

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Модернизация системы электроснабжения ООО «Стелс»

Обучающийся

С. О. Шиков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доц. М. Н. Третьякова

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

Тольятти 2025

Аннотация

В работе осуществлена разработка оптимального проекта модернизации системы электроснабжения ООО «Стелс», способного обеспечить высокий уровень надежности и энергоэффективности, а также соответствующего требованиям безопасности и стандартам современной электроэнергетики.

На основе полученных результатов, осуществлена разработка и обоснование мероприятий по модернизации системы электроснабжения, которая учитывает особенности технологического процесса предприятия и состояния его оборудования, а также схемы электрических соединений.

Выбраны и обоснованы основные технические решения, которые играют существенную роль в создании безопасной и эффективной системы электроснабжения ООО «Стелс».

Расчётно-пояснительная записка работы содержит 55 печатных страниц, включая введение, шесть основных разделов, заключение с общими выводами по работе, а также список используемых источников, состоящий из 20 наименований.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Характеристика предприятия	7
1.2 Анализ исходных данных потребителей предприятия	12
1.3 Характеристика существующей системы электроснабжения предприятия	14
2 Расчет электрических нагрузок предприятия	19
3 Проверка силовых трансформаторов системы электроснабжения предприятия	24
4 Расчёт токов короткого замыкания	29
5 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов	35
5.1 Выбор и проверка проводников	35
5.2 Выбор основных технических решений по модернизации оборудования распределительных устройств	39
5.3 Выбор и проверка электрических аппаратов	42
6 Выбор систем релейной защиты и учёта электроэнергии	45
6.1 Выбор системы релейной защиты.....	45
6.2 Выбор системы контроля и учёта электроэнергии.....	47
Заключение	50
Список используемой литературы и используемых источников.....	54

Введение

Модернизация систем электроснабжения промышленных предприятий отражает актуальную стратегию повышения надёжности и эффективности объектов энергетической инфраструктуры. Сегодня наблюдается ускоренный износ оборудования на подобных узлах, что приводит к росту аварийных отключений и росту расходов на планово-предупредительные ремонты.

Инженерные решения, предлагаемые современным рынком, включают инновационные коммутационные аппараты, цифровые средства мониторинга и оптимизированные схемы управления, позволяющие обеспечить гарантированное энергоснабжение потребителей различной категории, включая объекты первой группы надёжности.

Устойчивый интерес к модернизации систем электроснабжения подтверждается рядом государственных программ, ориентированных на модернизацию важнейших элементов электросетевого хозяйства в условиях возросшей нагрузки и ужесточения требований по безопасности.

В частности, нормативная база в Российской Федерации устанавливает комплекс регламентов, ориентированных на надёжность, безопасность, бесперебойность и стабильность функционирования подобного рода объектов, а также предусматривает строгие критерии энергосбережения и ответственности за возможные нарушения основных положений нормативно-правовых документов [11], [12], [13], [20].

Известно, что применение новых устройств и технологий требует всестороннего анализа, поскольку переход на современное оборудование затрагивает не только аппаратную составляющую, но и алгоритмы эксплуатации, включая компьютерное моделирование и дистанционную диагностику.

Таким образом, указанные аспекты формируют актуальность настоящей работы.

Известно, что в современных условиях развития промышленности и энергетики, обеспечение надежного и эффективного электроснабжения становится одним из ключевых факторов устойчивого развития предприятий.

Особенно актуальной эта задача является для ООО «Стелс», чей производственный комплекс характеризуется высоким уровнем энергопотребления и требовательными условиями эксплуатации электрооборудования. Данное предприятие детально рассмотрено в работе с точки зрения реализации модернизации оборудования.

Основной целью работы является разработка оптимального проекта модернизации системы электроснабжения ООО «Стелс», способного обеспечить высокий уровень надежности и энергоэффективности, а также соответствовать требованиям безопасности и стандартам современной электроэнергетики.

В условиях постоянно растущих требований к надежности энергоснабжения, повышения энергоэффективности и минимизации рисков аварийных ситуаций, модернизация оборудования и схемы системы электроснабжения данного предприятия приобретает особую практическую значимость.

Таким образом, внедрение современных технических решений в такой системе предприятия ООО «Стелс», позволяет не только обеспечить бесперебойную работу технологического процесса, но и «существенно снизить эксплуатационные затраты, оптимизировать распределение электрических нагрузок и повысить общую безопасность работы объекта.

Объектом исследования выступает система электроснабжения предприятия ООО «Стелс»» [10].

Предметом исследования является процесс непосредственной модернизации данной системы, который включает определение исходных данных, выбор оптимальной схемы энергоснабжения, «проведение расчетов электрических нагрузок и токов короткого замыкания, а также выбор и

проверку трансформаторов, проводников, электрических аппаратов и системы релейной защиты» [10].

Для достижения указанной цели, на первом этапе необходимо провести комплексный анализ исходных данных, включающий оценку текущего состояния энергетической инфраструктуры предприятия, анализ электрических потребителей и условий эксплуатации оборудования.

На основе полученных результатов, необходимо провести модернизацию системы электроснабжения, которая учитывает особенности технологического процесса предприятия и состояния его оборудования.

Дальнейший расчет электрических нагрузок позволяет определить ключевые параметры системы, что играют существенную роль в создании безопасной и эффективной системы электроснабжения ООО «Стелс».

Актуальность данной работы определяется необходимостью создания современной, адаптированной к специфике предприятия системы электроснабжения, способной учитывать динамику изменения производственных процессов и основных требований нормативно-правовых документов.

Практическая ценность работы заключается в создании проекта, который способен удовлетворить реальные потребности ООО «Стелс» в условиях постоянно изменяющихся технологических и энергетических требований, а также в формировании методических основ, применимых на аналогичных объектах промышленных предприятий.

1 Анализ исходных данных

1.1 Характеристика предприятия

На этапе сбора и анализа исходных данных, приводится характеристика ООО «Стелс», для которой необходимо разработать современную систему электроснабжения, модернизировав существующую систему электроснабжения данного предприятия.

Предприятие зарегистрировано по адресу: РФ, Самарская область, г. Тольятти, ул. Офицерская, д. 18 офис 201 [10].

Территориальное расположение ООО «Стелс» на территории городской застройки г. Тольятти показано в работе на рисунке 1.

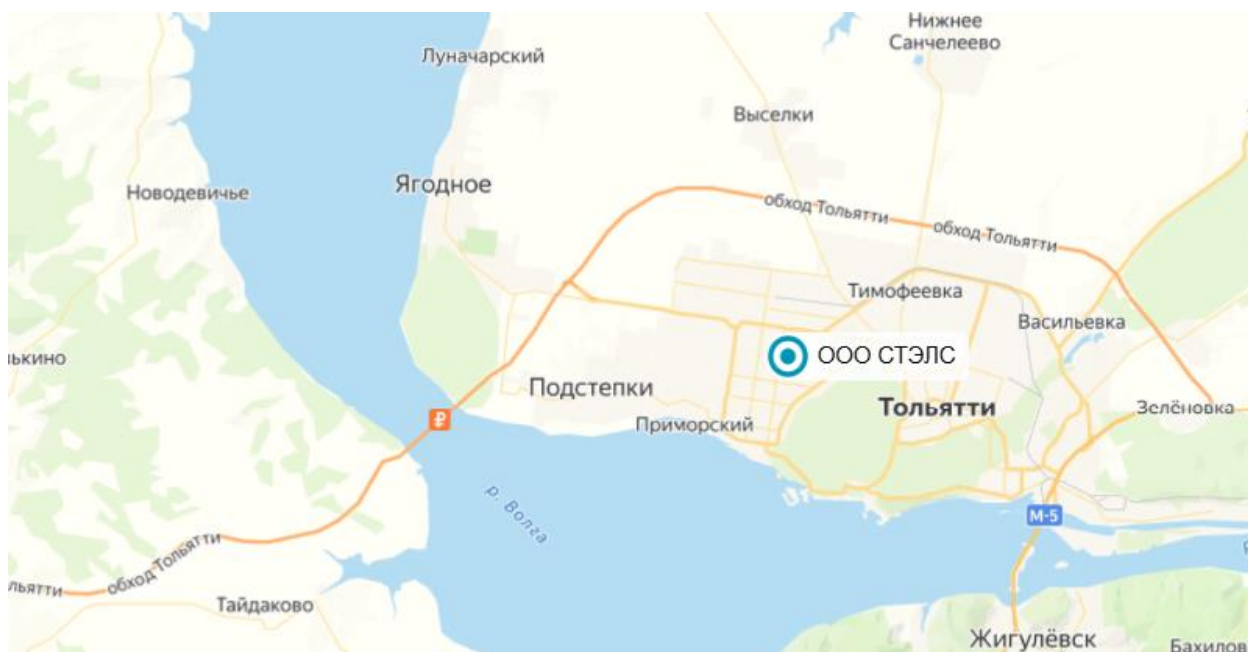


Рисунок 1 – Территориальное расположение ООО «Стелс» на территории городской застройки г. Тольятти

ООО «Стелс», расположенное в г. Тольятти, Самарская область, по адресу ул. Офицерская, д. 18, офис 201, представляет собой современное предприятие, специализирующееся на производстве пищевых продуктов с применением высоких технологических стандартов и современных методов контроля качества.

Деятельность компании основывается на интеграции передовых производственных технологий и эффективных управленческих решений, что позволяет ей успешно конкурировать на рынке пищевой продукции как в Российской Федерации, так и на международном уровне.

Предприятие ориентировано на обеспечение стабильного выпуска продукции, отвечающей строгим требованиям санитарно-гигиенических норм, а также требованиям безопасности, что достигается за счет внедрения автоматизированных систем мониторинга технологических процессов и контроля качества сырья и готовой продукции.

Деятельность компании основана на интеграции передовых технологических процессов с глубоким опытом специалистов, что позволяет создавать продукцию высокого качества, отвечающую как отечественным, так и международным стандартам.

Кадровая политика нацелена на привлечение специалистов, способных решать задачи по оптимизации и сопровождению сложных проектов, поэтому регулярно проводятся обучающие семинары и сертификационные мероприятия, повышающие уровень компетенций внутри коллектива.

