

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)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки)

Энергосбережение и энергоэффективность

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Повышение энергоэффективности цеха №7 АО «ПО «Севмаш»

Обучающийся

В.А. Скоморохов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный

руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

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

Тольятти 2025

Содержание

Введение.....	3
1 Анализ системы электроснабжения цеха №7.....	9
1.1 Характеристика предприятия и системы электроснабжения цеха №7	9
1.2 Анализ литературных источников по исследуемой проблеме.....	16
1.3 Анализ проблем в системе электроснабжения цеха и путей их решения.....	26
2 Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности цеха №7 АО «ПО «Севмаш»	30
2.1 Предварительная оценка внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности на объекте исследования	30
2.2 Разработка комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности на объекте исследования	35
2.3 Выбор рациональной автоматизированной системы контроля и управления электроэнергией на объекте исследования.....	39
3 Техничко-экономическое обоснование внедрения мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности цеха №7 АО «ПО «Севмаш»	51
3.1 Оценка капитальных вложений и суммарных годовых эксплуатационных затрат на внедрение АСКУЭ на объекте исследования	51
3.2 Оценка технико-экономической эффективности внедрения АСКУЭ на объекте исследования	59
Заключение	68
Список используемых источников.....	72

Введение

Проблема энергоэффективности и минимизации энергопотребления на промышленных предприятиях Российской Федерации в настоящее время имеет первостепенное значение, что обусловлено, прежде всего, увеличением стоимости энергетических ресурсов и необходимостью рационального использования природных источников энергии. Важность повышения энергоэффективности также связана с требованиями современной промышленной политики страны, направленной на развитие высокотехнологичных производств и реализацию национальных проектов по энергосбережению и снижению негативного воздействия промышленности на окружающую среду.

На сегодняшний день российские промышленные предприятия характеризуются значительным моральным и физическим износом основного технологического и энергетического оборудования, что влечёт за собой повышенные эксплуатационные затраты и большие потери электроэнергии. Устаревшие электрические сети и недостаточно эффективные системы управления энергохозяйством приводят к существенному перерасходу электрической и тепловой энергии, что негативно отражается на общей рентабельности предприятий и конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Современные нормативные требования и государственная политика в области энергосбережения в России направлены на модернизацию энергосистем промышленных предприятий с использованием инновационных энергосберегающих решений, внедрением современных методов учёта и автоматизированного контроля за расходом электроэнергии, а также повышением эффективности технологических процессов.

Государственная поддержка таких мероприятий выражается в реализации программ стимулирования предприятий, которые используют энергосберегающие технологии и осуществляют мероприятия по

модернизации своих энергетических объектов, а также введении стандартов обязательного энергетического аудита.

В настоящее время нормативные акты и методические документы в полной мере определяют требования к промышленным предприятиям в вопросах энергосбережения. Они устанавливают нормы по допустимым величинам потерь электрической энергии с требованиями эффективности и безопасности энергоснабжения.

Современная система государственного регулирования и контроля за соблюдением норм потребления и потерь электрической энергии играет немаловажную роль в решении проблемы энергоэффективности предприятий. Не остается в стороне и стимулирование модернизации оборудования через различные механизмы и программы государственной поддержки.

Практическая реализация мероприятий по энергосбережению на промышленных предприятиях, как правило, включает комплекс технических и организационных решений, направленных на реконструкцию электрических сетей, модернизацию систем электроснабжения, внедрение современного высокоэффективного электрооборудования и повышение уровня автоматизации управления энергетическими процессами.

Применение инновационных методов диагностики и мониторинга электрических сетей позволяет своевременно выявлять слабые места и зоны повышенных потерь, что создаёт основу для разработки и реализации эффективных мероприятий по повышению энергоэффективности промышленных предприятий.

Таким образом, решение проблемы энергосбережения и минимизации энергопотребления является важной стратегической задачей для промышленных предприятий Российской Федерации, успешное решение которой позволит значительно сократить расходы на электроэнергию, повысить конкурентоспособность продукции, обеспечить экологическую

безопасность производства и сформировать основу для устойчивого экономического развития промышленных предприятий страны.

Предприятия судостроительной отрасли, включая АО «ПО «Севмаш», сталкиваются с необходимостью оптимизации энергопотребления в условиях ужесточения экономических факторов, связанных с последними политическими событиями в современном мире.

Установлено, что цех № 7 АО «ПО «Севмаш», являющийся объектом исследования в настоящей работе, является одним из ключевых производственных подразделений, где значительная часть энергоресурсов расходуется на технологические процессы, требующие постоянного контроля и управления.

Объектом исследования в данной работе является электрическая часть энергетической системы цеха №7 АО «ПО «Севмаш».

Предметом исследования являются технические и экономические мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности цеха №7 АО «ПО «Севмаш».

Актуальность исследования обусловлена тем, что существующая система электроснабжения объекта исследования не соответствует современным нормам и требованиям по критериям энергосбережения, в частности, в области минимизации потерь электроэнергии в измерительном комплексе.

Проведённый анализ текущей ситуации показал, что основной недостаток существующего положения заключается в недостаточной автоматизации процессов сбора и обработки данных об энергопотреблении.

Данный аспект приводит к неточностям в учёте, невозможности оперативно выявлять отклонения и принимать корректирующие меры.

Устаревшие системы не позволяют интегрировать данные в единую информационную сеть предприятия, что ограничивает возможности комплексного анализа и оптимизации технологических процессов.

Отсутствие своевременной и точной информации о фактическом энергопотреблении затрудняет принятие эффективных управленческих решений, направленных на снижение издержек и повышение производительности.

Кроме того, морально и физически устаревшее оборудование систем учёта и контроля электроэнергии на объекте исследования приводит к увеличению инструментальных потерь электроэнергии, что негативно сказывается на общей энергоэффективности предприятия.

Таким образом, работа, направленная на устранение указанных недостатков, является актуальной и имеет практическую ценность.

Исходя из выявленных проблем установлено, что основной целью работы является повышение энергоэффективности цеха № 7 АО «ПО «Севмаш» путём модернизации систем учёта и контроля электроэнергии.

Достижение указанной цели позволит обеспечить точный и оперативный мониторинг энергопотребления, снизить потери электроэнергии и оптимизировать режимы работы оборудования.

Следовательно, проведение данного исследования имеет практическую значимость для предприятия и вносит вклад в развитие методики повышения энергоэффективности в судостроительной промышленности.

В работе принимается и доказывается следующая гипотеза: при правильном внедрении рациональных и эффективных мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения типичного промышленного предприятия, его технические и экономические показатели также будут повышены прямо пропорционально эффективности внедрённых мероприятий.

Для достижения основной цели работы, указанной ранее, в работе проводится последовательное решение следующих основных задач:

- анализ действующей системы электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш»;

- разработка комплекса энергосберегающих мероприятий по повышению энергоэффективности цеха №7 АО «ПО «Севмаш»;
- технико-экономическое обоснование внедрения предложенного варианта автоматизированной системы учёта и контроля электроэнергии.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- показано, что комплекс практических мероприятий по замене средств учёта электроэнергии позволит минимизировать погрешности учёта электроэнергии в электрической сети объектов промышленности и энергетики, и могут использоваться с целью энергосбережения в системе электроснабжения предприятий;
- усовершенствована методология аналитического выбора рациональной системы АСКУЭ для применения на промышленных объектах, включающая следующие основные критерии выбора: широкие возможности по интеграции на объекте исследования, высокая надёжность, высокая точность измерений, наличие доступного программного обеспечения, поддержка облачных технологий, удобство эксплуатации, масштабируемость, доступная стоимость, высокий уровень автоматизации, продвинутые функции аналитики и прогнозирования, поддержка на всей территории РФ.

Практическая ценность «работы состоит в следующем:

- показано, что внедрение комплекса наиболее рациональных мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности цеха №7 АО ПО «Севмаш», способно существенно минимизировать энергопотребление, оптимизировать учёт электроэнергии, а также повысить энергетические показатели в электрической сети объектов промышленности и энергетики;
- установлено, что» [23] система АСКУЭ от «Энергомера» на базе счетчиков СЕ304 с применением устройства сбора и передачи

- информации УСПД СЕ805, является наиболее рациональным выбором для цеха № 7 АО «ПО «Севмаш» и может быть успешно внедрена на аналогичных отечественных промышленных объектах;
- показано, что суммарные инвестиции на внедрение АСКУЭ в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш» составили 1119129 руб., а суммарные годовые эксплуатационные затраты на внедрение АСКУЭ на объекте равны 226371,5 руб., что является допустимыми финансовыми затратами для типичного отечественного промышленного предприятия;
 - установлено, что внедрение АСКУЭ «Энергомера» с использованием счётчиков типа СЕ304 и устройства сбора и передачи данных УСПД СЕ805, обладает высокой экономической эффективностью при условии использования дифференцированных по времени тарифов при оплате за потреблённую электроэнергию по третьей ценовой категории тарифообразования. Показано, что данный подход позволяет сократить ежегодные расходы на оплату электроэнергии на объекте исследования на сумму порядка 1018919,52 рублей, что обеспечивает быстрый срок возврата инвестиций, равный 1,1 года.

Указанные показатели подтверждают целесообразность и высокую экономическую эффективность внедрения современной АСКУЭ производства АО «Энергомера» для оптимизации затрат на электроэнергию, снижения эксплуатационных расходов и повышения общей энергоэффективности предприятия.

Результаты исследований, проведённых в работе, могут быть адаптированы и применены на других промышленных предприятиях, что также придаёт работе широкую практическую значимость и способствует развитию отрасли в целом.

1 Анализ системы электроснабжения цеха №7

1.1 Характеристика предприятия и системы электроснабжения цеха №7

Объектом исследования в работе является цех №7 АО «ПО «Севмаш».

Северное машиностроительное предприятие (Севмаш) находится на территории города Северодвинска Архангельской области.

В настоящее время Севмаш является одним из крупнейших предприятий России в области судостроения, входит в состав оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации.

АО «ПО «Севмаш» обладает богатой историей и значительным опытом в области кораблестроения, специализируясь на строительстве, ремонте и модернизации военных и гражданских судов, включая атомные подводные лодки и надводные корабли.

Севмаш играет ключевую роль в обеспечении обороноспособности страны, выполняя заказы Министерства обороны Российской Федерации на строительство и ремонт атомных подводных лодок.

Предприятие оснащено современными производственными мощностями, включая цеха по обработке металлов, сварочные и сборочные цеха, а также доковые сооружения, что позволяет осуществлять полный цикл судостроительных работ.

Производственные процессы на Севмаше характеризуются высокой технологической сложностью и требуют использования передовых технологий и материалов.

Данное промышленное предприятие активно внедряет инновационные решения, автоматизацию и цифровые технологии, что способствует повышению эффективности производства и улучшению качества выпускаемой продукции.

Специалисты Севмаш проходят регулярное обучение и повышение

квалификации, что позволяет поддерживать высокий уровень профессионализма и соответствовать современным требованиям отрасли.

Севмаш также занимается производством гражданской продукции, включая различные виды морской техники, нефтегазового оборудования и крупногабаритных металлических конструкций.

Данный аспект позволяет предприятию диверсифицировать свою деятельность и вносить вклад в развитие гражданского судостроения и других отраслей промышленности.

Экологическая ответственность также является важной частью деятельности Севмаша.

Предприятие реализует программы по охране окружающей среды, снижению вредных выбросов и рациональному использованию природных ресурсов.

Современные технологии и методы производства способствуют минимизации негативного воздействия на окружающую среду и обеспечивают соблюдение экологических норм и стандартов.

Севмаш активно участвует в международных проектах и сотрудничает с зарубежными партнёрами, что позволяет расширять рынки сбыта и укреплять позиции на мировом рынке судостроения.

Международное сотрудничество способствует обмену опытом и внедрению передовых технологий в производственные процессы.

Таким образом, АО «ПО «Севмаш» является стратегически важным предприятием судостроительной отрасли России, обеспечивая выполнение оборонных заказов, развитие гражданского судостроения и внедрение инновационных технологий.

Высокий уровень профессионализма, современное производственное оборудование и экологическая ответственность делают Севмаш лидером в своей области, способствуя устойчивому развитию и укреплению позиций на мировом рынке.

Цех №7 АО «ПО «Севмаш» является одним из крупнейших цехов

предприятия.

В рассматриваемом цехе имеется большое количество сварочного и вспомогательного оборудования, которые обеспечивают бесперебойный технологический процесс.

Для питания вспомогательного оборудования используются различные виды напряжения, такие как 36В, 127В, 380В переменного тока и 60В постоянного тока.

Преобразование и распределение электроэнергии производится с помощью трансформаторных подстанций и шинопроводов в цехе №7.

Преобразование электроэнергии с помощью трансформаторов имеет свои преимущества, широко используются на данном этапе развития техники.

Система электроснабжения рассматриваемого цеха №7 организована следующим образом:

- напряжение 10 кВ распределительных пунктов ПС поступает на распределительные устройства 10 кВ. В данном цехе находятся два РУ 10 кВ;
- распределительные устройства состоят из двух секций. Секции соединены между собой автоматическим вводом резервов (АВР). Такое устройство РУ обусловлено тем, что при различных авариях на питающих электросетях была возможность бесперебойного электроснабжения цеха;
- напряжение 10 кВ передается по фидерам, которые представляют собой кабели бумажные маслопропитанные изоляции типа ЦАШВ;
- трансформаторные подстанции цеха состоят из двух абсолютно идентичных маслонеполненных трехфазных трансформаторов ТМЗ-1600. Группы соединений обмоток трансформатора, коэффициент трансформации, мощность одинаковы. Это сделано для того, чтобы оба силовых трансформатора цеха при возможном и вероятном

увеличении нагрузки могли работать параллельно на одну нагрузку (шинопровод);

- РУ трансформаторных подстанций состоит из двух секций. Каждая секция подключена к своему трансформатору. Секции типовые, типа КТ-Н. В каждой секции находится автоматический выключатель типа «Электрон Э40», а также система релейной защиты и автоматики. Секции соединены секционным автоматическим выключателем;
- секционный автоматический выключатель служит для того, чтобы секции могли работать одновременно от двух трансформаторов, и отдельно – каждая от своего;
- через автоматический выключатель от каждой секции запитан шинопровод типа ШРА, для распределения электроэнергии по цеху. К шинопроводу подключены распределительные пункты ПР11, от которых запитаны силовые щиты ЩС, подающие питание непосредственно на потребители. Мощные потребители электроэнергии (турбовоздуходувки ТВ80-1,6; мощные обрабатывающие центры КУ-80, КУ-100 подключаются непосредственно к сборным шинам подстанции через автоматические выключатели).

Упрощенная схема электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш» приведена в работе на рисунке 1.

