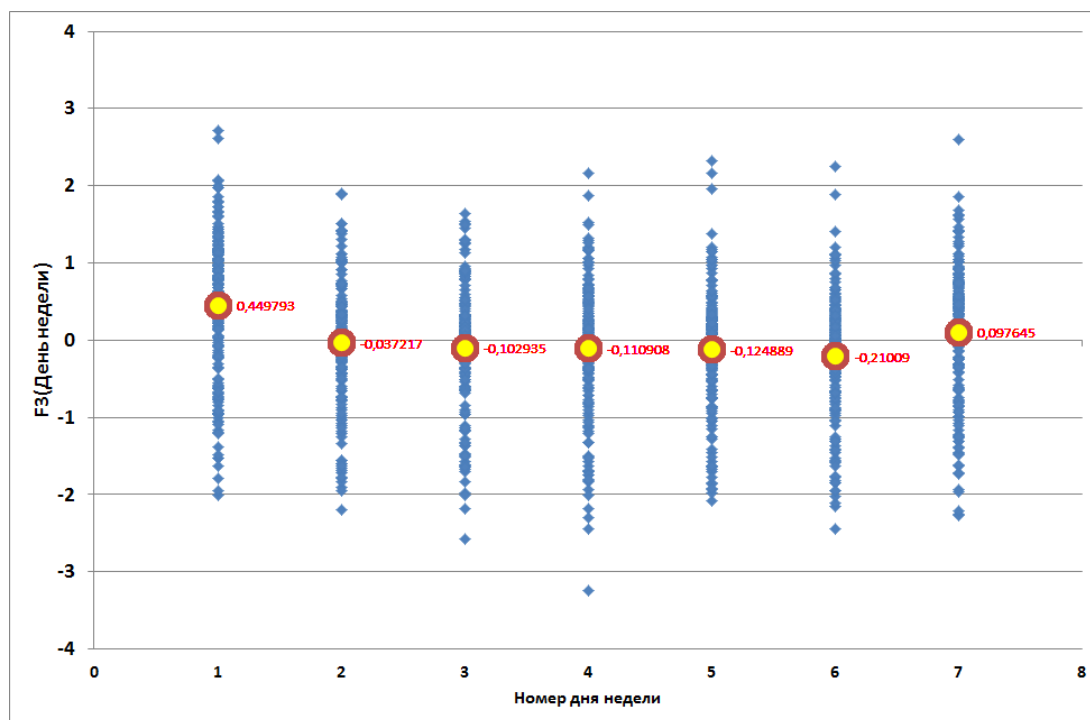


Рисунок 14 –Зависимость дня недели от номера дня недели

Итак, в итоге мы получили аналитическое выражение для второй функции $F2(T_{XB})$:

$$F2 = -0,0065 \cdot T_{XB}^2 - 0,0201 \cdot T_{XB} + 1,4306. \quad (23)$$

В итоге осталось определить последнюю функцию $F3(\text{День Недели})$, воспользуемся для этого приемом, аналогичным предыдущему шагу - исключим из зависимости (22) функцию, описанную уравнением

$$F_3(\text{ДеньНедели}) = Q_{\text{ГВС}}^{\text{факт}} - F_1(\text{Дата}) - F_2(T_{\text{ХВ}}). \quad (24)$$

И построим диаграмму зависимости от номера дня недели, которая приведена на Рисунке 14. Ограниченное и небольшое количество возможных значений аргумента этой функции позволяет не определять ее в виде аналитического выражения, которое в данном случае при соблюдении необходимой точности требует полинома 6 степени, а описать просто как численно определенную в семи точках значений аргумента:

Таблица 1 – Зависимость энергопотребления от дня недели

День недели	Значение аргумента X в функции $F_3(X)$
1	0,449793
2	-0,037217
3	-0,102935
4	-0,110908
5	-0,124889
6	-0,21009
7	0,097645

Нумерация дней недели здесь представлена в английском формате и начинается с воскресенья. На диаграмме четко видно различие в потреблении в разные дни недели - оно максимально в воскресенье, примерно одинаково с понедельника по четверг включительно и минимально в пятницу. В принципе для этой зависимости можно использовать не только номера дней недели, а дополнительно наложить на них фактический рабочий график, потому что выходные дни у нас нередко попадают на период с понедельника по пятницу,

и тогда потребление в такие сутки следует изменять по следующему алгоритму:

- В качестве значения функции в рабочий день, предшествующий выходному, следует использовать число, соответствующее пятнице;

- В качестве значения функции в выходной день, предшествующий рабочему, следует использовать число, соответствующее воскресенью;

- Если выходные дни делятся три дня подряд и более, то во все из них кроме последнего следует использовать числа, соответствующие пятнице;

В итоге для получения расчетного замещающего значения величины потребленной тепловой энергии за сутки на тех объектах, по которым построена математическая модель, необходимо вычислить сумму трех выражений (21), (23) и (24) с подстановкой соответствующих аргументов - числового значения даты, температуры холодной воды и номера дня недели.

