

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 Проектирование системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит»

Обучающийся

А. В. Кульчицкий

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д. Л. Спиридонов

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

Тольятти 2025

Аннотация

В работе осуществлено проектирование современной, технически совершенной и экономически обоснованной системы электроснабжения предприятия ООО «Волга-Монолит», способной обеспечить требуемый уровень надежности и безопасности энергоснабжения с учетом перспектив дальнейшего расширения производственных мощностей.

Для достижения указанной цели, проведён комплексный анализ исходных данных, включающий оценку текущего состояния энергетической инфраструктуры предприятия, анализ электрических нагрузок и условий эксплуатации оборудования.

На основе полученных результатов, проведён выбор схемы электроснабжения, которая обеспечивает оптимальное распределение нагрузок и учитывает особенности работы предприятия.

Выбраны и проверены трансформаторы главной понизительной подстанции (ГПП) и цеховых трансформаторных подстанций (ЦТП) предприятия.

Осуществлён выбор проводников и электрических аппаратов.

Расчётно-пояснительная записка работы содержит 79 печатных страниц, включая введение, семь 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 по объекту ВКР	12
2 Выбор схемы электроснабжения предприятия	17
3 Расчет электрических нагрузок	23
3.1 Расчёт электрических нагрузок освещения.....	23
3.2 Расчёт электрических силовых нагрузок.....	26
3.3 Расчёт суммарных электрических нагрузок.....	30
4 Выбор и проверка трансформаторов ГПП и цеховых ТП предприятия	35
4.1 Выбор и проверка трансформаторов ГПП	35
4.2 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП	40
5 Расчёт токов короткого замыкания	47
6 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов.....	56
6.1 Выбор и проверка проводников	56
6.2 Выбор электрических аппаратов	62
7 Выбор систем релейной защиты и собственных нужд питающей ГПП	66
7.1 Выбор системы релейной защиты и автомата питающей ГПП	66
7.2 Выбор и расчёт системы собственных нужд ГПП	68
Заключение	73
Список используемой литературы и используемых источников.....	78

Введение

Эффективная и надежная работа современных промышленных предприятий Российской Федерации, таких как ООО «Волга-Монолит», в значительной степени зависит от качественно организованной и грамотно спроектированной системы электроснабжения.

В настоящее время в условиях активного технологического развития и модернизации отечественной промышленности возрастают требования к бесперебойному и высококачественному энергоснабжению, что обусловлено необходимостью стабильной работы энергоёмкого оборудования, повышения конкурентоспособности продукции и минимизации рисков аварийных ситуаций.

В связи с этим возникает актуальная задача по разработке современных схем электроснабжения, максимально отвечающих современным техническим, экономическим и экологическим стандартам.

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 предприятия ООО «Волга-Монолит», чей производственный комплекс характеризуется высоким уровнем энергопотребления и требовательными условиями эксплуатации электрооборудования.

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

Разработка такой системы позволяет не только обеспечить бесперебойную работу технологического процесса, но и существенно снизить эксплуатационные затраты, оптимизировать распределение электрических нагрузок и повысить общую безопасность работы объекта.

Актуальность данной работы определяется необходимостью создания современной, адаптированной к современным требованиям системы электроснабжения предприятия ООО «Волга-Монолит», специализирующегося на производстве строительных и железобетонных изделий, способной учитывать динамику изменения производственных процессов, а также основных требований нормативно-правовых документов [12], [20].

Таким образом, в условиях внедрения инновационных технологий и автоматизированных систем управления, разработка современного рационального проекта системы электроснабжения предприятия становится стратегически важным направлением деятельности, способствующим повышению конкурентоспособности предприятия на рынке.

Практическая ценность работы заключается в создании проекта, который способен удовлетворить реальные потребности ООО «Волга-Монолит» в условиях постоянно изменяющихся технологических и энергетических требований, а также в формировании методических основ, применимых для проектирования аналогичных систем на аналогичных промышленных предприятиях. Кроме того, второй аспект практической значимости данной работы заключается в обеспечении стабильного функционирования и эффективной эксплуатации всех подразделений и технологических комплексов предприятия за счёт внедрения современных технических решений в области электроснабжения.

Основной целью выпускной квалификационной работы является проектирование современной, технически совершенной и экономически обоснованной системы электроснабжения предприятия ООО «Волга-Монолит», способной обеспечить требуемый уровень надежности и безопасности энергоснабжения с учетом перспектив дальнейшего расширения производственных мощностей.

Объектом исследования выступает система электроснабжения предприятия ООО «Волга-Монолит».

Предметом исследования выступают технические решения, «принятые по схемам и оборудованию системы электроснабжения предприятия, методы расчётов и выбора оборудования, а также подходы к обеспечению надёжности и безопасности на объекте исследования.

Сформированы основные задачи работы. Для достижения указанной цели, необходимо провести комплексный анализ исходных» [11] данных, включающий оценку текущего состояния энергетической инфраструктуры предприятия, анализ электрических нагрузок и условий эксплуатации оборудования.

На основе полученных результатов, требуется провести выбор схемы электроснабжения, которая обеспечивает оптимальное распределение нагрузок и учитывает особенности работы предприятия.

Расчет электрических нагрузок позволяет определить ключевые параметры системы, что играют существенную роль в создании безопасной и эффективной системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит».

Полученные результаты работы могут быть использованы не только в системе электроснабжения ООО «Волга-Монолит», но и для разработки аналогичных проектов на других предприятиях промышленного комплекса, что также подчеркивает практическую значимость и актуальность проведенного исследования.

1 Анализ исходных данных

1.1 Характеристика предприятия

На этапе сбора и анализа исходных данных, приводится характеристика ООО «Волга-Монолит», для которой необходимо разработать современную систему электроснабжения.

Предприятие зарегистрировано по адресу: РФ, Самарская область, г. Тольятти, ул Дзержинского, зд. 98, офис 311 [11].

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

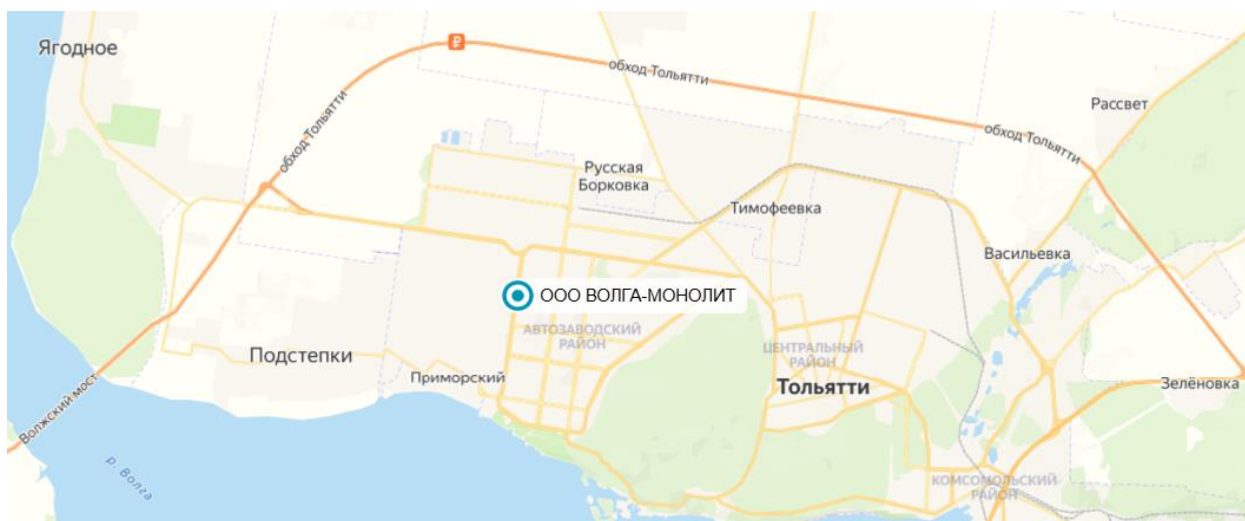


Рисунок 1 – Территориальное расположение ООО «Волга-Монолит» на территории городской застройки г. Тольятти

ООО «Волга-Монолит», расположенное в г. Тольятти Самарской области по адресу ул. Дзержинского, зд. 98, офис 311, представляет собой современное предприятие, активно развивающееся в области производства и поставок строительных материалов для монолитного строительства и сопутствующих инженерных решений.

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.

Предприятие ориентировано на реализацию инновационных проектов в строительном секторе, что способствует не только повышению конкурентоспособности компании, но и устойчивому развитию региональной инфраструктуры.

Производственная деятельность ООО «Волга-Монолит» сконцентрирована на выпуске широкого спектра строительных материалов, используемых в монолитном строительстве, что включает как сырьевые компоненты, так и готовые конструкционные элементы, обладающие высокой прочностью и долговечностью.

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 предприятия построена на основе современных управленческих принципов, позволяющих обеспечить тесное взаимодействие между конструкторско-техническим отделом, производственными цехами и службами контроля качества.

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 «Волга-Монолит», представленная на рисунке 2, подразделяется на исследовательско-проектное направление и сервисный блок, отвечающий за техническую поддержку и обучение персонала заказчиков [11].

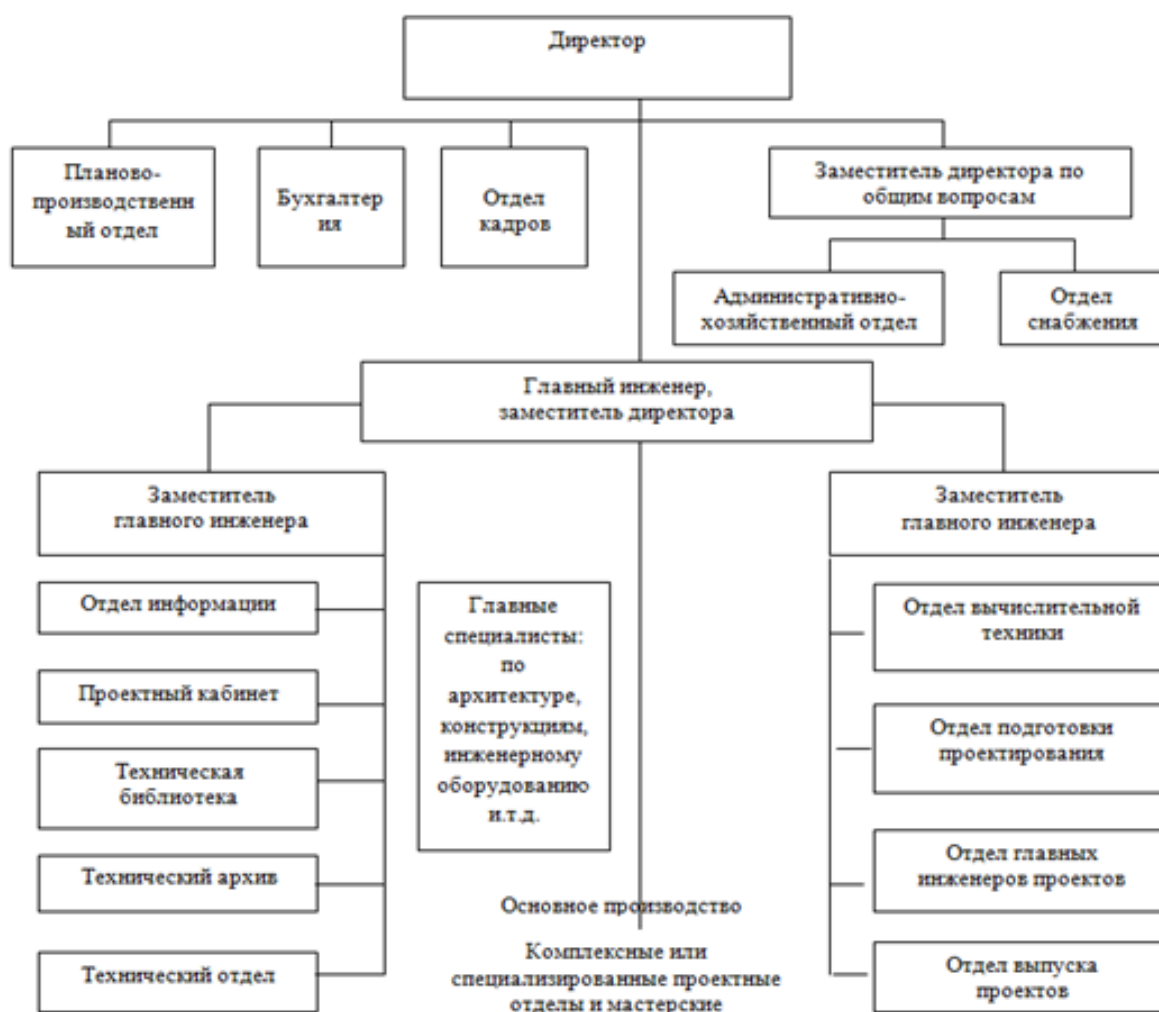


Рисунок 2 – Организационная структура организации ООО «Волга-Монолит»

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.

Экономическая стабильность ООО «Волга-Монолит» 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 «Волга-Монолит», представленные на рисунке 3, демонстрируют устойчивое развитие, поскольку спрос на услуги предприятия растёт, а создание облачных сервисов выступает перспективным направлением, способствующим увеличению объёмов выручки.

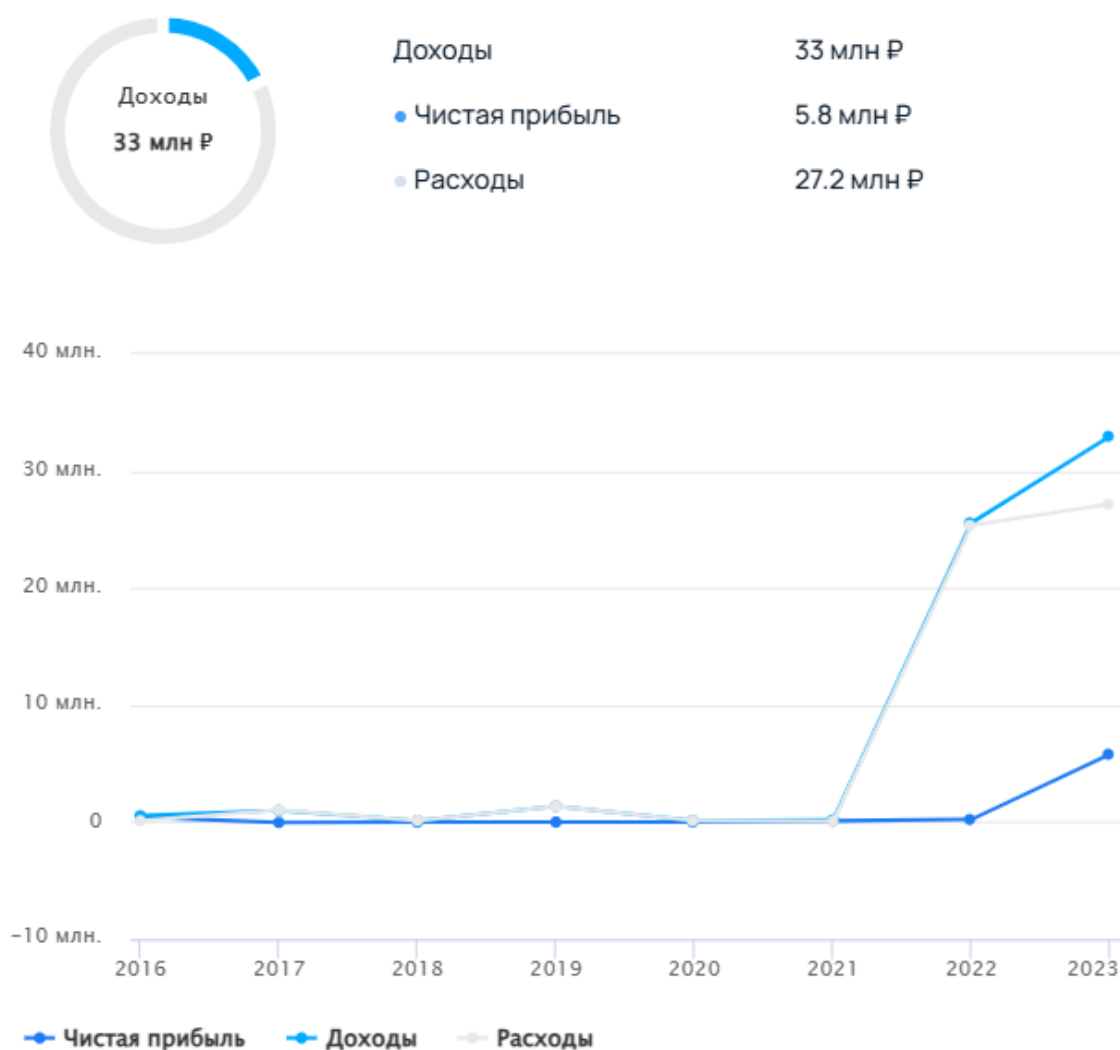


Рисунок 3 – Основные финансовые показатели ООО «Волга-Монолит» за 2016 – 2023 гг.