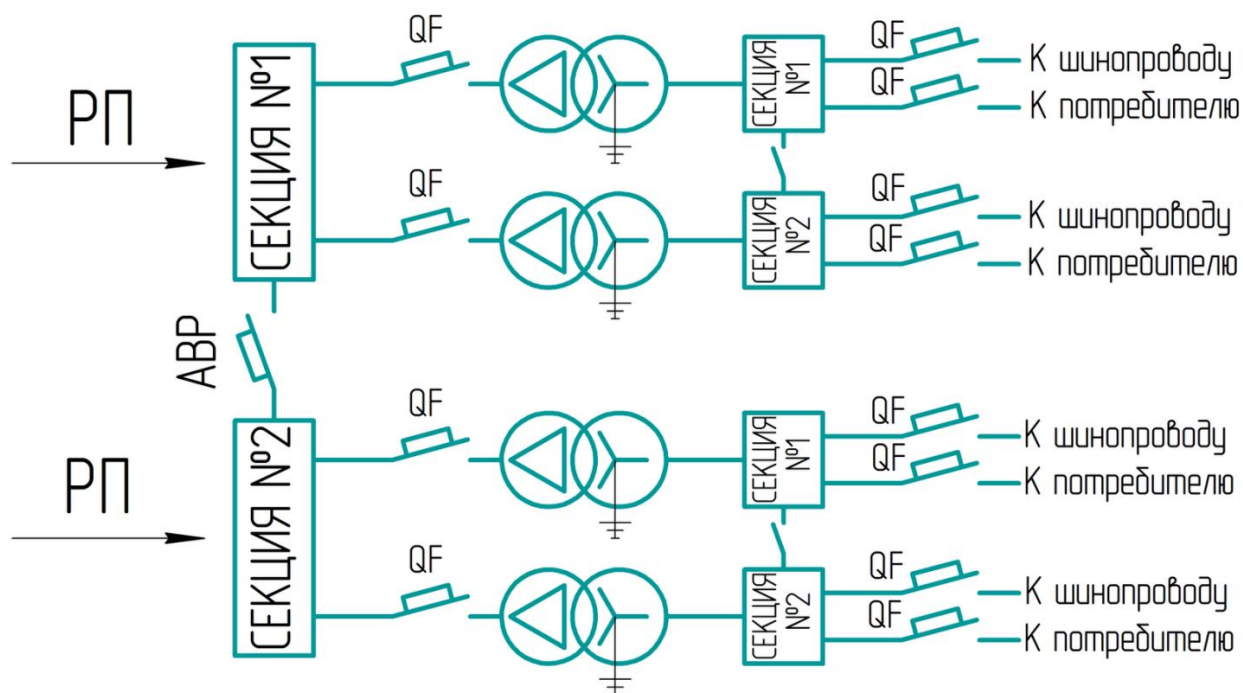


Рисунок 1 – Упрощенная схема электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш»

Для питания переносных электросветильников в цехе №7 используется напряжение 36В переменного тока, 50Гц.

Данная схема выполнена следующим образом: от распределительных пунктов ПС11 подключены закрытые сухие трансформаторы ТСЗИ-63, от трансформатора питание отходит на шинопровод 36В, от этого шинопровода запитаны пункты (клеммные колодки), к ним в свою очередь подключаются гирлянды и переноски.

Схема распределительной сети цеха №7 АО «ПО «Севмаш» приведена на рисунке 2.

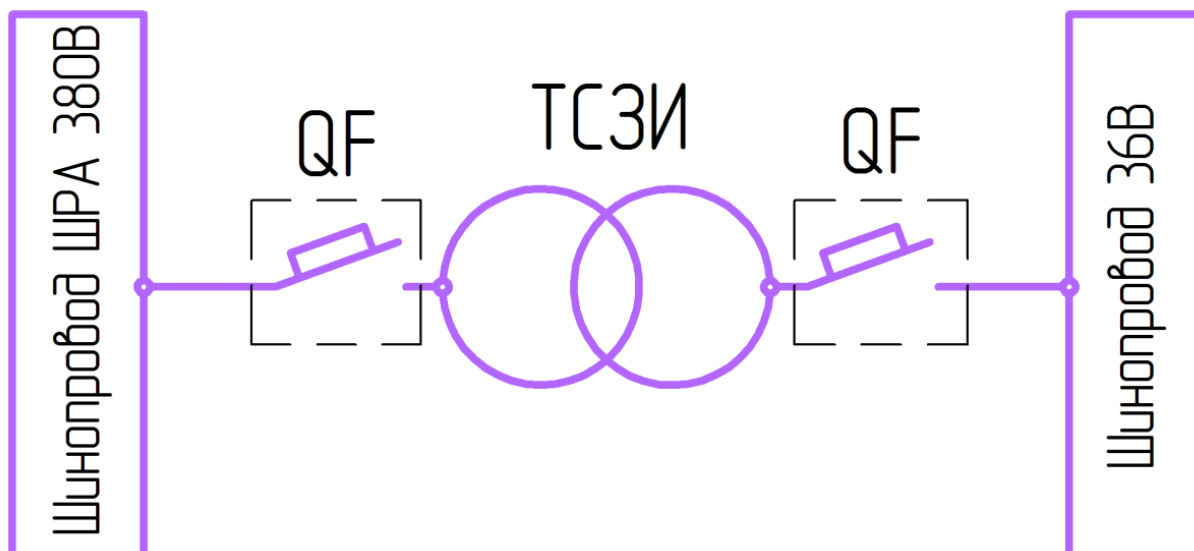


Рисунок 2 – Схема распределительной сети цеха №7 АО «ПО «Севмаш»

Для освещения стационарных лесов и встроенных этажерок используется напряжение 127В переменного тока, 50Гц.

Данная схема выполнена следующим образом: от распределительных пунктов типа ПР11 подключены закрытые сухие трансформаторы 380/127В, от трансформатора запитаны несколько щитов (2-3) ЩО127, состоящих из автоматических выключателей АЗ161 1Р, от которых запитаны линии освещения.

Упрощенная схема осветительной сети цеха №7 АО «ПО «Севмаш» приведена на рисунке 3.

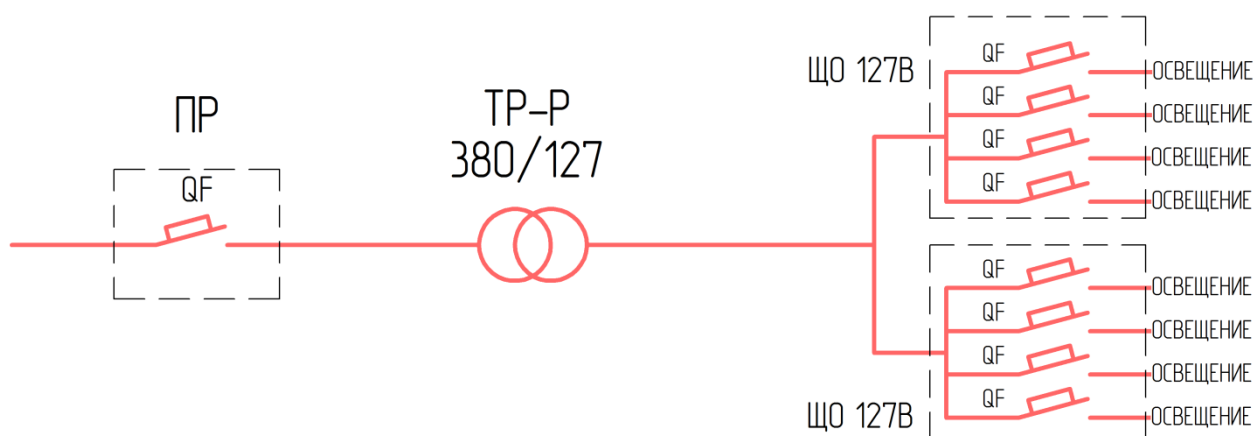


Рисунок 3 – Упрощенная схема осветительной сети цеха №7 АО «ПО «Севмаш»

Для обеспечения дуговой сварки и воздушно-дуговой строжки в цехе №7 предусмотрена современная система преобразовательных подстанций 380В AC/60В DC.

Преобразовательные подстанции состоят из нескольких источников ВДМ-1601, которые через автоматические выключатели подключены к шинопроводу, а также предусматривается их параллельная работа на один сварочный шинопровод постоянного тока, типа ШМА.

Параллельная работа обеспечивается автоматически с помощью пускателей КМ, которые управляются системой «Каскад», которая автоматически подключает или отключает необходимое количество преобразователей.

Схема системы преобразовательных подстанций 380В AC/60В DC цеха №7 АО «ПО «Севмаш» представлена на рисунке 4.

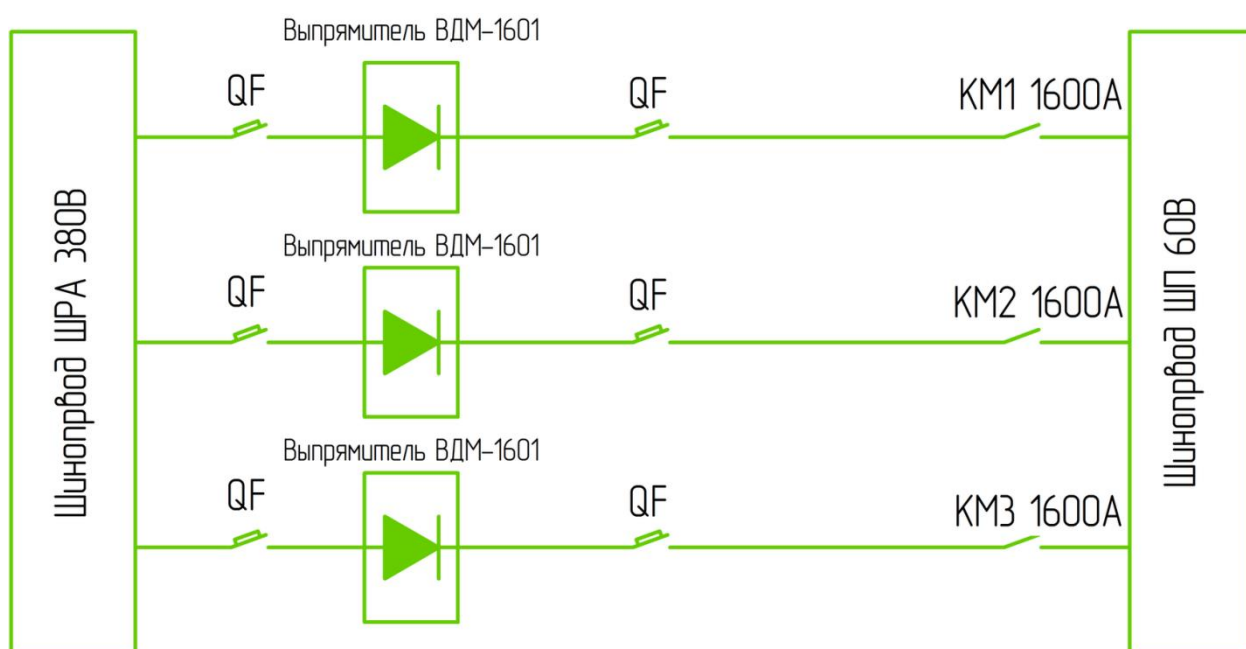


Рисунок 4 – Схема системы преобразовательных подстанций 380В AC/60В DC цеха №7 АО «ПО «Севмаш»

Маломощные потребители, отдельные сварочные источники, переносные вентустановки и т.п. подключаются непосредственно к силовым щитам ЩС, которые установлены в цехе.

Таким образом, установлено, что система электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш» - сложная и энергоёмкая, поэтому требует комплексного подхода к разработке и внедрению мероприятий по энергосбережению.

Данные мероприятия решаются в работе далее.

1.2 Анализ литературных источников по исследуемой проблеме

Далее в работе необходимо провести анализ основных целей и задач, направленных на повышение энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий.

Повышение энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий является одним из ключевых направлений развития современной экономики России, что обусловлено как глобальными вызовами в области энергетики, так и необходимостью повышения конкурентоспособности промышленного сектора.

Энергоэффективность характеризует рациональность и экономичность использования энергетических ресурсов, снижает себестоимость выпускаемой продукции и способствует снижению нагрузки на энергетическую инфраструктуру страны, что особенно актуально в условиях ограниченности топливно-энергетических ресурсов и роста цен на энергоносители [24].

Важнейшими направлениями повышения энергоэффективности систем электроснабжения являются внедрение инновационных технических решений, рациональный выбор оборудования и оптимизация режимов его эксплуатации.

Особое внимание в исследованиях многих специалистов уделяется системам компенсации реактивной мощности, позволяющим снизить реактивные потери в распределительных электрических сетях, повысить коэффициент мощности оборудования, а также существенно снизить суммарные потери электроэнергии в сетях предприятия [23].

Реализация данных мероприятий обеспечивает сокращение расходов на электроэнергию и существенно увеличивает экономическую эффективность деятельности предприятия. Улучшения всех режимов работы электрического оборудования является тоже важным фактором, влияющим на энергоэффективность промышленных предприятий.

Нельзя обойти стороной частотно-регулируемые электроприводы с системой автоматического управления, при использовании которых снижается энергопотребление, уменьшаются пусковые токи и потери энергии при эксплуатации электродвигателей и турбокомпрессоров, что особенно актуально для предприятий с высоким уровнем энергопотребления.

Применение современной аппаратуры и «средств автоматики для контроля, управления и учёта электроэнергии также обеспечивает возможность оперативного реагирования на изменение нагрузок, их перераспределения и прогнозирования потребления электроэнергии» [22].

Значительным потенциалом для повышения энергоэффективности обладают мероприятия по модернизации распределительных сетей и трансформаторного оборудования, включающие замену устаревших кабельных и воздушных линий, применение современных кабелей с пониженным сопротивлением, использование трансформаторов с низкими потерями и улучшенными энергетическими характеристиками.

Кроме того, внедрение реактивной компенсации мощности позволяет существенно сократить потери электроэнергии в распределительных сетях и обеспечить соответствие энергетическим нормативам [16].

Одним из ключевых аспектов повышения энергоэффективности является техническая модернизация и своевременная замена устаревшего оборудования, работающего на грани или за пределами своего нормативного ресурса. Применение современного оборудования, в том числе трансформаторов с низкими потерями холостого хода и режимными характеристиками, соответствующими современным стандартам,

способствует заметному снижению эксплуатационных затрат и повышению общей энергоэффективности [25].

Таким образом, реализация комплекса указанных мероприятий по повышению энергоэффективности систем электроснабжения отечественных промышленных предприятий является актуальной задачей, решение которой позволит не только снизить финансовые расходы и энергоёмкость выпускаемой продукции, но и «обеспечить устойчивое развитие предприятий, способствуя их конкурентоспособности на внутреннем и международном рынках.