В данном разделе была построена математическая модель потребления тепловой энергии на группе многоквартирных домов. Из тестовых данных были исключены нулевые значения и значения за сутки, в которых время нормальной работы вычислителя составило менее 95%. Установленные в раздела 2.2 были взяты ключевые факторы, влияющие на потребление. Таким образом итоговая функция, моделирующая потребление тепловой энергии, будет зависеть от трех переменных - даты, температуры холодной воды и номера дня недели. В итоге для получения расчетного замещающего значения величины потребленной тепловой энергии за сутки на тех объектах, по которым построена математическая модель, необходимо вычислить сумму трех выражений с подстановкой соответствующих аргументов - числового значения даты, температуры холодной воды и номера дня недели. Описанная выше математическая модель построена для группы из трех многоквартирных домов. Эту модель можно использовать для оценки потребления тепловой энергии на каждом из многоквартирного дома в отдельности через удельное потребление в расчете на одного жильца этих домов.

Глава 3 Реализация технологии и анализ результатов

3.1 Реализация технологии замещающих методов оценки

Реализация технологии включает в себя ряд важных этапов и требует наличие программных средств и технологий для удобной работы с архивными данными о потреблении.

Тестовый набор архивных данных был предоставлен в формате xml файла. На рисунке 15 представлен предоставленный файл с тестовым набором данных. Для проведение первичного анализа и визуализации тестового массива данных использовались средства Excel.

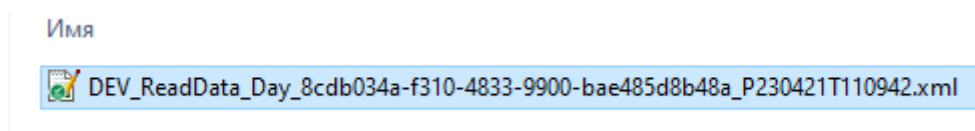


Рисунок 15 – Тестовый набор архивных данных

Для работы требуется преобразовать XML-файл в таблицу Excel, воспользуемся функцией “XML-таблица” в Excel. Для этого нужно выбрать вкладку “Вставка” и нажать на кнопку “XML-таблица”. Затем нужно указать путь к файлу XML и выбрать таблицу.

Поскольку данный метод не позволяет достаточно просто реализовать все необходимые этапы, совокупность которых определяет саму технологию, данный способ рекомендуется использовать только в целях обучения и ознакомления с тестовым набором данных.

Для создания приложения Windows, которое включает в себя работу с графиками и таблицей XML через оконное приложение, будет использоваться язык программирования C# в связке с платформой .NET. Он разработан специально для платформы .NET, и он тесно интегрирован с Windows-окружением. Он предоставляет удобные средства для работы с оконными

приложениями через Windows Presentation Foundation (WPF). С использованием C# и .NET возможно создать мощное и эффективное оконное приложение для работы с графиками и таблицами XML.

В качестве интегрированной среды разработки для создания приложений на C# и платформе .NET можно использовать Microsoft Visual Studio. Среда разработки предлагает широкий набор инструментов и библиотек для разработки приложений и упрощает процесс создания, отладки и развертывания вашего приложения [13].

Работа с XML: Для загрузки и обработки XML-файлов потребуется использовать классы и методы из пространства имен System.Xml в .NET. Это позволит считывать данные из XML-файла и использовать их для построения графиков.

Понадобится библиотека, которая предоставляет возможности построения графиков на основе данных из XML. Одна из наиболее популярных библиотек для этой цели в экосистеме .NET - это библиотека «LiveCharts». Она предоставляет простой в использовании интерфейс для создания различных типов графиков.

Реализация технологии осуществляется на базе внутреннего программного обеспечения компании, позволяющее получить удобную платформу для реализации технологии и использования инструментов для визуализации и анализа.

Расчет по фактической нагрузке, как уже было описано выше, основан на ограниченной статистике достоверных результатов фактических измерений в каждой конкретной точке учета и поэтому имеет ряд существенных недостатков и ограничений в применении. Коэффициенты считаются по отопительному сезону, характеристики фактической нагрузки нужно ежегодно обновлять. Для расчета коэффициентов уравнений нужна статистика измерений в один год.

В начале работы приложения на первой форме необходимо установить флаги, обеспечивающие выбор определенных групп, выбрать систему теплоснабжения, для потребителей которой будет выполняться расчет уравнений фактической нагрузке. Интерфейс приложения представлен на рисунке 16.

Рисунок 16 – Первая форма приложения

Поле «Поиск» используется для автоматического позиционирования курсора в таблице при вводе в него адреса объекта, содержащего требуемую точку учета.

Перед обработкой результатов измерений следует провести их проверку на корректность. После корректировки при необходимости флагов проверок на достоверность следует выбрать диапазон дат для анализа.

В качестве диапазона дат предлагается использовать диапазон с 1 ноября до 31 марта предыдущего отопительного сезона.

Для нагрузки только на горячее водоснабжение необходим интервал суточных архивов продолжительностью не менее одного года.

Клик на кнопке далее выполняет проверки на достоверность и переход к следующему шагу расчета для текущей в списке точки учета.

На втором шаге выполняется построение первичной формулы и удаление из массива обрабатываемых данных небольшой доли непредставительных значений.

Вычисляется простое среднее значение тепловой энергии за весь анализируемый период:

$$Q_{\text{расч1}} = \frac{\sum Q_i}{N}. \quad (25)$$

Статистическая обработка большого массива данных позволяет признать некоторую их часть непредставительными и исключить из обработки. На рисунке 17 строится вторая форма.