Кроме того, стабильные партнёрские отношения с отечественными производителями оборудования помогают быстро наращивать производственные мощности при росте числа контрактов, сохраняя при этом сбалансированный уровень расходов и качество выполненных проектов.

Организационная структура ООО «Стелс» построена таким образом, что осуществляется скоординированное взаимодействие между конструкторско-технологическим отделом, производственными цехами, а также службами контроля качества и логистики.

Такой подход позволяет оптимизировать «все этапы производственного цикла – от приема сырья и его первичной обработки до упаковки и реализации готовой продукции» [10] – обеспечивая высокую производительность и минимизацию технологических потерь.

Современное оборудование, используемое на предприятии, соответствует мировым стандартам и позволяет внедрять инновационные методы переработки, что способствует повышению энергоэффективности производства и снижению издержек.

Такая интеграция обеспечивает высокую точность технологических процессов, строгий контроль качества на всех этапах производства и оперативное реагирование на изменения рыночных требований.

Организационная структура организации ООО «Стелс» представлена на рисунке 2.

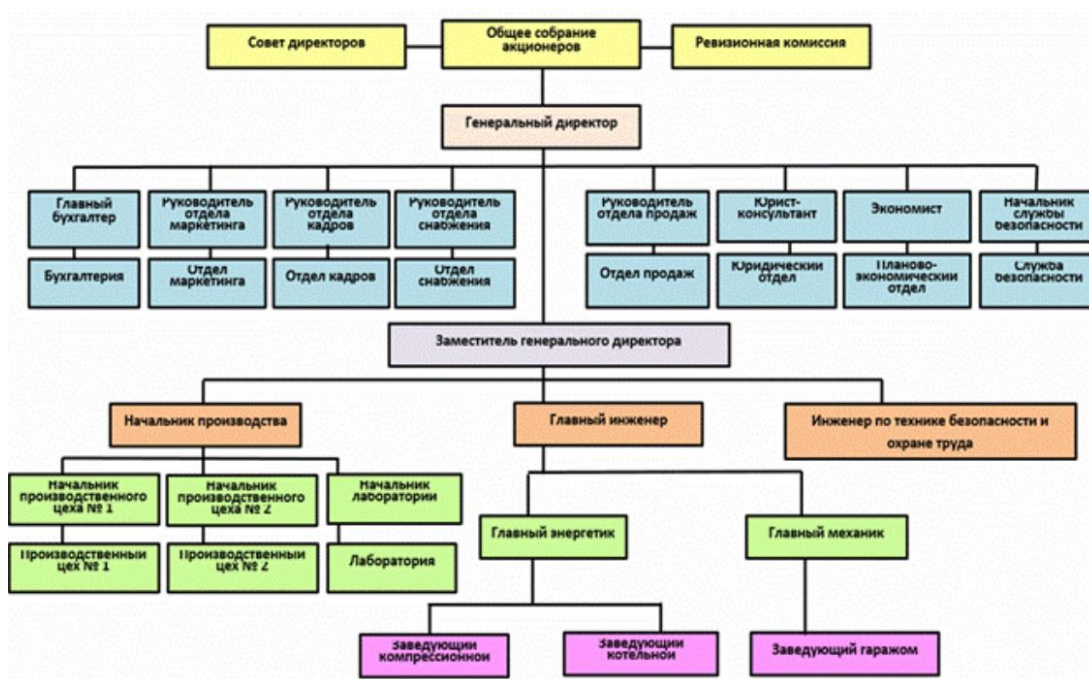


Рисунок 2 – Организационная структура организации ООО «Стелс»

Технические показатели предприятия характеризуются высокой степенью автоматизации производственных линий, что позволяет достигать значительных показателей энергоэффективности и производительности.

Применение современных технологий в области автоматизированного управления и мониторинга способствует оптимизации расходов, снижению производственных потерь и минимизации воздействия на окружающую среду.

Экономические показатели компании характеризуются устойчивым ростом, высоким уровнем рентабельности и эффективным управлением

производственными затратами, что свидетельствует о ее значительном потенциале на рынке.

ООО «Стелс» демонстрирует способность не только стабильно выполнять поставленные производственные планы, но и активно инвестировать в научно-технические разработки, модернизацию оборудования и расширение производственных мощностей.

Экономическая стабильность ООО «Стелс» подтверждается устойчивым ростом выручки, высокой рентабельностью и эффективным управлением затратами, что делает предприятие надежным участником рынка и привлекательным для инвесторов. Для поддержания стабильного финансового положения систематически оцениваются риски, связанные с изменениями нормативно-правовой базы, а также прорабатываются резервы для инвестиционных программ по расширению ассортимента технологий и пакета услуг. Экономические показатели ООО «Стелс», представленные на рисунке 3, демонстрируют устойчивое развитие, поскольку спрос на услуги предприятия растёт, а создание облачных сервисов выступает перспективным направлением, способствующим увеличению объёмов выручки.



Рисунок 3 – Основные финансовые показатели ООО «Стелс» за 2016 – 2023 гг.

Данную тенденцию также подтверждает график уплаченных налогов ООО «Стелс» за 2016 – 2023 гг., представленный на рисунке 4.

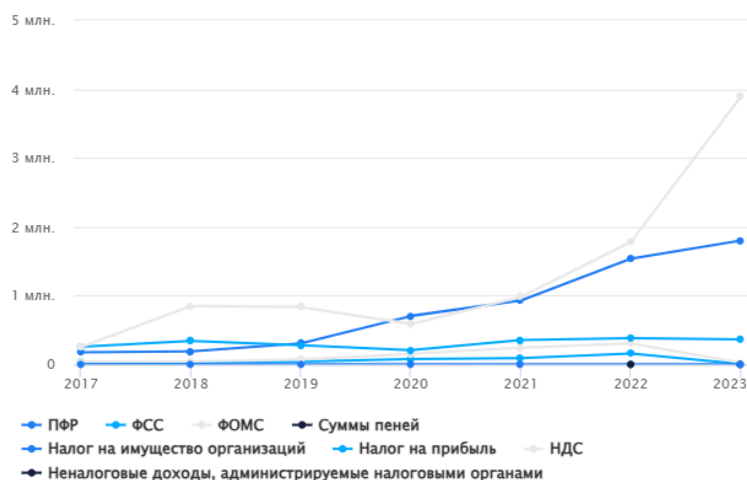


Рисунок 4 – Уплаченные налоги ООО «Стелс» за 2016 – 2023 гг.

Перспективы развития предприятия обусловлены его стратегической ориентацией на внедрение новых технологий, улучшение качества выпускаемой продукции и экспансию на новые рынки, что позволяет сохранять конкурентное преимущество в условиях динамично меняющейся экономической среды. Перспективы развития компании также связаны с активной интеграцией инновационных решений, направленных на дальнейшую модернизацию производственных мощностей и расширение ассортимента выпускаемой продукции. Таким образом, ООО «Стелс» является высокотехнологичным предприятием, где современные методы производства, автоматизированные системы контроля и эффективная организационная структура способствуют постоянному совершенствованию производственного процесса, повышению качества продукции и устойчивому развитию бизнеса. Комплексный подход к управлению, активное внедрение инноваций и постоянное совершенствование технологических процессов позволяют компании занимать лидирующие позиции в отрасли и обеспечивать долгосрочную экономическую эффективность, что является залогом её дальнейшего роста и успешной экспансии на новые рынки.

1.2 Анализ исходных данных потребителей предприятия

«Система электроснабжения ООО «Стелс» охватывает ряд ключевых производственных объектов, каждый из которых выполняет специфическую функцию» [10] в технологическом процессе предприятия.

К числу основных производственных объектов системы электроснабжения ООО «Стелс», относятся:

- «цех по производству кондитерских изделий;
- цех по производству макаронных изделий;
- цех по производству хлебобулочных изделий;
- цех фасовки и упаковки продукции;
- складской корпус;
- административный корпус» [10].

Кроме того, в связи с расширением ассортимента продукции, планируется ввести в эксплуатацию цех по производству консервов из морепродуктов, который будет укомплектован современным оборудованием.

Исходные технические характеристики объектов системы электроснабжения ООО «Стелс» (с учётом нового цеха по производству консервов из морепродуктов), представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные технические характеристики объектов системы электроснабжения ООО «Стелс»

Наименование подразделения	P_m , кВт	Подразделение новое/существующее	Категория надёжности
Цех по производству кондитерских изделий	200,0	Существующее	2
Цех по производству макаронных изделий	200,0	Существующее	2
Цех по производству хлебобулочных изделий	200,0	Существующее	2
Цех фасовки и упаковки продукции	100,0	Существующее	2
Цех по производству консервов из морепродуктов	200,0	Новое	2
Складской корпус	50,0	Существующее	3
Административный корпус	50,0	Существующее	3
Всего по предприятию	1000,0	-	2,3

Система электроснабжения предприятия ООО «Стелс» охватывает целый комплекс технологических объектов, обеспечивающих производство разнообразной пищевой продукции, где стабильность и качество электропитания играют ключевую роль в поддержании технологических процессов на высоком уровне.

Производственный цех кондитерских изделий представляет собой узел, в котором реализуются сложные процессы изготовления сладких и шоколадных изделий, требующих точного соблюдения температурных режимов и стабильного энергоснабжения для достижения необходимой текстуры и вкусовых характеристик продукции.

В свою очередь, производство макаронных изделий опирается на современные автоматизированные линии, где электропитание обеспечивает равномерное замешивание теста, формовку и последующую сушку, что критически важно для поддержания качества и консистенции конечного продукта.

Технологический цех хлебобулочных изделий функционирует в условиях, когда процессы замеса, брожения и выпекания требуют строгого контроля температурных и влажностных показателей, а стабильное электроснабжение является залогом соблюдения этих технологических требований и непрерывности производства.

Процесс фасовки и упаковки продукции осуществляется в специализированном цехе, где автоматизированные линии обеспечивают точную дозировку, упаковку и маркировку готовой продукции, требуя высокого уровня энергообеспечения для корректной работы оборудования.