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



Рисунок 4 – Уплаченные налоги ООО «Волга-Монолит» за 2016 – 2023 гг.

Перспективы развития компании связаны с активной интеграцией инновационных решений, а также ориентация на экологически чистые производственные процессы создают благоприятные условия для экспансии предприятия как на внутреннем, так и на международном рынках.

Кроме того, стратегическое развитие предприятия предусматривает усиление научно-исследовательской деятельности и совершенствование инженерных решений, что позволит компании сохранять лидирующие позиции в условиях динамично меняющейся экономической среды и высоких требований к техническому уровню выпускаемой продукции.

Таким образом, ООО «Волга-Монолит» является высокотехнологичным предприятием, которое сочетает в себе передовые производственные технологии, эффективную организационную структуру и устойчивую экономическую политику, что в совокупности обеспечивает его стабильное развитие и перспективное расширение на рынке строительных материалов и инженерных решений.

1.2 Анализ исходных данных по объекту ВКР

Далее в работе проводится анализ исходных данных по объекту ВКР, который предполагает собой систему электроснабжения ООО «Волга-Монолит».

К числу основных производственных объектов системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит», относятся:

- участок производства железобетонных изделий (оборудование 0,4 кВ);
- участок приёмки и первичной подготовки материалов (оборудование 0,4 кВ);
- участок производства строительных сыпучих материалов (оборудование 0,4 кВ);
- насосная станция (оборудование 0,4 кВ и синхронные электродвигатели 10 кВ);
- участок сушки готовой продукции (оборудование 0,4 кВ и электропечи 10 кВ);
- участок производства строительного бетона (оборудование 0,4 кВ);
- участок производства гидроизоляционных материалов (оборудование 0,4 кВ);
- компрессорная станция (синхронные электродвигатели 10 кВ);
- участок упаковки готовой продукции (оборудование 0,4 кВ);
- лаборатория контроля и административно-технический корпус (оборудование 0,4 кВ).

«Система электроснабжения ООО «Волга-Монолит» охватывает ряд ключевых производственных объектов, каждый из которых выполняет специфическую функцию» [11] в технологическом процессе предприятия.

Так, участок, предназначенный для производства железобетонных изделий, представляет собой комплекс технологических линий, где производится формирование и уплотнение железобетонных конструкций,

обеспечивая необходимую механическую прочность и долговечность конечной продукции; данный участок оборудован устройствами, получающих питание на напряжении 0,4 кВ.

Рядом с ним располагается зона приёмки и первичной подготовки материалов, где осуществляется контроль качества поступающих сырьевых компонентов и их предварительная обработка для дальнейшего использования в производственных процессах.

Следующий важный объект – участок производства строительных сыпучих материалов, где происходит дробление, сортировка и подготовка сыпучих материалов для последующего их использования в строительстве.

Насосная станция, являющаяся критически важным звеном в системе водоснабжения производственных объектов, функционирует с использованием оборудования на 0,4 кВ в сочетании с мощными синхронными электродвигателями, которые питаются от сети 10 кВ, что позволяет эффективно перекачивать жидкости с минимальными потерями мощности и гарантировать стабильное функционирование системы водоснабжения на всех этапах производства.

Особое значение имеет участок сушки готовой продукции, где высокотехнологичные электропечи, получающие питание от сети на номинальном напряжении 10 кВ, используются для быстрого и равномерного удаления влаги из продукции, при этом вспомогательное оборудование напряжением 0,4 кВ обеспечивает необходимые условия контроля и автоматизации технологического процесса, что существенно влияет на качество конечного продукта.

Участок производства строительного бетона, оборудованный оборудованием напряжением 0,4 кВ, предназначен для дозирования, перемешивания и заливки компонентов в специальные формы.

При данном процессе поддержание стабильного электроснабжения обеспечивает точное соблюдение рецептур и высокую прочность бетонных смесей.

Аналогичным образом, участок производства гидроизоляционных материалов использует оборудование напряжением 0,4 кВ для обработки сырья и производства специализированных покрытий, способствующих защите строительных конструкций от проникновения влаги и других внешних воздействий.

Компрессорная станция, функционирующая с применением синхронных электродвигателей, получающих питание от сети напряжением 10 кВ, играет решающую роль в обеспечении подачи сжатого воздуха для технологических процессов, связанных с транспортировкой и переработкой материалов, что требует высокой мощности и надежности в условиях постоянных нагрузок.

Участок упаковки готовой продукции, укомплектованный оборудованием напряжением 0,4 кВ, предназначен для автоматизированного формирования упаковки, маркировки и подготовки изделий к транспортировке, что позволяет обеспечить высокую скорость обработки и минимизировать возможность повреждения готовой продукции при дальнейшей транспортировке.

Лаборатория контроля и административно-технический корпус, в которых всё оборудование функционирует на номинальном напряжении 0,4 кВ, обеспечивают проведение комплексных испытаний, мониторинг качества производимой продукции и организацию работы административного персонала, что является важным условием для поддержания технологической стабильности и оперативного управления предприятием.

Таким образом, каждый из описанных объектов системы электроснабжения играет ключевую роль в обеспечении бесперебойного и высококачественного производственного процесса на предприятии, где стабильное питание, оптимизированное с учетом специфики напряжения, является залогом эффективной работы и достижения стратегических целей ООО «Волга-Монолит». Исходные данные объектов системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит» представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные объектов системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит»

Наименование объекта	Номер объекта по плану	Установленная нагрузка, P_n , кВт	Категория надёжности большинства потребителей
Участок производства железобетонных изделий	1	4500	1,2
Участок приёмки и первичной подготовки материалов	2	3000	1,2
Участок производства строительных сыпучих материалов	3	1200	1,2
Насосная станция (0,4 кВ)	4	3000	1,2
Насосная станция (СД 10 кВ)		5000	
Участок сушки готовой продукции (0,4 кВ)	5	700	1,2
Участок сушки готовой продукции (электропечи 10 кВ)		2200	
Участок производства строительного бетона	6	1500	1,2
Участок производства гидроизоляционных материалов	7	200	1,2
Компрессорная станция (СД 10 кВ)	8	2880	1,2
Участок упаковки готовой продукции	9	200	1,2
Лаборатория контроля и административно-технический корпус	10	390	2,3
Всего по системе электроснабжения ООО «Волга-Монолит»	-	24770	1,2,3

Исходное расположение объектов системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит» представлено в работе на рисунке 5.

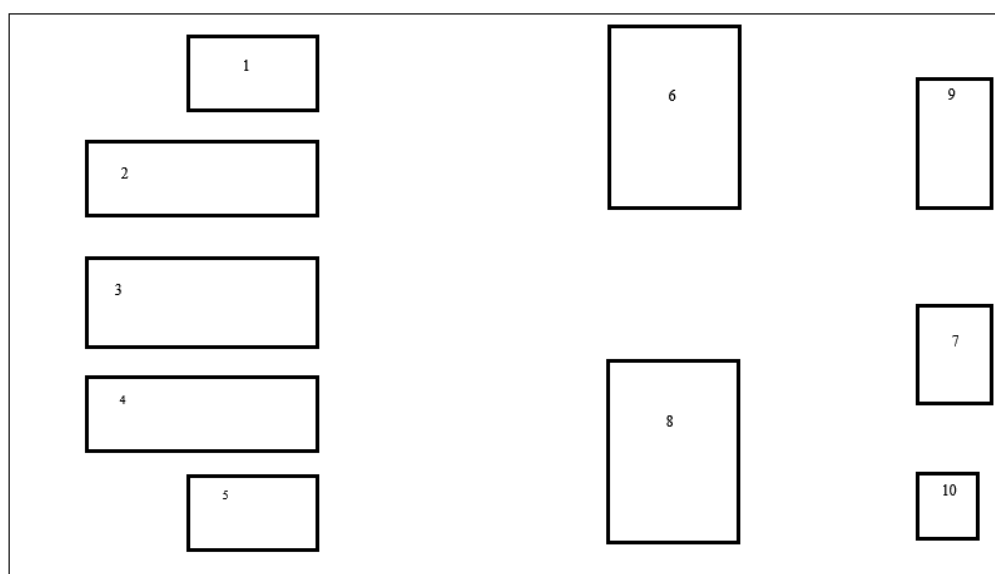


Рисунок 5 – Исходное расположение объектов системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит»

Выводы по разделу.

Приведена техническая и экономическая характеристика предприятия. Показано, что ООО «Волга-Монолит» является высокотехнологичным предприятием, которое сочетает в себе передовые производственные технологии, эффективную организационную структуру и устойчивую экономическую политику, что в совокупности обеспечивает его стабильное развитие и перспективное расширение на рынке строительных материалов и инженерных решений. Установлено, что к числу основных производственных объектов системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит», относятся:

- участок производства железобетонных изделий (оборудование 0,4 кВ);
- участок приёмки и первичной подготовки материалов (оборудование 0,4 кВ);
- участок производства строительных сыпучих материалов (оборудование 0,4 кВ);
- насосная станция (оборудование 0,4 кВ и синхронные электродвигатели 10 кВ);
- участок сушки готовой продукции (оборудование 0,4 кВ и электропечи 10 кВ);
- участок производства строительного бетона (оборудование 0,4 кВ);
- участок производства гидроизоляционных материалов (оборудование 0,4 кВ);
- компрессорная станция (синхронные электродвигатели 10 кВ);
- участок упаковки готовой продукции (оборудование 0,4 кВ);
- лаборатория контроля и административно-технический корпус (оборудование 0,4 кВ).

Показано, что большинство потребителей проектируемой системы электроснабжения относится к 1 и 2 категории надёжности потребителей. Установлено, что суммарная установленная нагрузка всех объектов системы электроснабжения предприятия составляет 24770 кВт.

2 Выбор схемы электроснабжения предприятия

Далее в работе проводится выбор схемы электроснабжения предприятия ООО «Волга-Монолит».

Известно, что проектирование современных систем электроснабжения промышленных предприятий базируется на ряде строгих требований, определяющих надёжность, экономичность, безопасность и экологическую устойчивость работы энергетического хозяйства предприятия [12].

При разработке схем электроснабжения промышленных объектов необходимо учитывать требования высокой надежности питания, выражающейся в непрерывности энергоснабжения технологических процессов, минимизации перерывов в электроснабжении и обеспечении резервирования для потребителей I и II категорий надёжности, как показано на рисунке 6.

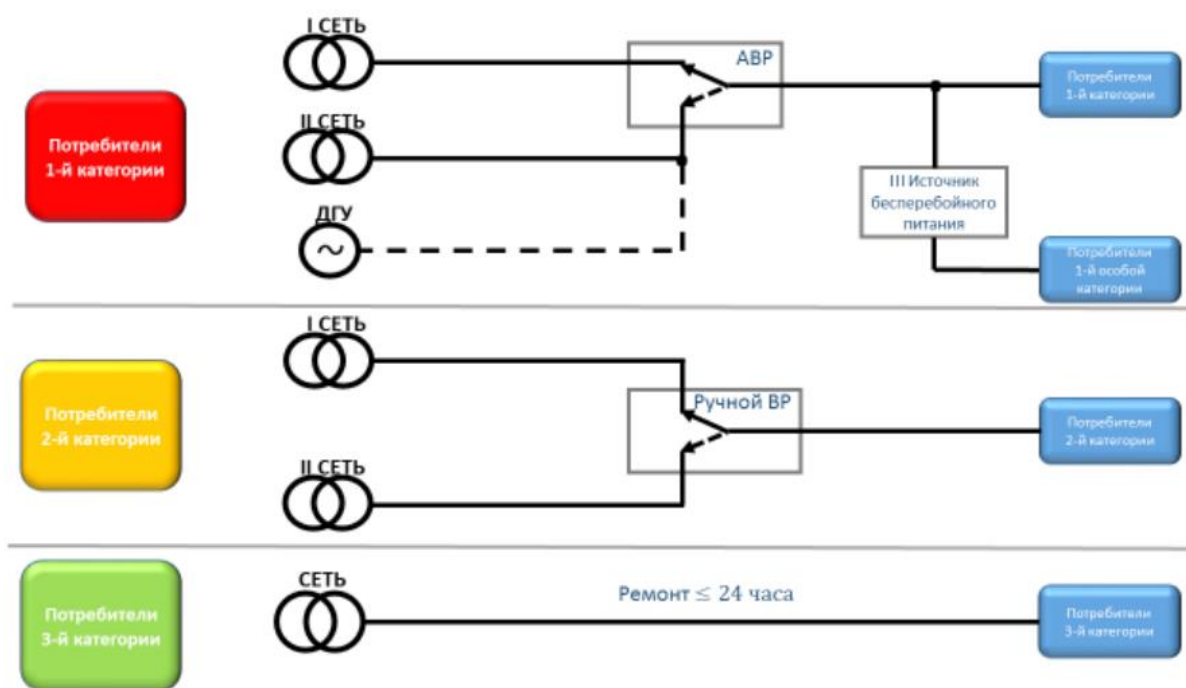


Рисунок 6 – Принципы обеспечения надёжности электроснабжения потребителей в зависимости от их категорий надёжности

Одновременно с этим, системы электроснабжения должны обеспечивать минимальные экономические затраты на строительство и эксплуатацию,

иметь высокий коэффициент полезного действия и низкий уровень потерь электроэнергии.

Система электроснабжения предприятия должна также соответствовать строгим нормам электробезопасности, обеспечивая защиту персонала от поражения электрическим током и предотвращая аварийные ситуации, вызванные короткими замыканиями и перегрузками оборудования.

На основании вышеперечисленных требований и анализа производственного профиля предприятия ООО «Волга-Монолит» предлагается следующая схема электроснабжения предприятия, представляющая собой иерархически построенную, эффективную и надёжную систему [12].

Для питания предприятия от энергосистемы принимается главная двухтрансформаторная понизительная подстанция (ГПП-35/10 кВ), предназначенная для приема электроэнергии напряжением 35 кВ от энергосистемы и её последующей трансформации до напряжения 10 кВ для распределения внутри предприятия. В работе питающее напряжение принимается, исходя из возможности энергосистемы и наличия близости номинального класса напряжения 35 кВ.

