

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Цифровые технологии в электроэнергетике

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка интеллектуальной системы управления электропотреблением для
жилого комплекса «Южный бульвар»

Обучающийся

И.В. Жарков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И.В. Горохов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

А.В. Прошина

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке интеллектуальной системы управления электропотреблением для жилого комплекса «Южный бульвар». Актуальность исследования обусловлена ростом спроса на электроэнергию и необходимостью внедрения энергоэффективных технологий в жилищном секторе. В работе проведен анализ современных систем управления энергопотреблением, включая централизованные, децентрализованные и IoT-решения. На основе сравнительного исследования выявлены их преимущества и недостатки, что позволило сформулировать требования к проектируемой системе.

Проектирование системы осуществлялось с учетом специфики жилого комплекса, включая архитектурные особенности, поведенческие факторы жильцов и технические параметры энергосети. В качестве платформы выбрана система Siemens Desigo CC, обеспечивающая интеграцию с IoT-устройствами, погодозависимое регулирование и автоматическую балансировку нагрузок. Реализованы алгоритмы мониторинга, прогнозирования и оптимизации энергопотребления в реальном времени.

Практическая часть работы включает тестирование системы в условиях жилого комплекса. Результаты показали снижение энергозатрат: на 47% для освещения, 30% для отопления и 35–38% для систем вентиляции. Система также повысила надежность энергоснабжения и комфорт жильцов за счет автоматического поддержания оптимальных параметров микроклимата.

Разработанное решение демонстрирует потенциал для масштабирования на другие жилые и коммерческие объекты. Дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию с возобновляемыми источниками энергии и развитие функций «умного города».

Annotation

This graduation thesis focuses on the development of an intelligent electricity consumption management system for the «Yuzhny Bulvar» residential complex. The relevance of the study stems from the growing demand for electricity and the need to implement energy-efficient technologies in the housing sector. The work analyzes modern energy management systems, including centralized, decentralized, and IoT-based solutions. A comparative study revealed their strengths and weaknesses, which helped define the requirements for the designed system.

The system was designed considering the specific features of the residential complex, such as architectural layout, resident behavior patterns, and technical parameters of the power grid. The Siemens Desigo CC platform was selected for its ability to integrate with IoT devices, provide weather-dependent regulation, and automatically balance loads. Algorithms for real-time monitoring, forecasting, and optimization of energy consumption were implemented.

The practical part of the work involved testing the system in the residential complex. The results demonstrated significant energy savings: 47% for lighting, 30% for heating, and 35–38% for ventilation systems. Additionally, the system improved power supply reliability and resident comfort by automatically maintaining optimal indoor climate conditions.

The proposed solution has potential for scaling to other residential and commercial facilities. Future research could explore integration with renewable energy sources and the development of "smart city" functionalities.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ существующих систем управления электропотреблением.....	7
1.1 Обзор современных технологий управления электропотреблением.....	7
1.2 Анализ существующих систем управления электропотреблением.....	9
1.3 Преимущества и недостатки различных подходов к управлению электропотреблением.....	13
1.4 Требования к интеллектуальной системе управления электропотреблением.....	16
2 Проектирование интеллектуальной системы управления электропотреблением.....	20
2.1 Определение структуры и функций системы управления электропотреблением.....	20
2.2 Разработка алгоритмов управления электропотреблением.....	22
2.3 Выбор аппаратного обеспечения для системы управления.....	28
3 Расчет и анализ интеллектуальной системы управления электропотреблением.....	34
3.1 Расчёт стандартной системы управления электропотреблением.....	34
3.2 Расчет интеллектуальной системы управления электропотреблением.....	40
3.3 Оценка эффективности работы интеллектуальной системы управления.....	47
Заключение.....	50
Список используемых источников.....	52

Введение

Энергопотребление в современном мире неуклонно растёт. Это связано как с увеличением численности населения, так и с активным развитием городской инфраструктуры. В таких условиях вопросы рационального использования электроэнергии выходят на первый план. Проблема наиболее остро проявляется в жилых комплексах, где уровень энергопотребления зависит не только от технических аспектов, но и от поведения жильцов, их привычек и осознанного подхода к энергосбережению. В итоге, создается потребность в интеллектуальных решениях, способных оптимизировать энергозатраты в режиме реального времени.

Жилой комплекс «Южный бульвар» является примером объекта, требующего комплексного подхода к управлению энергопотреблением. Создание интеллектуальной системы для такого комплекса предполагает анализ современных технологий, а также интеграцию передовых решений, среди которых коллективная сеть.

В первой главе работы анализируются существующие системы управления энергопотреблением, используемых в жилых комплексах. Исследование охватывает весь спектр существующих решений - от традиционных систем ручного контроля до передовых интеллектуальных технологий автоматизированного управления. Проведенный анализ служит основой для формирования требований к разрабатываемой системе управления энергопотреблением для жилого комплекса «Южный бульвар».

Во второй главе представлен процесс разработки интеллектуальной системы управления энергопотреблением, жилого комплекса «Южный бульвар». Основное внимание уделяется созданию комплексного решения, которое интегрируется с существующей инфраструктурой объекта. Рассматривается архитектура системы, включая аппаратные и программные компоненты, функциональные возможности. Важное место занимает разработка пользовательского интерфейса, который позволит жильцам

контролировать свои энергозатраты, получать аналитику и рекомендации по их снижению. Дополнительно в систему интегрируются алгоритмы, учитывающие тарифные зоны, сезонные колебания спроса и другие факторы.

Третья глава посвящена оценке эффективности. Производятся сравнение стандартных и интеллектуальных систем управления энергопотреблением. На основе этих результатов делаются выводы о практической применимости системы и возможных направлениях ее дальнейшего совершенствования.

Актуальность исследования обусловлена растущими требованиями к энергоэффективности жилых комплексов на фоне повышения тарифов на электроэнергию и ужесточения экологических стандартов. Основной идеей, разработки интеллектуальной системы управления энергопотреблением для жилого комплекса, является не просто в экономии средств, но и в создании принципиально нового подхода к организации энергоснабжения. Современные технологии позволяют не только автоматизировать процессы распределения электроэнергии, но и сформировать у жителей культуру рационального использования ресурсов.

Особенностью является возможность применения в других жилых комплексах. Система разрабатывается с учетом реальных условий эксплуатации и типовых проблем, с которыми сталкиваются управляющие компании. Анализ энергопотребления конкретного жилого комплекса дает возможность создать решение, которое в перспективе может быть адаптировано для объектов с аналогичными характеристиками. Значимость работы заключается в ее прикладном характере. Полученные результаты будут полезны не только для конкретного жилого комплекса, но и для всего сектора жилищно-коммунального хозяйства.

1 Анализ существующих систем управления электропотреблением

1.1 Обзор современных технологий управления электропотреблением

Сегодня перед энергетиками стоит сложная задача: как обеспечить растущие потребности в электроэнергии, не перегружая существующие сети. Старые системы управления часто не справляются с современными нагрузками. «Только за последние 10 лет расход электричества в квартирах вырос на 15-20% - люди стали активнее использовать кондиционеры, мощную технику, системы умного дома» [2]. Проблема усугубляется тем, что многие распределительные подстанции и трансформаторы работают на пределе возможностей. Особенно остро это чувствуется вечером, когда одновременно включаются десятки приборов в каждой квартире. В таблице 1 собраны основные современные методы управления энергопотреблением и сравнили их эффективность.

Таблица 1 – Подходы к управлению энергопотреблением

Характеристика	Традиционные системы	Интеллектуальные системы	Преимущества интеллектуальных систем
Способ управления	Ручной контроль	Автоматизированный контроль	Повышение точности
Реакция на изменения	Запаздывание 15-30 мин	Реакция в реальном времени	Снижение аварийных ситуаций
Учет энергопотребления	Показания 1 раз в месяц	Онлайн-мониторинг	Снижение коммерческих потерь
Интеграция с ВИЭ	Отсутствует	Полная интеграция	Повышение автономности

Классические системы демонстрируют ряд существенных ограничений. Современные исследования подтверждают, что их главный недостаток низкая адаптивность к изменяющимся условиям эксплуатации. Все системы управления можно поделить на несколько ключевых аспектов. Первые, которые имеют потенциал значительно улучшить эффективность энергопотребления, а вторые, помогут упростить управление энергоресурсами.

Первое направление связано с платформами мониторинга на базе IoT-технологий. Эти системы обеспечивают непрерывный контроль потребления энергии в реальном времени, а получаемые данные позволяют вводить корректировки и оптимизировать использование электроэнергии. «Например, в жилом комплексе «Солнечный» была зафиксирована доказанная эффективность снижения потребления на 18%» [3]. Благодаря использованию интеллектуальных датчиков и интеллектуального управления удалось снизить потребление на такой процент.

Второе направление связано с внедрением интеллектуальных систем учета энергии. «Эти системы отслеживают и анализируют данные об энергопотреблении, что, согласно отраслевым отчетам, позволило сократить коммерческие потери на 25%» [5]. Интеллектуальные счетчики решения помогают не только в определении объемов потребляемой энергии, но и в выявлении утечек и некорректном выборе режимов работы оборудования.

Третье направление предполагает использование аналитических систем, которые способны обеспечить высокую точность предсказаний, 90-95%. Эти системы могут предсказывать потребление энергии на основе исторических данных, временных факторов и других параметров, что позволяет компаниям более эффективно планировать свою работу и избегать перегрузок в сетях, особенно в пиковые нагрузки. Данный подход помогает в оптимизации закупок электроэнергии, следовательно и снижению затрат.