Складской корпус, функционирующий как хранилище сырья и готовой продукции, оборудован современными системами контроля температуры и влажности, что позволяет поддерживать оптимальные условия хранения и минимизировать потери качества, а надежное электроснабжение является основой работы этих систем.

Административный корпус предприятия служит центром управления, где установлены системы связи, компьютерная техника и специализированное программное обеспечение для контроля производственных процессов, что требует бесперебойного питания для оперативного принятия решений и эффективного управления.

Кроме того, в рамках стратегии расширения ассортимента, предприятие планирует внедрить новый цех по производству консервов из морепродуктов, который будет укомплектован современным оборудованием для термической обработки, стерилизации и упаковки готовой продукции.

Здесь стабильное электроснабжение является критически важным для обеспечения соблюдения санитарно-гигиенических норм и поддержания высокого качества консервов, что позволит предприятию удовлетворять растущий спрос на продукцию нового направления.

Таким образом, каждый из описанных объектов, функционирующих в рамках единой системы электроснабжения, играет решающую роль в обеспечении непрерывности и качества производственного процесса на ООО «Стелс».

Надежность и стабильность электропитания являются ключевыми факторами, способствующими повышению эффективности технологических процессов, снижению технологических потерь и достижению высоких показателей качества выпускаемой продукции, что в совокупности способствует устойчивому развитию предприятия и укреплению его позиций на рынке пищевых продуктов.

1.3 Характеристика существующей системы электроснабжения предприятия

«Анализ существующей системы электроснабжения ООО «Стелс» показывает, что питание объекта проектирования осуществляется от распределительного пункта на напряжении 10 кВ (РП-10 кВ).

Данный питающий узел предприятия выполнен в виде закрытого распределительного устройства, использующего внутренние ячейки типа КРУ-10 кВ.

Установлено, что РП-10 кВ ООО «Стелс» получает питание от понизительной подстанции 35/10 кВ энергосистемы посредством двух кабельных линий марки АПвБПнг(А)-HF 3×70/16.

Применяемая схема с единой системой сборных шин, секционированная выключателем, обеспечивает эффективное распределение энергии в сетях среднего напряжения, демонстрируя значительные преимущества в надежности и управляемости, что подтверждается нормативными требованиями отрасли.

Основное оборудование питающего РП-10 кВ включает высоковольтные выключатели марки ВБ-10, трансформаторы напряжения марки НАМИТ-10, трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЩ-10 и ограничители перенапряжения марки ОПН-П-10, которые смонтированы в ячейках типа КРУ (КРУ-ZETO-10).

Все эти устройства являются современными образцами техники, демонстрирующими высокую надежность и стабильные эксплуатационные характеристики, что позволяет утверждать, что оборудование находится в отличном техническом состоянии и не требует замены на более новые модификации.

Анализ системы электроснабжения ООО «Стелс» показал, что к потребителям питающего РП-10 кВ относятся понизительные трансформаторные подстанции, получающие питание на напряжении 10 кВ [10], которые, в свою очередь, обеспечивают питание промышленных объектов системы предприятия на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Передача электроэнергии на данные объекты осуществляется через современные и надёжные кабельные линии марки АПвБПнг(А)-HF 3×50/16, что гарантирует стабильность напряжения и качество передачи энергии.

«Далее, на цеховых распределительных подстанциях, предназначенных для понижения напряжения от 10 кВ до 0,4 кВ, используются две силовые трансформаторные установки марки ТМГ-110/10» [10].

Таким образом, детальный анализ характеристик и структуры системы электроснабжения показывает, что все ключевые компоненты, начиная от питающего РП-10 кВ до понижающих трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, реализованы с использованием современных технологий и оборудования, что обеспечивает высокую надежность, стабильность и эффективность работы энергосистемы предприятия ООО «Стелс».

Характеристика цеховых ТП-10/0,4 кВ исходной схемы системы электроснабжения ООО «Стелс» представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика цеховых ТП-10/0,4 кВ исходной схемы системы электроснабжения ООО «Стелс»

Номер ТП-10/0,4 кВ	Наименование подразделений, получающих питание от ТП-10/0,4 кВ	Количество трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, шт.	Марка трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ	Число кабельных линий 10 кВ для питания ТП-10/0,4 кВ от РП-10 кВ	Марка кабельных линий 10 кВ для питания ТП-10/0,4 кВ от РП-10 кВ
ТП-1	Цех по производству кондитерских изделий	2	ТМГ-100/10	2	АПвБПнг(А)-НФ 3×50/16
ТП-2	Цех по производству макаронных изделий	2	ТМГ-100/10	2	АПвБПнг(А)-НФ 3×50/16
ТП-3	Цех по производству хлебобулочных изделий	2	ТМГ-100/10	2	АПвБПнг(А)-НФ 3×50/16
ТП-4	Цех фасовки и упаковки продукции, складской корпус, административный корпус	2	ТМГ-100/10	2	АПвБПнг(А)-НФ 3×50/16

«На всех цеховых понизительных подстанциях ТП-10/0,4 кВ на стороне 10 кВ, установлены выключатели нагрузки марки ВНА-10 и предохранительные устройства марки ПК-10.

Проведённый анализ показал, что данные аппараты находятся в отличном техническом состоянии, что исключает необходимость их замены на данном этапе.

Однако, результатами анализа установлено, что в системе электроснабжения ООО «Стелс» наблюдается существенное увеличение фактической электрической нагрузки, обусловленное вводом в эксплуатацию новых потребителей, что связано с запуском нового цеха по производству консервов из морепродуктов.

Учитывая, что данный объект относится ко 2 категории надежности, требующей наличия двух независимых источников питания, для обеспечения устойчивости энергоснабжения планируется соорудить новую цеховую подстанцию ТП-5 (10/0,4 кВ), к которой будет подключена вся нагрузка потребителей нового производственного цеха.

В связи с этим, предусмотрено проведение модернизации исходной схемы электрических соединений распределительного пункта РП-10 кВ с введением в эксплуатацию двух новых» [10] ячеек 10 кВ для подключения новой цеховой ТП-5, служащей для питания потребителей нового цеха по производству консервов из морепродуктов.

Кроме того, в рамках работы также планируется провести модернизацию не только схемы с учётом требований и норм [5], но и системы релейной защиты и измерений на объекте проектирования.

Следующим этапом работы является оценка, реализация и проверка правильности выбранных инженерных решений, что позволит удостовериться в их соответствии нормативным требованиям и обеспечить надежное функционирование системы электроснабжения ООО «Стелс» в условиях расширения производства и возросшей нагрузки.

Приведённая информация принимается за основу для дальнейших исследований.

Выводы по разделу.

Установлено, что система электроснабжения предприятия ООО «Стелс» охватывает целый комплекс технологических объектов, обеспечивающих производство разнообразной пищевой продукции, где стабильность и качество электропитания играют ключевую роль в поддержании технологических процессов на высоком уровне.

Показано, что к числу основных производственных объектов системы электроснабжения ООО «Стелс», относятся 6 объектов.

Кроме того, на предприятии планируется ввести в эксплуатацию цех по производству консервов из морепродуктов, который будет укомплектован современным оборудованием.

В связи с этим, предусмотрено проведение модернизации исходной схемы электрических соединений распределительного пункта РП-10 кВ с введением в эксплуатацию двух новых ячеек 10 кВ для подключения новой цеховой ТП-5, служащей для питания потребителей нового цеха по производству консервов из морепродуктов.

Кроме того, в рамках работы также планируется провести модернизацию не только схемы, но и системы релейной защиты и измерений на объекте проектирования.

Следующим этапом работы является оценка, реализация и проверка правильности выбранных инженерных решений, что позволит удостовериться в их соответствии нормативным требованиям и обеспечить надежное функционирование системы электроснабжения ООО «Стелс» в условиях расширения производства и возросшей нагрузки.

Расчет электрических нагрузок предприятия

Расчёт электрических нагрузок методом коэффициента спроса для системы электроснабжения ООО «Стелс» проводится с учётом условий расширения производства, модернизации оборудования и увеличения нагрузки потребителей, что требует всестороннего анализа существующих и перспективных нагрузок.

В процессе расчёта необходимо определить суммарную расчётную нагрузку предприятия, что позволит корректно выбрать параметры питающих линий, трансформаторов и распределительных устройств, а также обеспечить надёжность и экономичность электроснабжения.

Метод коэффициента спроса основывается на учёте вероятности одновременной работы потребителей в максимальном режиме, что позволяет избежать избыточного завышения расчётных мощностей.

Исходные данные включают перечень технологического оборудования, его номинальную мощность, коэффициенты мощности и режимы работы, а также существующую схему электроснабжения.

Учитывается планируемое увеличение количества установок, переход на новые технологические линии и внедрение более энергоэффективного оборудования, а также ввод в эксплуатацию нового производственного подразделения, что требует уточнения нагрузки каждого участка и всего предприятия в целом.

В процессе расчёта сначала определяется суммарная установленная мощность оборудования по каждому подразделению, для чего применяется коэффициент спроса, зависящий от характера технологического процесса, количества единиц однотипного оборудования и режима работы предприятия.

Данный коэффициент учитывает неравномерность нагрузки во времени и позволяет получить более реалистичное значение расчётной мощности.

Результаты расчёта позволяют определить оптимальные параметры системы электроснабжения предприятия в условиях расширения производства

и модернизации оборудования, что обеспечивает надёжную и эффективную работу электрических сетей при возросших нагрузках. «Проведённый анализ даёт возможность выбрать рациональные технические решения, обеспечивающие соответствие системы электроснабжения современным требованиям по безопасности, энергоэффективности» [8] и надёжности.

«Активная нагрузка присоединений ООО «Стелс», кВт» [8]:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (1)$$

где P_m – «максимальная проектная активная нагрузка предприятия, кВт;
 K_c – коэффициент спроса» [8].