Использование двух силовых трансформаторов на ГПП обеспечивает необходимый уровень резервирования и возможность перераспределения нагрузки при отключении одного из трансформаторов, что соответствует требованиям надёжности для потребителей второй категории.

При проектировании питающей главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ предприятия ООО «Волга-Монолит» выбор схемы главных электрических соединений распределительных устройств среднего напряжения 35 кВ и низшего напряжения 10 кВ определяется совокупностью требований, включающих обеспечение высокой надёжности энергоснабжения технологического оборудования предприятия, оптимизацию капитальных и эксплуатационных расходов, удобство эксплуатации и ремонта электроустановок, а также выполнение нормативных требований и правил

безопасности, регламентируемых действующими стандартами нормативных документов.

Для распределительного устройства 35 кВ (РУ-35 кВ) питающей подстанции была выбрана схема 35-4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии» [4].

Между указанными блоками предусмотрена ремонтная перемычка, которая выполнена с разъединителями и не имеет автоматических устройств коммутации. Такое конструктивное исполнение обеспечивает возможность быстрого и безопасного перевода нагрузки с одного блока шин на другой вручную при плановых или аварийных работах.

Применение схемы 35-4Н позволяет минимизировать риски потери энергоснабжения при выводе одного блока шин на ремонт, так как второй блок при этом полностью сохраняет свою работоспособность и обеспечивает непрерывность электроснабжения предприятия.

Указанная схема также характеризуется высокой эксплуатационной надёжностью и безопасностью за счёт чёткой селективности защиты и чётко разграниченной зоны ответственности каждого из питающих блоков, что способствует быстрому обнаружению и локализации повреждений, повышая общую устойчивость электрической сети.

Для распределительного устройства низшего напряжения 10 кВ (РУ-10 кВ) была выбрана схема 10-9 «Одна рабочая секционированная выключателем система шин» [4].

«Данное схемное решение обосновано экономическими и техническими соображениями, так как схема с одной системой шин, разделённой секционным выключателем, является наиболее оптимальной и широко используемой на промышленных предприятиях среднего масштаба, где предъявляются высокие требования к надёжности энергоснабжения потребителей второй категории.

Наличие секционного выключателя обеспечивает разделение системы шин на две секции» [4], что даёт возможность при повреждении или

техническом обслуживании одной секции оперативно перевести нагрузку на другую, тем самым исключая перерывы в электроснабжении.

При этом автоматический ввод резерва (АВР) на секционном выключателе позволяет минимизировать время перерыва электроснабжения при аварийных ситуациях, существенно повышая надёжность и устойчивость энергоснабжения потребителей.

Кроме того, применение указанной схемы на стороне 10 кВ способствует снижению капитальных вложений за счёт уменьшения числа выключателей и аппаратов защиты, а также упрощению и удешевлению последующей эксплуатации и технического обслуживания.

От ГПП-35/10 кВ электроэнергия напряжением 10 кВ передаётся по распределительным кабельным линиям к цеховым двухтрансформаторным подстанциям (ТП-10/0,4 кВ), которые являются промежуточными центрами питания основных производственных участков предприятия.

Выбор двухтрансформаторных ТП на стороне среднего напряжения обеспечивает высокий уровень надёжности и стабильности электроснабжения, позволяя при отказе или аварии одного трансформатора быстро и без перерывов осуществить автоматическое переключение нагрузки на второй трансформатор.

Для цеховых подстанций рекомендуется применять комплектные закрытые распределительные устройства (КРУ), оснащённые современными вакуумными выключателями, обеспечивающими минимальные эксплуатационные затраты, надёжность работы, а также удовлетворяющие требованиям экологической и электробезопасности.

Также установлено, что питание высоковольтных электродвигателей 10 кВ планируется осуществить напрямую от секций сборных шин 10 кВ РУ-10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ, минуя трансформацию с 10 кВ до уровня 0,4 кВ на цеховых ТП-10/0,4 кВ. Кроме того, на стороне 10 кВ распределительные сети цеховых ТП-10/0,4 кВ и высоковольтных электродвигателей должны быть разделены.

Далее от РУ-0,4 кВ цеховых ТП, электроэнергия напряжением 0,4 кВ передаётся на вводные распределительные устройства (ВРУ-0,4 кВ) отдельных участков предприятия. ВРУ выполняют функцию конечного звена питающей сети 0,4 кВ схемы электроснабжения, осуществляя непосредственное питание производственного оборудования, осветительных и вспомогательных нагрузок, образующих распределительную сеть 0,4 В (в работе детально не рассматривается).

Выбор типа ВРУ осуществляется с учётом характеристик нагрузки, предусматривая применение современных автоматических выключателей, устройств защиты от импульсных перенапряжений, а также систем автоматического ввода резерва (АВР) для потребителей второй категории, обеспечивая таким образом надёжность и безопасность питания электрооборудования.

Данная информация принимается за основу в работе далее.

Выводы по разделу.

На основе принятых требований нормативных документов и исходных данных на выполнение работы, разработана и предложена структурная схема электроснабжения предприятия ООО «Волга-Монолит», включающая главную понизительную двухтрансформаторную подстанцию 35/10 кВ, сеть двухтрансформаторных цеховых подстанций 10/0,4 кВ и вводные распределительные устройства 0,4 кВ потребителей, полностью соответствует современным требованиям по надёжности, экономичности, безопасности и экологичности.

Совокупность применённых схемных решений на стороне 35 кВ и 10 кВ питающей подстанции ГПП-35/10 кВ предприятия ООО «Волга-Монолит» позволяет удовлетворить основным техническим и экономическим критериям эффективной и надёжной системы электроснабжения.

Выбранные схемы 35-4Н на стороне высокого напряжения и 10-9 на стороне низшего напряжения, дополняя друг друга, обеспечивают оптимальный баланс между надёжностью, эксплуатационной гибкостью,

экономичностью, простотой обслуживания и высокой степенью защиты от аварийных режимов, что является определяющим фактором для стабильного функционирования энергетического комплекса данного промышленного объекта.

Установлено, что питание высоковольтных электродвигателей 10 кВ планируется осуществить напрямую от секций сборных шин 10 кВ РУ-10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ, минуя трансформацию с 10 кВ до уровня 0,4 кВ на цеховых ТП-10/0,4 кВ. Кроме того, на стороне 10 кВ распределительные сети цеховых ТП-10/0,4 кВ и высоковольтных электродвигателей должны быть разделены.

Внедрение указанных схемных решений позволит обеспечить стабильное и бесперебойное электроснабжение всего предприятия, повысить эффективность эксплуатации оборудования, минимизировать риски аварий и сократить эксплуатационные расходы в долгосрочной перспективе.

3 Расчет электрических нагрузок

3.1 Расчёт электрических нагрузок освещения

Расчёт электрических нагрузок осветительных сетей системы электроснабжения предприятия ООО «Волга-Монолит» с использованием метода удельной мощности является важным и необходимым этапом проектирования, обеспечивающим точное определение расчётной нагрузки осветительных установок для последующего выбора и проверки электрического оборудования, а также проводниковых линий, питающих системы освещения.

Метод удельной мощности, применяемый для данного расчёта, характеризуется высокой практической значимостью, обусловленной простотой, точностью и эффективностью его реализации при отсутствии детальной информации о фактической структуре освещения на ранних этапах проектирования [17].

Применяемый метод удельной мощности заключается в расчёте нагрузок на основе заданных норм и нормативов по удельной мощности освещения помещений различного функционального назначения.

В рамках выполнения расчёта для осветительных сетей ООО «Волга-Монолит» проведён детальный анализ всех помещений, технологических участков, производственных цехов и вспомогательных объектов предприятия, для которых определены нормативные значения удельной мощности, соответствующие действующим нормативным документам и стандартам.

Данный подход позволяет учитывать специфику функционального назначения каждого объекта и особенности производственных процессов, что обеспечивает необходимую точность и обоснованность получаемых результатов.

При расчёте осветительных нагрузок были приняты во внимание тип и назначение помещений, режимы их эксплуатации, требуемые нормативные

уровни освещённости, а также рекомендации строительных норм и правил по выбору источников света и типов осветительного оборудования.

Для производственных и технологических помещений предприятия, таких как цеха по производству железобетонных изделий, сушки продукции, приёмки и первичной обработки материалов, производства бетона и других строительных материалов, определена удельная мощность с учётом нормативной освещённости и класса зрительных задач работников.

Особое внимание уделено объектам с повышенными требованиями к освещённости, к которым относятся участки лабораторий контроля качества и административно-технические помещения предприятия.

«Расчётная активная нагрузка освещения цеха, кВт» [17]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{ном.o} K_{пра}, \quad (1)$$

где $K_{c.o}$ – «коэффициент спроса приемников освещения;

$P_{ном.o}$ – суммарная номинальная мощность освещения, кВт;

$K_{пра}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре для светодиодных ламп» [17].

«Значение суммарной номинальной мощности освещения цеха определяется с учётом удельной мощности освещения и площади цехов, которые подлежат искусственному освещению» [17]:

$$P_{ном.o} = P_{уд.o} F_{ц}, \quad (2)$$

где $P_{уд.o}$ – «удельная мощность осветительных приемников на 1 м² освещаемой площади цеха, кВт/м²;

$F_{ц}$ – площадь пола цеха по генплану, м²» [17].

«В работе применяются современные светодиодные источники освещения. Реактивная нагрузка светодиодных источников света» [17]:

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o, \quad (3)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_o$ – «коэффициент реактивной мощности электроприемников освещения» [17].

«На примере участка производства железобетонных изделий» [17]:

$$P_{уд.o} = 15 \text{ Вт} / \text{м}^2,$$

$$F = 50 \cdot 100 = 5000 \text{ м}^2,$$

$$P_{ном.o} = 5000 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 75 \text{ кВт},$$

$$P_{p.o} = 75 \cdot 1,05 \cdot 0,95 = 74,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = 75 \cdot 0,43 = 32,3 \text{ квар}.$$

Расчет нагрузок освещения системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит» сведён в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта нагрузок освещения системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит»

Наименование цеха	$F_u, \text{ м}^2$	$P_{уд.o}, \text{ Вт/м}^2$	$P_{ном.o}, \text{ кВт}$	$P_{p.o}, \text{ кВт}$	$Q_{p.o}, \text{ квар}$
Участок производства железобетонных изделий	5000	15	75,0	74,8	32,3
Участок приёмки и первичной подготовки материалов	7500	15	112,5	112,2	48,2
Участок производства строительных сыпучих материалов	12000	15	180,0	179,6	77,2
Насосная станция	5000	15	75,0	74,8	32,3
Цех сушки древесины	7500	15	112,5	112,2	48,2
Участок производства строительного бетона	12000	15	180,0	179,6	77,2
Участок производства гидроизоляционных материалов	4000	10	40,0	39,9	17,2
Компрессорная станция	12000	12	144,0	143,6	61,7
Участок упаковки готовой продукции	5000	14	70,0	69,8	30,0
Лаборатория контроля и административно-технический корпус	3200	10	48,0	27,9	20,6
Наружное освещение территории предприятия	158800	4	63,5	63,3	27,2
Всего по предприятию	232000	-	-	1077,7	452,1

Результаты расчёта нагрузок методом удельной мощности дают возможность выбрать рациональную схему электроснабжения осветительных установок, определить необходимую мощность питающих трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ и ГПП-35/10 кВ, а также выбрать и проверить сечения кабелей осветительной сети и выбрать оптимальные электрические аппараты для защиты и коммутации линий освещения.

Также полученные расчётные данные позволяют оптимизировать режимы работы систем освещения, минимизировать потери электроэнергии, снизить затраты на электроэнергию за счёт рационального выбора и размещения осветительного оборудования и применения энергоэффективных решений, таких как современные светодиодные источники освещения и автоматизированные системы управления освещением.

Таким образом, проведённый расчёт электрических нагрузок освещения методом удельной мощности в системе электроснабжения ООО «Волга-Монолит» является обоснованным и рациональным решением, обеспечивающим точность определения нагрузки, оптимальность выбора оборудования и экономичность последующей эксплуатации осветительных систем предприятия.

3.2 Расчёт электрических силовых нагрузок

Расчёт силовых электрических нагрузок методом коэффициента спроса является важным этапом при проектировании и реконструкции систем электроснабжения промышленных предприятий, в том числе предприятия ООО «Волга-Монолит».

Использование указанного метода обусловлено необходимостью точного определения расчётных нагрузок для выбора оптимальной мощности силового оборудования, коммутационных и защитных аппаратов, проводников, а также оценки требуемой пропускной способности питающих и распределительных сетей предприятия.

Правильно выполненный расчёт нагрузок обеспечивает эффективность эксплуатации электротехнических установок, минимизацию эксплуатационных затрат и повышение надёжности и безопасности работы оборудования.

Метод коэффициента спроса предполагает определение расчётных электрических нагрузок с учётом фактического потребления электроэнергии различными группами потребителей и степени их одновременного функционирования.

Особенность данного метода заключается в том, что он позволяет учитывать не максимальные паспортные мощности всего установленного оборудования, а фактические режимы его работы в производственном цикле.

Каждая технологическая группа потребителей электроэнергии характеризуется собственным коэффициентом спроса, величина которого рассчитывается на основе анализа технологического процесса, режима эксплуатации оборудования, графиков работы, а также статистических данных о фактическом потреблении электроэнергии аналогичными установками.

При проведении расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит» все потребители были разделены на группы по технологическим участкам, таким как производство железобетонных изделий, подготовка строительных материалов, производство строительных смесей, сушка готовой продукции, насосные и компрессорные установки, лаборатории и вспомогательные службы предприятия.

Далее, для каждой из перечисленных технологических групп, необходимо предварительно определить расчётные силовые нагрузки с учётом действующих коэффициентов спроса, а затем эти нагрузки суммировать с полученными результатами осветительных нагрузок (с применением коэффициента одновременности максимума нагрузок).

Таким образом, будут определены суммарные нагрузки всех технологических объектов.

Данный подход позволяет установить корректные величины нагрузки, которые реально будут предъявляться к силовым трансформаторам, а также к питающим и распределительным сетям предприятия.

«Активная нагрузка объектов, кВт» [7]:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (4)$$

где P_n — «номинальная (паспортная) активная нагрузка, кВт;

K_c — значение коэффициента спроса» [7].

«Реактивная нагрузка, квар» [7]:

$$Q_p = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар}. \quad (5)$$

«Полная нагрузка, кВА» [7]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

«На примере участка производства железобетонных изделий» [7]:

$$P_p = 0,3 \cdot 4500 = 1350 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 1,02 \cdot 1350 = 1377 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{1350^2 + 1377^2} = 1928,4 \text{ кВА}.$$

Аналогичные расчёты проведены для остальных подразделений системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит». Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта силовых электрических нагрузок системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит»

Наименование цеха	$P_{ном},$ кВт	K_c	$\cos\varphi$	$\tg\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А
Участок производства железобетонных изделий	4500	0,3	0,7	1,02	1350	1377	1928,4	106,0
Участок приёмки и первичной подготовки материалов	3000	0,3	0,7	1,02	900	918	1285,6	70,7
Участок производства строительных сыпучих материалов	1200	0,35	0,75	0,88	420	369,6	559,5	30,7
Насосная станция (0,4 кВ)	3000	0,4	0,75	0,88	1200	1056	1598,5	87,8
Насосная станция (СД 10 кВ)	5000	0,4	0,75	0,88	2000	1760	2664,1	146,4
Участок сушки готовой продукции (0,4 кВ)	700	0,4	0,8	0,75	280	210	350,0	19,2
Участок сушки готовой продукции (электропечи 10 кВ)	2200	0,4	0,8	0,75	880	660	1100,0	60,4
Участок производства строительного бетона	1500	0,5	0,7	1,02	750	765	1071,4	58,9
Участок производства гидроизоляционных материалов	200	0,3	0,7	1,02	60,0	61,2	85,7	4,7
Компрессорная станция (СД 10 кВ)	2880	0,4	0,75	0,88	1152,0	1013,8	1534,6	84,3
Участок упаковки готовой продукции	200	0,3	0,7	1,02	60,0	61,2	85,7	4,7
Лаборатория контроля и административно-технический корпус	390	-	-	-	296,5	214,5	366,0	563,0
Всего силовой нагрузки предприятия	24770	-	-	-	9348,5	1598,7	12629,5	693,9

Полученные результаты расчёта силовых электрических нагрузок используются далее для выбора и проверки технических решений в системе электроснабжения ООО «Волга-Монолит».