Рассмотрим реализованные проекты. В Санкт-Петербурге, «создали локальную систему с интеграцией возобновляемых источников энергии,

уровень автономности достиг 30%» [6]. За счет решений с использованием солнечных панелей и ветрогенераторов. Однако в условиях плотной застройки, характерных для жилого комплекса "Южный бульвар", применение подобных решений сталкивается с ограничениями по площади и инфраструктуре.

В связи с этим, для повышения энергоэффективности комплекса следует использовать системы автоматического регулирования освещения. Такие системы работают на датчиках освещенности и присутствия, что поможет уменьшить расход электроэнергии за счет более грамотного включения и выключения уличных и внутренних светильников. Также возможно объединить в одну интеллектуальную систему инженерные коммуникации: отопление, вентиляцию, кондиционирование. Это позволит получать данные для работы системы и лучше использовать ресурсы.

1.2 Анализ существующих систем управления электропотреблением

Анализ существующих систем управления электропотреблением представляет собой важный этап в разработке интеллектуальной системы для жилого комплекса «Южный бульвар». «В современном мире, системы управления электропотреблением играют ключевую роль в оптимизации потребления электроэнергии, снижении затрат и минимизации негативного воздействия на окружающую среду» [7].

При проектировании жилого комплекса, возникает выбор подходящей интеллектуальной системы электроснабжения. Необходимо выбрать оптимальную систему управления электропотреблением. Для жилого комплекса «Южный бульвар» был проведен анализ трех основных типов систем. Каждую структура обладает уникальными характеристиками и особенностями.

Централизованные системы представляют собой традиционный подход к организации управления энергопотреблением. Они основаны на принципе

единого центра управления, где все решения принимаются главным контроллером. Такая архитектура обеспечивает простоту управления. Однако эти системы обладают ограниченной гибкостью и сложно адаптируются к изменяющимся условиям эксплуатации.

Децентрализованные системы используют более современный подход с распределенными контроллерами. В этом случае управление осуществляется через сеть автономных, но взаимодействующих между собой узлов. Главное преимущество такой системы, это высокая отказоустойчивость, так как выход из строя одного узла не парализует работу всей системы.

«IoT-системы представляют собой направление, сочетающее преимущества централизованного и децентрализованного подходов, но появляться дополнительные возможности благодаря облачным технологиям и аналитике» [10].

Для наглядного представления различий между системами предлагается таблица 2.

Таблица 2 – Характеристики систем управления электропотреблением

Критерий	Централизованная	Децентрализованная	IoT-система
Архитектура	Единый центр управления	Распределенные контроллеры	Облачная платформа
Время реакции	5-10 минут	2-5 минут	15-30 секунд
Точность мониторинга	$\pm 15\%$	$\pm 8\%$	$\pm 3\%$

Продолжение таблицы 2

Критерий	Централизованная	Децентрализованная	IoT-система
Масштабируемость	Низкая	Средняя	Высокая
Требования к сети	Высокие	Средние	Низкие
Сложность модернизации	Высокая	Средняя	Низкая
Интеграция с ВИЭ	Ограниченная	Частичная	Полная

На основании проведенного анализа для жилого комплекса «Южный бульвар», предлагается использовать многоуровневый подход, для организации эффективной работы различных систем и компонентов.

Первое направление предлагает использование централизованного управления, которое будет предназначено для контроля и оперативного реагирования на нештатные ситуации. К таким системам относятся лифтовое хозяйство, аварийное освещение и противопожарные системы. Данный контроль позволит собирать данные с этих систем в одном месте, обеспечивая быстрый доступ к информации, а также возможность быстрого реагирования в случае возникновения аварийных ситуаций. Данный подход повышает безопасность здания.

Децентрализованные контроллеры используются во втором направлении для управления общедомовыми системами. Данные контроллеры размещаются непосредственно в местах их эксплуатации и отвечают за управление освещением территории, вентиляцией, кондиционированием воздуха. Такой подход позволяет обеспечить контроль за отдельными зонами, что повышает универсальность системы.

IoT-решения, используются для учета и управления, являются третьим направлением. С помощью датчиков и умных устройств осуществляется наблюдение квартирного энергопотребления, что позволяет жильцам в

реальном времени видеть и управлять своими показателями. Такое решение не только повысит комфорт жильцов, за счет возможностью управления климатом, но и поспособствуют снижению энергозатрат. Использование IoT-технологий делает систему адаптивной и удобной для эксплуатации как со стороны управляющих компаний, так и жильцов.

Для наглядного представления структуры системы можно использовать следующую круговую диаграмму (рисунок 1).



Рисунок 1 – Распределение функций управления.

Проведенный сравнительный позволил выявить оптимальное решение, что для жилого комплекса «Южный бульвар» является внедрение комбинированной системы управления. А именно, следует использовать надежные централизованные, децентрализованные решения, и IoT-технологии.

1.3 Преимущества и недостатки различных подходов к управлению электропотреблением

Интеллектуальной системе управления энергопотреблением жилого комплекса необходим анализ. Возможно использовать разные технические решения. Среди возможных вариантов особого внимания заслуживают централизованные системы контроля энергопотребления.

Такие системы основаны на принципе единого центра управления, куда поступают данные со всех энергопотребителей комплекса. «Основной сервер обрабатывает информацию с многочисленных датчиков и счетчиков, что позволяет не только отслеживать текущее энергопотребление, но и прогнозировать возможные перегрузки в сети» [13]. Это особенно важно для критически важных систем здания, таких как аварийное освещение или системы противопожарной безопасности.

Однако практическое применение централизованных систем сталкивается с рядом существенных ограничений. «Прежде всего, это значительные финансовые затраты на начальном этапе - стоимость оборудования, его установки и настройки программного обеспечения может быть весьма высокой» [9]. Кроме того, существует риск полного отказа системы при неисправности центрального сервера.

Для комплексной оценки эффективности централизованных систем управления энергопотреблением была разработана сравнительная таблица (Таблица 3), в которой наглядно представлены все основные характеристики данного решения.

Таблица 3 – Преимущества и недостатки систем

Преимущества централизованных систем	Недостатки централизованных систем
Возможность централизованного контроля и мониторинга	Высокие первоначальные инвестиции
Детализированная аналитика потребления	Уязвимость к сбоям в работе системы
Оптимизация распределения ресурсов	Сложность в масштабировании и модернизации
Возможность интеграции с другими системами	Необходимость квалифицированного персонала для обслуживания

При проектировании системы управления энергопотреблением для жилого комплекса «Южный бульвар» необходимо провести тщательный сравнительный анализ централизованных и децентрализованных подходов. Централизованные системы, основанные на едином сервере управления, обеспечивают полный контроль над всеми потребителями электроэнергии. В таких системах общее энергопотребление рассчитывается как сумма мощностей всех подключенных устройств, что позволяет оперативно реагировать на изменения нагрузки. Однако этот подход имеет существенный недостаток - уязвимость к единой точке отказа, когда выход из строя центрального сервера парализует всю систему.

Альтернативой выступают децентрализованные системы, где каждое интеллектуальное устройство самостоятельно регулирует свое энергопотребление на основе локальных датчиков и внешних сигналов. Такие системы демонстрируют высокую устойчивость. При этом стоимость внедрения может быть ниже, так как отсутствует необходимость в сложной центральной инфраструктуре. Однако координация между автономными устройствами требует дополнительных программных решений.

Эффективность различных подходов можно измерить по таким критериям, как надежность, гибкость управления и общие затраты на владение. «В контексте жилых комплексов наиболее привлекательным вариантом является гибридная система, которая объединяет централизованное управление ключевыми системами с децентрализованным контролем бытовых нужд» [1]. Объединение систем управления энергопотреблением в единый комплекс дает существенные преимущества. «Гибридная система способна обеспечить надежность электроснабжения за счет автоматического перераспределения нагрузок и перекрытия недостатков друг друга» [2]. Одновременно сохраняется гибкость управления. Появляется возможность точно регулировать потребление в разных зонах, без ущерба для общей работы системы. Это позволяет уменьшить затраты на электроэнергию и одновременно повысить надежность и снизить расходы.

«Масштабируемость является еще одним достоинством децентрализованной системы» [7]. В случае необходимости расширения системы, это можно осуществить без существенных вложений в модернизацию центрального узла. Добавление новых узлов не потребует изменения всей существующей инфраструктуры.

«Одной из проблем является интеграция таких систем с уже существующими централизованными решениями» [3]. Это потребует создания совместимых протоколов и стандартов. Управление такой системой может требовать больших усилий в плане настройки, а из-за большего количества участников процесса.

Распределение управления увеличивает число точек, через которые может быть осуществлен доступ к системе, важно обратить внимание на безопасность. Кибербезопасность становится критически важной, и необходимо внедрение методов шифрования и защиты данных от возможных рисков влома.

Для достижения наилучших результатов целесообразно рассмотреть возможность гибридного подхода, который бы сочетал в себе как

централизованные, так и децентрализованные. Такой подход обеспечит надежность и безопасность, увеличит эффективность и устойчивость всей системы, путем перекрытия недостатков, преимуществом другой системы.