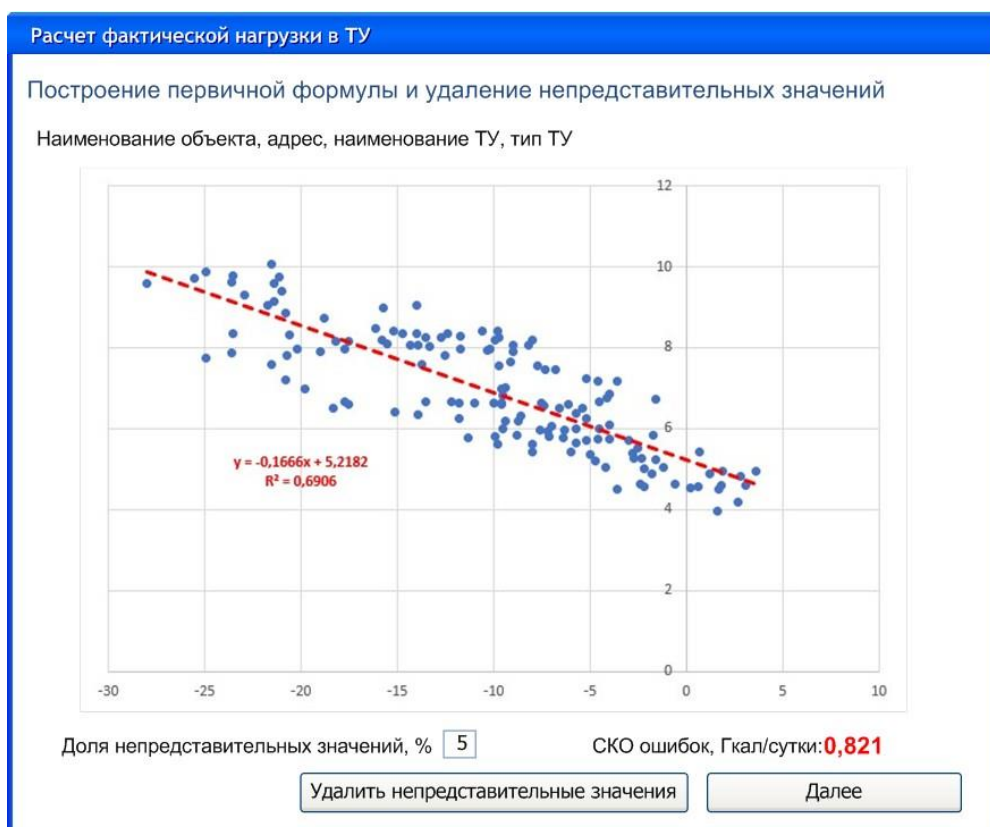


Рисунок 17 – Вторая форма приложения.

Для определения того, какие конкретно значения следует исключить, необходимо сформировать массив величин отклонений архивных значений Q от полученных расчетных значений $Q_{\text{расч1}}$:

$$dQ_i = Q - Q_{\text{расч1}}. \quad (26)$$

Исключению как непредставительные будут подлежать те результаты измерений, которым соответствуют максимальные значения абсолютной величины $|dQ_i|$. По умолчанию количество исключаемых результатов следует принять равным 5% от их общего числа.

При расчете фактической нагрузки исключение непредставительных значений преследует своей целью автоматически исключить выделяющиеся в измерениях данные, когда сами результаты измерений полностью достоверны, но режим теплоснабжения объекта сильно отклонялся от нормального. Это может быть, например, при порывах тепловой сети, временном ограничении теплоснабжения из-за ремонтных работ и в других подобных случаях.

Вычисление поправок на номер календарного месяца применяются исключительно для учета горячего водоснабжения. Такие поправки заключается в том, что расход горячей воды и тепловой энергии очень существенно зависит от температуры холодной воды, подаваемой потребителям, которая в свою очередь очень сильно колеблется в течение года, особенно при организации водоснабжения из поверхностного источника. Но значения реальной температуры холодной воды, подаваемой в конкретный объект потребителя, скорее всего не измеряются.

Эти поправки не применяются для других типов потребляемой энергии, в частности при нагрузке комбинированного типа по ряду причин. Так расчет фактической нагрузки выполняется только для отопительного сезона, за который колебания $T_{\text{хв}}$ не так велики, как за целый календарный год.

Сравнительно небольшие колебания тепловой энергии горячего водоснабжения в комбинированной нагрузке хорошо маскируются колебаниями гораздо большей нагрузки на отопление и/или вентиляцию, которая в свою очередь существенно зависит от других параметров, и совсем не зависит от $T_{хв}$. На рисунке 18 форма с расчетом поправок на номер месяца.

Для получения величин поправок необходимо отсортировать значения dQ_2 .