При этом важнейшим преимуществом расчёта нагрузок методом коэффициента спроса является его практическая направленность и возможность использования результатов для выбора и проверки оптимальной мощности силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ и трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ, а также проверки сечений проводников и выбора аппаратов защиты и коммутации.

Кроме того, данный расчёт становится основой для последующего проектирования мероприятий по снижению потерь электроэнергии и повышению энергоэффективности предприятия. Таким образом, расчёт электрических силовых нагрузок методом коэффициента спроса, выполненный для системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит», является технически обоснованным решением, обеспечивающим оптимизацию выбора основного электрического оборудования и схемных решений, что в свою очередь повышает экономичность, надёжность и эффективность системы электроснабжения предприятия.

3.3 Расчёт суммарных электрических нагрузок

Расчёт суммарных электрических нагрузок системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «Волга-Монолит», выполненный методом сложения силовых нагрузок и нагрузок освещения, представляет собой важную проектную стадию, необходимую для определения общей расчётной мощности и обеспечения рационального выбора оборудования, кабельных и проводниковых изделий, трансформаторов, а также устройств защиты и коммутации. Данный метод характеризуется высокой степенью точности и надёжности, что позволяет обеспечить стабильное функционирование электроснабжения производственных участков и вспомогательных объектов предприятия с учётом текущих и перспективных потребностей.

Проведение расчёта суммарных нагрузок методом сложения заключается в последовательном учёте двух основных типов электрических нагрузок – силовых и осветительных, предварительно рассчитанных отдельно.

Метод сложения позволяет точно установить общую расчётную мощность электрических нагрузок, так как учитывает максимальные и средневзвешенные значения, полученные при помощи коэффициентов одновременности и спроса. При определении общей расчётной нагрузки были применены нормативные коэффициенты, характеризующие вероятность

одновременной работы оборудования и систем освещения, с целью исключения завышения мощности проектируемой сети, оптимизации капитальных затрат и достижения максимальной экономичности. Применение коэффициентов одновременности также обеспечивает более эффективное использование установленного оборудования и повышение энергоэффективности проектируемой системы электроснабжения предприятия.

«Полная суммарная расчетная нагрузка цехов и предприятия, кВА» [7]:

$$S_{p.n} = \sqrt{(P_{p.n} + P_{p.o})^2 + (Q_{p.n} + Q_{p.o})^2}. \quad (7)$$

«Расчётная суммарная нагрузка питающей ГПП-35/10 кВ» [7]:

$$P_{p.ГПП} = (\Sigma P_{p.n} + \Sigma P_{p.в}) K_o + \Sigma P_{p.o} + \Sigma \Delta P_{тц}, кВт, \quad (8)$$

$$Q_{p.ГПП} = (\Sigma Q_{p.n} + \Sigma Q_{p.в}) K_o + \Sigma Q_{p.o} + \Sigma \Delta Q_{тц}, квар, \quad (9)$$

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{P_{p.ГПП}^2 + Q_{p.ГПП}^2}, кВА, \quad (10)$$

где K_o – «коэффициент одновременности максимумов нагрузки» [7].

«Входная реактивная мощность, которая отводится предприятию» [7]:

$$Q_{\phi 1} = tg \phi_{\phi 1} \cdot P_{p.ГПП}, квар, \quad (11)$$

где $tg \phi_{\phi 1}$ – «экономически целесообразный коэффициент РМ» [7].

«Потери мощности в силовых трансформаторах ГПП» [7]:

$$\Delta P_{m.ГПП} = 0,02 S_{p1,ГПП}, кВт, \quad (12)$$

$$\Delta Q_{m.ГПП} = 0,1 S_{p1,ГПП}, квар. \quad (13)$$

«Тогда полная расчетная мощность на шинах 35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ» [7]:

$$S_{p.n} = \sqrt{P_{p.n}^2 + Q_{p.n}^2} = \sqrt{(P_{p.ГПП} + \Delta P_{m.ГПП})^2 + (Q_{p.ГПП} + \Delta Q_{m.ГПП})^2}, \text{кВА.} \quad (14)$$

«На примере участка производства железобетонных изделий» [7]:

$$S_{p.n} = \sqrt{(1350 + 74,8)^2 + (1377 + 32,3)^2} = 2004 \text{кВА},$$

$$\Delta P_{m.} = 0,02 \cdot 2004 = 40,1 \text{кВт},$$

$$\Delta Q_{m.} = 0,1 \cdot 2004 = 200,4 \text{квар},$$

«Суммарные расчётные нагрузки ГПП-35/10 кВ без учета КРМ» [7]:

$$P_{p.ГПП} = 9444,1 \cdot 0,95 + 1077,7 + 272,9 = 10322,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.ГПП} = 8251,8 \cdot 0,95 + 472,2 + 1364,4 = 9675,8 \text{ квар},$$

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{(10322,5)^2 + (9675,8)^2} = 14148,3 \text{кВА}.$$

$$Q_{\text{э1}} = 0,328 \cdot 14148 = 4640,7 \text{ квар},$$

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{(10322,5)^2 + (4640,7)^2} = 11317,7 \text{кВА},$$

$$\Delta P_{m.} = 0,02 \cdot 11317,7 = 226,4 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{m.} = 0,1 \cdot 11317,7 = 1131,8 \text{ квар}.$$

«Полная суммарная нагрузка на шинах 35 кВ ГПП-35/10 кВ» [7]:

$$S_{p.n} = \sqrt{(10322,5 + 226,4)^2 + (9675,8 + 1131,8)^2} = 15102,4 \text{кВА}.$$

Результаты расчётов суммарных нагрузок системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит» представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчётов суммарных нагрузок системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит»

Наименование цеха	P _{рн} , кВт	P _{р.о} , кВт	Q _{рн} , квар	Q _{р.о} , квар	P _р , кВт	Q _р , квар	Sp, кВА	ΔP _т , кВт	ΔQ _т , квар
Участок производства железобетонных изделий	1350	74,8	1377	32,3	1424,8	1409,3	2004,0	40,1	200,4
Участок приёмки и первичной подготовки материалов	900	112,2	918	48,2	1012,2	966,2	1399,3	28,0	139,9
Участок производства строительных сыпучих материалов	420	179,6	369,6	77,2	599,6	446,8	747,8	15,0	74,8
Насосная станция (0,4 кВ)	1200	74,8	1056	32,3	1274,8	1088,3	1676,2	33,5	167,6
Насосная станция (СД 10 кВ)	2000	-	1760	-	2000	1760	2664,1	53,3	266,4
Участок сушки готовой продукции (0,4 кВ)	280	112,2	210	48,2	392,2	258,2	469,6	9,4	47,0
Участок сушки готовой продукции (электропечи 10 кВ)	880	-	660	-	880	660	1100,0	22,0	110,0
Участок производства строительного бетона	750	179,6	765	77,2	929,6	842,2	1254,4	25,1	125,4
Участок производства гидроизоляционных материалов	60,0	39,9	61,2	17,2	99,9	78,4	127,0	2,5	12,7
Компрессорная станция (СД 10 кВ)	1152,0	143,6	1013,8	61,7	1295,6	952,1	1607,8	32,2	160,8
Участок упаковки готовой продукции	60,0	69,8	61,2	30,0	129,8	91,2	158,6	3,1	15,9
Лаборатория контроля и административно-технический корпус	392,1	27,9	-	20,6	296,5	214,5	366,0	7,3	36,6
Наружное освещение	-	63,3	-	27,2	63,3	27,2	68,9	1,4	6,9
Итого на стороне 10 кВ (без учета КРМ)	9444,1	1077,7	8251,8	472,2	10322,5	9675,8	14148,3	272,9	1364,4
Потери в трансформаторах ГПП (с учетом КРМ)	-	-	-	-	226,4	1131,8	1154,1	-	-
Всего суммарной нагрузки предприятия	-	-	-	-	10548,9	10807,6	15102,4	-	-

Выполненный расчёт суммарных нагрузок позволил уточнить требования к выбору основных элементов электроснабжения – силовых трансформаторов главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ и цеховых подстанций ТП-10/0,4 кВ, силовых кабелей и коммутационно-защитной аппаратуры.

Благодаря точному определению общей электрической нагрузки, появилась возможность более рационально спроектировать систему распределения электроэнергии, выбрать оптимальную структуру сети и её резервирование, что существенно повысит надёжность электроснабжения всех категорий потребителей предприятия.

В результате использования данного метода в проекте исключается перегрузка оборудования в нормальном и послеаварийном режимах работы, повышается срок службы аппаратуры и минимизируются риски возникновения аварийных ситуаций.

Кроме того, расчёт суммарных электрических нагрузок позволяет разработать наиболее эффективные меры по компенсации реактивной мощности, снижению потерь электроэнергии и обеспечению качества электропитания потребителей.

В рамках решения этой задачи планируется применение современных компенсирующих устройств (КУ), которые будут подобраны с учётом установленной мощности и распределения нагрузки между участками предприятия.

Кроме того, точное определение нагрузок обеспечивает рациональный выбор параметров автоматических выключателей, аппаратов защиты и устройств контроля и управления системой электроснабжения, обеспечивающих надёжную и безопасную эксплуатацию всех электрических сетей и оборудования предприятия.

Выводы по разделу.

Установлено, что проведённый расчёт силовых, осветительных и суммарных электрических нагрузок методом сложения, выполненный в рамках проектирования системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит», позволяет обеспечить требуемый уровень надёжности, экономичности и безопасности электроснабжения производственного комплекса предприятия в соответствии с действующими нормативными требованиями и стандартами.

4 Выбор и проверка трансформаторов ГПП и цеховых ТП предприятия

4.1 Выбор и проверка трансформаторов ГПП

Выбор и проверка силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ промышленного предприятия ООО «Волга-Монолит» на допустимую нагрузочную и перегрузочную способность являются обязательной стадией проектирования системы электроснабжения данного предприятия.

Известно, что правильно выбранные трансформаторы определяют надёжность, эффективность и стабильность работы всей системы электроснабжения, а также гарантируют устойчивое электропитание технологических процессов и административно-хозяйственных нужд предприятия.

Основная задача данного этапа проектирования заключается в подтверждении того, что выбранные трансформаторы обладают достаточным резервом мощности, который позволит без нарушения нормальных режимов эксплуатации обеспечить потребности предприятия в электроэнергии, как в нормальном рабочем режиме, так и в послеаварийных и аварийных режимах.

Учитывая специфику производственного процесса на предприятии ООО «Волга-Монолит», было принято решение установить два трансформатора на главной понизительной подстанции с целью обеспечения требуемого уровня резервирования нагрузки и надёжности электроснабжения [16]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{м.зн}}{N \cdot K_3}, \quad (15)$$

где « $S_{м.зн}$ » – полная расчетная нагрузка питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит» [7].

$$S_{ном.т} \geq \frac{15102,4}{2 \cdot 0,8} = 9439,0 \text{ кВА}.$$

«Для установки на питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит» выбираются два силовых трансформатора типа ТМН-10000/35. Проверка номинальной мощности трансформаторов на соответствие расчётной нагрузке ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит» выполняется» [7]:

$$S_{ном.т} \geq S_{м.зн}, \text{ МВА}, \quad (16)$$

$$S_{ном.т} = 10000 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р} = 9439 \text{ кВА}.$$

Проверка трансформаторов на допустимую нагрузочную способность в нормальном режиме работы осуществляется путём сопоставления расчётных нагрузок с паспортными данными выбранных силовых трансформаторов.

Трансформаторы должны обладать определённым резервом по мощности, чтобы исключить их перегрузку в нормальном рабочем режиме, обеспечив тем самым надёжность и длительность эксплуатации электрооборудования и всей сети.

При этом также проводится проверка на соответствие температуры нагрева обмоток и масла трансформатора требованиям, установленным действующими нормативными документами, что позволяет гарантировать стабильность работы и сохранение изоляции силовых трансформаторов в пределах допустимых температурных режимов.

Данная проверка проводится по следующему условию [3]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{м.зн}}{S_{ном.т}} \leq 0,8, \quad (17)$$

Условие проверки выполняется:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 15102,4}{10000} = 0,76 \leq 0,8.$$

Дополнительно, важным этапом является проверка трансформаторов на перегрузочную способность в послеаварийном режиме работы, когда один из трансформаторов выходит из строя или отключается для проведения ремонтных работ. В данном режиме работы нагрузка предприятия полностью ложится на оставшийся в эксплуатации трансформатор, и он должен обеспечить бесперебойное питание всех потребителей.

Для осуществления подобной проверки учитываются допустимые перегрузочные способности трансформатора, зависящие от его конструктивных и эксплуатационных особенностей, таких как система охлаждения (естественная или принудительная циркуляция масла и воздуха), запас прочности и качество изоляционных материалов (по справочным таблицам).

Проверка в послеаварийном режиме показывает, способен ли трансформатор выдерживать повышенные нагрузки в течение ограниченного периода времени до восстановления нормального режима работы подстанции без возникновения аварийных ситуаций и выхода оборудования из строя [3]:

$$K_{з.н} = \frac{S_{м.знп}}{S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (18)$$

Условие проверки выполняется:

$$K_{з.н} = \frac{15102,4}{10000} = 1,51 \leq 1,6.$$

Выполненные расчёты и проверки подтвердили, что выбранные для установки на ГПП-35/10 кВ предприятия ООО «Волга-Монолит» силовые трансформаторы марки ТМН-10000/35 полностью соответствуют требованиям к нагрузочной и перегрузочной способности.

Применение данных трансформаторов позволит обеспечить необходимый уровень надёжности, снизить риски возникновения аварийных ситуаций, оптимизировать эксплуатационные затраты и повысить эффективность работы системы электроснабжения всего предприятия.

В результате проведённых расчётов сделан вывод о том, что выбранные трансформаторы гарантированно выдержат номинальные и послеаварийные режимы работы, полностью соответствуют действующим нормативным требованиям и обладают достаточным запасом мощности для будущего развития предприятия.

Конструктивное выполнение главной питающей подстанции «35/10 кВ предприятия ООО «Волга-Монолит» в виде комплектной трансформаторной подстанции типа КТП «ELM» 35/10(6) производства российской компании АО «Электронмаш»» [8] обусловлено необходимостью реализации надёжного решения, которое полностью соответствует современным тенденциям в области энергоснабжения промышленных предприятий.

Одним из ключевых преимуществ применения КТП «ELM» 35/10(6) является её модульность, которая существенно облегчает процесс монтажа и значительно сокращает сроки проведения строительных и пусконаладочных работ. Благодаря предварительному заводскому изготовлению и полной заводской готовности к эксплуатации, сокращаются расходы на проведение монтажных операций и повышается общий уровень качества сборки оборудования. Заводская сборка гарантирует соблюдение всех требований нормативно-технической документации, что обеспечивает необходимый уровень безопасности и надёжности эксплуатации оборудования [15].