Известно, что повышение энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий является важным шагом к существенному уменьшению энергопотребления, снижению негативного воздействия на окружающую среду» [23] и сокращению затрат на энергию (электрическую, тепловую и прочие виды энергии). Основные четыре цели повышения энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий представлены на рисунке 5.

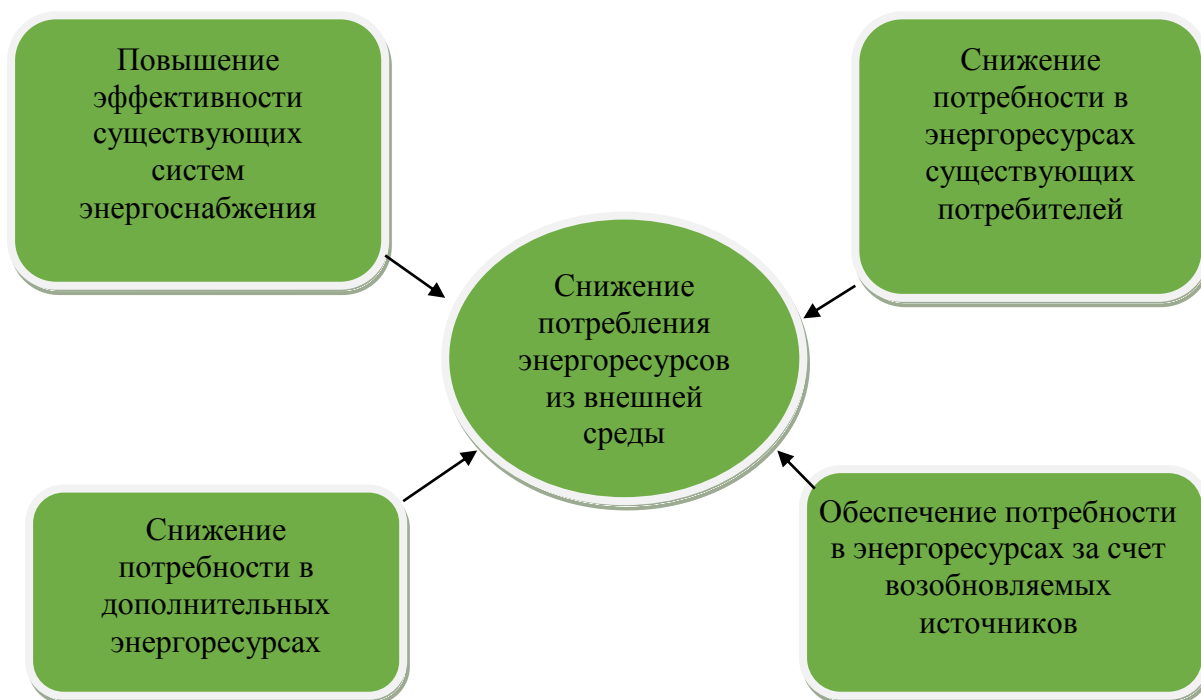


Рисунок 5 – Основные цели повышения энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий

При этом также выделены четыре основные цели повышения энергоэффективности в отечественном энергетическом комплексе.

Основные цели повышения энергоэффективности в отечественном энергетическом комплексе показаны на рисунке 6.



Рисунок 6 – Основные цели повышения энергоэффективности в отечественном энергетическом комплексе

В результате проведения аналитического обзора по данному вопросу, выделены следующие четыре основные задачи, «направленные на повышение энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий и в энергетическом комплексе. Они представлены и описаны в работе далее» [21].

«Первая основная задача заключается в улучшении энергетической эффективности оборудования в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий» [23] и в энергетическом комплексе.

Она включает в себя проведение энергетического аудита и диагностики существующего оборудования с целью выявления неисправностей, утечек энергии и возможных улучшений, а также последующую замену устаревшего и «неэффективного» оборудования на более современное и энергосберегающее.

Вторая основная задача состоит в непосредственном внедрении рациональных и эффективных мероприятий по энергосбережению.

Основные мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности в системах электроснабжения предприятий, рассматриваются в работе далее.

Третья основная задача, направленных на повышение энергоэффективности» [23] в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий и в энергетическом комплексе, состоит в оптимизации режимов работы оборудования.

Данный аспект не менее важен, чем сокращение энергопотребления, так как позволяет сбалансировать энергетические показатели всей системы электроснабжения.

К данной группе относятся: установка программ для оптимального распределения нагрузки и предотвращения избыточного потребления энергии, регулярная проверка и корректировка параметров работы систем в соответствии с актуальными потребностями предприятия, а также внедрение систем мониторинга и анализа энергопотребления на всех участках электрической сети.

Также к решению поставленной задачи следует отнести установку современных счетчиков энергии и систем мониторинга, позволяющих отслеживать и анализировать расход энергии с целью выявления потенциальных сбережений, а также проведение регулярных анализов данных и выявление мест, где целесообразно сократить энергопотребление и уменьшить потери электроэнергии.

На этом же этапе, как одна из составляющих третьей основной задачи, решается подзадача, состоящая в обучении и мотивация персонала, работающего в системах электроснабжения промышленных предприятий и энергетических объектах, на соблюдении и реализации мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности.

Данная задача решается путём внедрения организационных мероприятий и обучающих программ для сотрудников по вопросам энергосбережения и эффективного использования энергии, а также практическое внедрение системы поощрения и мотивации для сотрудников, способствующих сокращению расхода энергии.

Четвёртой (закрывающей) основной задачей является оценка полученного эффекта от внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий и в энергетическом комплексе.

Для решения данной задачи, в первую очередь, необходимо рассчитать технический и экономический эффект, полученный от внедрения предложенных мероприятий, а также проводить постоянный систематический мониторинг результатов внедренных мероприятий с целью оценки их эффективности и выявления дополнительных возможностей для улучшения энергоэффективности.

Алгоритм реализации основных задач, направленных на повышение энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий и в энергетическом комплексе, представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Алгоритм реализации основных задач, направленных на повышение энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий и в энергетическом комплексе

Таким образом, успешная реализация приведённых основных целей и задач, направленных на внедрение мероприятий по повышению энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий и в энергетическом комплексе, позволит предприятию значительно снизить затраты на энергию, сократить негативное воздействие на окружающую среду и повысить конкурентоспособность на рынке за счёт снижения своих расходов и увеличения прибыли [21].

Далее необходимо провести анализ основных мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности в системах электроснабжения предприятий.

В результате проведения аналитического обзора по данному вопросу, выделены следующие основные классы мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий. Они представлены на схеме рисунка 8.

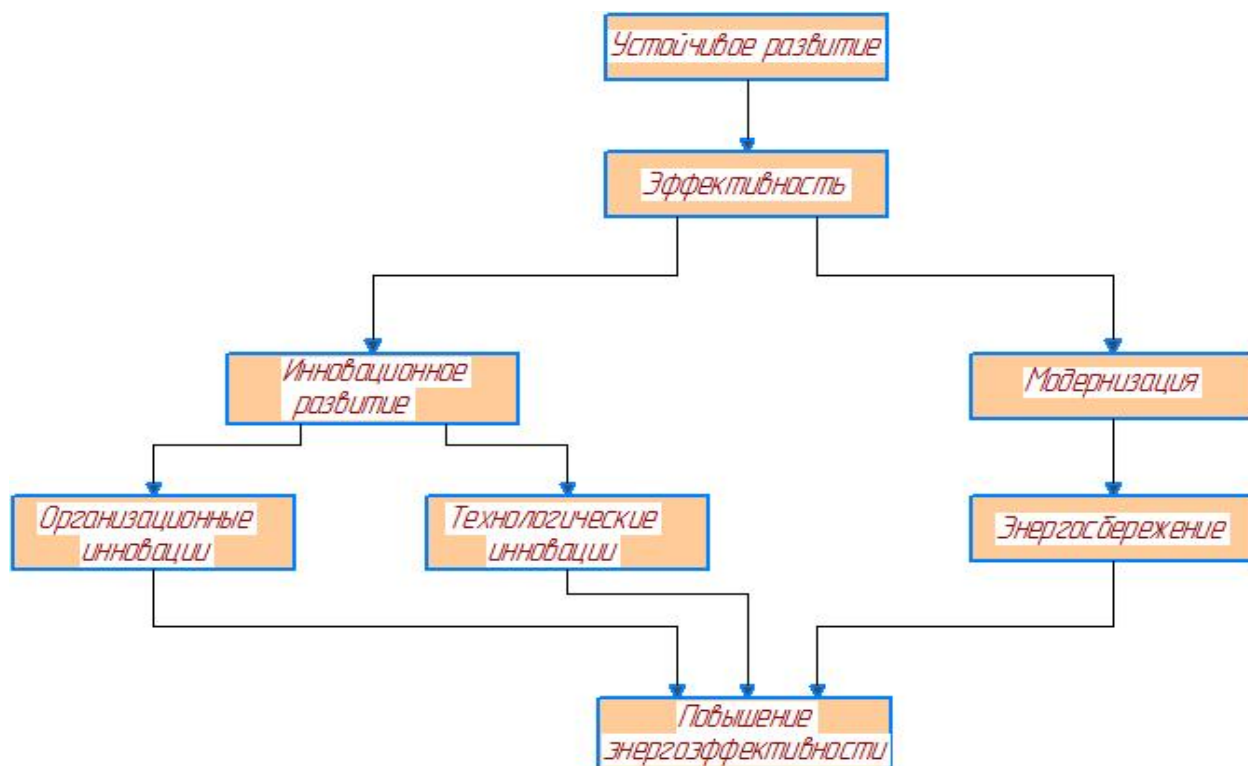


Рисунок 8 – Основные классы мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий

Таким образом, исходя из рисунка 8, можно сделать вывод, что повышение энергоэффективности достигается за счёт инновационного развития и модернизации оборудования и схем систем электроснабжения отечественных промышленных предприятий.

Инновационное развитие включает внедрение двух групп мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий – организационные и технические мероприятия.

Организационные мероприятия направлены на улучшение организации выполняемых работ.

Они включают:

- проведение энергоаудита на предприятиях;
- анализ системы управления энергопотреблением на предприятиях;
- разработка мероприятий по энергосбережению и мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности;
- контроль за выполнением мероприятий по энергосбережению и мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности;
- обучению персонала основам энергосбережения и эффективного использования энергии;
- организация монтажных, ремонтных и эксплуатационных работ, для реализации мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности;
- назначение ответственных работников за выполнение работ и соблюдение мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности;
- наказание виновных и премирование отличившихся работников за соблюдение мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности;
- реализация мониторинга контроля за соблюдением мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности, анализ их эффективности.

Технические мероприятия включают техническую реализацию способов повышения энергоэффективности.

Таким образом, основные технические мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности, включают и предусматривают следующие основные аспекты:

- модернизацию и замену устаревшего оборудования на более энергоэффективное;
- реконструкцию схем питающих и распределительных сетей предприятий;
- техническое внедрение системы мониторинга и управления энергопотреблением;
- применение альтернативных источников энергии, таких как солнечные панели или ветрогенераторы;
- замену освещения, выполненного с применением ламп накаливания, а также устаревших дугоразрядных ламп высокого и низкого давления, на светодиодные источники света;
- установку автоматизированных систем учёта и контроля электроэнергии;
- автоматизацию системы электроснабжения предприятия на всех звеньях цепи с РЗА;
- применение конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности с автоматическим управлением;
- внедрение схемных переключений, для обеспечения оптимального режима работы системы электроснабжения;
- замена недогруженного электрооборудования на оборудование с меньшей номинальной мощностью;
- экономия электроэнергии в системе освещения за счёт сдвига технологического процесса на светлое время суток;
- автоматизация систем освещения.

Приведённая информация, включающая анализ основных направлений в литературе по вопросам энергосбережения на предприятиях отечественного промышленного комплекса, используется в работе далее.

1.3 Анализ проблем в системе электроснабжения цеха и путей их решения

«Основываясь на анализе системы электроснабжения объекта исследования, проводится обоснование предложенных энергосберегающих мероприятий, с целью их практического внедрения в систему электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш». Результаты данного обоснования представлены» [23] в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Обоснование энергосберегающих мероприятий, с целью их непосредственного (практического) внедрения в систему электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш»

Критерий/ мероприятие	Мероприятие №1	Мероприятие №2	Мероприятие №3
Цель внедрения	Снижение потребления электроэнергии, приборный учет электроэнергии цеха.	Уменьшение всех параметров по потреблению электрической энергии при сохранении необходимого уровня текущего технологического процесса; уменьшение до нормы образующихся шумов.	Снижение всех параметров необходимого потребления электрической энергии для освещения, при условии, что качество освещенности сохранится или даже улучшится.
Выявленные проблемы	Отсутствуют или неисправны приборы учета электрической энергии. Имеются потребители электрической энергии, у которых нагрузка является неравномерной.	Отопительная система цеха №7 потребляет большой объем электрической энергии. Используется неэффективная технология в системе отопления цеха, хотя на рынке существуют огромный выбор из аналогов. Уровень шума превышает нормы.	Система освещения цеха потребляет необоснованно большое количество электрической энергии. Оборудование для освещения в том числе светильники и кабели имеют физический и моральный износ. Наличие большого количества ртутьсодержащих ламп.

Продолжение таблицы 1

Критерий/ мероприятие	Мероприятие №1	Мероприятие №2	Мероприятие №3
Актуальность внедрения	Низкая энергетическая эффективность потребления действующей системы электроснабжения по сравнению с техническими параметрами современных технологий.	Низкая энергетическая эффективность потребления действующей системы отопления по сравнению с техническими параметрами современных технологий.	Низкая энергетическая эффективность потребления действующей системы освещения по сравнению с техническими параметрами современных технологий в освещении.
Полученный эффект внедрения	Сокращение удельного потребления электроэнергии на 15-30%. Улучшение всех параметров электроснабжения.	Сокращение потребления электрической энергии на 20%. Сохранение уровня текущего технологического процесса. Снижение уровня шума в помещении, и доведения его до нормы.	Уменьшение потребления электроэнергии на 60%, сохранение необходимых параметров освещенности в цехе, увеличение среднего срока эксплуатации светильников до 80 000 ч, гарантийный срок устанавливаемых светодиодных светильников не менее 5 лет, сокращение отходов 1 класса опасности на 100%
Решение проблем и обоснование подхода	Проект позволяет решить проблему ухода от расчетного ручного распределения электроэнергии между цехами. Приборы, которые необходимо установить будут способны на контроль всех параметров потребления электрической энергии.	Проект позволяет решить проблему низкой энергоэффективности действующей системы отопления цеха, снижая удельные параметры потребления электроэнергии. Новые отопительные агрегаты снизят потребление электроэнергии и уровень шума.	Проект позволяет решить проблему низкой энергетической эффективности действующей системы освещения, снижая удельные параметры потребления электроэнергии, заменить отработавшие свой срок сети освещения, одновременно увеличивая срок эксплуатации оборудования

В таблице 1 цифрами обозначены следующие мероприятия:

– «мероприятие №1 – практическое внедрение АСТУЭ;

- мероприятие №2 – замена воздушно-отопительных агрегатов типа STD-300 на менее энергоёмкие;
- мероприятие №3 – модернизация системы освещения цеха №7 АО «ПО «Севмаш».