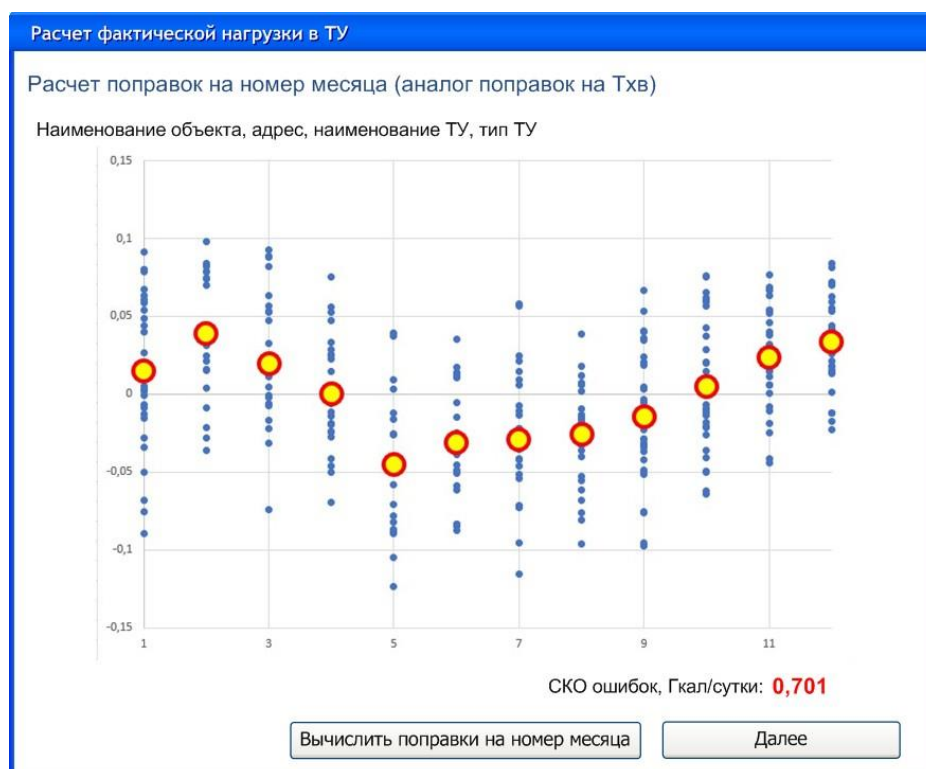


Рисунок 18 – Форма с расчетом поправок на номер месяца.

Затем производится вычисление среднего значения $dQ_{2i\text{МесСРЕДН}}$ для каждого месяца, как это проиллюстрировано на Рисунок 18. Использование полученных значений поправок при вычислениях выполняется по формуле:

Смысл вычисление поправок на день недели заключается в том, что большинство объектов потребителей, в первую очередь многоквартирные дома, имеют определенный достаточно стабильный недельный цикл

потребления горячей воды, при котором расход тепловой энергии в разные дни недели стабильно различается.

Для получения величин поправок необходимо отсортировать значения dQ_3 , полученные в предыдущих разделах, по номеру дня недели.

Затем производится вычисление среднего значения $dQ_{3iСРЕДН}$ для каждого дня недели, как это проиллюстрировано на Рисунке 19. Затем производится вычисление среднеквадратического отклонения ошибки вычислений с поправкой на день недели: Эффективность поправки на день недели проверяется соблюдением условия

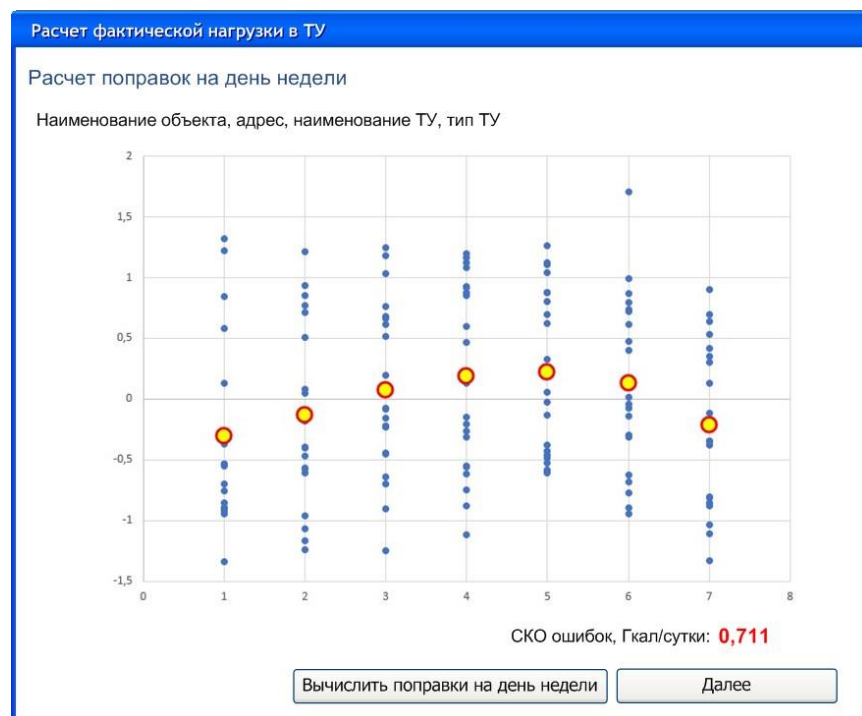


Рисунок 19 – Этап расчета поправок на день недели.

Вычисление поправки на окончательную корреляцию результата заключается в анализе полученной зависимости:

$$dQ_4 = F(dQ_{4расч}). \quad (27)$$

Вычислим для нее коэффициенты линейной интерполяции A_3 и B_3 и величины критерия R^2 линии тренда:

$$dQ_{4\text{лин}} = A_3 \cdot Q_{4\text{расч}} + B_3 \quad (28)$$

Данная поправка будет иметь эффект, если соблюдается условие:

$$R^2 > 0,1 \quad (29)$$

При несоблюдении условия (29) данная поправка не даст приемлемого эффекта и не должна применяться. Представлена на рисунке 20.