Важной характеристикой комплектной трансформаторной подстанции типа КТП «ELM» является её компактность, обеспечивающая экономию

пространства и «снижение капитальных затрат на строительство за счёт уменьшения площади под размещение оборудования».

Компактное исполнение позволяет разместить все необходимые элементы подстанции, включая силовые трансформаторы, распределительные устройства, системы релейной защиты и автоматики» [8], а также вспомогательное и коммутационное оборудование в минимально возможном объёме пространства.

Данный аспект показан на рисунке 7.



Рисунок 7 – КТП «ELM» 35/10 (6) АО «Электронмаш»

«Использование КТП «ELM» от компании АО «Электронмаш» также обеспечивает высокую степень защищённости оборудования от внешних воздействий.

Комплектная подстанция выполняется в металлическом корпусе, оборудованном защитными покрытиями, обеспечивающими устойчивость к коррозии и механическим повреждениям» [8].

В конструкции подстанции предусмотрены средства герметизации, предотвращающие попадание влаги и пыли внутрь оборудования, что существенно повышает срок службы электрооборудования и снижает риски его аварийного выхода из строя.

4.2 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП

«Выбор и проверка на допустимую нагрузочную и перегрузочную способность силовых трансформаторов, устанавливаемых на цеховых трансформаторных подстанциях (ТП) предприятия ООО «Волга-Монолит», является одной из ключевых задач при проектировании и организации системы электроснабжения данного промышленного объекта.

Правильный выбор трансформаторного оборудования с учетом действующих нагрузок, их характера и перспективного увеличения является важнейшим условием обеспечения высокой надёжности и экономичности электроснабжения производственных участков» [16], что непосредственно отражается на эффективности работы предприятия.

В процессе выбора силовых трансформаторов цеховых подстанций исходят из расчётных данных по электрическим нагрузкам, полученных в работе ранее.

Для предварительного выбора трансформаторов на цеховых ТП рассматривают силовые трансформаторы с номинальной мощностью, максимально приближенной к расчётной нагрузке потребителей. При этом учитывается также перспективный рост нагрузки в ближайшем будущем, вызванный модернизацией или расширением производственных мощностей.

В результате этого этапа работы предварительно выбраны двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ с трансформаторами типа ТМ соответствующей мощности, которые «характеризуются высоким коэффициентом полезного действия, низкими потерями холостого хода и короткого замыкания, что способствует снижению эксплуатационных затрат и повышению энергоэффективности предприятия в целом.

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

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (19)$$

где $\sum P_p$ – «суммарная активная нагрузка объектов, кВт;
 N – количество трансформаторов на цеховой ТП, шт.;
 β_t – нормируемое значение коэффициента активной загрузки трансформаторов подстанции» [16].

«На примере ЦТП-10/0,4 кВ №1» [16]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1592,1}{2 \cdot 0,7} = 1137,2 \text{ кВА}.$$

«Трансформатор ближайшей стандартной мощности – ТМ-1250/10» [16]. Следующим этапом проектирования является обязательная проверка выбранных трансформаторов на допустимую нагрузочную способность в нормальном режиме работы, с целью убедиться, что выбранное оборудование сможет работать в номинальном режиме без превышения допустимых температурных границ и без дополнительного ускоренного старения изоляции обмоток. При этой проверке учитывается долговременная и кратковременная нагрузочная способность трансформаторов, устанавливаемая нормативной документацией. Согласно техническим условиям и действующим нормативам, максимальная допустимая нагрузка трансформаторов определяется с учетом их системы охлаждения, типа и режима эксплуатации. Проведение такой проверки позволяет гарантировать стабильность работы трансформаторов при стандартных производственных режимах и обеспечивает предотвращение аварийных ситуаций, связанных с перегревом и потерей надёжности электрооборудования. Проверка по условиям нормальной нагрузки трансформаторов ЦТП аналогична проверке трансформаторам ГПП [3].

Условие данной проверки для ЦТП-10/0,4 кВ №1 выполняются:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 1592,1}{1250} = 0,64 \leq 0,7.$$

Помимо проверки на допустимую нагрузку в нормальном режиме, также обязательна проверка трансформаторов на перегрузочную способность в послеаварийных режимах работы. Подобные ситуации могут возникать при аварийных отключениях одного из трансформаторов двухтрансформаторной подстанции, когда второй трансформатор должен временно принять на себя нагрузку обеих секций, не допуская при этом перегрева и выхода из строя оборудования. При расчётах перегрузочной способности трансформаторов учитывается допустимая аварийная нагрузка и продолжительность её воздействия, определяемые нормативами и инструкциями завода-изготовителя трансформаторов. Выполнение такой проверки подтверждает возможность временной перегрузки трансформаторов без потери надёжности, обеспечивая бесперебойное питание потребителей в аварийных режимах и минимизируя ущерб производственному процессу. Проверка по условиям послеаварийной перегрузки трансформаторов ЦТП аналогична проверке трансформаторов ГПП [3].

Условие данной проверки для ЦТП-10/0,4 кВ №1 выполняются:

$$K_{з.н} = \frac{1592,1}{1250} = 1,28 \leq 1,4.$$

Выбор силовых трансформаторов ЦТП проводится с учётом компенсации реактивной мощности (РМ). «Наибольшая РМ, которую целесообразно передать через трансформаторы, квар» [14]:

$$Q_{\max,m} = \sqrt{\left(N_{\text{онм}} \beta_{\text{норм.м}} S_{\text{ном}}\right)^2 - P_p^2}. \quad (20)$$

«Для условий ЦТП-10/0,4 кВ №1» [14]:

$$Q_{\max,m} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1250)^2 - 1592,1^2} = 726,4 \text{ квар}.$$

«Суммарная мощность конденсаторных батарей ниже 1 кВ, квар» [14]:

$$Q_{НБК} = Q_p - Q_{\max, m}. \quad (21)$$

«Для условий ЦТП-10/0,4 кВ №1» [14]:

$$Q_{НБК} = 726,4 - 1575,7 = -849,3 \text{ квар}.$$

«При $Q_{НБК} < 0$ установка КУ не требуется. Аналогично проведён выбор трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ» [10]. Результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты выбора силовых трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит» с учётом КРМ

№ ТЦТП- 10/0,4 кВ	№ цеха	Наименование цеха	$S_{\text{ном.т}},$ кВА	$Q_{\text{max.т}},$ квар	$Q_{\text{НБК}},$ квар	$P_{\text{тп}},$ кВт	$Q_{\text{тп}},$ квар	$S_{\text{тп}},$ кВА
1	8	Компрессорная станция (0,4 кВ)	1250	1575,7	-849,3	1592,1	1166,5	1973,8
	10	Лаборатория контроля и административно-технический корпус						
2	6	Участок производства строительного бетона	1600	1496,7	-489,4	1159,3	1011,8	1538,7
	7	Участок производства гидроизоляционных материалов						
	9	Участок упаковки готовой продукции						
3	3	Участок производства строительных сыпучих материалов	2500	2666,9	-873,6	2266,6	1793,3	2890
	4	Насосная станция (0,4 кВ)						
	5	Участок сушки готовой продукции (0,4 кВ)						
4	1	Участок производства железобетонных изделий	2500	2512,2	-136,7	2437,0	2375,5	3403,2
	2	Участок приёмки и первичной подготовки материалов						

«Применение комплектных трансформаторных подстанций типа КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69), производимых российской компанией АО «Электронмаш» и показанный на рисунке 8, для организации цеховых ТП-10/0,4 кВ предприятия ООО «Волга-Монолит» является технически обоснованным и экономически оправданным решением, отвечающим требованиям по надёжности, безопасности и экономичности эксплуатации электрических сетей промышленных предприятий» [9].

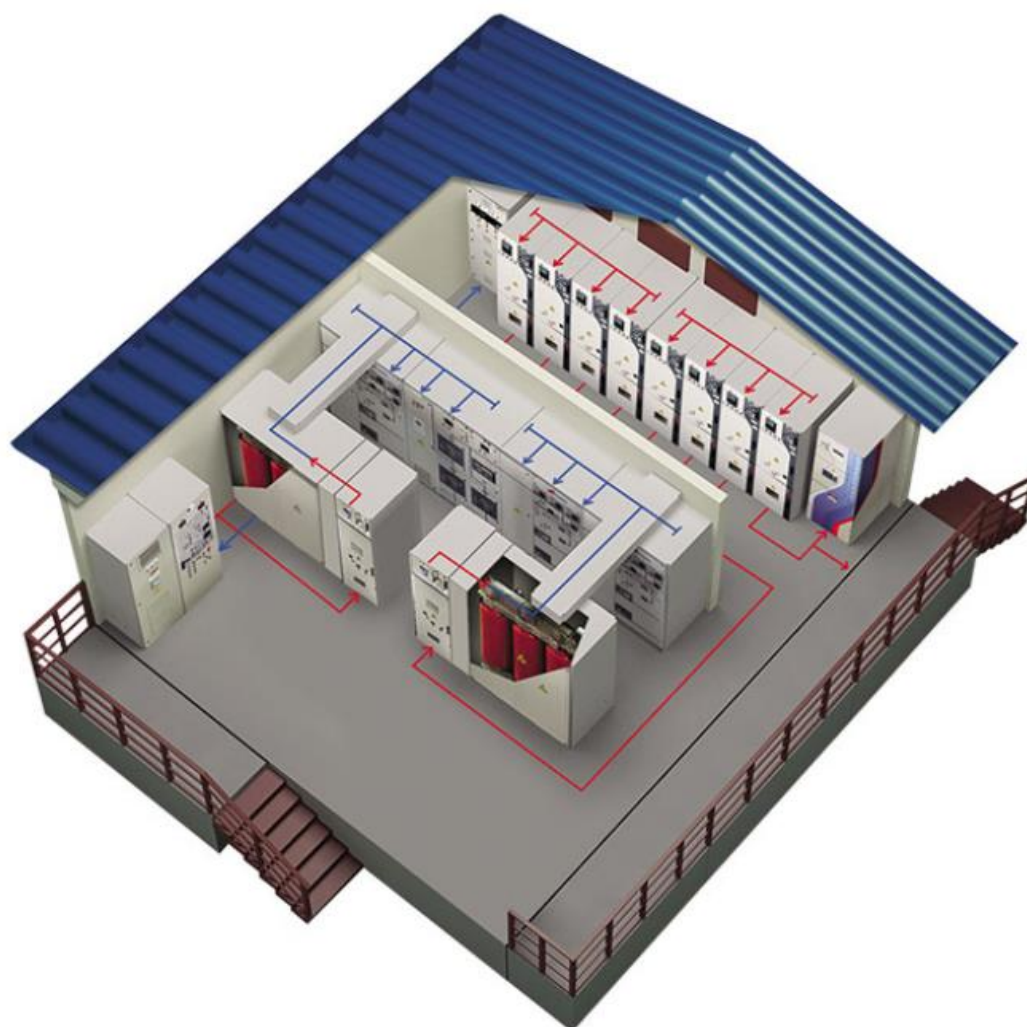


Рисунок 8 – КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69) производства российской компании АО «Электронмаш»

Одним из важнейших факторов, подтверждающих целесообразность применения КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69), является «заводская готовность данного оборудования, благодаря которой существенно сокращаются сроки монтажа и ввода подстанций в эксплуатацию.

Заводская комплектация таких подстанций включает» [9] заранее смонтированные и испытанные силовые трансформаторы, распределительные устройства высокого и низшего напряжения, защитные и коммутационные аппараты, системы релейной защиты и автоматики, а также необходимую аппаратуру для контроля и измерения электрических параметров.

КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69) отличаются компактностью, что даёт возможность эффективно использовать территорию предприятия и минимизировать занимаемые подстанциями производственные площади.

Конструктивное исполнение подстанций соответствует современным требованиям промышленного дизайна, обеспечивая необходимую степень защиты от внешних воздействий, таких как климатические и механические воздействия, агрессивные среды и другие факторы, характерные для производственных условий на территории предприятия ООО «Волга-Монолит». При этом заводское изготовление и испытания обеспечивают высокое качество исполнения и надёжность всех элементов конструкции, которые способны длительное время работать в условиях значительных нагрузок и переменных режимов эксплуатации.

Важным преимуществом применения комплектных трансформаторных подстанций производства АО «Электронмаш» является высокая степень безопасности и удобство обслуживания. Благодаря наличию специального исполнения корпуса и наличию внутренних секционирований, обеспечивается безопасность персонала при проведении профилактических и ремонтных мероприятий. Также КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69) оснащены системами заземления, которые соответствуют действующим нормативам и обеспечивают защиту персонала от поражения электрическим током при эксплуатации подстанций. Современные коммутационные аппараты, встроенные в КТП, позволяют производить оперативные переключения и обслуживание оборудования без необходимости длительного отключения потребителей, что важно для бесперебойной работы производственных подразделений предприятия.

Выводы по разделу.

Установлено, что выбранные силовые трансформаторы марки ТМН-10000/35 ГПП-35/10 кВ полностью соответствуют требованиям к нагрузочной и перегрузочной способности.

Показано, что они гарантированно выдержат номинальные и послеаварийные режимы работы, полностью соответствуют действующим нормативным требованиям и обладают достаточным запасом мощности для будущего развития предприятия.

Показано, что применение КТП «ELM» 35/10(6) производства АО «Электронмаш» на ГПП-35/10 кВ и КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69) на цеховых ТП-10/0,4 кВ предприятия ООО «Волга-Монолит», является наиболее рациональным и эффективным решением, позволяющим обеспечить необходимый уровень надежности, безопасности, экономической эффективности, а также реализовать все требования, предъявляемые к современным промышленным предприятиям в области электроснабжения.

5 Расчёт токов короткого замыкания

«Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения предприятия ООО «Волга-Монолит» представляет собой обязательную и ответственную задачу, направленную на обеспечение безопасной и надёжной работы всего электрического» [13] оборудования, а также на правильный выбор защитных и коммутационных аппаратов.

Данные «расчёты необходимы для определения максимальных значений токов КЗ, возникающих при аварийных режимах работы электроустановок, и служат исходными данными для выбора характеристик аппаратов защиты и коммутации по их электродинамической и термической стойкости» [13].

Процесс выполнения расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения предприятия начинается с построения расчётной схемы, отражающей реальное устройство исследуемой сети.

Расчётная схема, представленная на рисунке 9, «включает в себя все значимые элементы системы электроснабжения: питающую подстанцию (ГПП-35/10 кВ), цеховые трансформаторные подстанции (ТП-10/0,4 кВ), кабельные и воздушные линии, электрические аппараты, силовые трансформаторы и высоковольтные электродвигатели, влияющие на величину токов КЗ» [13].