«Полная нагрузка присоединений ООО «Стелс», кВА» [8]:

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi}. \quad (2)$$

«Реактивная нагрузка присоединений ООО «Стелс», квар» [8]:

$$Q_p = \sqrt{S_p^2 - P_p^2}. \quad (3)$$

«Суммарные групповые нагрузки ООО «Стелс»» [8]:

$$P_{p.\Sigma} = \sum P_p. \quad (4)$$

$$Q_{p.\Sigma} = \sum Q_p. \quad (5)$$

$$S_{p.\Sigma} = \sqrt{P_{p.\Sigma}^2 + Q_{p.\Sigma}^2}. \quad (6)$$

«Групповой коэффициент мощности» [8]:

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S_p}. \quad (7)$$

«Расчёт нормальных и максимальных рабочих токов» [8]:

$$I_{в.нр} = \frac{S_{нр}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (8)$$

где n – «количество линий, шт.;

$S_{нр}$ – мощность присоединения, кВА;

$U_{ном.}$ – напряжение присоединения, кВ» [8].

«Максимальный рабочий ток» [8]:

$$I_{нр.макс} = 1,4 \cdot I_{в.нр}, A. \quad (9)$$

«Расчёт нагрузки проводится на примере цеха по производству кондитерских изделий» [8]:

$$P_p = 200 \cdot 0,8 = 160 \text{ кВт},$$

$$S_p = \frac{160}{0,94} = 170,2 \text{ кВА},$$

$$Q_p = \sqrt{170,2^2 - 160^2} = 58 \text{ квар.}$$

«Расчётный ток нормального и максимального режимов» [8]:

$$I_{в.нр.10} = \frac{170,2}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} \approx 4,9 \text{ А.}$$

$$I_{нр.макс.10} = 1,4 \cdot 4,9 = 6,9 \text{ А.}$$

«Аналогично на стороне 0,4 кВ для данного подразделения» [8]:

$$I_{в.пр.0,4} = \frac{170,2}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,38} \approx 129,3 \text{ А},$$

$$I_{пр.макс.0,4} = 1,4 \cdot 129,3 = 181,0 \text{ А}.$$

«Электрические расчётные нагрузки остальных присоединений ООО «Стелс» рассчитаны аналогично с приведением полученных результатов расчёта» [8] в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических расчётных нагрузок присоединений ООО «Стелс»

Наименование подразделения (ТП-10/0,4 кВ)	P_m , кВт	K_c , о.е.	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	$I_{в.пр.10}$, А	$I_{пр. макс.10}$, А	$I_{в.пр.0,4}$, А	$I_{пр. макс.0,4}$, А
Цех по производству кондитерских изделий	200,0	0,8	160,0	58,0	170,2	4,9	6,9	129,3	181,0
Цех по производству макаронных изделий	200,0	0,7	140,0	50,7	148,9	4,3	6,0	113,1	158,4
Цех по производству хлебобулочных изделий	200,0	0,8	160,0	58,0	170,2	4,9	6,9	129,3	181,0
Цех фасовки и упаковки продукции	200,0	0,9	180,0	65,4	191,5	5,5	7,7	145,5	203,7
Цех по производству консервов из морепродуктов	100,0	0,6	60,0	21,7	63,8	1,9	2,7	48,5	67,9
Складской корпус	50,0	0,7	35,0	12,6	37,2	1,1	1,6	28,6	40,0
Административный корпус	50,0	0,6	30,0	10,8	31,9	0,9	1,3	24,2	33,9
Всего по предприятию	1000,0	0,765	765,0	277,2	813,7	23,5	32,9	618,1	865,3

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок используются далее для выбора и проверки технических решений в системе электроснабжения системы электроснабжения ООО «Стелс» в результате проведения модернизации оборудования с учётом требуемых мероприятий по реконструкции схемных решений.

Выводы по разделу.

Проведены расчёты максимальной нагрузки в системе электроснабжения системы электроснабжения ООО «Стелс» после внедрения мероприятий по модернизации оборудования с учётом требуемой реконструкции схемы электрических соединений:

- отдельных участков системы электроснабжения предприятия;
- суммарной нагрузки системы электроснабжения предприятия.

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок позволяют определить оптимальные параметры системы электроснабжения предприятия в условиях расширения производства и модернизации оборудования, что обеспечивает надёжную и эффективную работу электрических сетей при возросших нагрузках.

Проведённый анализ расчётных электрических нагрузок даёт возможность выбрать рациональные технические решения, обеспечивающие соответствие системы электроснабжения ООО «Стелс» современным требованиям по безопасности, энергоэффективности и надёжности в результате внедрения рациональных мероприятий по модернизации оборудования и реконструкции схемы объекта исследования.

Проверка силовых трансформаторов системы электроснабжения предприятия

Как было показано ранее, на предприятии ООО «Стелс» «требуется ввести в эксплуатацию новый производственный цех по производству консервов из морепродуктов.

Также установлено, что питание данного цеха планируется осуществить от новой двухтрансформаторной ТП-10/0,4 кВ» [18] (ТП5).

Таким образом, в работе требуется провести выбор новых силовых трансформаторов на ТП5, а также проверку существующих трансформаторов на остальных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс» на допустимую нагрузочную и перегрузочную способность в условиях реконструкции схемы электроснабжения и увеличения электрических нагрузок, является важнейшей задачей.

На новой ТП5 производится выбор новых силовых трансформаторов исходя из расчётов перспективного роста электрических нагрузок, прогнозируемых на основе планируемых производственных мощностей и режимов работы технологических установок.

Важными критериями выбора новых трансформаторов являются их номинальная мощность, схема и группа соединений обмоток, уровень номинальных напряжений на стороне высшего и низшего напряжений, а также показатели надёжности, энергетической эффективности и технологичности эксплуатации.

При выборе оборудования преимущество отдаётся современным трансформаторам с пониженными потерями холостого хода и короткого замыкания, оснащённым эффективными системами охлаждения, а также с достаточным резервом по мощности для покрытия пиковых нагрузок и допустимой аварийной перегрузки [18].

Проверка существующих силовых трансформаторов на остальных ТП-10/0,4 кВ проводится с целью оценки их возможности эксплуатации в условиях возросших электрических нагрузок производственных линий.

Анализируется текущее техническое состояние трансформаторов, фактический ресурс эксплуатации, а также возможность работы при нагрузочных и послеаварийных режимах с учётом допустимых перегрузок, установленных действующими нормативными документами.

Проверка существующих трансформаторов проводится путём сопоставления расчётных максимальных нагрузок, определённых в результате выполнения комплексного расчёта электрических нагрузок, с паспортными параметрами трансформаторов, такими как номинальная мощность, максимально допустимые токи нагрузки, продолжительность допустимой перегрузки, температурный режим работы обмоток и масла, а также характеристики системы охлаждения.

«Мощность трансформаторов для установки на ТП-10/0,4 кВ» [16]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (10)$$

Г

д N – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.;

е $\beta_{\text{т}}$ – нормируемое значение коэффициента активной загрузки

$\sum P_{\text{р.}}$ – «суммарная мощность нагрузки на ТП», кВт; [16]

«На примере ТП-1» [16]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{160}{2 \cdot 0,85} = 94,1 \text{ кВА}.$$

«Исходя из результатов расчёта, на ТП-1 системы электроснабжения ООО «Стелс», выбраны два силовых трансформатора ТМГ-100/10» [18].

«Они совпадают с трансформаторами, которые были установлены на данной подстанции в исходной схеме.

В ходе проверки существующих трансформаторов» [18] на нагрузочную способность рассчитываются коэффициенты загрузки оборудования, определяются условия работы трансформаторов при нормальных и послеаварийных режимах работы, что позволяет установить степень использования их мощности и необходимость модернизации или замены на более мощные трансформаторы [17].

Проводится детальный анализ возможности кратковременных аварийных перегрузок, при которых трансформаторы обязаны выдерживать повышенные нагрузки без повреждения обмоток и изоляции, что критически важно для поддержания надёжности и бесперебойности технологических процессов производства аммиака, особенно в условиях ограниченного времени на переключения или проведения аварийно-восстановительных работ.

Результаты расчётных проверок позволяют сделать выводы о соответствии существующего трансформаторного оборудования новым условиям эксплуатации, определить необходимость его замены, модернизации, либо проведения мероприятий по перераспределению нагрузки между существующими подстанциями с целью повышения общей эффективности использования трансформаторов.

В случае выявления трансформаторов, находящихся на пределе своих возможностей по загрузке или перегрузочной способности, принимается решение о необходимости их замены либо о введении в схему дополнительных трансформаторов для равномерного распределения нагрузок.

«Условия проверки трансформаторов на перегрузочную способность в нормальном и послеаварийном режимах работы цеховых ТП-10/0,4 кВ» [4]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{м.}}{S_{ном.т}} \leq 0,8 - 0,85, \quad (11)$$

$$K_{3,n} = \frac{S_{м.зпп}}{S_{ном.т}} \leq 1,6 - 1,7. \quad (12)$$

«Проверка трансформаторов цеховой ТП-1 в нормальном и послеаварийном режимах выполняются» [4]:

$$K_{3,n} = \frac{0,5 \cdot 170,2}{100} \approx 0,84 \leq 0,85.$$

$$K_{3,n} = \frac{170,2}{100} \approx 1,69 \leq 1,7.$$

«Результаты выбора и проверки остальных силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс»» [18] представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора и проверки силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс»

Наименование подразделения	Номер ТП	P _{рΣ} , кВА	Число трансформаторов, шт.	Число×марка трансформаторов
Цех по производству кондитерских изделий	ТП-1	160,0	2	2×ТМГ-100/10
Цех по производству макаронных изделий	ТП2	140,0	2	2×ТМГ-100/10
Цех по производству хлебобулочных изделий	ТП-3	160,0	2	2×ТМГ-100/10
Цех фасовки и упаковки продукции	ТП-4	60+35+ +30 =125	2	2×ТМГ-100/10
Складской корпус				
Административный корпус				
Цех по производству консервов из морепродуктов	ТП-5	180,0	2	2×ТМГ-100/10
Всего по предприятию	5 ТП-10/0,4 кВ	765,0	10	10× ТМГ-100/10

Таким образом, показано, что два силовых трансформатора марки ТМГ-100/10, установленные на каждой из ТП1-ТП5, обеспечивают соответствие системы электроснабжения ООО «Стелс» возросшим эксплуатационным

нагрузкам, повышая надёжность электроснабжения производственных процессов и обеспечивается устойчивость работы предприятия в условиях непрерывного производства [17].