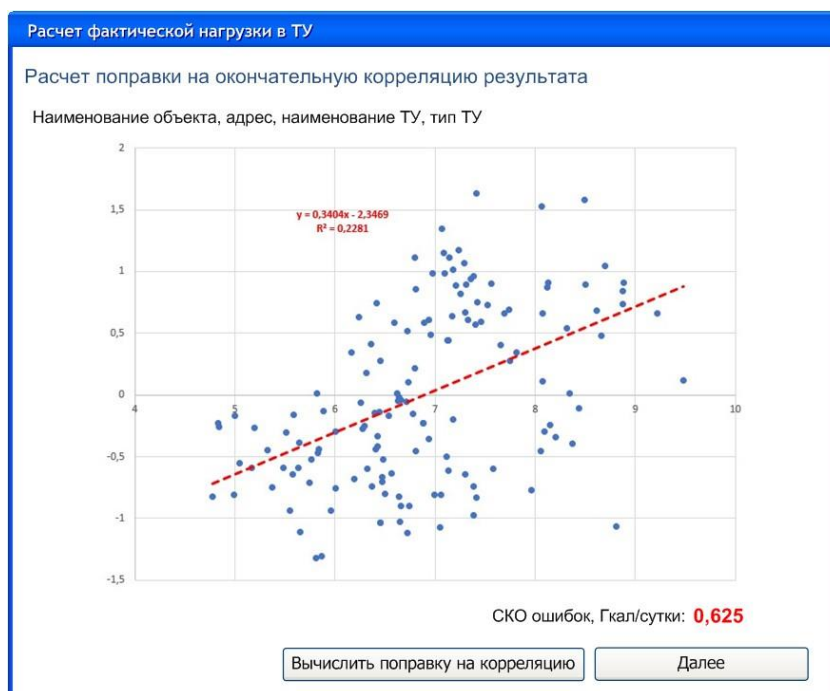


Рисунок 20 – Расчет поправки

Применение этой поправки в случае ее эффективности выполняется по формуле:

$$Q_{5\text{расч}} = Q_{4\text{расч}} + A_3 \times Q_{4\text{расч}} + B_3 \quad (30)$$

Для окончательной оценки эффективности данной поправки необходимо вычислить среднеквадратическое отклонение случайной величины dQ_5 :

$$\sigma_5 = \sigma(dQ_5) = \sigma(Q - Q_{5\text{расч}}). \quad (31)$$

Эффективность поправки на окончательную корреляцию результат проверяется соблюдением условия

$$\sigma_5 < \sigma_4, \quad (32)$$

Если условие (32) не соблюдается, то данная поправка не даст положительного эффекта и, следовательно, она не должна использоваться.

В качестве абсолютной погрешности замещающего метода по фактической нагрузке следует принять удвоенное наименьшее из полученных при расчетах.

В итоге для самого общего случая при формировании формулы замещающего метода расчета по фактической нагрузке будут определены следующие параметры и коэффициенты:

- Средняя величина $Q_{2\text{расч}}$;
- Значения $Q_{1\text{мес}}, Q_{2\text{мес}} \dots Q_{12\text{мес}}$ поправок на номер месяца;
- Значения $Q_1, Q_2 \dots Q_7$ поправок на день недели;
- Коэффициенты A_3 и B_3 поправки на окончательную корреляцию результата.

Таким образом для работы требуются инструменты программы Excel и технологии доступные на базе языка C#. Используя правки и коэффициенты возможно получить более точные результаты замещающих значений. Коэффициенты считаются по отопительному сезону, характеристики фактической нагрузки нужно ежегодно обновлять. Для расчета коэффициентов уравнений нужна статистика измерений в один год.

3.2 Анализ результатов моделирования

В данном разделе будет представлена оценка погрешности, построенной в разделе 2.3 математической модели. Для оценки погрешности полученной модели определим для этой цели случайную величину.

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{ГВС}} &= Q_{\text{ГВС}}^{\text{расч}} - Q_{\text{ГВС}}^{\text{факт}} = \\ &= F1(\text{Дата}) + F2(T_{\text{ХВ}}) + F3(\text{ДеньНедели}) - Q_{\text{ГВС}}^{\text{факт}}, \end{aligned} \quad (33)$$

Относительная погрешность $\delta Q_{\text{ГВС}}$ представлена на Рисунке 21. По ней можно грубо оценить допускаемую относительную погрешность полученной математической модели как $\pm 30\%$.