В результате проведение анализа системы электроснабжения цеха №7 было установлено, что основной проблемой» [23] энергосбережения в цехе №7 АО «ПО «Севмаш» является проблема отсутствия системы автоматизированного учёта и контроля потребления электрической энергии.

Сегодня в цехе №7 учет и контроль над потреблением электрической энергией выполняется при помощи мониторинга старых индукционных счетчиков.

Все это осуществляется путем обхода мест установок электрических счетчиков. Показания счетчиков снимаются только в определенное, согласованное время.

Все эти факторы, а также моральное устаревание индукционных счетчиков, которые уже не соответствуют современным требованиям, вносят большие погрешности и несогласованность показаний приборов учета. Не стоит забывать и о так называемом «человеческом факторе».

Все это, несомненно, влияет на «централизованный учет электрической энергии в цехе №7, тем самым вносит неразбериху.

Приведённые аспекты отображают актуальность данной работы, а также производственную необходимость и практическую ценность.

Следовательно, данная проблема требует грамотного и современного технического решения.

В работе в качестве основного мероприятия, направленного на повышение энергоэффективности, предварительно выбрано мероприятие по внедрению в цехе №7 системы по автоматизации контроля и учёта электроэнергии» [23].

Таким образом, далее данное мероприятие предлагается рассмотреть более подробно.

В работе далее детально рассматривается практическое решение проблемы по данному вопросу.

Выводы по первому разделу

В результате выполнения первого раздела магистерской диссертации «Повышение энергоэффективности цеха №7 АО «ПО «Севмаш»», проведён анализ системы электроснабжения цеха, включающий следующие задачи:

- характеристика предприятия и системы электроснабжения цеха;
- анализ литературных источников по исследуемой проблеме;
- анализ проблем в системе электроснабжения цеха.

В результате проведения аналитического обзора по данному вопросу, выделены и описаны четыре основные задачи, направленные на повышение энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий и в энергетическом комплексе.

Также выделены и описаны основные классы мероприятий, «направленных на повышение энергоэффективности в системах электроснабжения отечественных промышленных предприятий.

В результате проведение анализа системы электроснабжения цеха №7 аналитическим путём было установлено, что основной проблемой энергосбережения в цехе №7 АО ПО «Севмаш» [23] является проблема отсутствия системы автоматизированного учёта и контроля потребления электрической энергии. Показано, что данная проблема требует грамотного и современного технического решения. Далее в работе данное мероприятие предлагается рассмотреть более подробно.

Кроме того, также установлено, что другими наиболее эффективным энергосберегающим мероприятиям на объекте исследования являются замена воздушно-отопительных агрегатов и модернизация систем освещения.

Таким образом, в результате проведённого анализа осуществлено аналитическое обоснование предложенных энергосберегающих мероприятий, с целью их практического внедрения в систему электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш».

2 Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности цеха №7 АО ПО «Севмаш»

2.1 Предварительная оценка внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности на объекте исследования

«В результате проведение анализа системы электроснабжения объекта исследования было установлено, что основной проблемой» [7] энергосбережения в цехе №7 АО «ПО «Севмаш» является проблема отсутствия автоматизированной системы учёта и контроля электроэнергии.

Показано, что «на данный момент эта функция выполняется устаревшими системами учёта и контроля на базе индукционных счётчиков, что не соответствует современным требованиям и нормам» [23]. Данная проблема требует решения, так как приводит к значительным инструментальным потерям электроэнергии в цехе вследствие её недоучёта и погрешностей системы измерения.

Таким образом, в работе в качестве основного мероприятия, направленного на повышение энергоэффективности на объекте исследования, было выбрано мероприятие по внедрению на объекте проектирования автоматизации контроля и учёта электроэнергии.

Далее данное мероприятие предлагается рассмотреть подробно.

В данной работе далее детально рассматривается практическое решение проблемы по данному вопросу.

Кроме того, также было установлено, что другими наиболее эффективным энергосберегающим мероприятиям на «объекте исследования являются следующие мероприятия:

- замена воздушно-отопительных агрегатов типа СТД-300 на менее энергоемкие агрегаты;
- модернизация систем освещения цеха №7 АО «ПО «Севмаш».

Таким образом, определено, что в системе электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш» необходимо решить три задачи с целью решения следующих основных проблем:

- «основная задача – практическое внедрение в систему электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш» автоматизированной системы учёта электроэнергии;
- дополнительные задачи – замена воздушно-отопительных агрегатов типа СТД-300 на менее энергоемкие, а также модернизация систем освещения цеха №7 АО «ПО «Севмаш»» [23].

«Далее в работе проводится предварительная оценка внедрения мероприятий по повышению эффективности цеха №7 АО ПО «Севмаш».

Указанные мероприятия были предварительно оценены с точки зрения их воздействия на потребление электроэнергии и экономической эффективности.

Автоматизированная система учёта электроэнергии (АСКУЭ) позволяет точно отслеживать потребление электроэнергии, выявлять неэффективные режимы работы оборудования и оптимизировать энергопотребление.

Результаты предварительной оценки внедрения АСКУЭ в систему электроснабжения цеха №7 АО ПО «Севмаш» [4] представлены в форме таблицы 2 и на рисунке 9.

Таблица 2 – Предварительная оценка внедрения АСКУЭ в систему электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш»

Период	Потребление электроэнергии, кВт·ч	Снижение потребления, %
До внедрения АСКУЭ	500,000	-
После внедрения АСКУЭ	450,000	10

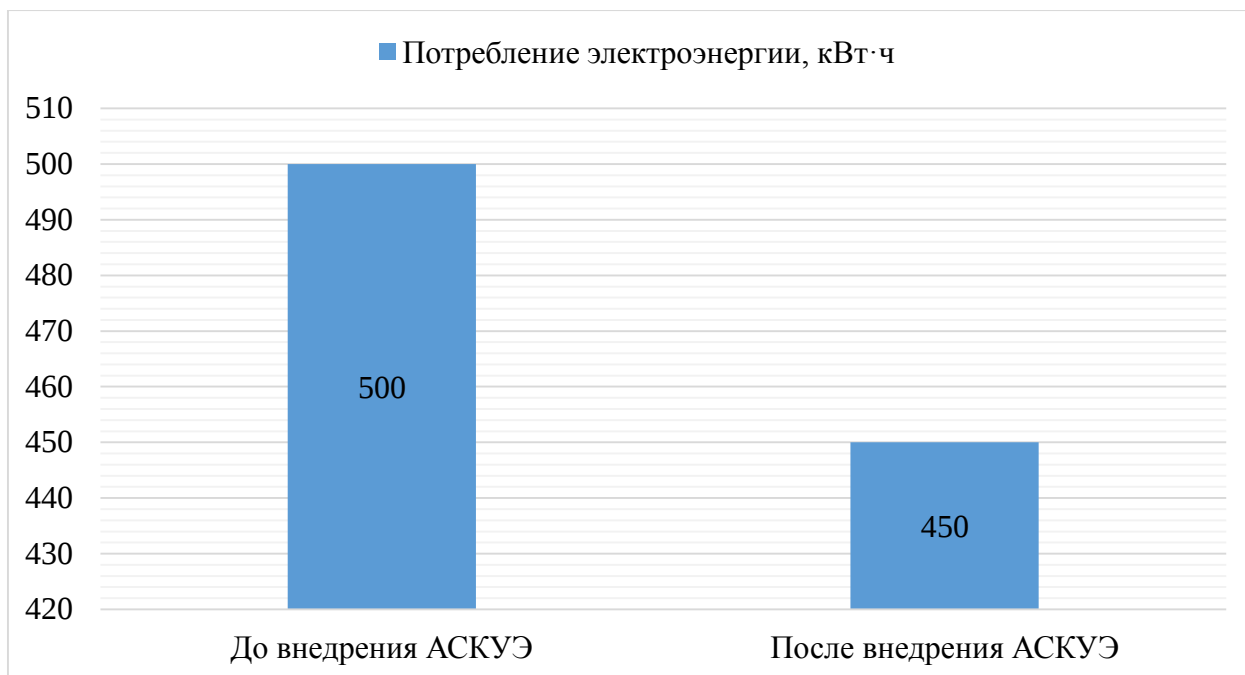


Рисунок 9 – Результаты предварительной оценки внедрения АСКУЭ в систему электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш»

«Результаты предварительной оценки показывают, что внедрение АСКУЭ ориентировочно позволило снизить потребление электроэнергии на 10%, что свидетельствует о повышении энергоэффективности в цехе.

Старые воздушно-отопительные агрегаты типа СТД-300 были заменены на новые, более энергоэффективные модели.

В таблице 3 и на рисунке 10 представлены результаты предварительной оценки внедрения новых воздушно-отопительных агрегатов в систему электроснабжения цеха №7 АО ПО «Севмаш» [5].

Таблица 3 – Результаты предварительной оценки внедрения новых воздушно-отопительных агрегатов в систему электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш»

Период	Потребление электроэнергии, кВт·ч	Снижение потребления, %
До замены агрегатов	200,000	-
После замены агрегатов	140,000	30

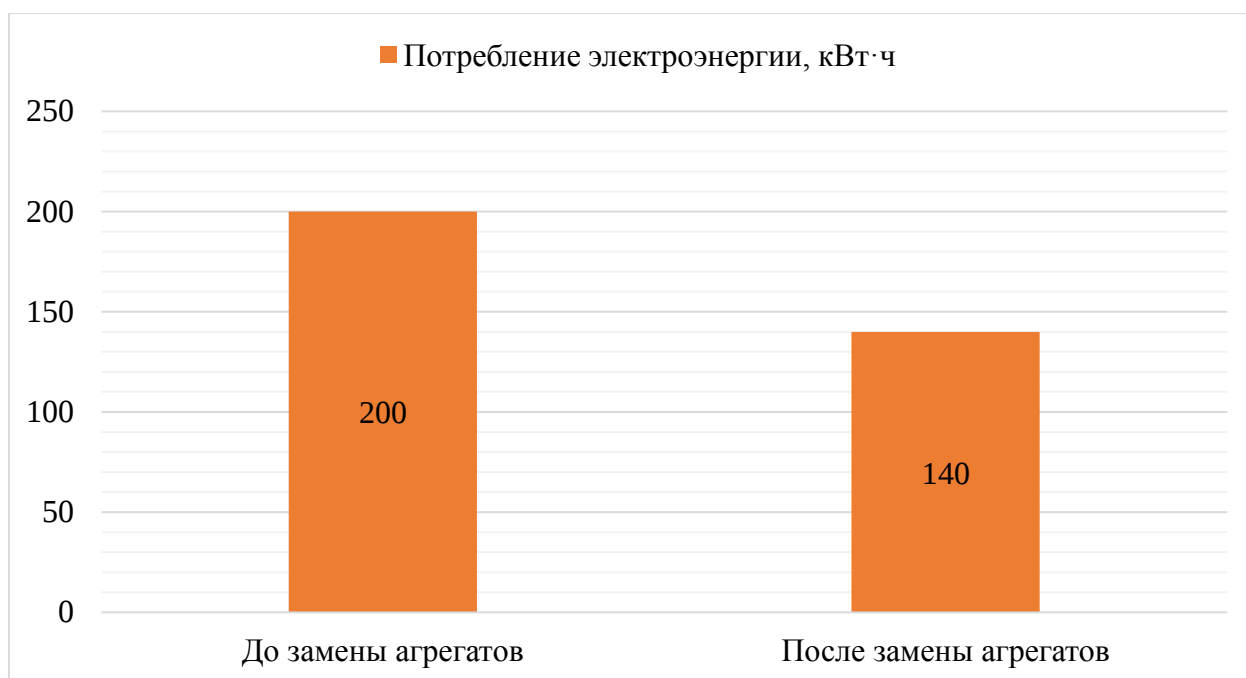


Рисунок 10 – Результаты предварительной оценки внедрения новых воздушно-отопительных агрегатов в систему электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш»

«Результаты предварительной оценки внедрения воздушно-отопительных агрегатов в систему электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш» показывают, что замена агрегатов позволит снизить потребление энергии примерно на 30%, что значительно повышает энергоэффективность системы отопления цеха.

Системы освещения цеха также были модернизированы с использованием светодиодных ламп и автоматизированных систем управления освещением.

Результаты предварительной оценки модернизации системы освещения цеха №7 АО ПО «Севмаш» [4] представлены в таблице 4 и на рисунке 11.

Таблица 4 – Предварительная оценка модернизации системы освещения цеха №7 АО «ПО «Севмаш»

Период	Потребление электроэнергии, кВт·ч	Снижение потребления, %
До модернизации освещения	150,000	-
После модернизации освещения	90,000	40



Рисунок 11 – Результаты предварительной оценки модернизации системы освещения цеха №7 АО «ПО «Севмаш»

Таким образом, в результате проведенного анализа осуществлено обоснование предложенных энергосберегающих мероприятий, с целью их практического внедрения в систему электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш».

«При дальнейших проведениях исследований по теме диссертационной работы данные мероприятия предлагается включить в комплекс мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности на объекте исследования.

При этом основной акцент предлагается сместить на основное мероприятие, которое заключается во внедрении АСКУЭ в систему электроснабжения цеха №7 АО ПО «Севмаш»» [7].

2.2 Разработка комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности на объекте исследования

«Разработка комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш» включает технические и организационные решения, направленные на оптимизацию потребления электроэнергии» [2], снижение эксплуатационных расходов и улучшение производственных условий.

Ранее в работе было установлено, что основным техническим мероприятием является внедрение современной автоматизированной системы учёта электроэнергии в системе электроснабжения цеха № 7.

«Применение такой системы позволяет осуществлять непрерывный мониторинг потребления электроэнергии, анализировать нагрузочные профили и выявлять неэффективные участки. Детальный учёт и контроль энергопотребления создают основу для принятия обоснованных решений по оптимизации режимов работы оборудования» [8] и снижению энергозатрат.

Кроме того, данная система обеспечивает оперативное обнаружение отклонений и аварийных ситуаций, что повышает надёжность электроснабжения и снижает риски простоев производства.

Также было показано, что дополнительным техническим мероприятием является замена существующих воздушно-отопительных агрегатов типа СТД-300 на более энергоэффективные модели.

Современные отопительные устройства характеризуются повышенным коэффициентом полезного действия, использованием инновационных технологий теплообмена и возможностью автоматического регулирования температурных режимов.

Такая модернизация позволяет существенно снизить потребление электроэнергии на отопление, улучшить микроклимат в рабочей зоне и повысить комфортные условия для персонала, что позитивно сказывается на производительности труда.