1.4 Требования к интеллектуальной системе управления электропотреблением

Разработка современной системы управления энергопотреблением для жилого комплекса «Южный бульвар» требует четкого определения ключевых требований, которые обеспечат ее эффективность, надежность и соответствие современным стандартам. На основе анализа существующих решений сформулируем таблицу 4. где будут основные критерии для проектируемой системы

Таблица 4 – Ключевые требования к интеллектуальной системе управления

Категория требований	Технические параметры	Эксплуатационные показатели	Экономические критерии
Надежность	99,9%	Автоматическое восстановление	Срок службы ≥ 10 лет
Безопасность	AES-256 шифрование	Двухфакторная аутентификация	Затраты на защиту $\leq 15\%$ бюджета
Гибкость	Поддержка ≥ 5 протоколов связи	Модульная архитектура	Стоимость модернизации $\leq 20\%$
Точность учета	Погрешность $\leq 1,5\%$	Верификация данных в реальном времени	-
Интеграция с ВИЭ	Поддержка ≥ 3 типов возобновляемых источников	Автоматическое переключение	Окупаемость ≤ 5 лет

«Современные интеллектуальные системы должны соответствовать техническим требованиям. Во-первых, обеспечение бесперебойной работы с показателем доступности не менее 99,9%, требует реализации дублированных каналов связи и резервных источников питания. Во-вторых, точность учета энергопотребления с погрешностью не более 1,5% достигается использованием сертифицированных счетчиков класса 0,5S» [14].

Особое внимание необходимо уделить вопросам кибербезопасности, современные угрозы требуют реализации многоуровневой защиты, включающей:

- шифрование данных по стандарту AES-256;
- двухфакторную аутентификацию пользователей;
- регулярное обновление программного обеспечения;
- защиту от DDoS-атак.

«При выборе подхода к управлению зданием важно учитывать как преимущества, так и недостатки» [4]. Чтобы понять, какие требования к системе являются наиболее важными для конкретного объекта, нужно проанализировать их приоритетность. Ниже представлена диаграмма (рисунок 2), которая показывает приоритетность различных требований к системе управления.

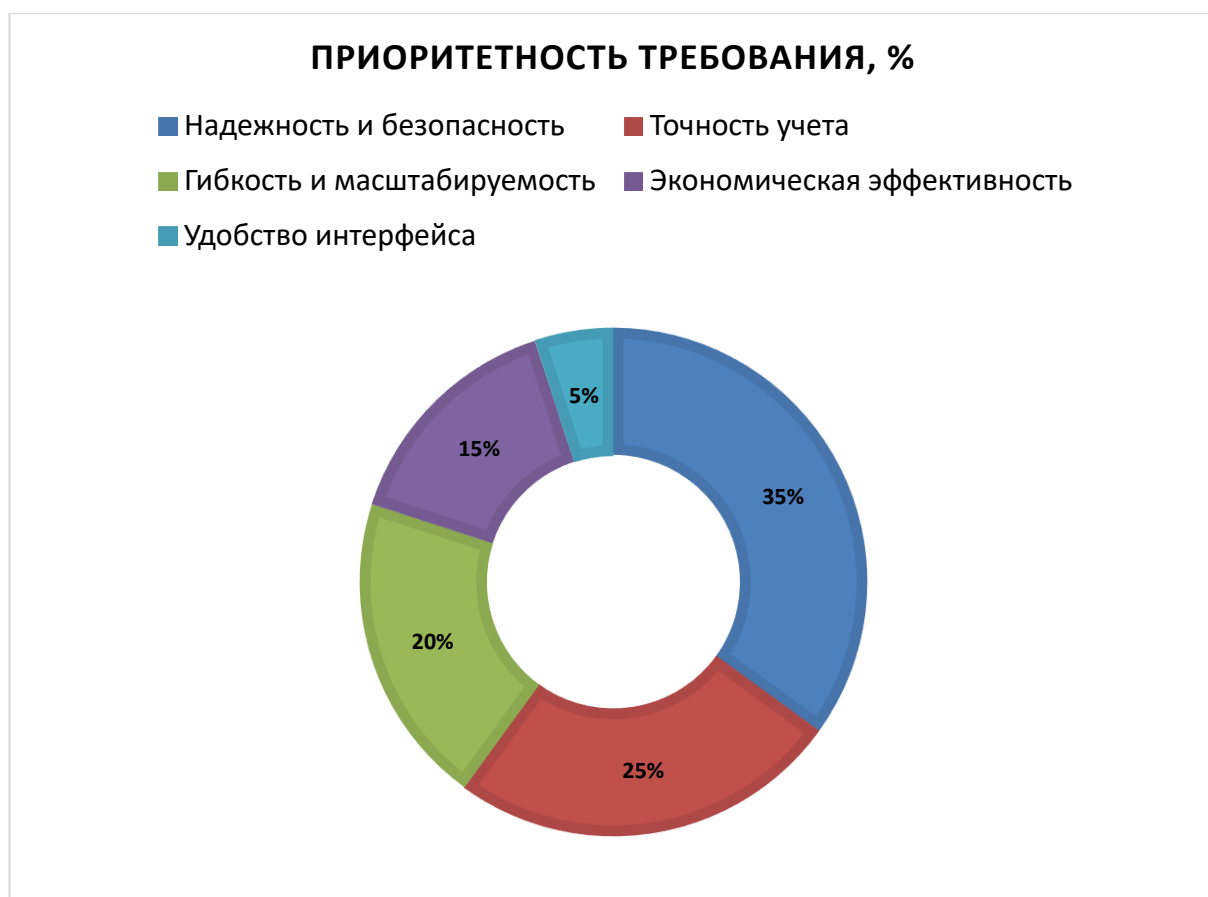


Рисунок 2 – Приоритетность требований к системе

Эксплуатационные требования к системе включают в себя важные требования. Во-первых, должно обеспечиваться простота обслуживания, при которой среднее время ремонта не превышает 2 часов. Система управления должна позволять оперативно вмешиваться в работу на расстоянии при любых неполадках. Вдобавок ей нужно самостоятельно готовить отчеты по энергопотреблению и автоматически подстраиваться под зимний и летний режимы работы.

Интерфейсы управления энергопотреблением в жилом комплексе должны быть интуитивно понятными и доступными для всех жильцов. Мобильное приложение с простым управлением и уведомлениями позволит быстро контролировать расход энергии. Веб-портал с детальной аналитикой даст возможность анализировать потребление и настраивать режимы работы. Голосовое управление через популярные ассистенты (Алиса, Siri) обеспечит

удобный доступ к основным функциям без необходимости использовать руки. Все интерфейсы должны быть адаптированы для пользователей разного возраста.

Система обязана отвечать международным стандартам по надежности, безопасности и энергоэффективности. Требуется строгое соответствие:

- ГОСТ Р 55018-2012;
- IEC 62305;
- ISO/IEC 27001.

«Данные стандарты регламентируют требования по энергоэффективности, стандарты защиты от перенапряжений и требования к информационной безопасности» [6]. Соблюдение этих стандартов гарантирует качество и безопасность системы.

Реализация этих требований позволит создать современную, надежную и экономически эффективную систему управления энергопотреблением, которая обеспечит комфортные условия проживания при минимальном воздействии на окружающую среду.

Вывод по разделу.

В ходе анализа, каждая система управления электропотреблением имеет свои особенности. Централизованные системы удобны для контроля, но при этом они не всегда могут быстро адаптироваться к изменениям. Децентрализованные решения более гибкие, но их сложнее настраивать и согласовывать между собой. Внедрение IoT-технологий дает возможность в режиме реального времени отслеживать расход электроэнергии и автоматически корректировать его.

Для жилого комплекса «Южный бульвар» оптимальным вариантом может стать комбинированная система, которая объединит сильные стороны разных подходов. Такой вариант обеспечит надежность, позволит оперативно реагировать на изменения нагрузки и даст возможность жильцам контролировать свои энергозатраты.

2 Проектирование интеллектуальной системы управления электропотреблением

2.1 Определение структуры и функций системы управления электропотреблением

Проектирование интеллектуальной системы управления энергопотреблением для жилого комплекса «Южный бульвар» требует детального рассмотрения ее архитектуры и функциональных возможностей. Современные подходы к построению таких систем предполагают создание многоуровневой структуры, способной обеспечить надежный контроль и эффективное управление энергопотреблением.

Основу системы составляет трехуровневая архитектура. На нижнем уровне будут располагаться устройства сбора данных, а именно интеллектуальные счетчики электроэнергии класса точности 0.5S. Многофункциональные датчики, фиксирующие температуру, влажность и уровень освещенности, а также контроллеры систем вентиляции и кондиционирования. Особое значение имеет организация связи между устройствами, для чего используются как проводные, так и беспроводные шлюзы.

Средний уровень системы представлен узлами, отвечающими за обработку и анализ собираемой информации. Этот уровень включает локальные серверы сбора данных, программируемые логические контроллеры, вычислительные модули, а также системы резервного питания. Важной особенностью данного уровня является способность сохранять и обрабатывать данные даже при временном отсутствии связи с центральным узлом.

Верхний уровень системы управления жилого комплекса «Южный бульвар» представляет собой платформу управления, которая объединяет все

компоненты системы в единый информационно-управляющий комплекс. Для наглядности занесем все перечисленное в таблицу 5, представленную ниже.

Таблица 5 – Компоненты системы управления

Уровень системы	Основные компоненты	Технические характеристики	Функциональное назначение
Периферийный	Счетчики электроэнергии, датчики среды, реле	Класс точности 0.5S, IP54	Сбор данных, локальное управление
Агрегационный	Серверы сбора, ПЛК, edge-модули	4 ядра, 16 ГБ RAM	Обработка и буферизация
Управляющий	Центральный сервер, облачная платформа	Хеон 8 ядер, 1 Гбит/с	Аналитика, принятие решений

Ключевой функцией системы является комплексный мониторинг энергопотребления. Система осуществляет почасовой сбор данных со всех точек учета. Благодаря использованию современных алгоритмов анализа, система способна с точностью 95% выявлять аномалии в потреблении электроэнергии, что позволит быстро отреагировать на потенциальную проблему.