Выводы по разделу.

Расчётным путём показано, что два силовых трансформатора марки ТМГ-100/10, установленные на каждой из ТП1-ТП5, обеспечивают соответствие системы электроснабжения ООО «Стелс» возросшим эксплуатационным нагрузкам, повышая надёжность электроснабжения производственных процессов и обеспечивается устойчивость работы предприятия в условиях непрерывного производства.

Определено, что выбранные решения соответствуют условиям проверки по расчётной нагрузке потребителей подстанций вследствие увеличения нагрузки, а также отвечают условиям проверки по нагрузочной способности в нормальном режиме работы и перегрузочной способности в послеаварийном режиме работы.

Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения ООО «Стелс» проводится для оценки надёжности оборудования, проверки устойчивости электрической сети и выбора аппаратов защиты, способных выдерживать аварийные режимы.

Процесс расчёта включает несколько последовательных этапов, начиная с построения расчётной схемы и определения параметров элементов системы, заканчивая вычислением токов короткого замыкания и проверкой их соответствия допустимым значениям.

Первый этап заключается в построении расчётной схемы системы электроснабжения, которая должна содержать основные источники питания, трансформаторы, линии электропередачи, распределительные устройства и основные потребители электроэнергии. В данную расчётную схему, представленную на рисунке 5, включаются как существующие, так и вновь проектируемые элементы, учитывая возможные изменения конфигурации сети в процессе модернизации и расширения производства.

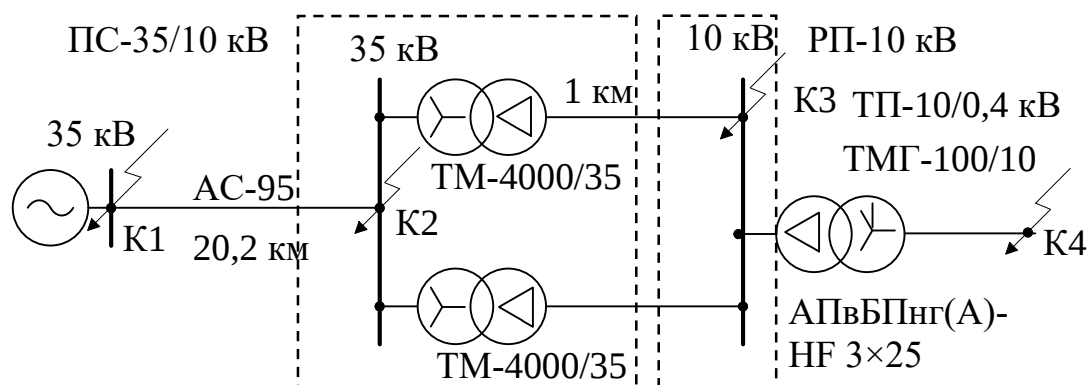


Рисунок 5 – Расчётная схема сети

В процессе проведения расчётов предварительно формируется эквивалентная схема электрической сети с указанием основных элементов: питающих источников, силовых трансформаторов цеховых ТП, воздушных и кабельных линий, а также питающей ТП-35/10 кВ и РП-10 кВ.

Для упрощения дальнейших вычислений выполняется построение эквивалентной схемы замещения, представленной на рисунке 6, в которой каждый элемент системы представляется в виде эквивалентного электрического сопротивления.

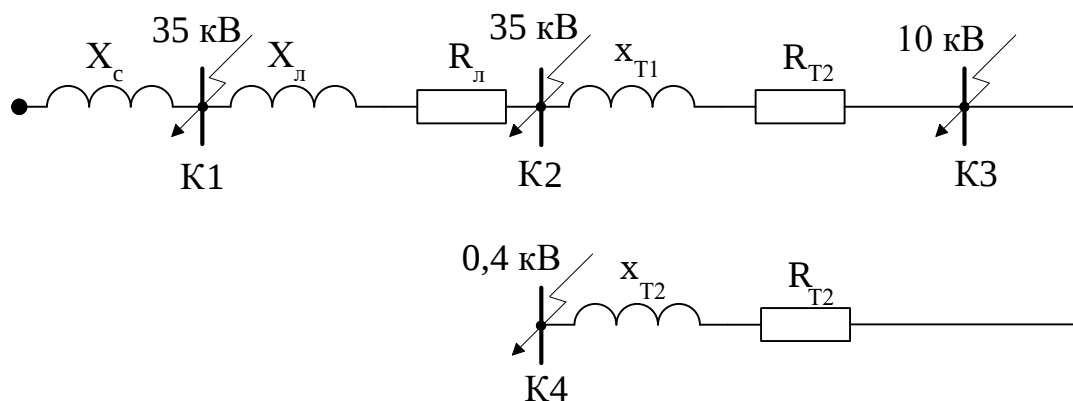


Рисунок 6 – Эквивалентная схема замещения

«Исходными данными для построения схемы замещения служат параметры силового оборудования, такие как сопротивления обмоток трансформаторов, удельные сопротивления линий электропередачи» [14], схемы соединения обмоток трансформаторов, типы и длины проводников.

Также учитываются режимы работы, предполагающие нормальный режим (при работе всех трансформаторов и линий) и послеаварийный режим, когда часть элементов сети выведена из эксплуатации вследствие отключений или плановых ремонтов.

На следующем этапе производится расчёт параметров схемы замещения, что включает определение сопротивлений источников питания, трансформаторов и линий электропередачи.

«Сопротивление питающей системы» [14]:

$$X_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{к1..макс}^{(3)}}, \quad (13)$$

$$X_c = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 1,5} = 13,47 \text{ Ом.}$$

Для высоковольтных линий учитываются их индуктивные и активные сопротивления, причём индуктивная составляющая доминирует и вносит основной вклад в величину тока короткого замыкания [14]:

$$R_{\text{л}} = r_{\text{уд}} \cdot L, \quad (14)$$

$$X_{\text{л}} = x_{\text{уд}} \cdot L, \quad (15)$$

где $x_{\text{уд}}$ – «удельное сопротивление линии, Ом/км;

L – суммарная длина линии, км» [14].

«Для питающей линии 35 кВ» [14]:

$$R_{\text{л}} = 0,37 \cdot 20,2 = 7,47 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{л}} = 0,385 \cdot 20,2 = 7,78 \text{ Ом}.$$

«Сопротивления трансформаторов определяются на основании паспортных данных, включая номинальную мощность, коэффициент короткого замыкания и класс напряжения.

Активное сопротивление трансформаторов, соответственно, питающей ПС-35/10 кВ и цеховой ТП-10/0,4 кВ» [14]:

$$R_m = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot 10^{-3} \cdot U_n^2}{S_{\text{ном.т.}}^2}, \quad (16)$$

$$R_{m1} = \frac{33,5 \cdot 10^{-3} \cdot 35^2}{4^2} = 2,56 \text{ Ом}.$$

$$R_{m2} = \frac{15 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2}{0,1^2} = 0,15 \text{ Ом}.$$

«Индуктивное сопротивление трансформаторов, соответственно, питающей ПС-35/10 кВ и цеховой ТП-10/0,4 кВ» [14]:

$$X_m = \frac{U_{к.ср.\%} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_{ном.т.}^2}, \quad (17)$$

$$X_{m1} = \frac{7,5 \cdot 35^2}{100 \cdot 4^2} = 22,97 \text{ Ом.}$$

$$X_{m2} = \frac{4,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 0,1^2} = 45,0 \text{ Ом.}$$

После определения всех сопротивлений выполняется преобразование схемы замещения с целью упрощения расчётов. Методика преобразования заключается в последовательном приведении сопротивлений к одной точке питания, что позволяет заменить сложную разветвлённую сеть эквивалентной схемой с результирующими параметрами. Используются методы приведения сопротивлений к одной базе, а также методы последовательного и параллельного сложения сопротивлений для эквивалентного представления сложных участков сети. На основании упрощённой схемы проводится расчёт результирующих сопротивлений в различных точках сети, включая места возможных коротких замыканий.

В расчётах применяются стандартные инженерные методы, позволяющие определить полные, активные и реактивные составляющие сопротивлений.

«Суммарное активное сопротивление до точки K2» [14]:

$$R_{\Sigma} = R_{c.2}, \text{ Ом}, \quad (18)$$

$$R_{\Sigma} = 7,47 \text{ Ом.}$$

«Суммарное индуктивное сопротивление до точки K2» [14]:

$$X_{\Sigma} = X_{c.2}, \text{ Ом}, \quad (19)$$

$$X_{\Sigma} = 21,25 \text{ Ом.}$$

«Суммарное полное сопротивление до точки K2» [14]:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}. \quad (20)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{7,47^2 + 21,25^2} = 22,52 \text{ Ом}.$$

«После вычисления результирующих сопротивлений выполняется расчёт токов трёхфазного короткого замыкания. Определяются значения начального тока короткого замыкания, периодической составляющей, апериодической составляющей и ударного тока.

Ток трехфазного КЗ» [14]:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}, \text{ A}. \quad (21)$$

«Ток трёхфазного КЗ точке К2» [14]:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 22,52} = 0,897 \text{ кА}.$$

«Расчёт ударного тока необходим для выбора коммутационной аппаратуры, поскольку именно этот параметр определяет динамическую нагрузку на оборудование в момент аварии.

Ударный ток трёхфазного КЗ» [14]:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{\text{уд}} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА}, \quad (22)$$

где « $\kappa_{\text{уд}}$ – ударный коэффициент тока короткого замыкания» [14].

«Ударный коэффициент» [14]:

$$\kappa_{уд} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3}{X_{\Sigma}/R_{\Sigma}}} \quad (23)$$

«Для расчётной точки К2» [14]:

$$\kappa_{уд.к2} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3}{21,25/7,47}} = 1,36,$$

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,36 \cdot 0,897 = 1,727 \text{ кА}.$$

«Аналогично определены токи КЗ в расчётных точках К3 и К4. Результаты расчета» [14] сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчёты токов КЗ

Параметр	Точка КЗ		
	К2 (35 кВ)	К3 (10 кВ)	К4 (0,38 кВ)
$I_{к(3)}$, кА	0,897	1,486	0,408
$i_{уд}$, кА	1,727	3,185	0,577

Полученные в результате расчёта токов короткого замыкания данные являются основополагающими при выборе оборудования электрических установок. Далее в работе проводится анализ полученных результатов и сравнение их с допустимыми значениями для элементов системы электроснабжения.