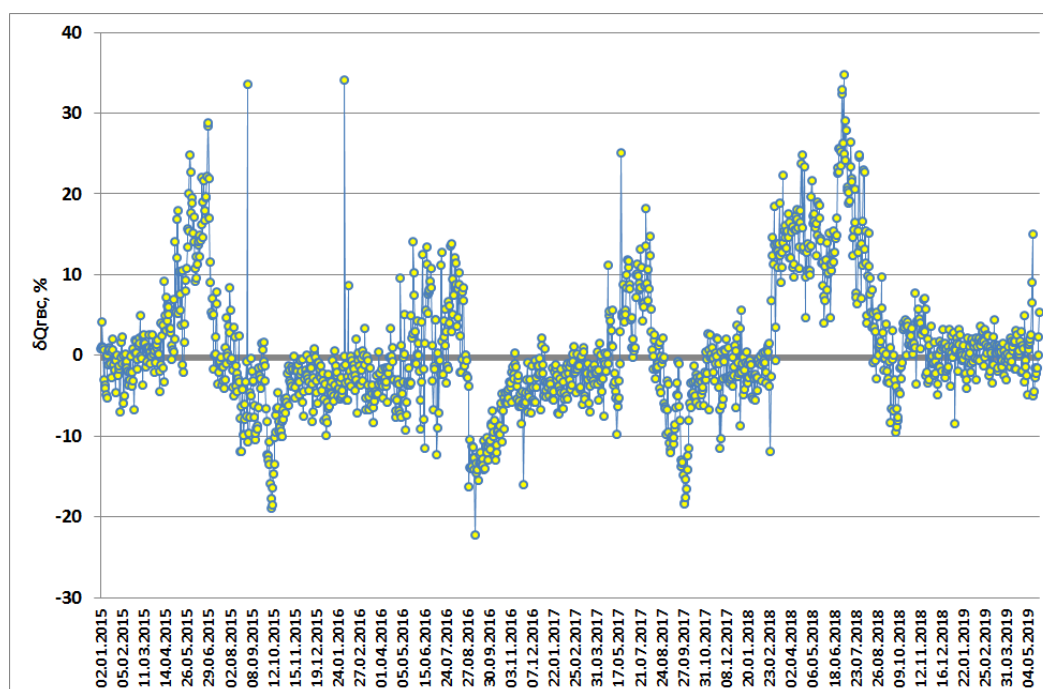


Рисунок 21 – Относительная погрешности математической модели

Будет представлять собой абсолютную величину погрешности полученной математической модели. Соответственно, относительная величина погрешности, выраженная в процентах, будет определяться формулой

$$\delta Q_{\text{ГВС}} = \frac{\Delta Q_{\text{ГВС}}}{Q_{\text{ФАКТ}}} \cdot 100\%, \quad (34)$$

Но для более точной оценки как собственно величины погрешности, так и выбора наиболее оптимального ее типа воспользуемся рассуждениями, аналогичными изложенным в разделе и построим зависимость. Диаграмма, которой приведена на Рисунке 22:

$$|\delta Q_{\text{ГВС}}| = F(Q_{\text{ГВС}}). \quad (35)$$

Как видно из результатов, представленных на Рисунке 22, модуль относительной погрешности в зависимости от величины $Q_{\text{ГВС}}$ носит явно выраженный гиперболический характер, т.е. уменьшается по гиперболическому закону с ростом величины $Q_{\text{ГВС}}$. А это означает, что наиболее оптимальным в данном случае будет нормирование не относительной, а абсолютной величины погрешности $\Delta Q_{\text{ГВС}}$.

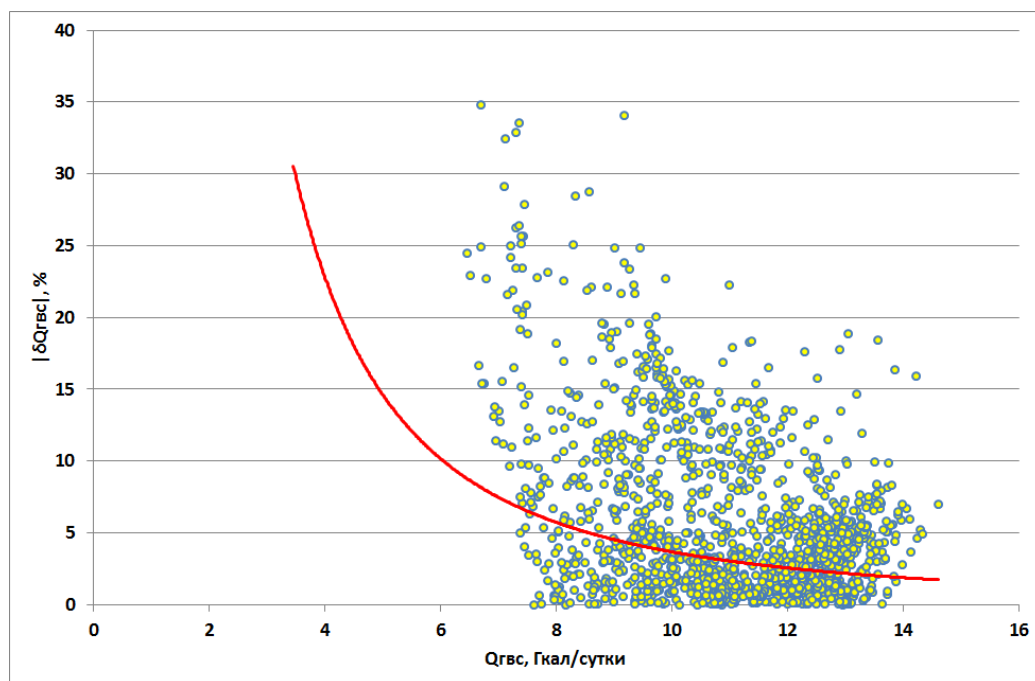


Рисунок 22 – Выявление наиболее оптимального типа погрешности

Полученная оценка погрешности представляет собой ее максимальную величину. Если же перейти от суточных архивов к периодам времени большей продолжительности, например, к недельным или месячным, то относительная величина этой погрешности будет уменьшаться.

Описанная выше математическая модель построена для группы из трех многоквартирных домов, подключенных к одному цеповому пункту по показаниям приборов учета в контуре горячего водоснабжения. Эту модель можно использовать для оценки потребления тепловой энергии на каждом из многоквартирного дома в отдельности через удельное потребление в расчете на одного жильца этих домов.