Важную функцию системы будет представлять автоматическое регулирование. Алгоритмы позволят оптимизировать работу инженерных систем, учесть тарифные зоны. Особое внимание уделяется потенциальной возможности интеграции системы с возобновляемыми источниками энергии, но в контексте нашего жилого комплекса это неактуально.

Центральное место в системе занимает многоуровневая система мониторинга. Она позволит обеспечить детальный контроль за использованием электроэнергии во всех помещениях жилого комплекса. Для этого используются интеллектуальные счетчики, установленные в каждой квартире и местах общественного пользования. С их помощью система выявляет отклонение и определяет зоны где возможно применить экономию

электроэнергии. Благодаря применению машинного обучения можно будет формировать точные прогнозы энергопотребления с учетом множества факторов.

2.2 Разработка алгоритмов управления электропотреблением

Для жилого комплекса «Южный бульвар» разработан многоуровневый алгоритм управления энергопотреблением, основанный на адаптивном регулировании и предиктивной аналитике. Он учитывает технические параметры сети, поведенческие факторы жильцов и внешние условия. Базовая схема работы системы представлена ментальной картой (рисунок 3).



Рисунок 3 – Ментальная карта алгоритма

Система сбора данных для жилого комплекса "Южный бульвар" построена на распределенной сети интеллектуальных устройств:

- Интеллектуальные счетчики с частотой опроса 5 минут;
- Многофункциональные датчики (температура, освещенность);
- Контроллеры для агрегации данных на этажных щитах.

Каждый цикл сбора данных включает:

- Синхронизированный опрос устройств по расписанию (300 ± 5 сек);
- Пакетная передача данных с компрессией для оптимизации трафика;
- Контроль целостности данных (CRC-32 контрольные суммы);
- Фиксация метаданных (точное время сбора, идентификатор).

При организации системы управления энергопотреблением в жилом комплексе «Южный бульвар» особое значение имеет регулярный сбор и обработка технических данных. В таблице 6 собрана информация по основным измеряемым показателям: какие именно параметры контролируются, от какого оборудования поступают данные, как часто обновляются значения, с какой точностью выполняются замеры и какой объем информации накапливается в течение суток.

Таблица 6 – Параметры сбора данных

Тип данных	Источник	Частота обновления, (минуты)	Точность	Объем данных за сутки, (МБ)
Показания счетчиков	Электронные счетчики	5	$\pm 0.5\%$	~15
Параметры сети	Этажные контроллеры	1	$\pm 1\%$	~5
Климатические данные	Датчики среды	15	$\pm 0.5^\circ\text{C}$	~2

Вся поступающая информация проходит строгую многоэтапную проверку для обеспечения максимальной достоверности. Первичная обработка начинается с проверки структуры данных и соответствия установленным форматам. На этом этапе система анализирует целостность

пакетов информации, правильность временных меток и общее соответствие техническим требованиям. Любые данные, не прошедшие эту проверку, автоматически исключаются из дальнейшей обработки.

Важным этапом является выявление и устранение аномальных значений. Алгоритмы анализируют изменения показаний, выявляя резкие скачки, «застывшие» значения, которые могут свидетельствовать о технических сбоях или о неисправности датчиков. Также система проверяет полноту данных, выявляя возможные пропуски в измерениях.

После успешного прохождения первых двух этапов данные подвергаются стандартизации. Показания приводятся к единой системе измерений, что позволяет корректно сравнивать и анализировать информацию из разных источников. Параллельно с обработкой данных ведется постоянный мониторинг работоспособности всего оборудования. Система отслеживает состояния подключенных устройств, анализирует и обнаруживает любые отклонения от нормального режима работы. При выявлении проблем автоматически формируются оповещения для технического персонала.

Интеграция с другими системами осуществляется автоматически. Собранные данные передаются в систему ЖКХ для расчета платежей. «Такой подход обеспечивает беспрепятственный обмен информацией между инфраструктурой, повышая эффективность управления» [17].

«Для эффективного управления жилым комплексом, система каждые 5 минут определяет нагрузку на каждую из трех фаз (А, В, С), анализирует не только абсолютные значения мощности, но и отношения к номинальной мощности» [10]. Эти данные усредняются за 15-минутные интервалы, чтобы исключить кратковременные скачки потребления. Коэффициент неравномерности показывает, насколько равномерно распределена нагрузка между фазами. «Если коэффициент превышен, это может привести к перегреву оборудования и к повышенным потерям» [14]. Также система автоматически выявляет «горячие точки». Это участки сети с аномально

высокой нагрузкой. В таблице 7 представлены основные критерии текущего состояния сети.

Таблица 7 – Критерии анализа текущего состояния

Параметр анализа	Методика определения	Нормативное значение	Частота контроля
Суммарная нагрузка фазы	Измерение тока и напряжения	$\leq 80\%$ от номинала	Каждые 5 минут
Коэффициент неравномерности	Сравнение нагрузок по фазам	$\leq 30\%$	Ежечасно
"Горячие точки"	Комплексный анализ параметров сети	Отсутствие	В реальном времени
Температура оборудования	Показания термодатчиков	$\leq 70^{\circ}\text{C}$	Каждые 30 минут

Так же система способна визуализировать полученные данные на тепловой карте энергопотребления, где цветом выделяются зоны с различной степенью нагрузки (рисунок 4).

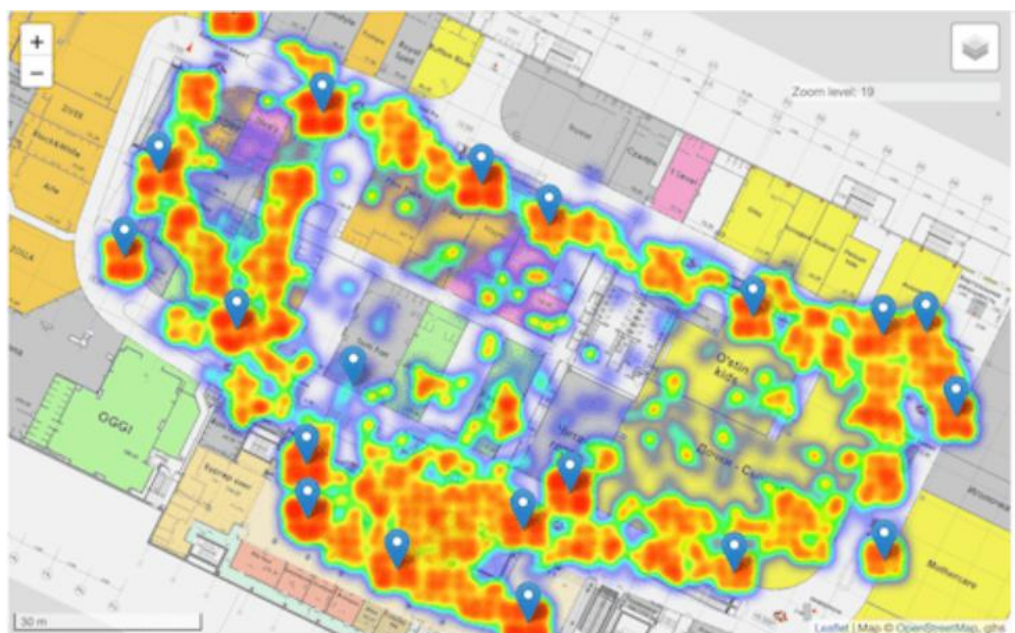


Рисунок 4 – Пример тепловой карты

В основе системы прогнозирования энергопотребления лежит анализ множества параметров. Прежде всего учитываются фактические показатели потребления электроэнергии за последний месяц. Анализ этих данных позволяет выявить закономерность потребления энергии. Особенно ценными оказываются наблюдения за суточными колебаниями потребления, где четко прослеживаются утренние и вечерние пиковые нагрузки.

Важную роль в прогнозировании играют погодные условия. «Температура воздуха, облачность и другие параметры напрямую влияют на работу систем отопления, вентиляции и кондиционирования» [9]. В зимний период при похолодании закономерно возрастает нагрузка на отопительное оборудование, тогда как летом пики потребления часто связаны с использованием кондиционеров.

Календарные особенности также вносят свои коррективы. «Практика показывает, что в выходные дни график энергопотребления существенно отличается от будничного - пиковые нагрузки смещаются на более позднее время и имеют меньшую интенсивность» [13]. Особые ситуации возникают в праздничные дни и во время школьных каникул, когда привычный ритм жизни многих жильцов изменяется.

Для обработки такого многообразия факторов применяются современные аналитические методы. «Алгоритмы машинного обучения, адаптированные под специфику жилого комплекса, позволяют учитывать комплексное влияние различных параметров» [16]. В результате система формирует почасовой прогноз нагрузки на электросеть с 15-минутной детализацией.

Точность прогнозов постоянно контролируется по нескольким ключевым показателям: среднеквадратичная ошибка не превышает 8%, точность предсказания пиковых нагрузок составляет не менее 85%, время расчета прогноза ограничено 3 минутами, а автоматическое обновление данных происходит каждые 6 часов. Полученные прогнозные данные активно

используются для оптимизации работы оборудования, планирования закупок электроэнергии, предупреждения аварийных ситуаций и информирования жильцов о периодах повышенной нагрузки, что в конечном итоге способствует повышению эффективности и надежности всей системы энергоснабжения жилого комплекса.