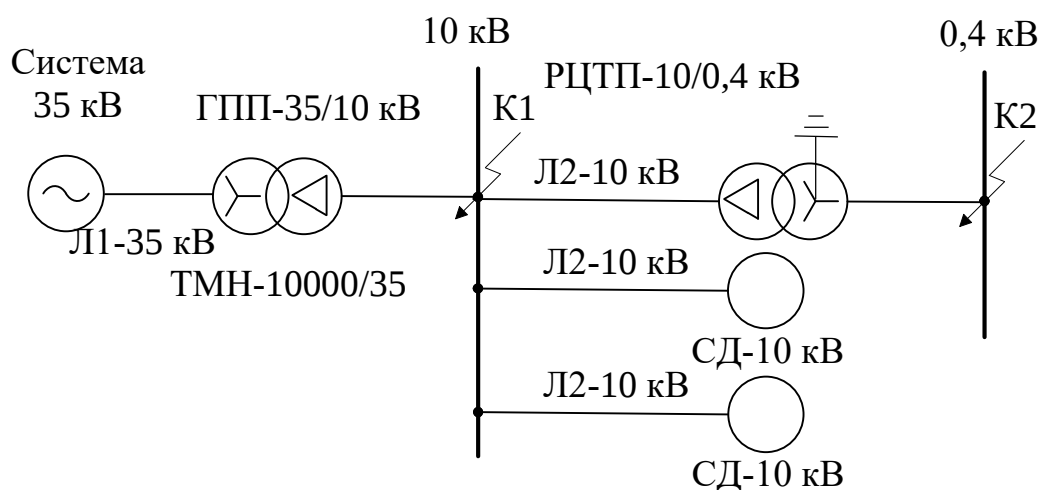


Рисунок 9 – Расчетная однолинейная схема

Следующим этапом расчёта является переход от расчётной схемы к схеме замещения, в которой все элементы электрической сети представлены в виде эквивалентных сопротивлений, характеризующих их активные и реактивные параметры. При выполнении данного этапа учитываются сопротивления питающих систем, силовых трансформаторов, линий электропередачи и других элементов схемы, причём для трансформаторов и кабельных линий принимаются их стандартные паспортные параметры: индуктивные и активные сопротивления обмоток, сопротивления прямой и нулевой последовательностей, номинальные мощности и напряжения.

Также на этапе построения схемы замещения, представленной на рисунке 10, исключаются те элементы сети, влияние которых на итоговые токи КЗ является незначительным или пренебрежимо малым, что позволяет существенно упростить последующие расчёты без потери точности результатов.

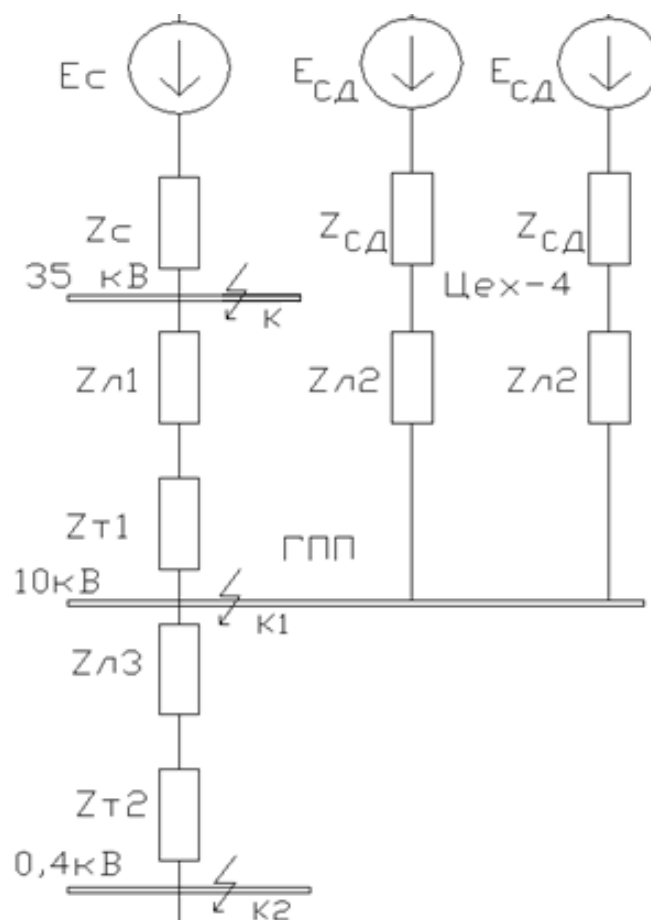


Рисунок 10 – Схема замещения

После формирования схемы замещения проводится расчёт всех её параметров, включающий определение индуктивных и активных сопротивлений элементов сети в базисных величинах относительно выбранных уровней напряжения и мощности.

Сопротивление питающей системы задаётся, исходя из максимальной мощности КЗ в месте подключения исследуемого объекта к внешней сети, при этом учитывается уровень напряжения в точке расчёта:

$$X_c = X_{*c} \cdot \frac{U_c^2}{S_c}, \quad (22)$$

$$X_c = 0,3 \cdot \frac{35^2}{100} = 3,675 \text{ Ом}.$$

Сопротивления линий электропередачи определяются на основе протяжённости, типов и сечений проводников, а также учитываются методы прокладки кабельных линий, которые оказывают существенное влияние на их активные и реактивные параметры:

$$z_n = (x + jr) \cdot L, \text{ Ом}, \quad (23)$$

где « r , x - удельные сопротивления линии, Ом/км;

L - суммарная длина линии, км» [13].

«Сопротивление линий» [13]:

$$Z_{л1} = (0,625 + j \cdot 0,4) \cdot 0,38 = 0,24 + j \cdot 0,15 \text{ Ом},$$

$$Z_{л2} = (1,24 + j \cdot 0,08) \cdot 0,1 = 0,12 + j \cdot 0,008 \text{ Ом},$$

$$Z_{л3} = (0,84 + j \cdot 0,095) \cdot 0,1 = 0,084 + j \cdot 0,0095 \text{ Ом}.$$

Сопротивления трансформаторов определяются на основании паспортных данных, которые приводятся к базисным величинам в соответствии с правилами расчёта электрических сетей.

«Сопротивление трансформатора ГПП-35/10 кВ» [13]:

$$X_m = \kappa^2 \cdot \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_{н.тр}}, \quad (24)$$

$$R_m = \kappa^2 \cdot P_\kappa \cdot \frac{U_{ном}}{S_{н.тр}}, \quad (25)$$

где « u_k – напряжение КЗ трансформатора, %» [13].

«Активное и индуктивное сопротивление трансформатора ГПП-35/10 кВ» [13]:

$$X_{T1} = 0,31^2 \cdot \frac{7,5}{100} \cdot \frac{35^2}{10} = 2,21 \text{ Ом},$$

$$R_{T1} = 0,31^2 \cdot 0,0335 \cdot \frac{35}{10} = 0,25 \text{ Ом}.$$

«Для трансформатора цеховой ТП-1 (ТМ-1600/10)» [13]:

$$X_{T2} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{(10,5)^2}{1,6} = 3,79 \text{ Ом},$$

$$R_{T2} = 0,0073 \cdot \frac{10,5}{0,63} = 2,03 \text{ Ом}.$$

«Сопротивление и ЭДС СД 10 кВ, Ом» [13]:

$$x_{CD} = x'' \cdot \frac{U_n^2 \cdot \eta \cdot \cos \varphi}{P_n}, \quad (26)$$

$$E_{CD} = \sqrt{(U_n \cdot \cos \varphi)^2 + (U_n \cdot \sin \varphi - I_n \cdot x'')^2}, \quad (27)$$

где « P_n – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

η – КПД электродвигателя, о.е.;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности электродвигателя, о.е.;

I_n – номинальный ток, А;

x'' – сверхпереходное сопротивление электродвигателя, о.е.» [13].

$$x_{CD} = 0,24 \cdot \frac{10^2 \cdot 0,92}{1,25} = 17,66 \text{ Ом},$$

$$E_{CD} = \sqrt{(10 \cdot 0,9)^2 + (10 \cdot 0,44 - 38 \cdot 0,24)^2} = 10,16 \text{ кВ}.$$

После определения всех параметров схемы замещения проводится её преобразование, направленное на упрощение расчёта суммарных сопротивлений к точкам предполагаемого короткого замыкания. Обычно это выполняется последовательным сворачиванием схемы путём преобразования параллельных и последовательных соединений сопротивлений в эквивалентное результирующее сопротивление относительно рассматриваемой точки короткого замыкания.

Данный этап необходим для упрощения дальнейших расчётов и позволяет наглядно определить общий уровень сопротивления сети относительно исследуемых узлов.

«Суммарное сопротивление и ЭДС к точке К, Ом» [13]:

$$Z = Z_C, \quad (28)$$

$$Z = 3,675 \text{ Ом},$$

$$E_C = 10 \text{ кВ}.$$

«Суммарное сопротивление и ЭДС к точке K1, Ом» [13]:

$$Z_1 = \left(\frac{1}{Z_C + Z_{Л1} + Z_{T1}} + \frac{1}{Z_{CD} + Z_{Л2}} \right), \quad (29)$$

$$Z_1 = \left(\frac{1}{3,675 + 0,24 + j \cdot 0,15 + 2,21 + j \cdot 0,25} + \frac{1}{17,66 + 0,12 + j \cdot 0,008 \text{ Ом}} \right) =$$

$$= 0,272 + j \cdot 2,134,$$

$$E_C = \left(\frac{E_C}{Z_C + Z_{Л1} + Z_{T1}} + \frac{2E_{CD}}{Z_{CD} + Z_{Л2}} \right) \cdot Z_1, \quad (30)$$

$$E_C = \left(\frac{10,0}{3,675 + 0,24 + j \cdot 0,15 + 2,21 + j \cdot 0,25} + \frac{10,16}{17,66 + 0,12 + j \cdot 0,008 \text{ Ом}} \right) \times$$

$$\times 0,272 + j \cdot 2,134 = 10,82 + j0,024 \approx 10,82 \text{ кВ},$$

«Суммарное сопротивление и ЭДС к точке K2, Ом» [13]:

$$Z_{\Sigma 2(0,4)} = \left[(Z_1 + Z_{T2} + Z_{Л3}) \cdot (K_T)^2 + R_{доб} \right], \quad (31)$$

где $R_{доб}$ – «добавочное сопротивление контактов» [13].

$$Z_{\Sigma 2(0,4)} = \left[(0,29 + j2,35 + 2,03 + j9,63 + 0,084 + j0,0095) \times \right.$$

$$\left. \times (35 / 0,4)^2 + 0,015 \right] =$$

$$= 0,02 + j0,019 \text{ Ом}.$$

ЭДС в точке K2 принимается равной 0,4 кВ, так как находится на данной ступени трансформации.

После выполнения преобразований и получения суммарных «(результатирующих) сопротивлений осуществляется расчёт токов короткого замыкания по известным расчётным формулам, основанным на законах электротехники, в частности законе Ома для трёхфазных цепей.

При этом рассчитывается начальный ток трёхфазного короткого замыкания» [13], являющийся базовым расчётным током и характеризующимся наибольшей амплитудой среди всех видов КЗ.

Начальный ток трёхфазного КЗ рассчитывается в максимальном режиме работы сети, когда все источники и элементы сети подключены и создают наиболее тяжёлые условия для работы электрооборудования в аварийном режиме:

$$I_k^{(3)} = \frac{E}{\sqrt{3} \cdot Z_{k\Sigma}}, \quad (32)$$

где « $Z_{k\Sigma}$ – суммарное сопротивление до точки КЗ, Ом;

E_C – напряжение системы, кВ» [13].

С учётом ранее рассчитанных эквивалентных сопротивлений и ЭДС, начальный ток трёхфазного КЗ в точках К, К1 и К2:

$$I_k^{(3)} = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 3,675} = 5,51 \text{ кА.}$$

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{10,82}{\sqrt{3} \cdot [0,272 + j \cdot 2,134]} = 2,91 \text{ кА.}$$

$$I_{k2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot [0,02 + j0,019]} = 16,79 \text{ кА.}$$

Завершающим этапом расчётов является определение ударных токов короткого замыкания, которые характеризуются наибольшей возможной амплитудой, возникающей в первый момент после возникновения короткого замыкания.

Ударный ток, существенно превышающий установившееся значение тока КЗ, оказывает наибольшее воздействие на электрическое оборудование по электродинамической стойкости.

Он рассчитывается на основе начального тока КЗ с использованием специальных коэффициентов, учитывающих тип оборудования, параметры схемы и особенности переходных процессов:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{0,01/T_A}. \quad (33)$$

Для определения ударных коэффициентов, необходимо найти постоянную времени:

$$T_{A1} = \frac{\sum_{x=0}^x R}{\omega \cdot r \sum_{X=0}^X X}, c. \quad (34)$$

«Постоянная времени в расчётных точках схемы, с» [13]:

$$T_A = \frac{1}{314 \cdot 3,675} = 0,001c,$$

$$T_{A1} = \frac{2,134}{314 \cdot 0,276} = 0,025c,$$

$$T_{A2} = \frac{0,19}{314 \cdot 0,02} = 0,03c.$$

«Таким образом, значения ударных коэффициентов в расчётных точках схемы» [13]:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{0,01/0,025} \approx 3,2,$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{0,01/0,025} = 2,5,$$

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{0,01/0,03} = 1,396 \approx 1,4.$$

«Ударный ток КЗ, кА» [13]:

$$i_{y\partial 1} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}. \quad (35)$$

«Значения ударных коэффициентов в расчётных точках схемы» [13]:

$$i_{y\partial} = 3,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,51 = 24,9 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial 1} = 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,91 = 10,29 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial 2} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 16,79 = 33,24 \text{ кА}.$$

Полученные результаты представлены в форме таблицы 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта токов КЗ

Точка КЗ/параметр	$I_K^{(3)}$, кА	$k_{уд.к}$, кА	$i_{уд.к}$, кА
К (35 кВ)	5,51	3,2	24,90
К1 (10 кВ)	2,91	2,5	10,29
К2 (0,4 кВ)	16,79	1,4	33,24

Полученные в результате расчёта токов короткого замыкания данные являются основополагающими при выборе оборудования электрических установок.

Выводы по разделу.

Проведён расчёт токов короткого замыкания и ударных токов в максимальном режиме на объекте. Установлено, что электрооборудование, выбранное по результатам расчётов, должно обладать достаточной термической и динамической стойкостью, а также безопасно выдерживать расчётные значения токов короткого замыкания без повреждений и нарушения работоспособности.

6 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов

6.1 Выбор и проверка проводников

«В работе для канализации электроэнергии в системе электроснабжения системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит», предлагается применить следующие типы и марки проводников:

- для питающей линии 35 кВ предложено использовать двухцепную воздушную линию электропередачи, выполненная современным проводом марки СИП-3» [2];
- «питающие линии 10 кВ – кабельные линии электропередачи, выполненные кабелем АПвБШв-10 с изоляцией из сшитого полиэтилена» [5];
- «питающая сеть 0,38/0,22 кВ – кабельные линии электропередачи, выполненные кабелем АВВГнг-LS» [6].

Выбор и обоснование применения типов и марок проводников для канализации электроэнергии в системе электроснабжения ООО «Волга-Монолит» обусловлен необходимостью обеспечения высокой надежности, безопасности и эффективности работы электрических сетей «предприятия в течение всего периода их эксплуатации.

Для питающей линии напряжением 35 кВ предлагается использовать воздушную линию, выполненную современным проводом марки СИП-3.

Применение самонесущего изолированного провода марки СИП-3 на» [2] высоковольтных линиях обосновано его уникальными техническими характеристиками, такими как высокая механическая прочность, устойчивость к атмосферным воздействиям, защита от «перекрытий и коротких замыканий, обусловленных воздействием внешних факторов (например, погодными явлениями или падением посторонних предметов на провода). Данный тип провода, показанный на рисунке 11, значительно снижает риски возникновения аварийных ситуаций» [2] и позволяет

существенно увеличить срок службы воздушной линии электропередачи, минимизировать затраты на обслуживание и ремонт, повысить качество передачи электроэнергии и обеспечить надёжное электроснабжение потребителей в любых условиях эксплуатации.



Рисунок 11 – Провод СИП-3

На питающих кабельных линиях напряжением 10 кВ, отходящих от ГПП-35/10 кВ к распределительным трансформаторным подстанциям, предлагается использовать современные кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвБШв-10, показанных на рисунке 12.