Выводы по разделу.

Получены данные расчёта токов КЗ, используемые при проверке термической и динамической устойчивости шинопроводов, кабельных линий, трансформаторов и выключателей, а также анализе эффективности применяемых средств защиты.

Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов

Выбор и проверка проводников

«Ранее в работе было установлено, что распределительный пункт РП-10 кВ, входящий в состав системы электроснабжения ООО «Стелс», получает питание от питающей подстанции ПС-35/10 кВ энергосистемы посредством двух независимых кабельных линий, выполненных кабелем марки АПвБПнг(А)-HF 3×70/16» [6].

Для обеспечения надёжной и бесперебойной работы данного участка сети требуется провести проверку эксплуатационных характеристик указанной кабельной линии, включая её соответствие расчётным нагрузкам и условиям прокладки.

Показано, что питание всех цеховых трансформаторных подстанций «10/0,4 кВ предприятия осуществляется от распределительного пункта РП-10 кВ через отдельные кабельные линии, выполненные кабелем марки АПвБПнг(А)-HF 3×50/16» [6]. Стабильность работы цеховых потребителей напрямую зависит от надёжности этих линий, поэтому необходимо провести их проверку, включая анализ теплового состояния, потерь напряжения и допустимой нагрузочной способности в условиях текущего и перспективного энергопотребления.

Кроме того установлено, что в системе электроснабжения предприятия была введена в эксплуатацию новая трансформаторная подстанция ТП-5, оснащённая двумя трансформаторами марки ТМГ-100/10. Данная подстанция предназначена для питания нового производственного цеха, специализирующегося на выпуске консервов из морепродуктов. Для обеспечения его электроснабжения необходимо выполнить выбор и проверку новой кабельной линии, соединяющей ТП-5 с РП-10 кВ, с «учётом ожидаемых нагрузок, условий прокладки и требований к надёжности электроснабжения данного участка сети.

Таким образом, с целью модернизации оборудования системы электроснабжения предприятия, для канализации электроэнергии на всех участках электрической сети напряжением 10 кВ (РУ-10 кВ ПС-35/10 кВ – РП-10 кВ – РУ-10 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ) предлагается использовать кабели марки АПвБПнг(А)-HF» [6], показанные на рисунке 7.



Рисунок 7 – Кабель марки АПвБПнг(А)-HF

Применение кабелей указанной марки обосновано их конструктивными особенностями и эксплуатационными характеристиками, которые обеспечивают надёжность, безопасность и долговечность работы электрической сети в промышленных условиях.

В качестве токопроводящей жилы используется алюминиевый проводник, который обеспечивает оптимальное соотношение стоимости и электротехнических характеристик.

«Изоляция из сшитого полиэтилена повышает стойкость кабеля к электрическим и механическим нагрузкам, обеспечивая его длительную эксплуатацию при номинальном напряжении 10 кВ. Бронированная оболочка (Б) защищает кабель от механических повреждений, что особенно актуально при прокладке» [6] в грунте, на открытых участках и в местах возможных механических воздействий. Внешняя оболочка из пониженной горючести (нг) и безгалогенного состава (HF) исключает распространение горения и выделение токсичных газов при возможных аварийных ситуациях, что повышает уровень безопасности в закрытых помещениях и технических тоннелях.

Применение данных кабелей позволяет обеспечить снижение потерь электроэнергии за счёт низкого уровня активного сопротивления и высоких изоляционных характеристик. Кроме того, устойчивость к повышенным температурным и механическим нагрузкам делает возможной их эксплуатацию в различных условиях прокладки, включая кабельные каналы, подземные и надземные трассы, а также производственные помещения с агрессивными средами.

Таким образом установлено, что выбор кабелей марки АПвБПнг(А)-HF соответствует требованиям надёжности и безопасности, предъявляемым к сетям напряжением 10 кВ на промышленных объектах, и обеспечивает стабильность энергоснабжения всех участков предприятия. Их использование «способствует повышению эффективности эксплуатации системы электроснабжения, снижению эксплуатационных затрат и увеличению срока службы» [6] кабельных линий, что делает данное решение экономически и технически целесообразным.

«Проводится выбора сечения кабеля 10 кВ, который питает РП-10 кВ от ПС-35/10 кВ, по экономической плотности тока» [7]:

$$F_9 = \frac{I_{p.}}{j_9}, \quad (24)$$

где « j_9 – экономическая плотность тока, А/мм²» [13].

«Проверка кабеля в нормальном режиме» [7]:

$$I_{дон} \geq I_{p.}, \quad (25)$$

где « $I_{дон}$ – предельно – допустимое значение тока проводника, А» [6].

«Проверка кабеля в послеаварийном режиме» [7]:

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (26)$$

где « $I_{p.max}$ – максимальный ток, А» [7].

«Проверка кабеля по климатическим условиям» [7]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (27)$$

«Проводится выбор кабеля питающей линии 10 кВ (от шин 10 кВ ПС-35/10 кВ до шин РП-10 кВ предприятия)» [7]:

$$F_9 = \frac{23,5}{1,4} = 16,8 \text{ мм}^2.$$

«Условия проверки сечения питающей КЛ-10 кВ соблюдены» [6]:

$$212 \text{ А} \geq 23,5 \text{ А},$$

$$212 \text{ А} \geq 32,9 \text{ А},$$

$$70 \text{ мм}^2 \geq 25 \text{ мм}^2.$$

«Сечение остальных кабельных линий 10 кВ выбраны аналогично» [14] и представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора сечения кабельных линий 10 кВ

Линия	$I_p, \text{ А}$	$I_{p.max}, \text{ А}$	Марка кабеля	$I_{доп}, \text{ А}$
РУ-10 кВ ПС-35/10 кВ – ввод 1 питающего РП-10 кВ	23,5	32,9	АПвБПнг(А)-HF 3×70/16	212
РУ-10 кВ ПС-35/10 кВ – ввод 2 питающего РП-10 кВ	23,5	32,9	АПвБПнг(А)-HF 3×70/16	212
Питающий РП-10 – ТП-1	4,9	6,9	АПвБПнг(А)-HF 3×50/16	154
Питающий РП-10 – ТП-2	4,3	6,0	АПвБПнг(А)-HF 3×50/16	154
Питающий РП-10 – ТП-3	4,9	6,9	АПвБПнг(А)-HF 3×50/16	154
Питающий РП-10 – ТП-4	3,8	5,4	АПвБПнг(А)-HF 3×50/16	154
Питающий РП-10 – ТП-5	5,5	7,7	АПвБПнг(А)-HF 3×50/16	154

Таким образом, с целью модернизации оборудования системы «электроснабжения предприятия, для канализации электроэнергии на всех участках электрической сети напряжением 10 кВ (РУ-10 кВ ПС-35/10 кВ – РП-10 кВ – РУ-10 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ), выбраны и проверены кабели следующих марок и сечений:

- установлено, что для питающей линии «РУ-10 кВ ПС-35/10 кВ – ввод 10 кВ питающего РП-10 кВ» системы электроснабжения ООО «Стелс», целесообразно применение кабельной линии, состоящей из двух независимых кабелей марки АПвБПнг(А)-HF 3×70/16;
- показано, что питание всех цеховых трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ предприятия целесообразно осуществляется от РП-10 кВ через отдельные кабельные линии, выполненные двойным кабелем марки АПвБПнг(А)-HF 3×50/16;
- установлено, что для питания новой трансформаторной подстанции ТП-5» [6], оснащённой двумя трансформаторами марки ТМГ-100/10 и предназначенной для питания нового производственного цеха, специализирующегося на выпуске консервов из морепродуктов, рационально использовать кабельную линию, выполненную двойным кабелем марки АПвБПнг(А)-HF 3×50/16.

Выбор основных технических решений по модернизации оборудования распределительных устройств

В рамках реконструкции и модернизации системы электроснабжения ООО «Стелс» были приняты стратегически важные технические решения, направленные на повышение надёжности, эффективности и безопасности энергоснабжения предприятия.

В результате проведения реконструкции схемы и модернизации оборудования системы электроснабжения ООО «Стелс», выбраны следующие технические решения:

- «для применения на стороне 10 кВ в питающем РП-10 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс», предлагается использование «комплектного вакуумного распределительного устройства с выкатным элементом КРУ-ZETO-10 производства ЗАО «ЗЭТО»» [9];
- «для применения в качестве цеховых ТП-10/0,4 кВ выбраны комплектные трансформаторные подстанции закрытого типа с двумя трансформаторами марки ТМГ-100/10» [19].

Далее проводится аргументация и обоснование выбранных типов и марок оборудования.

Первое техническое решение касается применения комплектного «вакуумного распределительного устройства с выкатным элементом КРУ-ZETO-10, производства ЗАО «ЗЭТО», на стороне 10 кВ в питающем распределительном пункте. Данное решение» [9] представлено на рисунке 8.



Рисунок 8 – Ячейки КРУ-ZETO-10 (ЗАО «ЗЭТО»)

Выбор данного устройства обоснован его высокой надёжностью и эффективностью работы. Вакуумные выключатели, используемые в КРУ-ZETO-10, обеспечивают надёжное коммутационное устройство, способное выдерживать значительные электрические нагрузки и многократные операции отключения, что особенно важно для промышленных объектов.

Высокая износостойкость и минимальные потери при коммутации снижают вероятность аварийных ситуаций и требований к техническому

обслуживанию, что экономически выгодно и обеспечивает бесперебойную работу электроснабжения.

Второе техническое решение представлено на рисунке 9 и предполагает использование комплектных трансформаторных подстанций закрытого типа с двумя трансформаторами марки ТМГ-100/10 для цеховых трансформаторных подстанций напряжением 10/0,4 кВ.