Кроме того, было установлено, что вторым дополнительным мероприятием в решении данного вопроса является модернизация системы освещения цеха № 7, которая предусматривает замену устаревших светильников на современные светодиодные источники света.

Известно, что современное светодиодное освещение отличается низким энергопотреблением, длительным сроком службы и высокой светоотдачей.

Применение интеллектуальных систем управления освещением, включая датчики движения и автоматическое регулирование яркости в зависимости от естественного освещения, позволяет дополнительно сократить энергозатраты.

Улучшение качества освещения способствует повышению безопасности труда и уменьшению утомляемости работников.

Кроме того, на объекте исследования необходимо внедрить организационные мероприятия, которые будут способствовать достижению требуемого результата.

Для достижения поставленной цели, в рамках организационных мероприятий, предлагается следующее:

- внедрить систему энергоменеджмента, основанную на международных стандартах;
- инициировать создание специализированной группы по энергосбережению, ответственной за координацию и контроль выполнения мероприятий по повышению энергоэффективности, и обеспечения системного подхода к управлению энергоресурсами;
- провести разработку и реализацию программ обучения и повышения квалификации персонала в области энергоэффективных технологий и рационального использования электроэнергии;
- внедрить мотивационные программы для сотрудников, направленные на стимулирование рационального использования электроэнергии;

- инициировать проведение внутренних конкурсов, поощрение инициатив по экономии энергии и публичное признание достижений работников в области энергосбережения, тем самым повысить заинтересованность персонала в активном участии в энергосберегающих мероприятиях;
- инициировать проведение регулярного энергоаудита, что позволяет оценивать эффективность принятых мероприятий, выявлять новые возможности для снижения энергопотребления и корректировать стратегию энергосбережения. Анализ результатов энергоаудита обеспечивает объективную информацию для принятия управленческих решений и формирования планов дальнейших действий.

Таким образом, сочетание технических и организационных мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш» создаёт комплексный подход к управлению энергоресурсами.

Предложенный «комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения цеха № 7 АО ПО «Севмаш»» [2] представлен на рисунке 12.



Рисунок 12 – Предложенный комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш»

«Реализация предложенного комплекса мероприятий обеспечивает снижение потерь электроэнергии, оплаты за потреблённую электроэнергию» [5], а также эксплуатационных расходов, повышение конкурентоспособности предприятия и способствует достижению целей устойчивого развития и экологической ответственности.

Таким образом, предложенный комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш» окончательно принимается за основу как эффективный способ повышения технических и экономических показателей на объекте исследования.

2.3 Выбор рациональной автоматизированной системы контроля и управления электроэнергией на объекте исследования

«Выбор рациональной автоматизированной системы контроля и управления электроэнергией (АСКУЭ) в цехе № 7 АО ПО «Севмаш»» [10] является основной задачей в целях обеспечения повышения общей производительности и эффективного использования энергоресурсов.

При этом основное внимание уделяется техническим характеристикам, функциональным возможностям, надежности, совместимости с существующей инфраструктурой и экономической эффективности.

Известно, что АСКУЭ включает в себя следующие уровни, которые необходимо учесть при выборе рациональной системы для применения на объекте исследования [11]:

- «первый уровень – уровень измерительных приборов, включающий интеллектуальные счетчики электроэнергии с возможностью дистанционной передачи данных;
- второй уровень – уровень сбора и передачи данных, представляющий собой совокупность устройств концентраторов и коммуникационных модулей для объединения полученных данных от счетчиков;
- третий уровень – уровень обработки и хранения данных, состоящий из серверов и баз данных для хранения и предварительной обработки информации;
- четвёртый уровень – уровень отображения и управления, включающий программное обеспечение для анализа данных, формирования отчетов и управления энергопотреблением» [11].

Проводится сравнительный анализ систем АСКУЭ с целью выбора рационального варианта для применения на объекте исследования.

С учетом специфики предприятия судостроительной отрасли необходимо провести сравнительный анализ основных типов, марок и структур АСКУЭ, доступных на российском рынке и аккредитованных в Российской Федерации.

В качестве вариантов выбора, для решения поставленной задачи, рассматриваются АСКУЭ следующих отечественных производителей [9]:

- «Энергомера» (полнофункциональная АСКУЭ с поддержкой многотарифного учета и интеграцией в ERP-системы);
- «ТЕКОН-Энерго» (модульная АСКУЭ с возможностью адаптации под специфические требования);
- «Ракурс» (интеллектуальная система учета и управления энергоресурсами с расширенными аналитическими возможностями);
- «КРУГ» (комплексная АСКУЭ с упором на безопасность и надежность).

Применяются следующие критерии выбора:

- критерий 1 – широкие возможности по интеграции на объекте исследования;
- критерий 2 – высокая надёжность;
- критерий 3 – высокая точность измерений;
- критерий 4 – наличие доступного программного обеспечения, поддержка облачных технологий;
- критерий 5 – удобство эксплуатации;
- критерий 6 – масштабируемость;
- критерий 7 – доступная стоимость;
- критерий 8 – высокий уровень автоматизации;
- критерий 9 – продвинутые функции аналитики и прогнозирования;
- критерий 10 – поддержка на всей территории РФ.

По всем данным критериям выставляется балл от 1 до 10. Система, набравшая наибольшее число баллов, может быть рекомендована для применения на объекте исследования.

Результаты сравнительного выбора АСКУЭ для применения в цехе № 7 АО «ПО «Севмаш» представлены в форме таблицы 5.

Таблица 5 – Результаты сравнительного выбора АСКУЭ для применения в цехе № 7 АО «ПО «Севмаш»

АСКУЭ	Критерии выбора										Суммарный балл
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
«Энергомера»	10	9	9	10	10	9	10	9	9	10	95
«ТЕКОН-Энерго»	8	9	8	9	8	8	7	9	9	10	85
«Ракурс»	7	9	10	8	9	10	7	10	10	10	90
«КРУГ»	9	10	8	7	7	8	7	10	10	10	86

Таким образом, с учетом специфики цеха № 7 АО «ПО «Севмаш», где необходима высокая надежность, точность учета и возможность интеграции с существующими системами управления, наиболее подходящим вариантом является система АСКУЭ от компании «Энергомера».

Данное решение обеспечивает баланс между техническими возможностями и экономической эффективностью [26].

Данный выбор обоснован следующими ключевыми характеристиками АСКУЭ «Энергомера» (полнофункциональная АСКУЭ с поддержкой многотарифного учета и интеграцией в ERP-системы) [30]:

- надежность и точность: счетчики СЕ304 и устройства сбора и передачи информации УСПД СЕ805 от «Энергомера» обладают высокой точностью класса 0,5 S и надежностью, подтвержденной многолетней эксплуатацией на промышленных предприятиях;
- интеграция: возможность интеграции в существующие ERP и SCADA системы предприятия без значительных доработок, благодаря поддержке стандартных протоколов;

- масштабируемость: система легко расширяется при увеличении потребностей предприятия, что важно для перспективного развития;
- техническая поддержка: наличие разветвленной сети сервисных центров и оперативная техническая поддержка обеспечивают минимальные простои в случае возникновения проблем;
- экономическая эффективность: оптимальное соотношение цены и качества, а также возможность снижения расходов за счет оптимизации энергопотребления;
- высокая точность измерений, широкие возможности по интеграции, наличие собственного программного обеспечения «Энергомера СОФТ»;
- поддержка стандартных протоколов связи (Modbus, DLMS/COSEM);
- надежность, масштабируемость, техническая поддержка на всей территории Российской Федерации.

«Структурная схема выбранной АСКУЭ для применения в системе электроснабжения цеха № 7 АО ПО «Севмаш»» [8], представлена на рисунке 13.

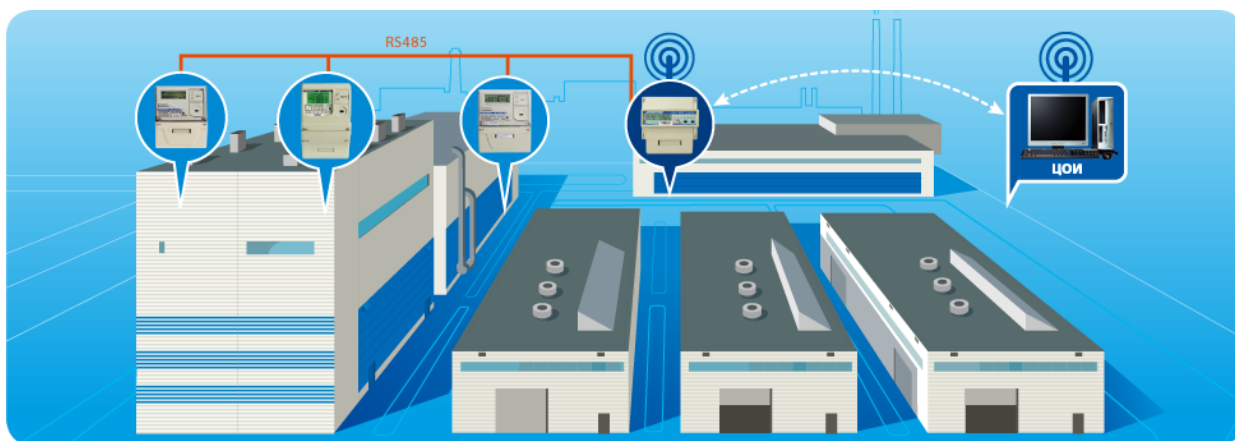


Рисунок 13 – Структурная схема выбранной АСКУЭ для применения в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш»

«Внедрение автоматизированной системы коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ) «Энергомера» в систему электроснабжения цеха

№ 7» [8] АО «ПО «Севмаш» предоставляет значительные преимущества в области эффективности энергопотребления, надёжности и управления ресурсами.

Система «Энергомера» обеспечивает точный учёт и мониторинг электроэнергии, что является критически важным для производственных процессов высокого технологического уровня, характерных для судостроительной отрасли [26].

Одним из ключевых преимуществ данной АСКУЭ является возможность оперативного сбора и «анализа данных о потреблении электроэнергии в реальном времени, что позволяет выявлять неэффективные участки энергопотребления, оптимизировать режимы работы оборудования и принимать обоснованные решения по энергосбережению.

Повышение энергетической эффективности приводит к снижению эксплуатационных расходов» [6] и повышает общую экономическую эффективность предприятия [13].

Использование трёхфазных микропроцессорных многофункциональных универсальных счётчиков электроэнергии марки CE304 S32 обеспечивает высокую точность измерений и надёжность данных. Данные приборы соответствуют классу точности 0,5 S для активной энергии и 1,0 для реактивной энергии, что «гарантирует минимальные погрешности при учёте электроэнергии.

Микропроцессорная технология позволяет счётчикам выполнять сложные вычисления, хранить большой объём данных и поддерживать многотарифный учёт, что важно для управления энергопотреблением в зависимости от времени суток» [10] и тарифных зон.

Счётчики CE304 S32 обладают расширенными возможностями коммуникации, поддерживая стандартные протоколы связи, такие как Modbus и DLMS/COSEM.

Данный аспект обеспечивает лёгкую интеграцию с устройством сбора и передачи данных и позволяет строить гибкую и масштабируемую систему учёта.

Наличие встроенных средств самодиагностики и защиты от несанкционированного доступа повышает надёжность системы и обеспечивает сохранность данных [27].

«Счетчик электроэнергии трехфазный микропроцессорный многофункциональный универсальный марки СЕ304 S32» [1], входящий в комплектацию выбранной АСКУЭ для применения в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш», представлен на рисунке 14.



Рисунок 14 –Счетчик электроэнергии трехфазный микропроцессорный многофункциональный универсальный марки СЕ304 S32, входящий в комплектацию выбранной АСКУЭ для применения в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш»

Устройство сбора и передачи данных УСПД CE805 играет важную роль в централизованном сборе информации от счётчиков и передаче её на сервер предприятия. УСПД CE805 поддерживает различные каналы связи, включая Ethernet, GSM/GPRS и PLC, что обеспечивает гибкость в организации коммуникационной инфраструктуры и возможность работы в различных условиях.

Высокая производительность устройства позволяет обрабатывать большой объём данных и обеспечивает надёжность и скорость передачи, что особенно важно для оперативного мониторинга и управления энергопотреблением [28].

Дополнительным преимуществом УСПД CE805 является поддержка стандартных протоколов связи и возможность интеграции с различными системами автоматизации и управления предприятием.

Наличие указанной функции позволяет объединить АСКУЭ с существующими информационными системами, такими как ERP и SCADA, обеспечивая единое информационное пространство и повышая эффективность управления ресурсами [29].

Кроме того, наличие механизмов защиты информации и шифрования данных обеспечивает безопасность и конфиденциальность передаваемой информации.

«Устройство сбора и передачи данных (УСПД) марки УСПД CE805» [1], входящее в комплектацию выбранной АСКУЭ для применения в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш», представлено на рисунке 15.



Рисунок 15 –УСПД CE805, входящее в комплектацию выбранной АСКУЭ для применения в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш»

Таким образом, применение АСКУЭ «Энергомера» с использованием счётчиков CE304 S32 и УСПД CE805 позволяет предприятию АО «ПО «Севмаш» достичь высокого уровня контроля над энергопотреблением в цехе № 7.

Выбранная современная система обеспечивает точность и надёжность учёта, гибкость в настройке и расширении функциональности, а также способствует снижению эксплуатационных затрат за счёт оптимизации использования электроэнергии, что значительно снижает инструментальные потери электроэнергии, повышает точность её измерения, вследствие чего

снижает расход на её оплату и повышает конкурентоспособность предприятия, способствуя устойчивому развитию производства [14].

Таким образом, выбор данной системы учёта и контроля электроэнергии «Энергомера» с использованием современных универсальных трехфазных микропроцессорных многофункциональных счетчиков электроэнергии марки СЕ304 S32, а также устройства сбора и передачи данных марки УСПД СЕ805, которая входит в комплект поставки выбранной АСКУЭ, для применения в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш», является полностью обоснованным [15].

Выводы по второму разделу.

«В результате выполнения второго раздела магистерской диссертации решены следующие основные задачи:

- предварительная оценка внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности на объекте исследования;
- разработка комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности» [3] на объекте исследования;
- выбор рациональной автоматизированной системы контроля и управления электроэнергией на объекте исследования.

В работе в качестве основного мероприятия, направленного на повышение энергоэффективности, предварительно выбрано мероприятие по внедрению на объекте проектирования автоматизации контроля и учёта электроэнергии. Таким образом, далее данное мероприятие рассмотрено более подробно.