Рисунок 12 – Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвБШв-10

«Применение кабелей данной марки обусловлено рядом существенных преимуществ по сравнению с устаревшими кабельными линиями с бумажно-

масляной изоляцией. Основными из них являются повышенная стойкость к термическим перегрузкам, высокая электромеханическая прочность и устойчивость к механическим повреждениям при прокладке и эксплуатации.

Кроме того, кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена обладают существенно лучшими электрическими характеристиками, значительно меньшими диэлектрическими потерями и более длительным сроком службы, что позволяет снизить эксплуатационные затраты и повысить энергоэффективность. За счёт применения бронирования в конструкции кабеля марки АПвБШв-10 обеспечивается дополнительная механическая защита от повреждений при прокладке в земле, а также надежность при возможных внешних механических воздействиях и агрессивных средах.

Для организации питающей распределительной сети низкого напряжения 0,38/0,22 кВ на предприятии ООО «Волга-Монолит» предлагается использовать современные кабельные линии, выполненные кабелями марки АВВГнг-LS» [5], представленные на рисунке 13.



Рисунок 13 – Кабель марки АВВГнг-LS

«Данный тип кабеля характеризуется наличием негорючей оболочки и низким дымо- и газовыделением» [6] при воздействии высоких температур, что является критически важным требованием в области пожарной безопасности и защиты персонала предприятия. Использование таких кабелей позволяет существенно снизить риски пожаров и ограничить распространение огня и дыма в случае аварийных ситуаций. Также кабели марки АВВГнг-LS отличаются повышенной гибкостью, удобством монтажа, высокой стойкостью к внешним воздействиям, механическим повреждениям и

температурным колебаниям. Применение данных проводников обеспечивает безопасность эксплуатации, высокую надёжность передачи электроэнергии, длительный срок службы кабельных линий и минимальные эксплуатационные затраты.

Таким образом, все предложенные типы и марки проводников для канализации электроэнергии в системе электроснабжения ООО «Волга-Монолит» технически оправданы, обладают высокими эксплуатационными характеристиками, обеспечивают необходимый уровень надёжности, безопасности и экономичности эксплуатации сети, отвечая самым современным нормативным и техническим требованиям.

Далее в работе проводится непосредственный выбор и проверка сечений принятых и обоснованных ранее проводников.

«Выбор проводников напряжением выше 1 кВ проводится по экономической плотности тока» [10]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\text{э}}}, \quad (36)$$

где « $j_{\text{э}}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [10].

«Проверка выбранного сечения проводника в нормальном режиме» [10]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_{\text{р.}}, \quad (37)$$

где « $I_{\text{дон}}$ – предельно – допустимое значение тока проводника, А» [10].

«Проверка проводника в послеаварийном режиме работы» [10]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_{\text{р. max}}, \quad (38)$$

где « $I_{\text{р. max}}$ – максимальный ток, А» [10].

«Проверка проводника по климатическим условиям (минимальное допустимое сечение проводника)» [10]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, мм^2. \quad (39)$$

«Проводится выбор кабельной линии 10 кВ, питающей ТП-1 от шин РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ предприятия. Расчетные токи в нормальном и послеаварийном режимах, А» [10]:

$$I_{р.норм} = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_{ном}}, \quad (40)$$

$$I_{р.норм} = \frac{1973,8}{2\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,3 А,$$

$$I_{р.ав} = 2I_{р.норм}, \quad (41)$$

$$I_{р.ав} = 2 \cdot 54,3 = 108,6 А.$$

«Экономическое сечение жил кабеля» [10]:

$$F_э = \frac{54,3}{1,4} = 38,8 мм^2.$$

«Выбирается кабель АПвБШв-10- 3×35, $I_{дл.доп.} = 115$ А. Прокладка кабеля осуществляется в земляной траншее. Условие проверки кабеля в нормальном режиме работы выполняется» [19]:

$$115 А \geq 54,3 А.$$

«Условие проверки кабеля в послеаварийном режиме работы также выполняется» [19]:

$$115 A \geq 108,6 A.$$

Сечение проводников остальных проводников питающей сети 35 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ выбраны аналогично и представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор сечения проводников системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит»

Линия	N, шт.	S _p , кВА	I _{p.норм} , А	I _{p.ав} , А	I _{доп} , А	Марка проводника
Питающая сеть 35 кВ						
Энергосистема – Т1	1	10000	165,0	230,9	485	СИП-3 (1×150)
Энергосистема – Т2	1	10000	165,0	230,9	485	СИП-3 (1×150)
Питающая сеть 10 кВ						
ГПП-ТП1	2	1973,8	54,3	108,6	175	АПВБШВ-10-3×50
ГПП-ТП2	2	1538,7	42,3	84,6	175	АПВБШВ-10-3×50
ГПП-ТП3	2	2890,0	79,5	158,9	175	АПВБШВ-10-3×50
ГПП-ТП4	2	3403,2	93,6	187,2	215	АПВБШВ-10-3×70
ГПП-4 (СД)	2	5000,0	137,5	275,0	295	АПВБШВ-10-3×120
ГПП-8 (СД)	2	2880,0	79,2	158,4	175	АПВБШВ-10-3×50
ГПП-5 (ЭП)	2	2200,0	60,5	121,0	175	АПВБШВ-10-3×50
Питающая сеть 0,4 кВ						
ТП1-10	2	366,0	264,1	528,2	2×274	2АВВГнг-LS-3×70+1×35
ТП2-7	2	127,0	91,7	183,4	205	АВВГнг-LS-3×50+1×25
ТП2-9	2	158,6	114,5	229,0	274	АВВГнг-LS-3×70+1×35
ТП3-3	2	747,8	539,7	1079,4	2×508	2АВВГнг-LS-3×185+1×95
ТП3-5	2	469,6	338,9	677,8	2×340	2АВВГнг-LS-3×95+1×50
ТП4-1	2	2004,0	1446,3	2892,6	6×508	6АВВГнг-LS-3×185+1×95
ТП4-6	2	414,8	315,1	630,2	2×340	2АВВГнг-LS-3×95+1×50

Применение выбранных проводников обеспечивает безопасность эксплуатации, высокую надёжность передачи электроэнергии, длительный срок службы кабельных линий и минимальные эксплуатационные затраты.

Таким образом, все предложенные типы и марки проводников для канализации электроэнергии в системе электроснабжения ООО «Волга-Монолит» технически оправданы, обладают высокими эксплуатационными характеристиками, обеспечивают необходимый уровень надёжности, безопасности и экономичности эксплуатации сети, отвечая самым современным нормативным и техническим требованиям.

6.2 Выбор электрических аппаратов

Ранее в работе приняты и обоснованы следующие конструктивные решения для применения в системе электроснабжения предприятия ООО «Волга-Монолит»:

- установлено, что применение комплектной трансформаторной подстанции КТП «ELM» 35/10(6) производства АО «Электронмаш» на ГПП-35/10 кВ с двумя силовыми трансформаторами марки ТМН-10000/35 в системе электроснабжения предприятия ООО «Волга-Монолит» является наиболее рациональным и эффективным решением, позволяющим обеспечить необходимый уровень надежности, безопасности, экономической эффективности, а также реализовать все требования, предъявляемые к современным промышленным предприятиям в области электроснабжения;
- показано, что выбор и применение комплектных трансформаторных подстанций типа КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69) компании АО «Электронмаш» для ЦТП-10/0,4 кВ ООО «Волга-Монолит» является обоснованным решением, которое обеспечивает необходимый уровень надёжности, безопасности, энергоэффективности и экономичности, а также позволяет существенно оптимизировать затраты на строительство, эксплуатацию и техническое обслуживание.

Проводится компоновка данных технических решений современными и рациональными электрическими аппаратами.

Для этого, помимо справочных материалов, также используется принятая ранее схема системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит».

Результаты выбора и проверки силового оборудования для комплектования ячеек на стороне 35 кВ КТП «ELM» 35/10 системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит», представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки силового оборудования для комплектования ячеек на стороне 35 кВ КТП «ELM» 35/10 системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вакуумные выключатели ВВУ–СЭЩ–П-35	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 369,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 5,51 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 24,9 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 5,51^2 \cdot 3 = 91,1 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 \text{с}$
Трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ-35	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 369,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$S_{2\Sigma} \leq S_n$	$S_{2\Sigma} = 800 \text{ ВА}$	$S_n = 1000 \text{ ВА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 5,51^2 \cdot 3 = 91,1 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 \text{с}$
Трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-35	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 369,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$S_{2\Sigma} \leq S_n$	$S_{2\Sigma} = 120 \text{ ВА}$	$S_n = 100 \text{ ВА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 5,51^2 \cdot 3 = 91,1 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 \text{с}$
Ограничители перенапряжения ОПНп-35/40,5/10/600	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 369,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 600 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 24,9 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 40,5 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 5,51^2 \cdot 3 = 91,1 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 \text{с}$

Таким образом, расчётным путём установлено, что вакуумные выключатели ВВУ–СЭЩ–П-35, трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ-35, трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-35, а также ограничители перенапряжения ОПНп-35/40,5/10/600 подходят для компоновки ячеек на стороне 35 кВ КТП «ELM» 35/10 системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит».

Результаты выбора и проверки силового оборудования для комплектования ячеек на стороне 10 кВ КТП «ELM» 35/10 системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит», представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора и проверки силового оборудования для комплектования ячеек на стороне 10 кВ КТП «ELM» 35/10 системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вакуумные выключатели ВВУ–СЭЩ–10–20/1600 УЗ	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 1177,1 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{п.т} = 4,8 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 12,4 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,8^2 \cdot 3 = 69,1 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{с}$
Трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ-10	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 1177,1 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$S_{2\Sigma} \leq S_n$	$S_{2\Sigma} = 800 \text{ ВА}$	$S_n = 1000 \text{ ВА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,8^2 \cdot 3 = 69,1 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 \text{с}$
Трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 1177,1 \text{ А}$	$I_{ном} = 1200 \text{ А}$
	$S_{2\Sigma} \leq S_n$	$S_{2\Sigma} = 100 \text{ ВА}$	$S_n = 120 \text{ ВА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,8^2 \cdot 3 = 69,1 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 \text{с}$
Ограничители перенапряжения ОПН-п 10/12/10/400	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 1177,1 \text{ А}$	$I_{ном} = 1200 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 12,4 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,8^2 \cdot 3 = 69,1 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_K = 52^2 \cdot 3 = 8112 \text{ кА}^2 \text{с}$

Таким образом, расчётным путём установлено, что вакуумные выключатели ВВУ–СЭЩ–10–20/1600 УЗ трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ-10, трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10, ограничители

перенапряжения ОПН-п 10/12/10/400, подходят для компоновки ячеек на стороне 10 кВ КТП «ELM» 35/10 системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит».

Выводы по разделу.

В результате выполнения проверки и анализа сетей системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит», для передачи электроэнергии выбраны проводники, отвечающие современным техническим требованиям и условиям безопасной эксплуатации электрооборудования.

Для питающей линии напряжением 35 кВ выбран провод марки СИП-3 1×150.

Для кабельных питающих линий напряжением 10 кВ, соединяющих главную понизительную подстанцию и цеховые трансформаторные подстанции, подтверждено применение силовых кабелей марки АПвБШв-10.

На линиях 0,38/0,22 кВ выбраны силовые кабели марки АВВГнг-LS различных сечений с негорючей изоляцией, которая не распространяет горение и обладает минимальным дымо- и газовыделением.

Показано, что вакуумные выключатели ВВУ–СЭЩ–П-35, трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ-35, трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-35, а также ограничители перенапряжения ОПНп-35/40,5/10/600 подходят для компоновки ячеек на стороне 35 кВ КТП «ELM» 35/10 системы электроснабжения предприятия.

Установлено, что вакуумные выключатели ВВУ–СЭЩ–10–20/1600 УЗ трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ-10, трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10, ограничители перенапряжения ОПН-п 10/12/10/400, подходят для компоновки ячеек на стороне 10 кВ КТП «ELM» 35/10 системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит».

7 Выбор систем релейной защиты и собственных нужд питающей ГПП

7.1 Выбор системы релейной защиты и автоматика питающей ГПП

К системе релейной защиты и автоматики (РЗА), используемой в системе электроснабжения ООО «Волга-Монолит», предъявляются высокие требования, обусловленные спецификой работы предприятия, особенностями его технологических процессов и необходимостью обеспечения бесперебойного электроснабжения всех категорий потребителей. Данные требования связаны прежде всего с обеспечением оперативности, чувствительности, селективности и надёжности работы устройств РЗА при возникновении аварийных ситуаций или отклонений от заданных режимов функционирования электрооборудования. Современная система РЗА должна обладать высокой степенью быстродействия и точности в обнаружении и локализации места повреждения или нарушений нормального режима работы электрооборудования, минимизировать риск распространения аварии на соседние участки электросети, что обеспечивает непрерывность производственного процесса и безопасность персонала [1].

Важной характеристикой системы релейной защиты и автоматики является её функциональность и универсальность применения. Внедряемые устройства должны не только выполнять защитные функции, но и обеспечивать мониторинг текущего состояния электрооборудования, своевременное информирование диспетчерского персонала о происходящих изменениях в сети, включая возможность дистанционного управления и регулирования параметров работы оборудования.

Кроме того, выбранная система РЗА для применения на объекте исследования должна быть простой в обслуживании, способствовать сокращению эксплуатационных расходов и исключать необходимость частых технических осмотров и проверок [1].

На основании изложенных требований и с целью реализации высококачественной и современной системы РЗА в работе выбраны микропроцессорные терминалы серии «ТОР 200-16К» [18], показанные в работе на рисунке 14.



Рисунок 14 – Микропроцессорный терминал РЗА серии «ТОР 200-16К»

«Данное решение обусловлено тем, что указанные терминалы являются наиболее подходящими и эффективными устройствами для применения» [18] в распределительных электрических сетях предприятия промышленного типа, таких как ООО «Волга-Монолит».

Терминалы «ТОР 200-16К» сочетают в себе «высокую функциональность, точность и чувствительность при выполнении широкого спектра защитных функций – от простых токовых защит и защит от замыканий

на землю» [18] до более сложных видов защит, таких как дистанционная и дифференциальная защиты.

Особенности микропроцессорных терминалов серии «ТОР 200-16К» включают возможность точной настройки параметров срабатывания, простоту интеграции в автоматизированные системы управления технологическими процессами и оперативно-диспетчерского контроля, наличие удобного интерфейса и встроенной функции самодиагностики, значительно повышающей уровень эксплуатационной надежности и сокращающей время обслуживания.

Дополнительным преимуществом является возможность организации удалённого управления и мониторинга состояния устройств, интеграция в системы автоматического регулирования параметров электрической сети, что позволяет своевременно выявлять и устранять нарушения или неисправности, минимизируя возможные простои технологического оборудования.

Таким образом, применение микропроцессорных терминалов серии «ТОР 200-16К» в системе электроснабжения ООО «Волга-Монолит» полностью удовлетворяет всем установленным требованиям к системам релейной защиты и автоматики, обеспечивая высокий уровень защиты, автоматизации и оперативного контроля электрических сетей предприятия, что, в конечном итоге, приводит к повышению надежности.

7.2 Выбор и расчёт системы собственных нужд ГПП

Система собственных нужд, предусмотренная на питающей главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ предприятия ООО «Волга-Монолит», предназначена для обеспечения необходимых условий функционирования технологического оборудования, поддержания комфортного и безопасного микроклимата внутри подстанционных сооружений, а также стабильной и надёжной работы вспомогательных

устройств, что является обязательным условием для эффективной эксплуатации всей подстанции и системы электроснабжения в целом.