Таблица 2 – Количество жильцов в многоквартирных домах

Многоквартирный дом	Численность населения
1	661
2	663
3	692

В то же время, подобный расчет по модели, построенной на результатах измерения в тепловом пункте, и через удельное потребление на одного жителя многоквартирного дома будет иметь несколько неустраняемых ошибок:

- Неучтенной величиной потерь тепловой энергии в тепловых сетях по трассе от теплового пункта до объекта. Эта причина будет завышать результат, полученный моделированием, по сравнению с фактическими данными.

- Величиной отопительной составляющей горячего водоснабжения, расходуемой полотенцесушителями без водоразбора собственно горячей воды, которая в действительности нормируется не на количество жильцов, а на величину тепловых потерь в контуре внутри дома.

Вычисление оценочного потребления тепловой энергии в любом из этих объектов по разработанной математической модели производится путем простой пропорции, например, для первого дома она будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{\text{ГВСМКД1}}^{\text{расч}} = \frac{661}{661 + 663 + 692} \cdot (F1(\text{Дата}) + F2(T_{\text{хв}}) + F3(\text{ДеньНедели))). \quad (36)$$

А поскольку у нас есть фактические результаты измерений в контуре горячего водоснабжения, то мы сможем определить ошибку, которая получилась в данном случае при использовании математической модели. Результат вычисления относительной ошибки приведен на диаграмме Рисунке 23. Видно, что она оказалась определенным образом завышенной.

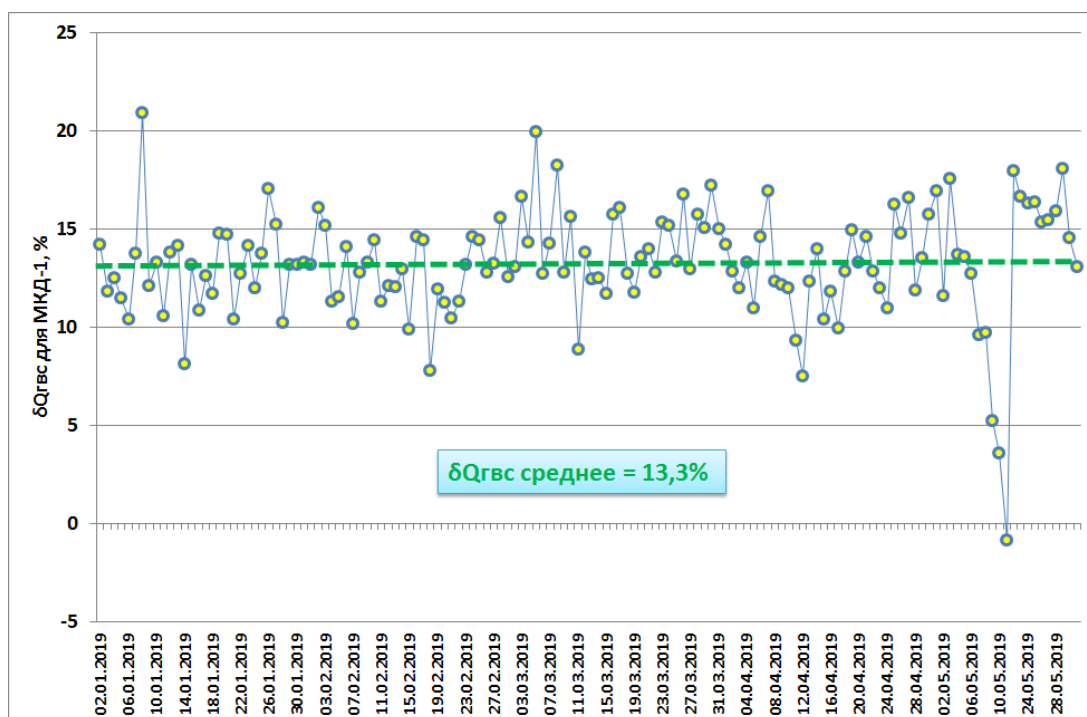


Рисунок 23 – Относительная ошибка моделирования расхода тепловой энергии

В среднем за пять месяцев относительная ошибка моделирования расхода тепловой энергии в первом многоквартирном доме оказалась равной 13,3%. Причиной этому послужило, по всей видимости, наличие учета тепловых потерь в трубопроводах в построенной математической модели. Для исключения этих потерь саму модель надо строить по данным учета непосредственно на группе объектов, но в данном случае это пока невозможно, так как нет в наличии достаточного количества суточных архивов с результатами измерений.

С другой стороны, полученная величина ошибки не так велика, если требуется оперативная оценка объемов потребления при отсутствии результатов измерений, поскольку иных более точных бес приборных методов не существует.

Анализ производился через плотность распределения величины относительной ошибки вычислений замещающими методами по сравнению с показаниями теплосчетчика, признанными корректными. В приведенной значения и среднеквадратических отклонений полученных распределений.

Несимметричное распределение ошибки будем считать содержащим систематическую и случайную составляющие, а симметричное распределение содержащим только случайную составляющую, что фактически в данном случае означает равенство систематической составляющей нулю.