Результаты предварительной оценки показали следующие результаты:

- «определено, что внедрение АСКУЭ ориентировочно позволило снизить потребление электроэнергии на 10%, что свидетельствует о повышении энергоэффективности в цехе;
- установлено, что замена воздушно-отопительных агрегатов позволит снизить потребление энергии примерно на 30%, что значительно повышает энергоэффективность системы отопления цеха;

- показано, что модернизация системы освещения способна привести к снижению потребления электроэнергии примерно на 40%, что свидетельствует о значительном повышении энергоэффективности» [15].

«Таким образом, в результате проведения предварительной оценки проведенных мероприятий по повышению энергоэффективности в цехе №7 АО ПО «Севмаш», установлено, что они продемонстрировали высокую эффективность.

Внедрение автоматизированной системы учёта электроэнергии, замена воздушно-отопительных агрегатов и модернизация систем освещения позволили существенно снизить потребление электроэнергии и повысить экономическую эффективность производства» [23].

«Разработан и предложен к применению на объекте исследования, рациональный комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш», включающий в себя:

- комплекс организационных мероприятий, предусматривающий: внедрение системы энергоменеджмента, создание специализированной группы по энергосбережению» [12], программы обучения и повышения квалификации персонала, мотивационные программы для сотрудников, внутренние конкурсы, поощрение инициатив по экономии энергии и публичное признание достижений, проведение регулярного энергоаудита с детальным анализом и последующей корректировкой полученных результатов;
- комплекс технических мероприятий, «предусматривающий: основное мероприятие: внедрение современной автоматизированной системы учёта электроэнергии, а также дополнительные мероприятия: замена существующих воздушно-отопительных агрегатов типа СТД-300 на более энергоэффективные модели и

модернизация системы освещения цеха № 7 (замена устаревших систем освещения на светодиодное).

Реализация предложенного комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш» обеспечивает снижение потерь электроэнергии» [4], оплаты за потреблённую электроэнергию, а также эксплуатационных расходов, повышение конкурентоспособности предприятия и способствует достижению целей устойчивого развития и экологической ответственности.

В качестве вариантов выбора, для решения поставленной задачи, рассмотрены АСКУЭ следующих отечественных производителей:

- «Энергомера» (полнофункциональная АСКУЭ с поддержкой многотарифного учета и интеграцией в ERP-системы);
- «ТЕКОН-Энерго» (модульная АСКУЭ с возможностью адаптации под специфические требования);
- «Ракурс» (интеллектуальная система учета и управления энергоресурсами с расширенными аналитическими возможностями);
- «КРУГ» (комплексная АСКУЭ с упором на безопасность и надежность).

Применены следующие критерии выбора:

- критерий 1 – широкие возможности по интеграции на объекте исследования;
- критерий 2 – высокая надёжность;
- критерий 3 – высокая точность измерений;
- критерий 4 – наличие доступного программного обеспечения, поддержка облачных технологий;
- критерий 5 – удобство эксплуатации;
- критерий 6 – масштабируемость;
- критерий 7 – доступная стоимость;
- критерий 8 – высокий уровень автоматизации;

- критерий 9 – продвинутые функции аналитики и прогнозирования;
- критерий 10 – поддержка на всей территории РФ.

В результате проведенного сравнительного анализа установлено, что система АСКУЭ от «Энергомера» на базе счетчиков СЕ304 с применением устройства сбора и передачи информации УСПД СЕ805, является наиболее рациональным выбором для цеха № 7 предприятия АО «ПО «Севмаш».

Данное принятое рациональное техническое решение на объекте исследования обеспечивает необходимые технические характеристики, соответствует требованиям надежности и безопасности, обуславливает точность и надёжность учёта электроэнергии, гибкость в настройке и расширении функциональности, а также способствует снижению эксплуатационных затрат за счёт оптимизации использования электроэнергии, что значительно снижает инструментальные потери электроэнергии, повышает точность её измерения, вследствие чего снижает расход на её оплату и повышает конкурентоспособность предприятия, способствуя устойчивому развитию производства.

Полученные результаты исследования предлагается принять во внимание, а также продолжить данные исследования в магистерской диссертации, обосновав в следующем разделе работы технические и экономические показатели предложенного комплекса мероприятий.

3. Техничко-экономическое обоснование внедрения мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности цеха № 7 АО «ПО «Севмаш»

3.1 Оценка капитальных вложений и суммарных годовых эксплуатационных затрат на внедрение АСКУЭ на объекте исследования

В работе, с учетом специфики цеха № 7 АО «ПО «Севмаш», где необходима высокая надежность, точность учета и возможность интеграции с существующими системами управления, была предложена и обоснована целесообразность применения системы АСКУЭ от компании «Энергомера».

Установлено, что данное решение обеспечивает баланс между техническими возможностями и экономической эффективностью.

В результате проведенного глубокого сравнительного анализа разработок, применяющихся в данном направлении установлено, что система АСКУЭ от «Энергомера» на базе счетчиков СЕ304 с применением устройства сбора и передачи информации УСПД СЕ805, является наиболее рациональным выбором для цеха № 7 АО «ПО «Севмаш».

Проводится оценка капитальных затрат внедрения АСКУЭ на данном объекте.

На первом этапе проводится выбор и обоснование составляющих, «входящих в капиталовложения на внедрение системы АСКУЭ в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш».

Для оснащения электрических сетей цеха №7 АО ПО «Севмаш» выбраны цифровые многофункциональные счётчики электроэнергии марки СЕ304, предназначенные для измерения и учёта активной и реактивной электроэнергии, мониторинга качества электрической энергии, контроля нагрузки и регистрации параметров сети в режиме реального времени» [23].

Данные счётчики обладают высокой точностью, надёжностью и функциональностью, обеспечивая многотарифный учёт электроэнергии и интеграцию с внешними информационными системами управления предприятием.

Ключевым элементом системы сбора и передачи данных является устройство SE805, выполняющее функции приёма, «обработки, хранения и передачи данных со счётчиков электроэнергии на центральный сервер предприятия.

Такое устройство отличается высокой степенью автоматизации, надёжностью передачи информации и простотой эксплуатации, обеспечивая оперативность сбора и анализа измерительных данных.

Измерительные трансформаторы тока марки ТЛМ-10 и трансформаторы напряжения» [23] НАМИ-10 устанавливаются для нормализации и безопасной передачи измеряемых сигналов от линий высокого напряжения к счётчикам.

Трансформаторы тока типа ТЛМ-10 отличаются высокой точностью преобразования, долговечностью и стабильностью характеристик в широком диапазоне рабочих токов, обеспечивая достоверность и точность показаний в условиях эксплуатации сетей напряжением 10 кВ.

Трансформаторы напряжения НАМИ-10 предназначены для преобразования первичного напряжения высокого уровня в стандартизированное вторичное напряжение, необходимое для корректной работы счётчиков электроэнергии, а также обеспечивают безопасную изоляцию приборов учёта от первичных высоковольтных цепей.

С целью обеспечения связи измерительных приборов и оборудования автоматизированной системы учёта предусмотрено использование рабочих станций и серверного оборудования, на котором осуществляется хранение, обработка и анализ собранной информации, а также интеграция с существующими информационными системами управления энергопотреблением предприятия.

В качестве дополнительного оборудования, обеспечивающего надёжность и функциональность системы, применяются устройства защиты, адаптации и преобразования сигналов, необходимые для эффективной работы системы учёта и её элементов.

К таким элементам относятся кабельные удлинители и специализированная аппаратура для подключения счётчиков и датчиков, а также адаптеры интерфейсов связи, которые обеспечивают корректную интеграцию оборудования с общезаводскими системами управления.

На завершающем этапе проектирования и внедрения системы осуществляется комплекс наладочных мероприятий, направленных на настройку счётчиков электроэнергии, устройств сбора и передачи данных, трансформаторов тока и напряжения, что позволяет обеспечить требуемую точность и надёжность работы системы.

При этом производится тестирование работоспособности всех компонентов, калибровка и проверка соответствия техническим характеристикам и проектным требованиям.

Проектирование и внедрение описанной системы является комплексным решением, включающим не только техническую составляющую, но и организационные мероприятия, связанные с подбором персонала, транспортировкой оборудования, разработкой и согласованием технической документации, выполнением монтажных и пусконаладочных работ.

Реализация указанных мероприятий обеспечит эффективный контроль и управление расходами электроэнергии, повысит энергоэффективность предприятия и снизит эксплуатационные расходы, что позволит повысить конкурентоспособность и устойчивость производственной деятельности АО «ПО «Севмаш».

«Результаты расчёта вложений инвестиций на внедрение АСКУЭ в систему электроснабжения цеха № 7 АО ПО «Севмаш»» [23], представлены в форме таблицы 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта вложений инвестиций на внедрение АСКУЭ в систему электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш»

Тип оборудования	Стоимость, руб.
Счётчики электроэнергии СЕ304 S32 (2 шт.)	23400
Устройство сбора и передачи данных УСПД СЕ805 (1 шт.)	34600
Трансформатор тока ТЛМ-10 (4 шт.)	80000
Трансформатор напряжения НАМИ-10 (2 шт.)	93200
Рабочая станция	100000
Сервер	126150
Удлинитель интерфейса	10000
Адаптеры интерфейса	10000
Устройство сбора и передачи данных	116560
Расходные материалы	20500
Разработка и согласование проекта	123850
Программное обеспечение	150000
Монтажные работы	37019
Транспортные расходы	73850
Наладка и ввод в эксплуатацию	120000
Итого капитальных вложений	1119129

«Расчётное значение годовых эксплуатационных затрат на внедрение АСКУЭ на объекте исследования» [4]:

$$ЗЭ = A + TP + ЗП + П, \text{ руб.}, \quad (1)$$

где «ЗП – заработная плата обслуживающего персонала, руб.;

A – амортизационные отчисления, руб.;

TP – затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб.;

$П$ – прочие затраты, руб.» [4].

Амортизационные отчисления для внедряемой автоматизированной системы коммерческого учёта электроэнергии на объекте АО «ПО «Севмаш» определяются в размере 12,5 % от общей суммы капитальных затрат, направляемых на реализацию проекта.

Такая величина амортизации выбрана исходя из того, что устанавливаемое оборудование является новым, и срок его нормативной эксплуатации установлен в соответствии с действующими рекомендациями и отраслевыми нормами.

Указанный подход позволяет равномерно распределить первоначальные затраты на приобретение, монтаж и пусконаладочные работы оборудования в течение нормативного периода его использования, обеспечивая предприятию возможность своевременного накопления финансовых ресурсов для последующей замены или модернизации используемых аппаратных средств и предотвращения их преждевременного износа.

Помимо этого, установленный уровень амортизации, равный 12,5%, также является экономически обоснованным и позволяет учитывать реальный темп технологического обновления подобных систем на промышленных предприятиях, таких как АО «ПО «Севмаш».

Таким образом [4]:

$$A = 0,125 \cdot KB, \text{ руб.}, \quad (2)$$

$$A = 0,125 \cdot 1119129 = 139891 \text{ руб.}$$

Затраты на техническое обслуживание и ремонт автоматизированной системы коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ) на объекте принимаются в размере 5% от общей суммы капитальных вложений в проект, поскольку установленное оборудование является новым и характеризуется высокими эксплуатационными показателями.

Такой процент затрат объясняется тем, что современное оборудование, применяемое в системе, требует минимального технического вмешательства и отличается повышенной надёжностью и продолжительным ресурсом работы.

Эти расходы включают плановые профилактические осмотры, настройку и периодическую поверку измерительных устройств, диагностику и проверку работоспособности коммуникационного оборудования, а также мелкий текущий ремонт, что обеспечивает стабильную и эффективную эксплуатацию системы на протяжении всего срока её службы.

Установленный уровень затрат является оптимальным для поддержания нового оборудования в исправном состоянии и позволяет гарантировать бесперебойную работу системы АСКУЭ на протяжении всего срока её эксплуатации.

Таким образом [4]:

$$TP = 0,05 \cdot KB, \text{ руб.}, \quad (3)$$

$$TP = 0,05 \cdot 1119129 = 55956 \text{ руб.}$$

Заработная плата обслуживающего персонала системы АСКУЭ, внедряемой на объекте, «рассчитывается исходя из того, что основные работы по монтажу, техническому обслуживанию и наладке оборудования выполняются специалистами официального представительства завода-изготовителя в рамках заключённого сервисного договора.

Благодаря этому подходу предприятие существенно сокращает расходы на оплату труда собственного персонала» [23], так как нет необходимости в привлечении дополнительных штатных специалистов или повышении квалификации существующих сотрудников для обслуживания и ремонта нового оборудования.

Таким образом, предусмотренная схема сотрудничества с представителем завода-изготовителя позволяет эффективно оптимизировать эксплуатационные расходы предприятия, снизить финансовую нагрузку и обеспечить надёжное функционирование системы коммерческого учёта электроэнергии.

Расчёт экономии на заработной плате осуществляется путём сравнения стандартных расходов на «оплату труда персонала при традиционной эксплуатации АСКУЭ и фактических затрат на сопровождение и техническое обслуживание, предусмотренных сервисным контрактом с производителем оборудования» [23]:

$$ЗП = ЧТС \cdot ЗТ \cdot K_{доп} \cdot K_{отч}, \quad (4)$$

где «ЧТС – часовая тарифная ставка, руб.;

ЗТ – затраты труда на обслуживание данного оборудования, чел.·ч;

$K_{доп}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную оплату труда;

$K_{отч}$ – коэффициент отчислений в единый социальный фонд» [3].

«Таким образом» [4]:

$$ЗП = 57 \cdot 1,64 \cdot 1,30 \cdot 81,84 = 9945,5 \text{ руб.}$$

«Затраты труда с учётом перечисленных ранее факторов и условий» [4]:

$$ЗТ = Т \cdot q, \quad (5)$$

где «Т – трудоемкость обслуживания 1 у.е., чел.·ч;

q – количество у.е., шт.» [4].

Таким образом [4]:

$$ЗТ = 4,4 \cdot 18,6 = 81,84 \text{ чел.·ч,}$$

Прочие расходы, возникающие при внедрении системы АСКУЭ на объекте, рассчитываются в размере 1% от общей суммы затрат, включающих амортизационные отчисления, расходы на техническое обслуживание, ремонт оборудования и оплату труда обслуживающего персонала.

Такая величина принята для покрытия непредвиденных расходов, возникающих в ходе реализации проекта, например, транспортных, административных затрат, расходов на оформление документации, проведение согласований и внеплановых мероприятий.