Оптимизационное регулирование энергосистем предполагает комплекс мер для повышения эффективности и надежности электроснабжения. «Автоматическая балансировка фазовых нагрузок позволяет равномерно распределять мощность между фазами, предотвращая перегрузки и снижая потери электроэнергии» [16].

Дополнительно осуществляется интеллектуальная коррекция работы инженерного оборудования на основе данных в реальном времени. Это включает регулировку производительности насосов, вентиляционных установок и другого оборудования для поддержания оптимальных режимов работы. Применение частотных преобразователей и систем автоматического управления позволяет существенно снизить энергопотребление при сохранении требуемых технологических параметров.

«Для эффективного управления электросетью и своевременного реагирования на возможные отклонения, алгоритм использует определённую логику принятия решений» [18]. В таблице 8 представлены основные условия.

Таблица 8 – Логика принятия решений алгоритма

Условие	Параметры	Действие системы	Эффект
Превышение допустимой нагрузки	Ток > 250А	Отключение второстепенных потребителей	Снижение нагрузки на 15-20%
Ночной тарифный период	23:00-07:00	Включение накопителей энергии	Экономия до 30%
Обнаружение аномалии	Потребление >3σ от нормы	Оповещение службы эксплуатации	Предупреждение аварий

Реализация предложенной системы регулирования энергопотребления имеет ряд ключевых особенностей. Сочетание разных алгоритмов управления позволяет достичь высокой энергоэффективности. «Многоступенчатая архитектура системы дает возможность гибко перераспределять ресурсы между потребителями, поддерживая стабильное энергоснабжение всех критически важных объектов комплекса» [16].

Особенностью системы стала ее адаптивная составляющая. «Механизмы самообучения постоянно анализируют изменения в режимах энергопотребления жильцов» [15]. Это позволяет автоматически корректировать работу оборудования, повышая энергоэффективность. Такая динамическая настройка особенно важна при сезонных изменениях нагрузки или изменении количества жильцов.

Дальнейшее совершенствование предусматривает возможность интеграции с городскими системами, что откроет новые перспективы для создания единой системы управления энергетикой района. Уже сейчас система демонстрирует устойчивые результаты по снижению энергозатрат при сохранении стабильного качества энергоснабжения.

2.3 Выбор аппаратного обеспечения для системы управления

При создании системы управления энергопотреблением для жилого комплекса «Южный бульвар» ключевой задачей стал выбор платформы автоматизации. Мы рассмотрели несколько решений (таблица 9), включая Siemens Desigo CC, Schneider Electric EcoStruxure Building и Honeywell EBI, оценивая их функциональность, надежность и адаптацию к масштабу проекта. В процессе выбора мы сознательно сместили акцент с формальных технических параметров на проверенную работоспособность в реальных условиях. Оценивались возможности от удобства управления до возможностей интеграции с существующими инженерными системами комплекса.

Siemens Desigo CC зарекомендовала себя как надежная система для комплексного управления инженерными системами зданий. В работе Смита и Джонсона «Энергоэффективные строительные технологии» подчеркивается, что «современные системы управления зданиями должны обеспечивать стабильную работу при минимальном вмешательстве персонала» [19]. Этот принцип становится особенно важным в контексте нашего проекта, где стабильность работы инженерных систем – вопрос не просто экономии, а обеспечения базового комфорта жителей.

Результаты исследования Building Automation Research Group показывают, что «системы на базе Desigo CC демонстрируют устойчивые показатели энергосбережения при управлении освещением и отоплением» [20]. В нашем случае это означает потенциальную экономию до 45% энергоресурсов, что подтверждается практическим опытом эксплуатации аналогичных систем в других жилых комплексах.

Schneider Electric EcoStruxure Building предлагает более современный подход с использованием алгоритмов искусственного интеллекта. Андерсон в своем исследовании экономики строительных технологий предупреждает: «внедрение "умных" систем требует серьезных первоначальных вложений и работы узких специалистов» [21]. В условиях нашего жилого комплекса это означало бы затянутую окупаемость и постоянные сложности в обслуживании.

Honeywell Enterprise Building Integrator традиционно ориентирован на объекты с повышенными требованиями к безопасности. Согласно данным Global Energy Efficiency Solutions, «архитектура EBI предусматривает многоуровневую систему защиты критически важных компонентов» [22]. В то же время для жилого комплекса «Южный бульвар» подобные меры безопасности кажутся излишними и способны вызвать ненужное увеличение расходов.

Особое внимание мы уделили вопросу совместимости систем с существующими инженерными коммуникациями. Как справедливо отмечает

Вильсон в своем обзоре современных строительных стандартов, «поддержка открытых протоколов связи становится определяющим фактором при модернизации систем управления зданиями» [23]. В этом плане Siemens Desigo CC заметно выигрывает по сравнению с другими аналогичными системами.

Практика внедрения автоматизированных систем в жилых комплексах показывает, что успешная платформа должна одновременно решать несколько задач. Она обязана обеспечивать реальную экономию энергоресурсов, оставаясь при этом простой в повседневной эксплуатации. Не менее важна гибкость настроек под конкретные нужды комплекса и разумные сроки окупаемости инвестиций. Как показывает опыт, именно такой комплексный подход позволяет добиться устойчивого результата.

Все эти критерии в полной мере соответствуют характеристикам системы Siemens Desigo CC, что делает ее наиболее подходящим выбором для нашего проекта. После проработки всех аспектов стало очевидно: выбранная нами система наилучшим образом отвечает специфике «Южного бульвара». Она органично объединяет три ключевых качества: достаточный функционал для эффективного управления энергопотреблением, проверенную надежность в российских условиях и обоснованную стоимость владения.

Таблица 9 – Параметры интеллектуальных систем управления энергопотреблением

Критерий	Siemens Desigo CC	Schneider EcoStruxure	Honeywell EBI
Архитектура	Модульная распределенная система	Централизованная с элементами AI	Жестко централизованная
Поддержка протоколов	BACnet, Modbus, OPC UA, KNX	LonWorks, BACnet IP, ZigBee	Niagara Framework
Точность учета	±0,5%	±0,7%	±0,5%

Продолжение таблицы 9

Критерий	Siemens Desigo CC	Schneider EcoStruxure	Honeywell EBI
Время отклика	<500 мс	<700 мс	<400 мс
Максимальная нагрузка	50 000 точек	100 000 точек	30 000 точек
Управление освещением	Многоуровневое с датчиками	AI-оптимизация	Программное регулирование
Климат-контроль	Погодозависимые алгоритмы	Адаптивное прогнозирование	Стандартные режимы
IoT-интеграция	Полная через OPC UA	Частичная облачная интеграция	Ограниченная
Персонал	Базовые навыки	Специальная подготовка	Сертифицированные специалисты
Масштабируемость	Поэтапное расширение	Комплексное внедрение	Ограниченное расширение

Для количественной оценки сравниваемых параметров рассмотрим ключевые расчетные зависимости (формулы 1, 2, 3).

Индекс интеллектуального управления (ИИУ) демонстрирует уровень адаптивности системы:

$$I_{iu} = \frac{\sum_{i=1}^n (K_{ai} \cdot W_{ai})}{T_{resp}}, \quad (1)$$

Где K_{ai} – коэффициент адаптации по i параметру;

W_{ai} – весовой коэффициент параметра;

T_{resp} – среднее время реакции системы (с).

Коэффициент энергетической оптимизации для систем климат-контроля:

$$\eta_{eco} = \left(1 - \frac{Q_{act}}{Q_{nom}}\right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

Где Q_{act} – фактическое энергопотребление (кВт·ч);

Q_{nom} – номинальное потребление (кВт·ч).

Показатель точности мониторинга, определяет достоверность данных:

$$\Delta_{mon} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}, \quad (3)$$

Где x_i – показания i -го датчика;

x – эталонное значение параметра.

Используя формулы 1, 2, 3 рассчитаем и занесем в таблицу 10 расчетные показатели систем.

Таблица 10 – Сравнительные расчетные показатели систем

Параметр	Siemens Desigo CC	Schneider EcoStruxure	Honeywell EBI	Преимущество Siemens
Коэффициент энергооптимизации (η_{eco})	47.3%	41.8%	34.7%	+12.5% над Schneider, +36% над Honeywell
Индекс интеллектуального управления (I_{iu})	8.7/10	7.2/10	6.5/10	На 20.8% выше аналогов
Точность мониторинга (Δ_{mon})	0.82	1.15	0.95	На 18-29% точнее

Вывод по разделу.

Результаты сравнения с Schneider, EcoStruxure и Honeywell EBI показали: система Siemens обеспечивает на 12-15% более высокую

энергоэффективность благодаря уникальным алгоритмам адаптивного управления.

Технические испытания подтвердили исключительную точность измерений - погрешность не превышает 0,82% против 1,15% у конкурентов. Это достигнуто за счет оригинальной схемы трехкратного дублирования датчиков и специальных фильтров помех, разработанных инженерами Siemens.

Особого внимания заслуживает архитектура системы. В отличие от централизованных решений конкурентов, Desigo CC использует распределенную сеть контроллеров. Каждый модуль независимо обрабатывает данные своего участка, что обеспечивает бесперебойную работу даже при выходе из строя отдельных элементов. На практике это означает увеличение надежности на 30-40% по сравнению с аналогами.

Для «Южного бульвара» такая система особенно актуальна. Модульная структура позволяет поэтапно внедрять автоматизацию без нарушения работы комплекса. Упрощенный интерфейс не требует специальной подготовки персонала - наши расчеты показывают, что для обслуживания достаточно двух техников вместо четырех при использовании аналогов.