Рисунок 9 – КТП-10/0,4 кВ закрытого типа

Закрытый тип подстанций предотвращает воздействие внешних факторов на трансформаторы, минимизируя риск повреждений и улучшая условия их эксплуатации. Двойная конфигурация трансформаторов обеспечивает резервирование питания, что повышает надёжность электроснабжения и снижает риск простоев в производственном процессе.

Таким образом, выбранные технические решения не только соответствуют современным технологическим требованиям и стандартам безопасности, но и способствуют оптимизации эксплуатационных расходов предприятия.

Их внедрение позволит значительно улучшить энергоэффективность, надёжность и устойчивость системы электроснабжения ООО «Стелс» в условиях интенсивного производственного процесса.

Выбор и проверка электрических аппаратов

Далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов для компоновки выбранных ранее основных распределительных устройств. Результаты выбора электрических аппаратов на стороне 10 кВ питающего РП-10 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс», представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора и проверки электрических аппаратов на стороне 10 кВ питающего РП-10 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели ВБ-10-ПЗ-ЗЕТО-31,5/2000 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 32,9 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,547 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,284 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$B_K = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$
Трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ-10	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 32,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 500 \text{ А}$
	$S_{2\Sigma} \leq S_n$	$S_{2\Sigma} = 800 \text{ ВА}$	$S_n = 1000 \text{ ВА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$B_K = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$
Трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10-21	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 32,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 50 \text{ А}$
	$S_{2\Sigma} \leq S_n$	$S_{2\Sigma} = 100 \text{ ВА}$	$S_n = 120 \text{ ВА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$B_K = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$I_T^2 \cdot t_T = 12,7^2 \cdot 3 = 483,87 \text{ кА}^2\text{с.}$
Ограничители перенапряжения нелинейные ОПН-П-10/12,7/10/1,1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 32,9 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,547 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 10 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,284 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 12,7 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$B_K = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$I_T^2 \cdot t_T = 12,7^2 \cdot 3 = 483,87 \text{ кА}^2\text{с.}$

«Таким образом, расчётным путём установлено, что вакуумные выключатели марки ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000, трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ-10, трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10-21 и ограничители перенапряжения нелинейные ОПН-П-10/12,7/10/1,1, подходят для компоновки ячеек питающего РП-10 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс».

Результаты выбора и проверки электрических аппаратов на стороне 10 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс» [8], представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки электрических аппаратов на стороне 10 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели нагрузки ВНА СЭЩ 80-10/630-20	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 32,9 \text{ А.}$	$I_{ном} = 630 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,284 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$B_K = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Предохранители марки ПКТ-10-16-12,5	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$1,5I_{ном.т} \leq I_{ном.вст}$	$1,5I_{ном.т} = 1,5 \times 8,09 = 12,14 \text{ А.}$	$I_{ном.вст} = 16 \text{ А.}$
	$I_{ном.п} \geq I_{ном.вст}$	$I_{ном.п} = 100 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 16 \text{ А}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$B_K = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$I_T^2 \cdot t_T = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2\text{с.}$

Таким образом, расчётным путём установлено, что выключатели нагрузки ВНА СЭЩ 80-10/630-20 и предохранители марки ПКТ-10-16-12,5, подходят для компоновки ячеек РУ-10 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс». Все принятые решения по компоновке выбранных ранее основных распределительных устройств системы электроснабжения ООО «Стелс» показаны в графической части работы.

Выводы по разделу.

С целью модернизации оборудования системы электроснабжения предприятия, выбраны и проверены кабели:

- для питающей линии «РУ-10 кВ ПС-35/10 кВ – ввод 10 кВ питающего РП-10 кВ» обосновано применение двух кабелей марки АПвБПнг(А)-HF 3×70/16;
- для питания всех ТП-10/0,4 кВ выбраны кабели марки АПвБПнг(А)-HF 3×50/16;
- установлено, что для питания новой трансформаторной подстанции ТП-5, оснащённой двумя трансформаторами марки ТМГ-100/10 и предназначенной для питания нового производственного цеха, специализирующегося на выпуске консервов из морепродуктов, рационально использовать кабельную линию, выполненную двойным кабелем марки АПвБПнг(А)-HF 3×50/16.

В результате проведения реконструкции схемы и модернизации оборудования системы электроснабжения ООО «Стелс», выбраны следующие технические решения:

- для применения на стороне 10 кВ выбраны ячейки КРУ-ZETO-10;
- для применения в качестве ТП-10/0,4 кВ выбраны КТП с двумя трансформаторами марки ТМГ-100/10.

Установлено, что вакуумные выключатели, трансформаторы напряжения и тока, а также ОПН-П-10/12,7/10/1,1, подходят для компоновки ячеек питающего РП-10 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс». Расчётным путём установлено, что выключатели нагрузки и предохранители марки подходят для компоновки ячеек РУ-10 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс». Показано, что выбранные технические решения по модернизации оборудования системы электроснабжения ООО «Стелс» отвечают всем необходимым требованиям безопасности, экономичности и надёжности работы, что позволяет обеспечить бесперебойность технологического процесса, минимизировать риски аварий.

Выбор систем релейной защиты и учёта электроэнергии

Выбор системы релейной защиты

Для обеспечения надёжной и эффективной защиты объектов электроснабжения ООО «Стелс» были приняты важные технические решения, основанные на использовании современных микропроцессорных блоков релейной защиты MICOM P-632 и MiCOM P-547.

Проводится обоснование данного выбора.

Первое решение касается «защиты линий, которые питают силовые трансформаторы цеховых трансформаторных подстанций напряжением 10/0,4 кВ от питающего распределительного пункта 10 кВ.

Для этой цели были выбраны микропроцессорные блоки релейной защиты MICOM P-632» [3], показанные на рисунке 10.



Рисунок 10 – Блок РЗиА MICOM P-632

«Известно, что микропроцессорные блоки релейной защиты MICOM P-632» [3] обладают высокой скоростью отклика и точностью измерений, что позволяет оперативно реагировать на любые изменения в электрической сети, включая короткие замыкания и перегрузки, что требуется [1].

Устройство MICOM P-632 обеспечивает разнообразные функции защиты, включая защиту от перегрузок, «дифференциальную защиту и защиту от обратных последствий, что критически важно для предотвращения повреждений оборудования и обеспечения непрерывности работы.

Второе решение касается защиты вводных и секционных присоединений питающего распределительного пункта 10 кВ с использованием микропроцессорного блока дифференциально-фазной защиты линий MiCOM P-547» [15], показанного на рисунке 11.



Рисунок 11 – Блок дифференциально-фазной защиты линий MiCOM P-547

«Применение блока дифференциально-фазной защиты линий MiCOM P-547 обеспечивает высокую чувствительность и точность действия при обнаружении различных видов неисправностей, включая короткие замыкания и замыкания на землю, что требуется» [1]. «Блок MiCOM P-547 оснащён мощными алгоритмами фильтрации и обработки сигналов, что позволяет исключить ложные срабатывания и оперативно отключить участок сети при возникновении аварийных ситуаций» [15].

Выбор системы контроля и учёта электроэнергии

Для «обеспечения эффективного контроля и учёта электрических параметров в системе электроснабжения ООО «Стелс» было рекомендовано использовать систему автоматизированной информационной системы контроля и учёта электроэнергетических параметров (АИИСКУЭ) на базе SCADA с интеграцией трёхфазного счётчика СЕ 304 и устройства сбора и передачи данных (УСПД) марки 164-01М от ТМ «Энергомера» [2], структурная схема которой представлена на рисунке 12.

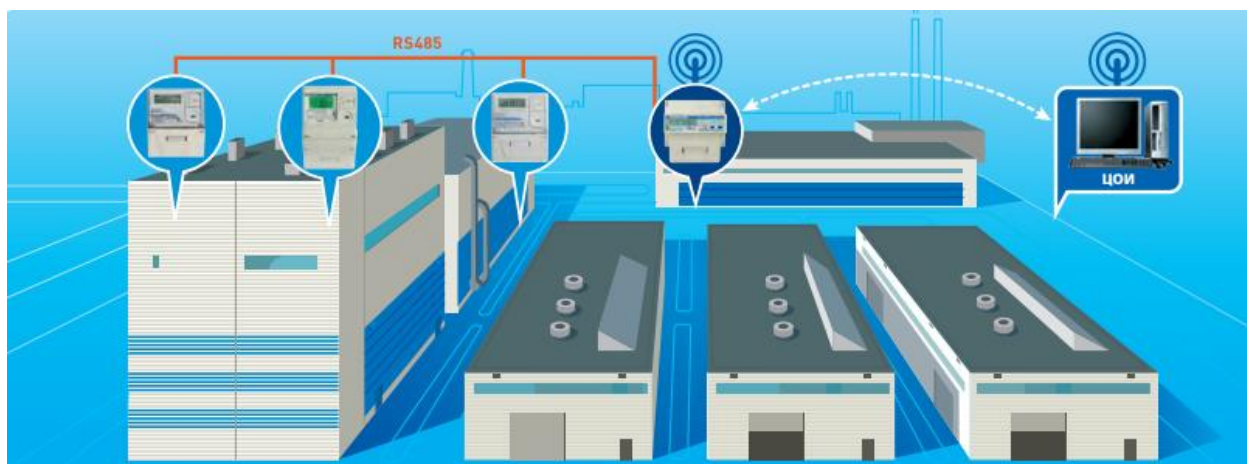


Рисунок 12 – Структурная схема АИИСКУЭ на базе SCADA с интеграцией трёхфазного счётчика СЕ 304 и устройства сбора и передачи данных (УСПД) марки 164-01М от ТМ «Энергомера»

Выбор системы SCADA обоснован её способностью к комплексному мониторингу и управлению электроэнергетическими процессами на предприятии. SCADA предоставляет операторам возможность в реальном времени отслеживать и «анализировать данные о потреблении электроэнергии, состоянии оборудования и сети, что критически важно для оперативного реагирования на любые отклонения и аварийные ситуации.