Установленный уровень прочих затрат является обоснованным и оптимальным для внедрения автоматизированной системы учёта электроэнергии, поскольку новое оборудование требует минимальных дополнительных расходов благодаря своей надёжности, тем не менее необходимо предусмотреть небольшой резерв для покрытия возможных дополнительных расходов, что позволяет обеспечить бесперебойную и стабильную работу системы на всём протяжении периода её эксплуатации:

$$П = 0,1 \cdot (A + TP + 3П), \text{ руб.}, \quad (6)$$

$$П = 0,1 \cdot (139891 + 55956 + 9945,5) = 20579 \text{ руб.}$$

«Суммарные годовые эксплуатационные затраты на внедрение АСКУЭ на объекте исследования» [4] по условию (1):

$$3Э = 139891 + 55956 + 9945,5 + 20579 = 226371,5 \text{ руб.}$$

«Таким образом, получены следующие экономические показатели:

- суммарные инвестиции на внедрение АСКУЭ в системе электроснабжения цеха № 7 АО ПО «Севмаш» составили 1119129 руб.,
- суммарные годовые эксплуатационные затраты на внедрение АСКУЭ на объекте равны 226371,5 руб.» [23].

Далее на основании полученных результатов, проводится оценка технико-экономической эффективности капитальных вложений в предложенный проект.

3.2 Оценка технико-экономической эффективности внедрения АСКУЭ на объекте исследования

«За счет внедрения на объекте дифференцированного тарифа на оплату электроэнергии, когда в определённые часы ставка на электроэнергию ниже, чем при одноставочном учете электроэнергии, в проекте ожидается получить экономию затрат на оплату потерь электроэнергии. Проводится экономическая оценка данного мероприятия» [4].

С 1 января 2012 года в России введена дифференцированная система тарифообразования на электроэнергию. Она включает шесть категорий цен. Данное нововведение направлено на повышение эффективности использования энергоресурсов за счёт применения экономически обоснованных механизмов тарификации, учитывающих индивидуальные особенности потребления различных категорий потребителей и обеспечивающих рационализацию энергопотребления.

Первая ценовая категория предполагает самый простой метод расчёта – одноставочный тариф, при котором потребитель оплачивает только фактически потреблённую электроэнергию без учёта выделенной мощности и временной дифференциации стоимости. Такая схема удобна для небольших предприятий и организаций, нагрузка которых стабильна, равномерна в течение суток и не требует дополнительной оптимизации.

Во второй ценовой категории применяется дифференциация тарифа по временным зонам суток (пиковая и ночная зоны). Данный способ стимулирует потребителей переносить часть нагрузки на ночное время, что способствует разгрузке сети в часы максимального потребления и снижению эксплуатационных затрат для энергоснабжающих организаций.

«Третья ценовая категория основана на двухставочном тарифе, который включает оплату фактически потреблённой электроэнергии и дополнительную плату за заявленную мощность» [4]. Такой подход мотивирует предприятия эффективно управлять выделенной мощностью,

снижая затраты за счёт сокращения заявляемых величин мощности и более рационального её использования.

Четвёртая категория аналогична третьей, но вводит дополнительный фактор – дифференциацию стоимости электроэнергии по временному графику суток.

Такой подход стимулирует предприятия более гибко подходить к организации своих производственных процессов и потреблять электроэнергию преимущественно в периоды пониженного спроса, что в результате ведёт к сокращению расходов на оплату электроэнергии.

Пятая ценовая категория предусматривает почасовой учёт потреблённой электроэнергии и фиксированный платёж за максимальную заявленную мощность.

Данный способ тарификации направлен на высокую точность учёта и оплаты, позволяя предприятиям и организациям формировать свои потребности в электроэнергии более рационально, избегая значительных скачков нагрузки и оптимизируя производственные циклы в зависимости от текущих тарифов.

Шестая ценовая категория является наиболее прогрессивной и сложной системой расчётов, сочетая в себе почасовой учёт потреблённой электроэнергии с ежедневным учётом реальной использованной мощности. Применение такого подхода создаёт значительные возможности для максимально точного планирования и оперативного контроля за энергопотреблением, побуждая предприятия к эффективному регулированию своих энергозатрат и, как следствие, к значительному сокращению эксплуатационных расходов.

Таким образом, применение различных ценовых категорий позволяет промышленным предприятиям и организациям существенно экономить на оплате электроэнергии за счёт оптимизации режимов её потребления, выбора наиболее выгодной тарифной политики и эффективного управления выделенной мощностью.

«При переходе на дифференцированный тариф по времени суток, установлены следующие интервалы тарифных зон: ночная (23⁰⁰-7⁰⁰), пиковая (9⁰⁰-16⁰⁰). Остальное время полупиковая зона (7⁰⁰-9⁰⁰ и 16⁰⁰-23⁰⁰)» [18].

«Основным показателем эффективности является минимум приведенных затрат, которые определяется в работе с учётом полученных ранее значений капиталовложений и годовых эксплуатационных издержек» [4]:

$$ПЗ = KB \cdot E_n + ЗЭ, \text{ руб.}, \quad (7)$$

где « KB - капитальные вложения, руб.;

$ЗЭ$ – годовые эксплуатационные затраты, руб.;

E_n - нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, $E_n = 0,15$ » [4].

$$ПЗ = 1119129 \cdot 0,15 + 226371,5 = 394240,85 \text{ руб.}$$

«Стоимость электроэнергии при оплате только по первой ценовой категории» [20]:

$$\mathcal{E}_9 = T_{90} \cdot n \cdot m \cdot Q_9, \text{ руб.}, \quad (8)$$

$$\mathcal{E}_9 = 0,178655 \cdot 24 \cdot 31 \cdot 3902,054 = 518658,36 \text{ руб.}$$

«Аналогично, для второй и третьей ценовой категории стоимость электроэнергии составит, соответственно, 581726,15 руб. и 433748,4 руб.

Далее определяется годовая экономия в оплате за электроэнергию по второй и третьей ценовой категориям. При этом первая ценовая категория при расчёте принимается в качестве базовой» [23].

«Годовая экономия в оплате за электроэнергию для второй ценовой категории» [20]:

$$\mathcal{E}_9 = T_{90} \cdot Q_9 - (T_n \cdot Q_{9n} + T_n \cdot Q_{9n} + T_{nn} \cdot Q_{9nn}), \text{ руб.}, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_9 &= 132,9 \cdot 3902,054 - (44,3 \cdot 4500 + 38,76 \cdot 7500 + 49,84 \cdot 5500) = \\ &= -245511,64 \text{ руб.} \end{aligned}$$

«Исходя из полученных результатов установлено, что применять вторую ценовую категорию при расчёте за потреблённую электроэнергию не выгодно, так как экономии наблюдаться не будет (по сравнению с первой ценовой категорией, принятой в качестве базовой).

Годовая экономия в оплате за электроэнергию для третьей ценовой категории» [20]:

$$\mathcal{E}_k = \mathcal{E}_{9.1цк} - \mathcal{E}_{9.3цк}, \text{ руб.}, \quad (10)$$

$$\mathcal{E}_k = 84909,96 \cdot 12 = 1018919,52 \text{ руб.}$$

«Таким образом, установлено, что экономия в оплате за электроэнергию для третьей ценовой категории составляет 1018919,52 руб.» [23].

Следовательно, данная категория принимается за основу при проведении расчётов по сроку окупаемости капиталовложений, который определяется так [19]:

$$T_{кв} = \frac{KB}{\mathcal{E}_k}, \text{ лет}, \quad (11)$$

$$T_{кв} = \frac{1119129}{1018919,52} \approx 1,1 \text{ года.}$$

Следовательно, полученный срок окупаемости капиталовложений в систему АСКУЭ с учётом электроэнергии по третьей ценовой категории составит 1,1 года, что соответствует допустимому нормативному сроку.

Следовательно, данная система окупится.

Следовательно, полученный срок окупаемости капиталовложений в систему АСКУЭ с учётом электроэнергии по третьей ценовой категории составит 1,1 года, что соответствует допустимым нормативным требованиям и подтверждает высокую экономическую целесообразность реализации данного проекта. Кроме того, использование АСКУЭ по третьей ценовой категории способствует более эффективному управлению потреблением электроэнергии и мощности, а также снижению эксплуатационных затрат благодаря рациональному подходу к энергопотреблению и возможности точного контроля за использованием электроэнергии в реальном времени [16]. В итоге внедрение данной системы обеспечит предприятию существенные преимущества в виде повышения энергоэффективности и конкурентоспособности на рынке за счёт снижения затрат на эксплуатацию электрических сетей и оборудования.

Все полученные результаты представлены в сводной таблице 7.

Таблица 7 – Результаты оценки технико-экономической эффективности внедрения АСКУЭ в систему электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш»

Показатели	Значения
Капитальные вложения, руб.	1119129,0
Эксплуатационные затраты, руб.	226371,5
Приведенные затраты, руб.	394240,85
Стоимость потерь электроэнергии, руб.:	
- по первой ценовой категории	518658,36
- по второй ценовой категории	581726,15
- по третьей ценовой категории	433748,4
Годовая экономия в оплате, руб.:	
- по второй ценовой категории	-245511,64
- по третьей ценовой категории	84909,96
Годовая экономия, руб.	1018919,52
Срок окупаемости, лет	1,1

Результаты стоимости оплаты электроэнергии при внедрении АСКУЭ с дифференцированными по времени тарифами в систему электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш», представлены на графике рисунка 16.

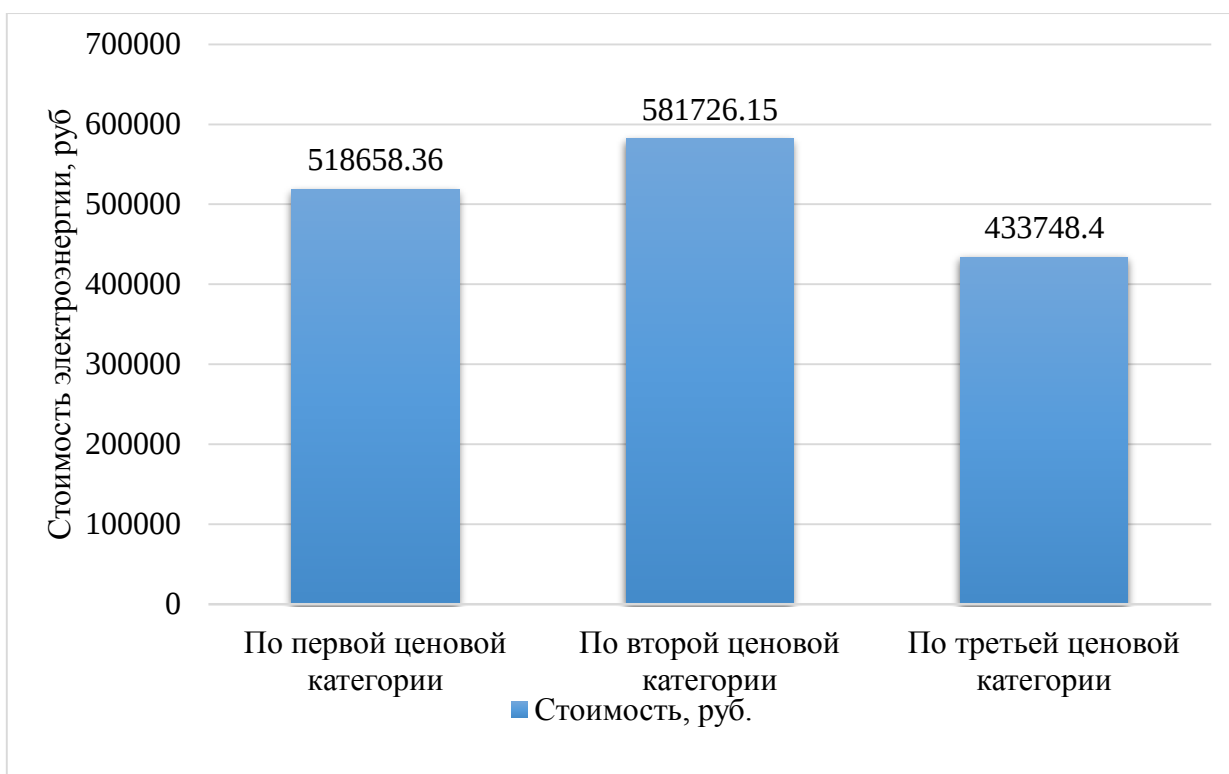


Рисунок 16 – Результаты стоимости оплаты электроэнергии при внедрении АСКУЭ с дифференцированными по времени тарифами в систему электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш»

«Результаты стоимости электроэнергии при внедрении АСКУЭ с дифференцированными по времени тарифами в систему электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш» показали значительную экономию ресурсов при внедрении данного решения на объекте исследования.

Результаты экономии в оплате электроэнергии при внедрении АСКУЭ с дифференцированными по времени тарифами в системе электроснабжения цеха № 7 АО ПО «Севмаш» показали значительную экономию ресурсов при расчёте по третьей ценовой категории, которая принимается в качестве основной. Установлено, что по второй ценовой категории система не окупится, поэтому её предложено исключить из результатов исследований.

Результаты экономии в оплате электроэнергии при внедрении АСКУЭ с дифференцированными по времени тарифами в системе электроснабжения цеха № 7 АО ПО «Севмаш»» [23], представлены на графике рисунка 17.

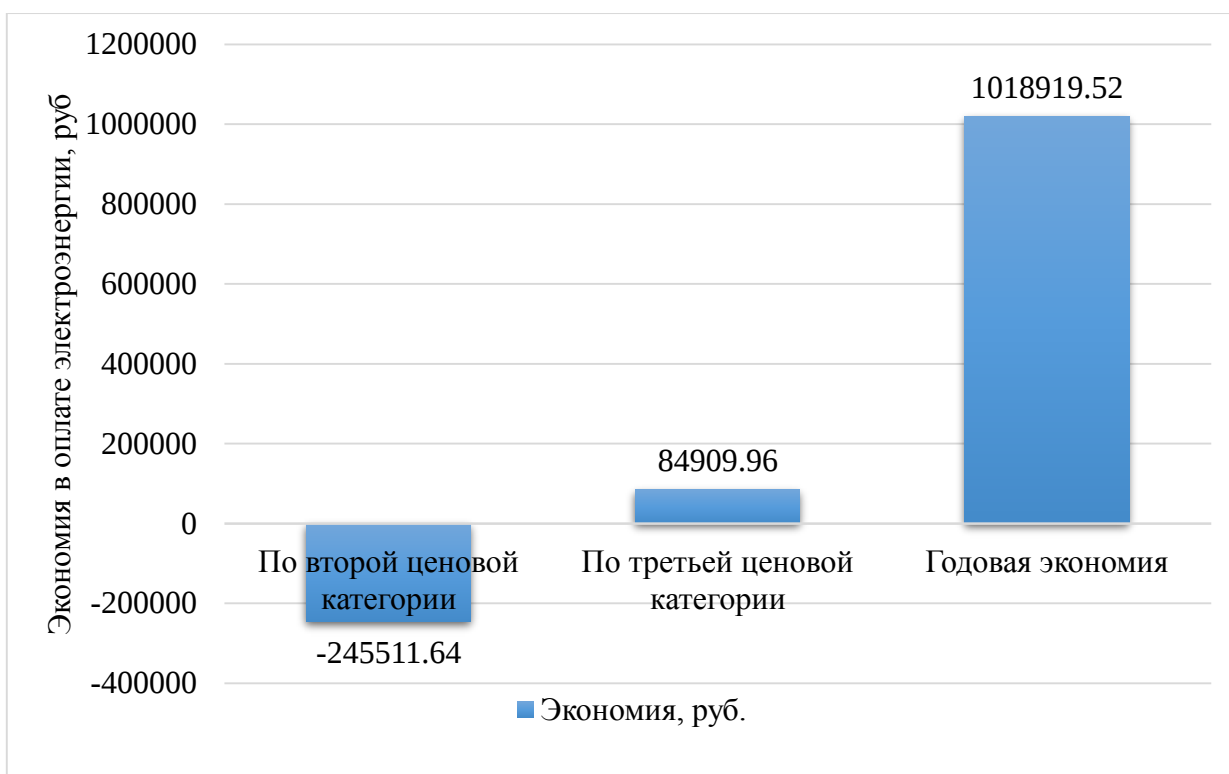


Рисунок 17 – Результаты экономии в оплате электроэнергии при внедрении АСКУЭ с дифференцированными по времени тарифами в систему электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш»

«Таким образом, расчётным путём установлено, что в результате внедрения АСКУЭ от «Энергомера» на базе счетчиков СЕ304 с применением устройства сбора и передачи информации УСПД СЕ805 с дифференцированными тарифами на электроэнергию, в системе электроснабжения цеха № 7 АО ПО «Севмаш», была получена годовая экономия в размере 1018919,52 руб. при капитальных вложениях в 1119129 руб. со сроком окупаемости в 1,1 лет» [17].