Проводится перечисление и характеристика основных составляющих системы СН питающей ГПП-35/10 кВ предприятия.

Системы отопления зданий подстанции играют важную роль в поддержании стабильного температурного режима внутри помещений, где размещено электрическое оборудование, особенно в период низких температур. Данные системы позволяют исключить возможность конденсации влаги на поверхностях оборудования и сооружений, предотвращая риск возникновения коротких замыканий и ухудшения изоляционных свойств электроаппаратов.

Системы вентиляции зданий подстанции предназначены для обеспечения качественного воздухообмена в помещениях, удаления избытков тепла, выделяемых электрооборудованием, и предотвращения накопления влаги, пыли и вредных газообразных примесей. Эффективная работа вентиляции обеспечивает оптимальные условия для работы технических устройств, увеличивая срок их службы и снижая вероятность аварийных ситуаций.

Подогрев шкафов и оборудования РУ-35 кВ и РУ-10 кВ направлен на поддержание стабильного температурного режима непосредственно внутри шкафов и распределительных устройств, что исключает негативное влияние низких температур на работу приборов управления и измерений, электрических аппаратов и релейной защиты. Применение подогрева существенно повышает надёжность эксплуатации оборудования и минимизирует отказы и сбои, связанные с колебаниями температурного режима.

Рабочее и аварийное освещение зданий и территории ГПП-35/10 кВ является обязательным элементом системы СН и обеспечивает безопасную эксплуатацию электрооборудования в тёмное время суток, а также при аварийных ситуациях, требующих проведения ремонтных работ и осмотра

оборудования. Рабочее освещение обеспечивает комфортные условия при эксплуатации и техническом обслуживании электроустановок, а «аварийное освещение предназначено для экстренного обеспечения минимально необходимого уровня видимости в случае отключения основного освещения.

Системы связи и передачи данных предназначены» [7] для обеспечения оперативного взаимодействия персонала подстанции с диспетчерскими службами и другими объектами энергосистемы. Стабильность работы данной системы позволяет своевременно передавать информацию о состоянии оборудования, оперативно реагировать на возникновение отклонений от нормальных режимов работы и обеспечивать эффективное управление технологическим процессом.

Система релейной защиты, автоматики и сигнализации является одной из ключевых составляющих собственных нужд подстанции, обеспечивая защиту электрооборудования от возможных аварий и технологических сбоев. Данные устройства гарантируют надёжную селективную защиту, отключение повреждённых участков сети, а также оперативное оповещение персонала об отклонениях в работе оборудования, обеспечивая высокий уровень безопасности и бесперебойности электроснабжения.

Аккумуляторные батареи и оборудование для их зарядки играют важную роль в обеспечении системы оперативного постоянного тока, используемого для питания цепей управления, релейной защиты, автоматики, сигнализации и аварийного освещения. Данная система обеспечивает надёжное и стабильное питание в условиях аварийных отключений, гарантируя непрерывную работу систем защиты и управления даже в экстремальных ситуациях, что существенно повышает общую безопасность эксплуатации ГПП.

Таким образом, совокупность рассмотренных выше элементов системы собственных нужд ГПП-35/10 кВ ООО «Волга-Монолит» обеспечивает необходимые условия для надёжной, эффективной и безопасной эксплуатации всего энергетического хозяйства предприятия.

«Проводится выбор и проверка трансформаторов собственных нужд (ТСН) ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит». Расчёт нагрузки СН питающей ГПП-35/10 кВ» [7] представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Расчёт нагрузки СН питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит»

Наименование потребителя СН	Потребляемая нагрузка		
	$P_{\text{макс}},$ кВт	$Q_{\text{макс}},$ квар	$S_{\text{макс}},$ кВА
Системы отопления зданий подстанции	10,00	-	10,00
Подогрев шкафов и оборудования РУ-10 кВ	5,00	-	5,00
Рабочее освещение	2,00	-	2,00
Аварийное освещение	1,00	-	1,00
Системы вентиляции зданий подстанции	10,00	-	10,00
Системы связи и передачи данных	2,00	-	2,00
Система релейной защиты, автоматики и сигнализации	0,50	-	0,50
Оборудование зарядки аккумуляторных батарей	3,50	-	3,50
Всего нагрузки СН питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит»	34,00	-	34,00

«Суммарная нагрузка СН» [7]:

$$S_{\text{макс.сн}} = k_{\text{р.м}} \sqrt{\sum_1^n P_{\text{макс}}^2 + \sum_1^n Q_{\text{макс}}^2}, \quad (42)$$

где $P_{\text{макс}}$ – «суммарная активная потребляемая нагрузка СН, кВт;

$Q_{\text{макс}}$ – суммарная реактивная потребляемая нагрузка СН, квар» [7].

«Расчётная полная нагрузка СН» [7]:

$$S_{\text{макс.сн}} = 0,85 \sqrt{34^2 + 0^2} = 28,9 \text{ кВА}.$$

«Расчетная мощность ТСН» [7]:

$$S_{\text{ТСН}} = \frac{S_{\text{макс.сн}}}{k_3 \cdot n}, \text{ кВА}, \quad (43)$$

$$S_{\text{ТСН}} = \frac{28,9}{0,7 \cdot 2} = 20,64 \text{ кВА}.$$

«Для системы собственных нужд питающей ГПП-35/10 кВ, выбираются два трансформатора СН марки ТМ-25/10 У1» [7].

Таким образом, с учётом резервирования системы СН, с целью питания важных потребителей данной системы в послеаварийном режиме, в работе окончательно принимаются к установке на питающей ГПП-35/10 кВ, два трансформатора собственных нужд марки ТМ-25/10.

Выводы по разделу.

Показано, что применение микропроцессорных терминалов серии «ТОР 200-16К» в системе электроснабжения ООО «Волга-Монолит» полностью удовлетворяет всем установленным требованиям к системам релейной защиты и автоматики, обеспечивая высокий уровень защиты, автоматизации и оперативного контроля электрических сетей предприятия, что, в конечном итоге, приводит к повышению общей надежности и эффективности функционирования всей системы электроснабжения.

Установлено, что с целью питания важных потребителей системы собственных нужд в послеаварийном режиме, а также принимая во внимание условия необходимого резервирования системы СН, в работе на питающей ГПП-35/10 кВ принимаются два силовых трансформатора собственных нужд марки ТМ-25/10 с отдельным питанием от секций сборных шин РУ-10 кВ главной понизительной подстанции системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит».

Заключение

В работе разработаны, обоснованы, исследованы и предложены к непосредственному практическому внедрению на объекте, рациональные мероприятия по проектированию системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит».

Приведена техническая и экономическая характеристика предприятия. Показано, что ООО «Волга-Монолит» является высокотехнологичным предприятием, которое сочетает в себе передовые производственные технологии, эффективную организационную структуру и устойчивую экономическую политику, что в совокупности обеспечивает его стабильное развитие и перспективное расширение на рынке строительных материалов и инженерных решений. Установлено, что к числу основных производственных объектов системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит», относятся:

- участок производства железобетонных изделий (оборудование 0,4 кВ);
- участок приёмки и первичной подготовки материалов (оборудование 0,4 кВ);
- участок производства строительных сыпучих материалов (оборудование 0,4 кВ);
- насосная станция (оборудование 0,4 кВ и синхронные электродвигатели 10 кВ);
- участок сушки готовой продукции (оборудование 0,4 кВ и электропечи 10 кВ);
- участок производства строительного бетона (оборудование 0,4 кВ);
- участок производства гидроизоляционных материалов (оборудование 0,4 кВ);
- компрессорная станция (синхронные электродвигатели 10 кВ);
- участок упаковки готовой продукции (оборудование 0,4 кВ);

– лаборатория контроля и административно-технический корпус (оборудование 0,4 кВ).

Показано, что большинство потребителей проектируемой системы электроснабжения относится к 1 и 2 категории надёжности потребителей.

Разработана и предложена структурная схема электроснабжения предприятия ООО «Волга-Монолит», включающая главную понизительную двухтрансформаторную подстанцию 35/10 кВ, сеть двухтрансформаторных цеховых подстанций 10/0,4 кВ и вводные распределительные устройства 0,4 кВ потребителей, полностью соответствует современным требованиям по надёжности, экономичности, безопасности и экологичности.

Совокупность применённых схемных решений на стороне 35 кВ и 10 кВ питающей подстанции ГПП-35/10 кВ предприятия ООО «Волга-Монолит» позволяет удовлетворить основным техническим и экономическим критериям эффективной и надёжной системы электроснабжения.

Выбранные схемы 35-4Н на стороне высокого напряжения и 10-9 на стороне низшего напряжения, дополняя друг друга, обеспечивают оптимальный баланс между надёжностью, эксплуатационной гибкостью, экономичностью, простотой обслуживания и высокой степенью защиты от аварийных режимов, что является определяющим фактором для стабильного функционирования энергетического комплекса данного промышленного объекта.

Установлено, что питание высоковольтных электродвигателей 10 кВ планируется осуществить напрямую от секций сборных шин 10 кВ РУ-10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ, минуя трансформацию с 10 кВ до уровня 0,4 кВ на цеховых ТП-10/0,4 кВ. Кроме того, на стороне 10 кВ распределительные сети цеховых ТП-10/0,4 кВ и высоковольтных электродвигателей должны быть разделены.

Внедрение указанных схемных решений позволит обеспечить стабильное и бесперебойное электроснабжение всего предприятия, повысить

эффективность эксплуатации оборудования, минимизировать риски аварий и сократить эксплуатационные расходы в долгосрочной перспективе.

Установлено, что проведённый расчёт силовых, осветительных и суммарных электрических нагрузок методом сложения, выполненный в рамках проектирования системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит», позволяет обеспечить требуемый уровень надёжности, экономичности и безопасности электроснабжения производственного комплекса предприятия в соответствии с действующими нормативными требованиями и стандартами.

Выполненные расчёты и проверки подтвердили, что выбранные для установки на ГПП-35/10 кВ ООО «Волга-Монолит» силовые трансформаторы марки ТМН-10000/35 полностью соответствуют требованиям к нагрузочной и перегрузочной способности. Показано, что они гарантированно выдержат номинальные и послеаварийные режимы работы, полностью соответствуют действующим нормативным требованиям и обладают достаточным запасом мощности для будущего развития предприятия.

Установлено, что внедрение КТП «ELM» 35/10(6) производства АО «Электронмаш» на ГПП-35/10 кВ предприятия ООО «Волга-Монолит» является наиболее рациональным и эффективным решением, позволяющим обеспечить необходимый уровень надёжности, безопасности, экономической эффективности, а также реализовать все требования, предъявляемые к современным промышленным предприятиям в области электроснабжения.

Показано, что выбор и применение комплектных трансформаторных подстанций типа КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69) компании АО «Электронмаш» для ЦТП-10/0,4 кВ ООО «Волга-Монолит» является обоснованным решением, которое обеспечивает необходимый уровень надёжности, безопасности, энергоэффективности и экономичности, а также позволяет существенно оптимизировать затраты на строительство, эксплуатацию и техническое обслуживание.

Проведён расчёт токов короткого замыкания и ударных токов в максимальном режиме на объекте. Установлено, что электрооборудование,

выбранное по результатам расчётов, должно обладать достаточной термической и динамической стойкостью, а также безопасно выдерживать расчётные значения токов короткого замыкания без повреждений и нарушения работоспособности.

В результате выполнения проверки и анализа сетей системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит», для передачи электроэнергии выбраны проводники, отвечающие современным техническим требованиям и условиям безопасной эксплуатации электрооборудования.

Для питающей линии напряжением 35 кВ выбран провод марки СИП-3 1×150.

Для кабельных питающих линий напряжением 10 кВ, соединяющих главную понизительную подстанцию и цеховые трансформаторные подстанции, подтверждено применение силовых кабелей марки АПвБШв-10.

На линиях 0,38/0,22 кВ выбраны силовые кабели марки АВВГнг-LS различных сечений с негорючей изоляцией, которая не распространяет горение и обладает минимальным дымо- и газовыделением.

Показано, что вакуумные выключатели ВВУ–СЭЩ–П-35, трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ-35, трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-35, а также ограничители перенапряжения ОПНп-35/40,5/10/600 подходят для компоновки ячеек на стороне 35 кВ КТП «ELM» 35/10 системы электроснабжения предприятия.

Установлено, что вакуумные выключатели ВВУ–СЭЩ–10–20/1600 УЗ трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ-10, трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10, ограничители перенапряжения ОПН-п 10/12/10/400, подходят для компоновки ячеек на стороне 10 кВ КТП «ELM» 35/10 системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит».

Показано, что применение микропроцессорных терминалов серии «ТОР 200-16К» в системе электроснабжения ООО «Волга-Монолит» полностью удовлетворяет всем установленным требованиям к системам релейной защиты и автоматики, обеспечивая высокий уровень защиты, автоматизации и

оперативного контроля электрических сетей предприятия, что, в конечном итоге, приводит к повышению общей надежности и эффективности функционирования всей системы электроснабжения.

Установлено, что с целью питания важных потребителей системы собственных нужд в послеаварийном режиме, а также принимая во внимание условия необходимого резервирования системы СН, в работе на питающей ГПП-35/10 кВ принимаются два силовых трансформатора собственных нужд марки ТМ-25/10 с отдельным питанием от секций сборных шин РУ-10 кВ главной понизительной подстанции системы электроснабжения ООО «Волга-Монолит».

Полученные результаты работы могут быть использованы не только в системе электроснабжения ООО «Волга-Монолит», но и для разработки аналогичных проектов на других предприятиях промышленного комплекса, что также подчеркивает практическую значимость и актуальность проведенного 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. Выбор сечений изолированных проводов СИП. [Электронный ресурс]: URL: <https://electricalschool.info/main/vl/1291-vybor-sechenijj-izolirovannykh-provodov.html> (дата обращения: 27.03.2025).
3. ГОСТ 14209–85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (с Изменением № 1). [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012414> (дата обращения: 27.03.2025).
4. 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: 27.03.2025).
5. Кабели силовые бронированные, с изоляцией из сшитого полиэтилена АПвБШв. [Электронный ресурс]: URL: <https://zvetlit.ru/katalog/novinki/kabeli-silovye-bronirovannye-102-detail> (дата обращения: 27.03.2025).
6. Кабель АВВГнг-LS. [Электронный ресурс]: URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/avvgng-ls/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/avvgng-ls/) (дата обращения: 27.03.2025).
7. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: КноРус, 2019. 236 с.
8. КТП «ELM» 35/10 (6). [Электронный ресурс]: URL: <https://electronmash.ru/catalog/komplektnye-transformatornye-podstancii-do-220-kv/ktp-elm-35-kv> (дата обращения: 27.03.2025).
9. КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69). [Электронный ресурс]: URL: <https://electronmash.ru/catalog/komplektnye-transformatornye-podstancii-do-220-kv/ktp-elm-6-10-kv> (дата обращения: 27.03.2025).

10. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
11. ООО «ВОЛГА-МОНОЛИТ» [Электронный ресурс]: URL: <https://checko.ru/company/volga-monolit-1166313051651> (дата обращения: 18.02.2025).
12. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.
13. 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: 27.03.2025).
14. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.
15. Сибикин Ю.Д. Технология энергосбережения. М.: Инфра-М, 2022. 336 с.
16. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.
17. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 27.03.2025).
18. TOP 200-16K – Комплектное устройство РЗА 6(10)-35 кВ. [Электронный ресурс]: URL: <https://relematika.ru/products/rza-6-10-35-kv/komplektnoe-ustroystvo-rza-6-10-35-kv-tipa-tor-200-16k/> (дата обращения: 27.03.2025).
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.