Трёхфазный счётчик СЕ 304, показанный на рисунке 13, отличается высокой точностью измерений и надёжностью работы [2], что обеспечивает точное и достоверное учётное чтение потребления электроэнергии.

Такой счётчик способен работать в широком диапазоне токов и напряжений, что делает его идеальным для различных условий эксплуатации.



Рисунок 13 – Трёхфазный счётчик CE 304

Устройство сбора и передачи данных УСПД 164-01М от ТМ «Энергомера», обеспечивает надёжную передачу данных от счётчиков и других измерительных устройств в систему SCADA.

Выбранное устройство УСПД 164-01М поддерживает современные стандарты связи, такие как протоколы передачи данных по сети связи, обеспечивая высокую скорость передачи и защищённость информации.

Оно представлено на рисунке 14.



Рисунок 14 – УСПД 164-01М

Данное устройство было выбрано благодаря его высокой надёжности, хорошо зарекомендовавшей себя на рынке отечественных разработок. Устройство УСПД 164-01М обеспечивает стабильную работу в условиях повышенных нагрузок и эксплуатационных нагрузок, что особенно важно для системы электроснабжения промышленного предприятия.

Выводы по разделу.

Установлено, что выбор микропроцессорных блоков релейной защиты MICOM P-632 и MiCOM P-547 обоснован их высокой надёжностью, эффективностью и возможностью интеграции с современными системами управления и мониторинга электроснабжения. Данные технические решения способствуют не только защите оборудования от повреждений, но и обеспечивают стабильность работы электрической сети предприятия, что критически важно для продолжительной и безаварийной эксплуатации.

Показано, что комплексное применение системы SCADA, состоящей из трёхфазного счётчика СЕ 304 и устройства УСПД 164-01М от ТМ «Энергомера», обеспечивает высокий уровень автоматизации, надёжность и эффективность в управлении и контроле электроэнергетическими процессами на предприятии, а также в точном измерении параметров электроэнергии.

Принятые технические решения способствуют повышению оперативности реагирования на изменения и обеспечивают экономическую эффективность в управлении энергопотреблением.

Заключение

В работе осуществлена разработка оптимального проекта модернизации системы электроснабжения ООО «Стелс», способного обеспечить высокий уровень надежности и энергоэффективности, а также соответствующего требованиям безопасности и стандартам современной электроэнергетики.

Установлено, что система электроснабжения предприятия ООО «Стелс» охватывает целый комплекс технологических объектов, обеспечивающих производство разнообразной пищевой продукции, где стабильность и качество электропитания играют ключевую роль в поддержании технологических процессов на высоком уровне.

Показано, что к числу основных производственных объектов системы электроснабжения ООО «Стелс», относятся 6 основных подразделений.

Кроме того, в связи с расширением ассортимента продукции, планируется ввести в эксплуатацию цех по производству консервов из морепродуктов, который будет укомплектован современным оборудованием.

Таким образом, предусмотрено введение в эксплуатацию двух новых ячеек 10 кВ для подключения новой цеховой ТП-5, служащей для питания потребителей нового цеха по производству консервов из морепродуктов.

Кроме того, в рамках работы также планируется провести модернизацию не только схемы, но и системы релейной защиты и измерений на объекте проектирования.

Проведены расчёты максимальной нагрузки в системе электроснабжения системы электроснабжения ООО «Стелс»:

- отдельных участков системы электроснабжения предприятия;
- суммарной нагрузки системы электроснабжения предприятия.

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок позволяют определить оптимальные параметры системы электроснабжения предприятия в условиях расширения производства и модернизации оборудования, что

обеспечивает надёжную и эффективную работу электрических сетей при возросших нагрузках.

Проведённый анализ расчётных электрических нагрузок даёт возможность выбрать рациональные технические решения, обеспечивающие соответствие системы электроснабжения ООО «Стелс» современным требованиям по безопасности, энергоэффективности и надёжности в результате внедрения рациональных мероприятий по модернизации оборудования и реконструкции схемы объекта исследования.

Установлено, на каждой из ТП1-ТП5, применение двух трансформаторов марки ТМГ-100/10 соответствуют условиям проверки по расчётной нагрузке потребителей подстанций вследствие увеличения нагрузки, а также отвечают условиям проверки по нагрузочной способности в нормальном режиме работы и перегрузочной способности в послеаварийном режиме работы.

Проведённый расчёт токов КЗ позволяет определить параметры аварийных режимов работы системы электроснабжения, что является основой для выбора защитных устройств, предотвращения повреждений оборудования и обеспечения безопасности персонала.

Полученные данные используются при проверке термической и динамической устойчивости шинопроводов, кабельных линий, трансформаторов и выключателей, а также анализе эффективности применяемых средств защиты.

С целью модернизации оборудования системы электроснабжения предприятия, выбраны и проверены кабели:

- для питающей линии «РУ-10 кВ ПС-35/10 кВ – ввод 10 кВ питающего РП-10 кВ» обосновано применение двух кабелей марки АПвБПнг(А)-HF 3×70/16;
- для питания всех ТП-10/0,4 кВ выбраны кабели марки АПвБПнг(А)-HF 3×50/16;

- установлено, что для питания новой трансформаторной подстанции ТП-5, оснащённой двумя трансформаторами марки ТМГ-100/10 и предназначенной для питания нового производственного цеха, специализирующегося на выпуске консервов из морепродуктов, рационально использовать кабельную линию, выполненную двойным кабелем марки АПвБПнг(А)-HF 3×50/16.

В результате проведения реконструкции схемы и модернизации оборудования системы электроснабжения ООО «Стелс», выбраны следующие технические решения:

- для применения на стороне 10 кВ выбраны ячейки КРУ-ZETO-10;
- для применения в качестве ТП-10/0,4 кВ выбраны КТП с двумя трансформаторами марки ТМГ-100/10.

Установлено, что вакуумные выключатели, трансформаторы напряжения и тока, а также ОПН-П-10/12,7/10/1,1, подходят для компоновки ячеек питающего РП-10 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс». Расчётным путём установлено, что выключатели нагрузки и предохранители марки подходят для компоновки ячеек РУ-10 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения ООО «Стелс». Показано, что выбранные технические решения по модернизации оборудования системы электроснабжения ООО «Стелс» отвечают всем необходимым требованиям безопасности, экономичности и надёжности работы, что позволяет обеспечить бесперебойность технологического процесса, минимизировать риски аварий.

Показано, что выбранные технические решения по модернизации оборудования системы электроснабжения ООО «Стелс» отвечают всем необходимым требованиям безопасности, экономичности и надёжности работы, что позволяет обеспечить бесперебойность технологического процесса, минимизировать риски аварий и отказов электрооборудования, а также существенно снизить эксплуатационные и капитальные затраты.

Установлено, что выбор микропроцессорных блоков релейной защиты MICOM P-632 и MiCOM P-547 обоснован их высокой надёжностью,

эффективностью и возможностью интеграции с современными системами управления и мониторинга электроснабжения. Данные технические решения способствуют не только защите оборудования от повреждений, но и обеспечивают стабильность работы электрической сети предприятия, что критически важно для продолжительной и безаварийной эксплуатации.

Показано, что комплексное применение системы SCADA, состоящей из трёхфазного счётчика СЕ 304 и устройства УСПД 164-01М от ТМ «Энергомера», обеспечивает высокий уровень автоматизации, надёжность и эффективность в управлении и контроле электроэнергетическими процессами на предприятии, а также в точном измерении параметров электроэнергии.

Принятые технические решения способствуют повышению оперативности реагирования на изменения и обеспечивают экономическую эффективность в управлении энергопотреблением.

Таким образом, в результате выполнения работы, сформировано и обосновано комплексное решение по проведению модернизации системы электроснабжения ООО «Стелс», отвечающее современным требованиям надёжности, безопасности и рентабельности, а также обеспечивает всесторонний учет актуальной нормативной базы и потенциальных рисков, связанных с функционированием объекта исследования.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Агафонов А.И., Бростилова Т. Ю., Джазовский Н. Б. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 300 с.
2. АИИСКУЭ промышленные ЭНЕРГОМЕРА. [Электронный ресурс]: URL: <https://energomera.nt-rt.ru/catalog/askue-promyslennye> (дата обращения: 28.03.2025).
3. Блок MiCOM P632. Дифференциальная защита трансформатора. [Электронный ресурс]: URL: <https://электротехника.рф/upload/iblock/77c/01.pdf> (дата обращения: 28.03.2025).
4. ГОСТ 14209–85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (с Изменением № 1). [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012414> (дата обращения: 28.03.2025).
5. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 28.03.2025).
6. Кабель АПвБПнг(А)-HF [Электронный ресурс]: URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-sshitogo-polietilena-10kv/apvbpng\(a\)-hf-10kv/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-sshitogo-polietilena-10kv/apvbpng(a)-hf-10kv/) (дата обращения: 28.03.2025).
7. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: КноРус, 2019. 236 с.
8. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
9. Оборудование ЗАО «ЗЭТО». Каталог. [Электронный ресурс]: URL: https://zeto.ru/products_and_services/catalog/ (дата обращения: 28.03.2025).
10. ООО «СТЕЛС» [Электронный ресурс]: URL:

<https://checko.ru/company/stehls-1106320016428> (дата обращения: 28.03.2025).

11. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ от 15 декабря 2020 г. № 903н / Приказ от 29 апреля 2022 г. № 279н). Изд-во Мини-Тайп, 2023. 216 с.

12. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.

13. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.

14. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 28.03.2025).

15. Реле дифференциально-фазной защиты MiCOM P547. Техническая документация [Электронный ресурс]: URL: <https://электротехника.рф/info/biblioteka/tekhnicheskaya-dokumentatsiya/nizkovoltnaya-apparatura/komplektnye-ustroystva-upravleniya-raspredeleniya-i-zashchity/rele-differentsialno-faznoy-zashchity-vl-micom-p547-tekhnicheskaya-dokumentatsiya-biblioteka-elek-ru/> (дата обращения: 28.03.2025).

16. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.

17. Сибикин Ю.Д. Технология энергосбережения. М.: Инфра-М, 2022. 336 с.

18. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.

19. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Москва, 2020. 142 с.