Выводы по третьему разделу.

В результате выполнения третьего раздела работы проведено детальное технико-экономическое обоснование предложенного комплекса мероприятий, направленного на повышение уровня энергоэффективности системы электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш».

Данные мероприятия, разработанные в рамках магистерской диссертации, призваны существенно оптимизировать энергопотребление и

снизить затраты предприятия за счёт внедрения современных средств учёта электроэнергии и систем управления энергопотреблением.

Показано, что «суммарные капиталовложения на внедрение АСКУЭ в системе электроснабжения цеха № 7 АО ПО «Севмаш» составили 1119129 руб., а суммарные годовые эксплуатационные затраты на внедрение АСКУЭ на объекте равны 226371,5 руб.» [23].

Анализ расчётных данных позволил установить, что внедрение автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учёта электроэнергии, построенной на оборудовании компании «Энергомера» с использованием счётчиков типа СЕ304 и устройства сбора и передачи данных УСПД СЕ805, обладает высокой экономической эффективностью при условии использования третьей ценовой категории тарифообразования при оплате за потреблённую электроэнергию.

В результате исследования установлено, что вторая ценовая категория не обеспечивает окупаемость проекта в приемлемые сроки, и поэтому не может рассматриваться в качестве рациональной альтернативы.

Следовательно, целесообразно использовать третью ценовую категорию, которая учитывает как объем фактического потребления электроэнергии, так и мощностную составляющую тарифа, что существенно повышает привлекательность проекта.

Расчёты показали, что реализация проекта с использованием оборудования производства компании «Энергомера», в частности многофункциональных счетчиков электроэнергии СЕ304 и устройства сбора и передачи данных УСПД СЕ805, позволяет достичь значительной экономии за счёт точного контроля и оперативного управления энергопотреблением.

По результатам технико-экономических расчётов, капитальные вложения в размере 1 119 129 рублей окупятся в течение 1,1 года, обеспечив экономию в расходах на электроэнергию и повысив энергоэффективность предприятия.

При этом достигается ежегодная экономия на оплате электроэнергии порядка суммы инвестиций, подтверждая высокую экономическую эффективность и быструю окупаемость проекта.

Также следует отметить, что использование современной системы АСКУЭ позволяет предприятию не только существенно снизить операционные расходы на оплату электроэнергии, но и значительно повысить общую эффективность эксплуатации энергосистемы цеха № 7 АО «ПО «Севмаш».

Предложенная система, основанная на высокоточных счетчиках электроэнергии СЕ304 и устройстве УСПД СЕ805 от компании «Энергомера», обеспечит возможность детального мониторинга нагрузок в реальном времени, автоматизированного управления процессами распределения электроэнергии и своевременного выявления отклонений или аномалий в работе электрооборудования.

Внедрение подобных решений соответствует современной тенденции развития промышленного производства, направленной на оптимизацию энергозатрат, повышение энергоэффективности и обеспечение стабильности технологических процессов на предприятии.

Таким образом, в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш» расчётным путём подтверждена эффективность внедрения АСКУЭ «Энергомера» с многофункциональными счетчиками электроэнергии СЕ304 и устройства сбора и передачи данных УСПД СЕ805.

Заключение

В результате выполнения работы, разработан и обоснован комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности цеха № 7 АО «ПО «Севмаш», осуществляемый путём модернизации систем учёта и контроля электроэнергии.

В результате проведённого анализа, осуществлено аналитическое обоснование предложенных энергосберегающих мероприятий, с целью их практического внедрения в систему электроснабжения цеха №7 АО «ПО «Севмаш».

Разработан и предложен к применению на объекте исследования, рациональный комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш», включающий в себя:

- комплекс организационных мероприятий, предусматривающий: внедрение системы энергоменеджмента, создание специализированной группы по энергосбережению, программы обучения и повышения квалификации персонала, мотивационные программы для сотрудников, внутренние конкурсы, поощрение инициатив по экономии энергии и публичное признание достижений, проведение регулярного энергоаудита с детальным анализом и последующей корректировкой полученных результатов;
- комплекс технических мероприятий, предусматривающий внедрение современной автоматизированной системы учёта электроэнергии, а также замену существующих воздушно-отопительных агрегатов типа СТД-300 на более энергоэффективные модели и модернизация системы освещения цеха № 7.

Показано, что реализация предложенного комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш» обеспечивает снижение потерь электроэнергии, оплаты за

потреблённую электроэнергию, а также эксплуатационных расходов, повышение конкурентоспособности предприятия и способствует достижению целей устойчивого развития и экологической ответственности.

В качестве вариантов выбора рациональной системы учёта и контроля электроэнергии, рассмотрены АСКУЭ следующих отечественных производителей:

- «Энергомера» (полнофункциональная АСКУЭ с поддержкой многотарифного учета и интеграцией в ERP-системы);
- «ТЕКОН-Энерго» (модульная АСКУЭ с возможностью адаптации под специфические требования);
- «Ракурс» (интеллектуальная система учета и управления энергоресурсами с расширенными аналитическими возможностями);
- «КРУГ» (комплексная АСКУЭ с упором на безопасность и надежность).

При выборе рациональной системы АСКУЭ, применены следующие критерии выбора: широкие возможности по интеграции на объекте исследования, высокая надёжность, высокая точность измерений, наличие доступного программного обеспечения, поддержка облачных технологий, удобство эксплуатации, масштабируемость, доступная стоимость, высокий уровень автоматизации, продвинутые функции аналитики и прогнозирования, поддержка на всей территории РФ.

В результате проведенного сравнительного анализа установлено, что система АСКУЭ от «Энергомера» на базе счетчиков СЕ304 с применением устройства сбора и передачи информации УСПД СЕ805, является наиболее рациональным выбором для цеха № 7 АО «ПО «Севмаш».

Данное принятое рациональное техническое решение на объекте исследования обеспечивает необходимые технические характеристики, соответствует требованиям надежности и безопасности, обуславливает точность и надёжность учёта электроэнергии, гибкость в настройке и расширении функциональности, а также способствует снижению

эксплуатационных затрат за счёт оптимизации использования электроэнергии, что значительно снижает инструментальные потери электроэнергии, повышает точность её измерения, вследствие чего снижает расход на её оплату и повышает конкурентоспособность предприятия, способствуя устойчивому развитию производства.

Проведено детальное технико-экономическое обоснование предложенного комплекса мероприятий, направленного на повышение уровня энергоэффективности системы электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш». Данные мероприятия призваны существенно оптимизировать энергопотребление и снизить затраты предприятия за счёт внедрения современных средств учёта электроэнергии и систем управления энергопотреблением.

Показано, что суммарные капиталовложения на внедрение АСКУЭ в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш» составили 1119129 руб., а суммарные годовые эксплуатационные затраты на внедрение АСКУЭ на объекте равны 226371,5 руб.

Анализ расчётных данных позволил установить, что внедрение АСКУЭ, с дифференцированными по времени тарифами построенной на оборудовании компании «Энергомера» с использованием счётчиков типа СЕ304 и устройства сбора и передачи данных УСПД СЕ805, обладает высокой экономической эффективностью при условии использования третьей ценовой категории тарифообразования при оплате за потреблённую электроэнергию.

В результате исследования установлено, что вторая ценовая категория не обеспечивает окупаемость проекта в приемлемые сроки, и поэтому не может рассматриваться в качестве рациональной альтернативы.

Следовательно, целесообразно использовать третью ценовую категорию, которая учитывает как объём фактического потребления электроэнергии, так и мощностную составляющую тарифа, что существенно повышает привлекательность проекта.

Расчёты показали, что реализация проекта с использованием оборудования производства компании «Энергомера», в частности многофункциональных счетчиков электроэнергии СЕ304 и устройства сбора и передачи данных УСПД СЕ805, позволяет достичь значительной экономии за счёт точного контроля и оперативного управления энергопотреблением.

По результатам технико-экономических расчётов, капитальные вложения в размере 1 119 129 рублей окупятся в течение 1,1 года, обеспечив экономию в расходах на электроэнергию и повысив энергоэффективность цеха и предприятия в целом. При этом достигается ежегодная экономия на оплате электроэнергии порядка суммы инвестиций, подтверждая высокую экономическую эффективность и быструю окупаемость проекта.

Также следует отметить, что использование современной системы АСКУЭ позволяет предприятию не только существенно снизить операционные расходы на оплату электроэнергии, но и значительно повысить общую эффективность эксплуатации энергосистемы цеха № 7.

Предложенная система, обеспечит возможность детального мониторинга нагрузок в реальном времени, автоматизированного управления процессами распределения электроэнергии и своевременного выявления отклонений или аномалий в работе электрооборудования. Внедрение такого решения соответствует современной тенденции развития промышленного производства, направленной на оптимизацию энергозатрат, повышение энергоэффективности и обеспечение стабильности технологических процессов на предприятии.

Таким образом, в системе электроснабжения цеха № 7 АО «ПО «Севмаш» расчётным путём подтверждена эффективность внедрения АСКУЭ «Энергомера» с дифференцированными по времени тарифами, с использованием счётчиков типа СЕ304 и устройства сбора и передачи данных УСПД СЕ805, которая обладает высокой экономической эффективностью при условии использования третьей ценовой категории тарифообразования при оплате за потреблённую электроэнергию.

Список используемых источников

1. Автоматизированные системы коммерческого учета электрической энергии АСКУЭ-С. Методика поверки. АВОД 466364-007МПМ. Дополнение к Сборнику нормативного и технического учета электрической энергии и мощности. М.: ЗАО «Изд-во ЭНАС», 2021. 151 с.
2. Автоматизированные системы контроля и учёта электроэнергии и мощности. Основные нормируемые метрологические характеристики. Общие требования. РД РАО «ЕЭС России». М., 2018. 252 с.
3. АСКУЭ «Энергомера» для промышленных предприятий [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301/> (дата обращения: 11.03.2025).
4. АСКУЭ. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:АСКУЭ> (дата обращения 11.03.2025)
5. Борисов В.В. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем. М.: Горячая линия-Телеком, 2019. 154 с.
6. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения от 1 июля 2014 г. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301/> (дата обращения: 11.03.2025).
7. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 2005. 261 с.
8. Калянов Г.Н. Теория бизнес-процессов. М: Горячая линия - Телеком. 2023. 296 с.
9. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elec.ru/library/nauchnaya-i-tehnicheskaya-literatura/konyuhova-el-snab-obektov/> (дата обращения: 11.03.2025).
10. Корнеев В.В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации. 2021. 352 с.

11. Круглов В.В. Интеллектуальные информационные системы. М.: Физматлит, 2022. 256 с.
12. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
13. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
14. Постановление Правительства РФ от 9 сентября 2023 г. № 1473 «Об утверждении комплексной государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» [Электронный ресурс]: URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407532842/> (дата обращения: 11.03.2025).
15. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 321 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики» [Электронный ресурс]: URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70544238/> (дата обращения: 11.03.2025)
16. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. № 326 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям» [Электронный ресурс]: URL: <http://base.garant.ru/195516/> (дата обращения: 11.03.2025).
17. Приказ Минпромэнерго РФ от 03.02.2005 №21 «Об утверждении методики расчета нормативных (технологических) потерь электроэнергии в электрических сетях. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.zakonprost.ru/content/base/78095> (дата обращения: 11.03.2025).
18. Приказ Федеральной службы по тарифам от 26 ноября 2013 г. № 1473-э «Об утверждении интервалов тарифных зон суток для населения и приравненных к нему категорий потребителей» [Электронный ресурс]: URL: <https://base.garant.ru/70554780/> (дата обращения: 11.03.2025)

19. Принципы построения и работы АСКУЭ [Электронный ресурс]: URL: <https://www.eprussia.ru/epr/45/2968.htm> (дата обращения: 11.03.2025).
20. Рогалев Н.Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. Москва: МЭИ, 2020. 242 с.
21. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.
22. Сапронов А.А., Никуличев А.Ю., Зайцев А.А. Об автоматизированной системе контроля и учета электроснабжения однофазных энергопотребителей. – Энергетик, 2018, № 10.
23. Скоморохов В.А. Предварительная оценка внедрения мероприятий по повышению эффективности цеха №7 КСП предприятия АО «ПО «Севмаш»/ В.А. Скоморохов //Студенческий научный журнал. – № 19(273) часть 9. – М., Изд. «СибАК», 2024 – С.49-51.
24. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
25. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года // РД РАО «ЕЭС России». Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – М.: Министерство энергетики, 2020.
26. Araujo, Whester J. Monocriteria and multicriteria based placement of reactive power sources in distribution systems. International journal of applied mathematics and informatics, 2017. Vol. 5. №3. P.240 – 248.
27. Kamboj S., Dahiya, R. Evaluation of DTLR of power distribution line from sag measured using GPS. Energy, Automation, and Signal (ICEAS), 2021. P: 1 – 6.
28. Krontiris T., Wasserrab A., Balzer G. Weather-based loading of overhead lines-Consideration of conductor's heat capacity in Proc., 2020. P. 1 – 8.

29. Raniga J.K., Rayadu R.K. Dynamic rating of transmission lines - a New Zeland experience, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2020. P. 48 – 54.

30. Ren L., Jiang X., Shenh G., Bo W. Design and calculation method for dynamic increasing transmission line capacity, WSEAS Transactions on Circuits and Systems, 2018. P.348-357.