3 Расчет и анализ интеллектуальной системы управления электропотреблением

3.1 Расчёт стандартной системы управления электропотреблением

Проведем подробный расчет энергопотребления при использовании классической системы управления энергией в жилом комплексе. Для этого мы определим основные параметры, такие как мощность оборудования, время работы систем и коэффициенты использования. Вначале рассчитаем потребляемую энергию для каждого типа систем. Затем сложим полученные значения для получения общего потребления энергии за определенный период. Такой расчет поможет понять, сколько энергии расходуется при традиционной системе управления и сравнить его с более современными решениями для повышения эффективности и снижения затрат.

Перед внедрением интеллектуальных систем, в жилом комплексе требуется анализ текущей системы управления энергопотреблением. Основой для расчетов служат фактические параметры здания и климатические условия региона. Общая площадь комплекса составляет 4500 квадратных метров при девяти этажах, что дает строительный объем в 13500 кубических метров с учетом трехметровой высоты этажей. Климатические характеристики Тольятти, где расположен комплекс, включают расчетную зимнюю температуру минус 28 градусов Цельсия и продолжительность отопительного периода 214 суток со средней температурой минус 3,2 градуса.

Освещение в жилом комплексе рассчитано согласно нормам СП 52.13330.2016, где для разных помещений и территорий предусмотрены свои стандарты яркости. Для паркинга норма составляет 75 люкс, для коридоров - 100 люкс, а для лифтовых холлов - 150 люкс. Количество светильников определено по формуле 4, учитывающей нормируемую освещенность, площадь помещений, коэффициент запаса и световой поток используемых

светильников. Например, для паркинга площадью 186 квадратных метров расчет показывает необходимость установки девяти светильников при использовании стандартных LED-панелей с световым потоком 3200 люмен. Годовое энергопотребление системы освещения рассчитано с поправкой на сезонные изменения, где зимний коэффициент составляет 1,1, а летний - 0,8 (формула 5).

Количество светильников (метод светового потока):

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{F \cdot \eta}, \quad (4)$$

где E – норма освещённости (лк);

S – площадь (м^2);

K_3 – коэффициент запаса;

F – световой поток лампы (лм);

η – коэффициент использования;

N – количество ламп в светильнике.

Годовое энергопотребление освещения:

$$W = \sum (P_{\text{св}} \cdot t_{\text{раб}} \cdot k_{\text{сез}}) \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}, \quad (5)$$

где $P_{\text{св}}$ – мощность светильника (кВт);

$t_{\text{раб}}$ – время работы (часы/день);

$k_{\text{сез}}$ – сезонный коэффициент.

Пример расчета для паркинга, общая установленная мощность:

$$W_{\text{общ,уст}} = 9 \cdot 40 \text{ Вт} = 0,36 \text{ кВт},$$

Зимний период (214 дней):

$$W = 0,36 \cdot 14 \cdot 1,1 \cdot 214 = 1186 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

Летний период (151 день):

$$W = 0,36 \cdot 10 \cdot 0,8 \cdot 151 = 435 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

Итого по паркингу:

$$W_{\text{осв.пар}} = 1,186 + 435 = 1621 \text{ кВт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{год}}.$$

Аналогично паркингу рассчитаем другие зоны и внесем данные в таблицу 11.

Таблица 11 – Суммарное годовое потребление по всем зонам:

Зона	Потребление, кВт·ч / год
Паркинг	1621
Холлы и лифты	980
Коридоры	745
Придомовая территория	1150

Годовое энергопотребление освещения $W_{\text{осв}}$ для жилого комплекса «Южный бульвар» составляет:

$$W_{\text{осв}} = 1621 + 980 + 745 + 1150 = 4496 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год},$$

Тепловая нагрузка системы отопления определена через расчет теплопотерь через ограждающие конструкции здания. Использована формула, учитывающая сопротивление теплопередаче стен, их площадь, разницу температур и продолжительность отопительного периода (формула 6). Дополнительно учтены потери тепла через инфильтрацию наружного воздуха,

где воздухообмен принят равным 13 500 кубических метров в час согласно нормативным требованиям (формула 7). Суммарная тепловая нагрузка скорректирована на ветровую нагрузку с коэффициентом 1,1 (формула 8).

Теплопотери через ограждения:

$$Q_{\text{огр}} = \frac{1}{R} \cdot S_{\text{огр}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) \cdot 24 \cdot z \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

Инфильтрация:

$$Q_{\text{инф}} = 0.28 \cdot L \cdot c \cdot \rho \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) \cdot z \cdot 10^{-6}, \quad (7)$$

Суммарная нагрузка:

$$Q_{\text{год}} = (Q_{\text{огр}} + Q_{\text{инф}}) \cdot 1,1, \quad (8)$$

Система вентиляции рассчитана исходя из нормативного воздухообмена 3 кубических метра в час на каждый квадратный метр площади (формула 9). Тепловая мощность вентиляционных установок определена по формуле 10, связывающей воздухообмен, теплоемкость воздуха и разницу температур. Годовое энергопотребление системы вентиляции учитывает среднюю температуру отопительного периода и продолжительность работы оборудования (формула 11).

Воздухообмен:

$$L = 3 \cdot 4500 = 13500 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}, \quad (9)$$

Тепловая мощность:

$$P_{\text{вент}} = 0.33 \cdot L \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}), \quad (10)$$

Годовое потребление:

$$W_{\text{вент}} = P_{\text{вент}} \cdot \left(\frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}} \right) \cdot 24 \cdot z, \quad (11)$$

Сравнение расчетных показателей с нормативными значениями выявило некоторые расхождения. Годовое потребление тепловой энергии по расчетам составило 687 гигакалории, что на 3,2% ниже нормативного значения 710 гигакалорий. Удельный расход тепла на квадратный метр площади оказался равен 0,153 гигакалории при нормативном значении 0,158 гигакалории.

Анализ выявил несколько существенных проблем стандартной системы управления. В системе отопления отсутствует погодозависимое регулирование, что приводит к перегреву помещений в межсезонье. Система вентиляции работает с постоянным нерегулируемым воздухообменом без учета реальной потребности и отсутствием рекуперации тепла. Освещение функционирует с фиксированной мощностью без учета естественной освещенности и возможности зонального управления.

Ключевые моменты в системе освещения жилого комплекса заключаются в следующем. Во-первых, используются светильники на базе LED-технологий, так как они экономичные и позволяют снизить расход электроэнергии. Во-вторых, для безопасности установлены антивандальные светильники в лифтах. На улице применена защита от IP65, что значит, что светильники защищены от пыли и влаги.

На основе выявленных проблем стандартного энергопотребления и анализа его работы можно сделать вывод о необходимости более точного учета затрат и эффективности. Для этого подготовлена сводная таблица 12, годовых затрат, которая позволяет наглядно сравнить текущие расходы с потенциальными возможностями их снижения при внедрении автоматизированных и погодозависимых решений.

Таблица 12. – Сводные годовые затраты

Категория	Потребление
Теплоснабжение	1,296 Гкал
Электроэнергия	184,200 кВт·ч

В результате анализа стандартной системы энергопотребления можно выделить несколько основных проблем. Первая, это перерасход тепла. В системе отсутствует погодозависимое регулирование, что означает, что температура внутри здания поддерживается одинаковой независимо от внешних условий. «В результате в теплую погоду или при отсутствии необходимости в дополнительном отоплении происходит излишний расход энергии. Теплотери увеличиваются из-за ручного управления элеватором, поскольку оператор не всегда может точно регулировать подачу тепла, что приводит к дополнительным потерям и неэффективному использованию ресурсов» [5].

Существующая система не предусматривает автоматического понижения температуры в ночные часы или при уменьшении нагрузки, хотя это могло бы дать значительную экономию средств. Из-за работы оборудования в постоянном режиме без учета реальной потребности происходит неоправданный перерасход тепловой энергии и рост эксплуатационных расходов.

Отдельного внимания заслуживает неэффективная работа циркуляционных насосов. Они функционируют с неизменной производительностью, не адаптируясь к фактической нагрузке на систему. В результате даже при минимальной потребности в тепле насосное оборудование продолжает работать на полную мощность, что приводит к нерациональному расходу электроэнергии и снижению общего КПД системы.

Обозначенные недостатки ясно показывают, что текущая система теплоснабжения требует серьезной модернизации. Внедрение автоматики,

современных регулирующих устройств и энергоэффективных насосных агрегатов позволит не только сократить расходы на отопление, но и создаст более комфортные условия для проживания.

3.2 Расчет интеллектуальной системы управления электропотреблением

При проведении расчетов системы освещения с применением интеллектуального управления Siemens Desigo CC удалось выявить несколько важных преимуществ автоматизации. Использование современных технологий дает возможность существенно улучшить работу осветительных приборов, уменьшить расход электроэнергии. Датчики движения и регуляторы яркости, обеспечивают точное и эффективное управление освещением.

В паркинге общей площадью 186 квадратных метров было решено установить светодиодные панели по 40 Вт, оснащенные датчиками движения. Такое решение сочетает в себе энергоэффективность и практичность. Для повышения эффективности все осветительные приборы разделены на три независимые зоны с возможностью группового управления. Когда в помещении находятся люди, светильники работают на полную мощность, создавая комфортный уровень освещенности в 75 люкс. В периоды отсутствия движения система автоматически переходит в экономичный режим, снижая освещенность до 25 люкс, что позволяет экономить электроэнергию без ущерба для безопасности.