В ходе проведения расчетных значений погрешности было установлено, что погрешность допускаемую относительную погрешность полученной математической модели как 30%. Используя оптимальный способ оценки ошибка моделирования расхода тепловой энергии оказалась равной 13,3%. Причиной этому послужило, по всей видимости, наличие учета тепловых потерь в трубопроводах в построенной математической модели. Замещающий метод расчета по среднему значению ближайших показаний имеет высокий приоритет применения, так как обеспечивает хорошие результаты в условиях симметричного распределения ошибок.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были рассмотрены основные аспекты технологии замещающих методов оценки потребления горячего водоснабжения и выполнены задачи, позволяющие расчетным путем получать замещенные значения о потреблении горячего водоснабжения.

Были выделены ключевые проблемы оценки потребления энергоресурсов приборами учета. Не стационарность потребления, различные типы потребления, недостаток и низкое качество исходных данных, сложность выбора и адаптации метода. Рассмотрены методы расчета по средним значениям, по фактическим данным, по средней нагрузке и по договорным нагрузкам. Установлена приоритетность их применения.

Для исключения недостоверных данных выполнена проверка на наличие значений и времени наработки. Выявлены факторы, влияющие на потребление: общая тенденция к снижению потребления, зависимость от времени года и недельный цикл потребления. Был использован замещающий метод расчета на основе фактических данных. Построена математическая модель. В результате было получено уравнение, определяющая потребление горячего водоснабжения на группе многоквартирных домов. Проведен анализ погрешности построенной модели, относительная погрешность составила около 30%. Используя оптимальный способ оценки ошибка моделирования расхода тепловой энергии оказалась равной 13,3%.

Таким образом процесс реализации технологии замещающих методов оценки требует знания разделов математически, непосредственного опыта работы с системами учета энергии. Методика может быть использована для анализа потребления горячего водоснабжения на различных объектах, а также для прогнозирования будущего потребления и планирования мероприятий по энергосбережению.

Список используемой литературы и используемых источников

1. БоРисуноков К. Б. Еще раз о проблемах анализа тепловых нагрузок в Схемах теплоснабжения // Новости теплоснабжения. 2017. № 10. С. 36–40.
2. Водоснабжение [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Водоснабжение>.
3. Е. Ф. Юдовина, Е. С. Пашенкова, Л. Б. Корелштейн // Трубопроводные системы энергетики. Методические и прикладные проблемы математического моделирования. – Новосибирск: Наука, 2015. – С. 438–446.
4. Жане А. Д. Температурный график в отношениях ресурсоснабжения // Новости теплоснабжения. 2021. № 2. С. 60–63.
5. Зубанов А. А. Оценка эффективности работы систем теплопотребления зданий и сооружений: фантазии, теория и факты теплоэнергетики // Тепловичок Today. 2021. № 1. С. 18–29.
6. Источники водоснабжения [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Источники_водоснабжения.
7. Определение расчетных расходов теплоносителя [Электронный ресурс] URL: https://www.politerm.com/zuluthermo/webhelp/math_q.html.
8. Оценка экономической эффективности систем горячего водоснабжения / А.В. Ларионов, С.В. Шубин. - М.: Энергомашстройиздат, 2011. - 224 с.
9. Оценка эффективности горячего водоснабжения на основе моделирования системы / А.Н. Шаров, И.В. Кравченко, Е.А. Костылева. - М.: Стройиздат, 2015. - 232 с.
10. Системы автоматизированные информационно-измерительные "Элдис" [Электронный ресурс] URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/85148-22-eldis>
11. Справочник метролога [Электронный ресурс] URL: <https://info.metrologu.ru/>.
12. Тевяшев А. Д. Стохастическая модель квазистационарного потокораспределения в инженерных сетях / А. Д. Тевяшев, С. И. Козыренко, В. Д. Непочатова // ВЕЖПТ. – 2010. – №11(45). – С.57–60.

13. Шилдт Г. Полный справочник по С# / Г. Шилдт. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 752 с.
14. Элдис [Электронный ресурс] URL: <https://eldis24.ru/>
15. Энергообеспечение в общей структуре эколого-экономической безопасности водоснабжения / В. А. Петросов, С. Л. Василенко, В. Д. Колотило, В. В. Паболков // Науковий вісник будівництва: зб. наук. праць. – Харків: ХДТУБА, 2004. – Вип. 28. – С. 47–54.
16. Юферев Ю. В., Артамонова И. В., Горшков А. С. Об анализе тепловых нагрузок потребителей при разработке и актуализации схем теплоснабжения // Новости теплоснабжения. 2017. № 7. С. 28–40.
17. A. Žukauskas, “Heat transfer from tubes in crossflow,” *Adv. Heat Transfer*, vol. 8, pp. 93–160, 1972. DOI: 10.1016/S0065-2717(08)70038-8.
18. Amaldi E., Pfetsch M.E., Leslie E.T. On the maximum feasible subsystem problem, IISs and IIS-hypergraphs // *Mathematical Programming*, 2003. V. 95. N 3. 68 с.
19. Arbib C., Pacciarelli D., Smriglio S. A. A three-dimensional matching model for perishable production scheduling // *Discrete Applied Mathematics*. 1999. V. 92. С. 79-90.
20. L. Chai and S. A. Tassou, “Modelling and performance analysis of heat exchangers for supercritical CO2 power systems,” Presented at the 5th Sustainable Thermal Energy Management International Conference, Hangzhou, China, May 14–16, 2019.
21. *Water Engineering Modeling and Mathematic Tools: 2021* — ISBN 978-0-12-820644-7.
22. *Water Supply 6th Edition* - June 26, 2009 Don D. Ratnayaka, Malcolm J. Brandt, Michael Johnson eBook— ISBN: 9780080940847.