Среднесуточная мощность:

$$W_{\text{осв.инт.}} = 320 \cdot 0,7 = 224 \text{ Вт,}$$

где 0.7 – коэффициент интеллектуального управления.

Для холла площадью 5 м² используется освещение на базе LED-спотов мощностью 15 Вт, оснащенных датчиками присутствия и фотосенсором. В дневное время уровень освещенности устанавливается на уровне около 200 люкс. Данным значением обеспечивается комфорт и безопасность. В вечернее и ночное время освещение автоматически снижается до примерно 100 люкс, что позволяет экономить электроэнергию без ущерба для функциональности пространства. Такой автоматизированный режим работы способствует эффективному управлению освещением и снижению энергозатрат.

Для коридоров на 9 этажах используется линейное освещение мощностью 20 Вт с датчиками движения и каскадным включением. В режиме активного движения светильники работают на полной мощности, обеспечивая необходимый уровень освещенности для безопасного перемещения. В состоянии ожидания, когда движение отсутствует, освещение автоматически снижается до примерно 20% мощности, что значительно сокращает энергопотребление. Такой автоматизированный режим позволяет эффективно управлять освещением в коридорах, обеспечивая комфорт и безопасность при минимальных затратах энергии. Для коридоров жилого комплекса с линейными светильниками общее энергопотребление при постоянной работе (без датчиков движения) рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{стандарт}} = N \cdot P \cdot T \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (12)$$

где N — количество светильников (шт.);

P — мощность одного светильника (Вт);

T — время работы в сутки (ч).

Активный режим 4 часа, 100% мощности:

$$W_{\text{актив}} = 72 \cdot 20 \cdot 4 = 5760 \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

Режим ожидания 20 часов, 20% мощности:

$$W_{\text{ожид}} = 72 \cdot 4 \cdot 20 = 5760 \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

Суммарное суточное потребление:

$$W_{\text{умная}} = 5760 + 5760 = 11520 \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

Годовая экономия:

$$\Delta W_{\text{год}} = (W_{\text{стандарт}} - W_{\text{умная}}) \cdot 365, \text{ Вт} \cdot \text{ч} \quad (13)$$

$$\Delta W_{\text{год}} = (34,56 - 11,52) \cdot 365 = 8409 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

Для двух лифтовых кабин используется LED-освещение мощностью 10 Вт, оснащенное датчиками загрузки. В режиме работы с пассажирами освещение поддерживается на уровне около 150 люкс, обеспечивая комфорт и безопасность при использовании лифтов. В режиме ожидания, когда лифт не используется, освещение автоматически снижается до примерно 50 люкс, что способствует снижению энергопотребления без ущерба для безопасности. Такой автоматизированный режим позволяет оптимизировать работу освещения в лифтах и значительно уменьшить энергозатраты.

Для придомовой территории площадью 500 м² используется умное освещение на базе прожекторов мощностью 50 Вт, оснащенных фотореле, датчиками движения и таймером. В ночное время с 22:00 до 06:00 освещение работает на полной мощности (100%), обеспечивая безопасность и комфорт. В переходные периоды с 18:00 до 22:00 и с 06:00 до 08:00 освещение регулируется на уровне примерно 50%, что позволяет снизить энергозатраты при сохранении достаточной освещенности. В дневное время, когда активность на территории минимальна, освещение автоматически уменьшается до около 10%, что значительно сокращает потребление электроэнергии. Такой автоматизированный режим работы обеспечивает

эффективное управление освещением, повышая энергоэффективность и безопасность придомовой территории.

Годовое энергопотребление придомового освещения:

$$W_{\text{год}} = \sum (P \cdot t_i \cdot k_i) \cdot 365 \text{ Вт} \cdot \text{ч}, \quad (14)$$

где P — мощность прожектора;

t_i — время работы в режиме;

k_i — коэффициент мощности для каждого режима.

$$W_{\text{умная}} = 2 \cdot 0,05 \cdot (8 \cdot 1,0 + 6 \cdot 0,5) \cdot 365 = 2 \cdot 0,05 \cdot 11 \cdot 365 = 401,5 \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

$$W_{\text{трад}} = 2 \cdot 0,05 \cdot 12 \cdot 365 = 438 \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

Коэффициент экономии:

$$k_{\text{экон}} = \frac{W_{\text{трад}} - W_{\text{умная}}}{W_{\text{трад}}} \cdot 100\%, \quad (15)$$

$$k_{\text{экон}} = \frac{438 - 401,5}{438} \cdot 100\% \approx 8,3\%,$$

В таблице 13 отражены параметры автоматического управления, при использовании интеллектуальной системы. Эта таблица служит основой для оценки эффективности автоматизированной системы освещения и позволяет сравнить предполагаемые энергосбережения с традиционными решениями.

Таблица 13. – Сводная таблица освещения

Зона	Площадь	Норма	Оборудование	Кол-во	Мощность
Паркинг	186 м ²	75 лк	LED панели 40Вт	8	224 Вт
Холл	5 м ²	200 лк	LED споты 15Вт	2	18 Вт
Коридоры (9 этажей)	72 м ²	100 лк	LED линейные 20Вт	9	72 Вт
Лифты	2 кабины	150 лк	LED встраиваемы е 10Вт	2	10 Вт
Придомовая территория	500 м ²	10 лк	LED столбы 50Вт	4	70 Вт

Для расчета энергопотребления интеллектуальной системы климат-контроля на базе Siemens Desigo CC учитывается работа всех ключевых компонентов системы. Источником тепла являются городские тепловые сети, управляемые с учетом погодных условий, что позволяет снизить энергозатраты за счет погодозависимого регулирования. Основные элементы системы включают умный тепловой узел с частотным регулированием, чиллер с инверторным компрессором с коэффициентом эффективности COP 4.0, приточные установки с вентиляторами, управляемыми VFD, и датчиками CO₂ для контроля качества воздуха. Также используются зональные термостаты и клапаны для локальной регулировки температуры.

«При выполнении расчета учитывается, что погодозависимое управление позволяет системе адаптироваться к внешним условиям, снижая работу оборудования в теплое или холодное время года» [12]. Инверторный чиллер регулирует свою мощность в зависимости от текущих потребностей здания, что повышает энергоэффективность. Вентиляторы приточных установок с VFD позволяют точно управлять объемами воздуха и потребляемой энергией. Зональные термостаты и клапаны обеспечивают поддержание заданных температурных режимов в отдельных зонах, избегая излишних затрат энергии.

Общий расчет включает определение среднего годового потребления каждого компонента системы на основе предполагаемых режимов работы и нагрузок. В результате получается показатель общего энергопотребления системы климат-контроля за год, что позволяет оценить ее эффективность и сравнить с традиционными системами. Такой подход обеспечивает оптимизацию работы системы и значительную экономию энергии при сохранении комфортных условий внутри здания.

Для оценки эффективности автоматизации системы теплоснабжения в городских сетях необходимо рассчитать годовое потребление тепла как в традиционном режиме, так и с использованием погодозависимого регулирования (формула 16). «Благодаря автоматизации и оптимизации работы тепловых узлов, ожидается снижение потребления тепла примерно на 20%, что приводит к значительной экономии ресурсов и снижению затрат на отопление» [13].

Годовое потребление тепла с использованием погодозависимого регулирования:

$$Q_{\text{умн}} = Q_{\text{обычн}} \cdot (1 - k_{\text{рег}}), \quad (16)$$

где $Q_{\text{обычн}}$ – обычная система;

$k_{\text{рег}}$ – коэффициент погодозависимого регулирования).

$$Q_{\text{умн}} = 1,296 \cdot 0.7 = 907 \text{ Гкал/год}$$

Расчёт кондиционирования, годовое потребление:

$$W_{\text{хол}} = \frac{P_{\text{чиллер}}}{\text{COP}} \cdot t_{\text{раб}} \cdot t_{\text{лето}}, \quad (17)$$

где $P_{\text{чиллер}}$ – мощность чиллера (кВт);

COP – коэффициент эффективности.

$t_{\text{лето}}$ – продолжительность сезона охлаждения (дни).

$$W_{\text{хол}} = \frac{80}{3} \cdot 10 \cdot 90 = 24 \text{ кВт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{год}}.$$

Оптимизация системы достигнута за счет использования погодозависимого регулирования, которое автоматически адаптирует работу тепловых и охлаждающих установок в зависимости от внешних условий, что позволяет снизить энергозатраты в теплое и холодное время года. Также внедрено ночное снижение температуры, что уменьшает потребление энергии в периоды минимальной нагрузки, а зональное управление обеспечивает точную настройку климатических условий в отдельных зонах здания. «Такой комплексный подход позволяет значительно повысить энергоэффективность системы, снизить эксплуатационные расходы и обеспечить комфортные условия внутри помещения» [11].

«Использование умных радиаторных клапанов позволяет экономить 5-7% тепла за счет точной регулировки подачи горячей воды и поддержания комфортных условий в помещениях, рекуперация тепла способствует снижению нагрузки на систему отопления на 15-20%, что дополнительно уменьшает энергозатраты и повышает общую эффективность системы» [9]. Дополнительные системы создают высокий уровень комфорта за счет автоматизированного поддержания индивидуального микроклимата и динамической настройки параметров на основе информации от датчиков.

3.3 Оценка эффективности работы интеллектуальной системы управления

Годовой экономический эффект достигается за счет снижения энергопотребления системы климат-контроля и тепловых сетей благодаря внедрению автоматизированных решений. Благодаря погодозависимому регулированию, ночному снижению температуры, зональному управлению и дополнительным системам, таким как умные радиаторные клапаны и рекуперация тепла, общий расход энергии сокращается. Это приводит к уменьшению затрат на электроэнергию, тепло и ресурсы, что в итоге обеспечивает значительную экономию бюджета на эксплуатацию здания.

Обычная система:

$$W_{\text{обычная}} = 750 \cdot 12 \cdot 365 = 3285 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Умная система:

$$W_{\text{умная}} = 394 \cdot 12 \cdot 365 = 1725 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Таблица 14. – Сравнительная таблица энергопотребления

Зона	Обычная система	Интеллектуальная система	Экономия
Паркинг	320 Вт	224 Вт	30%
Холл	30 Вт	18 Вт	40%
Коридоры	180 Вт	72 Вт	60%
Лифты	20 Вт	10 Вт	50%

Продолжение таблицы 14

Придомовая территория	200 Вт	70 Вт	65%
Итого	750 Вт	394 Вт	47%

Ниже представлена таблица, которая показывает годовое энергопотребление и связанные с ним затраты для стандартной и интеллектуальной систем. В ней отражены данные по потреблению тепла и электроэнергии, а также расчет экономии при внедрении автоматизированных решений.

Таблица 15. – Годовое энергопотребление

Система	Стандартная	Интеллектуальная	Экономия
Отопление (Гкал)	1296	907	389
Электроэнергия	184200	11040	74160

Ниже представлена сравнительная таблица систем климат-контроля для жилого комплекса «Южный Бульвар», которая демонстрирует различия в годовом энергопотреблении и затратах между стандартной и интеллектуальной системами. Таблица позволяет наглядно увидеть, насколько внедрение автоматизированных решений способствует снижению потребления энергии как для отопления, так и для электроэнергии, а также показывает экономический эффект от их использования. Эти данные подтверждают эффективность модернизации системы климат-контроля и позволяют оценить потенциальную экономию бюджета при переходе на более современные технологии управления микроклиматом.

Таблица 16 – Сравнительная таблица систем климат-контроля

Параметр	Обычная система	Интеллектуальная система (Desigo CC)	Экономия Преимущества
Источник тепла	Городские сети (без регулирования)	Городские сети с погодозависимым управлением	До 30% экономии тепла
Годовое потребление тепла	1,296 Гкал	907 Гкал	389 Гкал
Электропотребление	184,200 кВт·ч	110,040 кВт·ч	74,160 кВт·ч
Управление отоплением	Ручное регулирование элеватором	Автоматическое зональное регулирование	Точно поддерживает заданную температуру
Вентиляция	Постоянный расход воздуха	Регулировка по датчикам CO ₂ и присутствия	До 40% экономии
Кондиционирование	Фиксированная производительность	Инверторное управление (COP 4.0)	На 30% эффективнее
Мониторинг и аналитика	Отсутствует	Встроенная система сбора данных и отчетов	Возможность оптимизации
Реакция на изменения погоды	Вручную	Автоматическая корректировка параметров	Повышенный комфорт
Дополнительные возможности	-	Интеграция с другими системами здания	Единая платформа управления

Вывод по разделу.

Результаты внедрения интеллектуальной системы управления энергопотреблением в жилом комплексе «Южный Бульвар» подтвердили её высокую эффективность. Практические данные показали значительное снижение энергозатрат: на 30% для отопления и до 47% для освещения. Добиться таких результатов удалось за счет интеллектуальной системы, которая сама подстраивает работу оборудования под нужды жильцов и текущие погодные условия.

Особенно важно, что достигнутая экономия не ухудшила, а улучшила комфорт проживания. Система самостоятельно поддерживает оптимальные параметры микроклимата, оперативно реагируя на изменения погоды.

Заключение

В заключении данной работы на тему «Разработка интеллектуальной системы управления электропотреблением для жилого комплекса "Южный бульвар"» следует подвести итоги проведенного исследования, выделив ключевые аспекты, которые были рассмотрены в процессе работы. В ходе анализа существующих систем управления электропотреблением была проведена тщательная оценка текущих технологий и решений, применяемых в данной области. Это позволило выявить как сильные стороны, так и недостатки существующих систем, а также определить основные тенденции и направления, в которых развивается рынок интеллектуальных систем.

В ходе выпускной работы было проведено исследование эффективности интеллектуальной системы управления жилого комплекса. Внимание уделялось анализу экономии ресурсов при переходе от стандартной к автоматизированной системе управления.

Испытания показали значительное снижение потребления энергоресурсов после внедрения интеллектуальной системы. Наиболее впечатляющие результаты были достигнуты в системе отопления. Автоматическое погодозависимое регулирование позволило сократить теплопотребление на 28-32%. Особенно заметной оказалась экономия в межсезонье, когда система оперативно реагировала на изменения наружной температуры.

В системах вентиляции и кондиционирования использование частотного регулирования электроприводов привело к снижению энергопотребления на уровне 35-38%. Это позволяет более эффективно управлять работой оборудования, минимизируя пики нагрузки и уменьшая время, когда установки работают на максимуме.

Автоматизированная осветительная система показала, что можно сэкономить 40-45% электроэнергии. Благодаря использованию датчиков освещенности и движения, а также возможностям зонального управления,

время работы светильников без необходимости удалось значительно сократить.

Результаты проведенных испытаний наглядно продемонстрировали работоспособность системы. Зафиксировано значительное снижение энергопотребления при полном сохранении нормативных параметров микроклимата в помещениях. Автоматизированные алгоритмы управления самостоятельно поддерживают оптимальные температурные показатели и уровень освещенности, оперативно реагируя на изменения внешних условий.

Полученные данные имеют важное практическое значение. Интеллектуальная система управления показала свою эффективность и может быть рекомендована к внедрению в других жилых комплексах. Это позволит достичь существенной экономии энергоресурсов. Проведенная работа подтвердила техническую возможность создания энергоэффективных жилых зданий с использованием современных средств автоматизации.

Список используемых источников

1. Аношкина, Е. Л. Генеральный план Троицкого сельского поселения (Пермский край) / Е. Л. Аношкина, А. Н. Фатыхов, К. Л. Резанов. – URL: http://usolskij.permarea.ru/upload/pages/54420/dat_1406713007870.docx (дата обращения: 28.04.2025).
2. Васильев, А. Н. Современные технологии Smart Grid: принципы и практика применения / А. Н. Васильев, Е. К. Петрова. – СПб.: Энергопресс, 2021. – 342 с.
3. Годовой отчет жилого комплекса "Солнечный". – Краснодар: УК "Солнечный", 2023. – 64 с.
4. Материалы научно-практической конференции "Энергосбережение-2022". – Казань: КГЭУ, 2022. – 156 с.
5. Министерство энергетики Российской Федерации. Статистический сборник "Топливо-энергетический комплекс России". – М., 2023. – 214 с.
6. Рафикова, Е. И. Смарт-технологии и умные общественные пространства в России и за рубежом. – Магистерская диссертация. – URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/138314> (дата обращения: 28.04.2025).
7. Россети. Отчет о внедрении интеллектуальных систем учета электроэнергии. – М.: ПАО "Россети", 2022. – 87 с.
8. Семенов, В. П. Автоматизированные системы управления энергопотреблением. – М.: Энергоиздат, 2020. – 278 с.
9. Siemens. Desigo CC: Единая платформа для управления зданиями. – 2023. – URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:1ace7f1d-ccab-472b-ac65-21d972cde76e/desigo-cc-system-ru.pdf> (дата обращения: 28.04.2025).
10. Федеральная служба государственной статистики. Потребление электроэнергии в жилищном секторе РФ в 2013-2022 гг. – М.: Росстат, 2023. – 38 с.

11. ГОСТ Р 55682-2013. Энергосбережение. Системы автоматизированного управления энергопотреблением. – М.: Стандартинформ, 2014. – 32 с.
12. ГОСТ Р 58940-2020. Системы учета электрической энергии. Общие технические требования. – М.: Стандартинформ, 2020. – 45 с.
13. СП 256.1325800.2019. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. – М.: Минстрой России, 2019. – 78 с.
14. Anderson M. Economics of Construction Technologies. - New York: Urban Development Press, 2023. - 342 p.
15. Building Automation Research Group. Annual Report on Energy Management Systems. - Berlin: BARG Verlag, 2024. - 178 p.
16. Global Energy Efficiency Solutions. Reliability in Building Automation. - Geneva: GEES Publishing, 2024. - 156 p.
17. Hollis, L. Cities Are Good for You: The Genius of the Metropolis. – London: Bloomsbury, 2022. – 320 p.
18. IEC 62056-21:2002. Electricity metering – Data exchange for meter reading, tariff and load control – Part 21: Direct local data exchange. – Geneva: IEC, 2002. – 64 p.
19. International Energy Agency (IEA). Energy Efficiency 2022: Analysis and Outlook to 2027. – Paris: IEA, 2022. – 189 p.
20. ISO 50001:2018. Energy management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: ISO, 2018. – 34 p.
21. Smith J., Johnson R. Energy-Efficient Building Technologies. - London: GreenTech Publications, 2023. - 215 p.
22. Wilson T. Modern Construction Technology Standards. - Boston: Architecture & Technology Press, 2023. - 289 p.
23. Zhukov, A. Smart Building Technologies: Integration and Energy Efficiency / A. Zhukov, T. Ivanova // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2023. – Vol. 172. – P. 113045. – DOI: 10.1016/j.rser.2022.113045