

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 «Алроса-спецбурение»

Обучающийся

Г. Д. Колпаков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

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

Тольятти 2024

Аннотация

Работа посвящена разработке мероприятий по проектированию системы электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение» с последовательной проверкой основных решений.

Для достижения поставленной цели, проведён анализ исходных данных на выполнение работы, включая технические сведения о технологическом процессе на объекте исследования, данные о подразделениях предприятия, источниках электроэнергии энергосистемы.

На основе анализа указанной информации, решены следующие основные задачи:

- выбраны рациональные схемы электроснабжения питающей и распределительной сети предприятия;
- рассчитаны электрические нагрузки на объекте исследования;
- проведён расчет и выбор силовых трансформаторов для установки и использования на главной понизительной подстанции (далее – ГПП), а также на цеховых трансформаторных подстанциях (далее – ЦТП);
- проведён расчёт токов трёхфазного короткого замыкания, а также ударных токов;
- осуществлён расчет и выбор электрооборудования схемы электроснабжения объекта, включая выбор проводников и ячеек распределительных устройств и марок питающих ГПП и ЦТП, с последующей их компоновкой электрическими аппаратами;
- рассчитана релейная защита и система собственных нужд питающей ГПП.

Данные вопросы решены в работе в полном объёме.

Работа состоит из расчётно-пояснительной записки объёмом 67 печатных страниц и шести чертежей формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Краткие сведения о компании	7
1.2 Анализ исходных технических данных на выполнение работы.....	11
1.3 Требования к проектированию систем электроснабжения предприятий горнодобывающей и нефтегазодобывающей отраслей промышленности .	14
2 Выбор схемы электроснабжения.....	17
3 Расчёт электрических нагрузок	25
3.1 Расчёт электрических нагрузок освещения предприятия.....	25
3.2 Расчёт электрических нагрузок предприятия	27
4 Расчёт и проверка силовых трансформаторов подстанций.....	32
4.1 Выбор трансформаторов главной понизительной подстанции.....	32
4.2 Выбор типа ГПП предприятия.....	34
4.3 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций.....	36
4.4 Выбор типа цеховых ТП.....	39
5 Расчёт токов короткого замыкания	42
6 Выбор и проверка электрических аппаратов и проводников.....	49
6.1 Выбор и проверка проводников	49
6.2 Выбор электрических аппаратов питающей сети предприятия.....	52
7 Расчёт релейной защиты и системы собственных нужд ГПП.....	55
7.1 Расчёт релейной защиты трансформаторов ГПП	55
7.2 Расчёт системы собственных нужд ГПП.....	60
Заключение	63
Список используемых источников.....	66

Введение

Горнодобывающая и нефтегазодобывающая промышленность Российской Федерации играют ключевую роль в экономике страны, обеспечивая значительную часть федеральных доходов и экспортного потенциала. Эти отрасли, будучи основой для социального и экономического развития, сталкиваются с рядом вызовов и возможностей, определяющих их текущее состояние и перспективы развития.

Горнодобывающая отрасль России включает добычу широкого спектра полезных ископаемых, включая уголь, металлы и минералы. Особенно важными являются производство золота, алмазов и металлов платиновой группы. Горнодобывающие предприятия обеспечивают значительные инвестиции в экономику страны и активно внедряют инновационные технологии для повышения эффективности и сокращения воздействия на окружающую среду.

Нефтегазодобывающая отрасль России характеризуется высокой долей в общем объеме добычи углеводородов мирового рынка. Страна обладает одними из крупнейших запасов нефти и природного газа в мире, что обуславливает значительные объемы производства и экспорта. Однако отрасль сталкивается с проблемами, связанными с истощением запасов традиционных месторождений, необходимостью освоения новых, часто более труднодоступных и технологически сложных запасов, а также с внешнеполитическими факторами, такими как санкции и глобальные энергетические тенденции.

Научно-технический прогресс в области добычи и переработки углеводородов открывает новые возможности для повышения эффективности и экологической безопасности производства. Внедрение инновационных технологий, таких как горизонтальное бурение и гидравлический разрыв пласта, позволяет разрабатывать месторождения, которые ранее считались нерентабельными. Это, в свою очередь, способствует увеличению объемов

добычи нефти и газа, однако также налагает дополнительные требования к экологической безопасности процессов.

Сегодня экологическая составляющая становится все более значимым аспектом в деятельности нефтегазовых компаний. Под давлением общественности и в рамках международных соглашений по сокращению выбросов парниковых газов компании вынуждены реализовывать проекты по снижению воздействия на окружающую среду. Это включает улучшение технологий сжигания попутного газа, использование передовых систем очистки сточных вод и сокращение площади земельных участков, затрагиваемых добычей.

Перспективы развития горнодобывающей и нефтегазодобывающей промышленности в России также связаны с геополитической ситуацией и международной экономической конъюнктурой. В условиях санкционного давления и конкуренции за рынки сбыта особую актуальность приобретает разработка новых экспортных маршрутов транспортировки углеводородов, также диверсификация торговых партнеров. Сегодня важнейшими аспектами проектирования в данных отраслях являются обеспечение промышленной безопасности, надёжности работы, энергоэффективности, электромагнитной совместимости, а также устойчивости к внешним воздействиям и возможности оперативного реагирования на изменения в нагрузке и технологических процессах. Известно, что в результате реализации таких мероприятий достигается повышение производительности, снижение энергозатрат и уровня рисков возникновения аварийных ситуаций, что способствует повышению конкурентоспособности и эффективности деятельности не только предприятия, но и всего комплекса. Данный вопрос исследуется в настоящей работе, обуславливая её актуальность [17], [20].

Основная цель настоящей работы заключается в разработке рациональных и эффективных мероприятий по проектированию системы электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение» с последовательной проверкой основных решений.

Объектом исследования является система электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение».

Предметом исследования выступают параметры и характеристики объекта исследования, к которым относятся надёжность, безопасность, бесперебойность и безаварийность электроснабжения, а также экономичность и экологичность.

Основная цель работы достигается путём разработки и внедрения «мероприятий по проектированию системы электроснабжения объекта исследования с последовательной проверкой основных решений» [17].

Для достижения поставленной цели, необходимо провести анализ исходных данных на выполнение работы, включая технические сведения о технологическом процессе на объекте исследования, данные о подразделениях предприятия, источниках электроэнергии энергосистемы.

На основе анализа указанной исходной информации, в работе необходимо решить следующие основные задачи:

- выбрать рациональные схемы электроснабжения питающей и распределительной сети предприятия;
- «рассчитать электрические нагрузки на объекте исследования;
- провести расчет и выбор силовых трансформаторов для установки и использования на главной понизительной подстанции (далее – ГПП), а также на цеховых трансформаторных подстанциях (далее – ЦТП);
- провести расчёт токов трёхфазного короткого замыкания, а также ударных токов» [7];
- осуществить расчет и выбор электрооборудования схемы электроснабжения объекта;
- рассчитать системы релейной защиты и собственных нужд питающей ГПП.

Данные вопросы должны быть решены в работе в полном объёме.

Анализ исходных данных

Краткие сведения о компании

ООО «Алроса-спецбурение» является дочерним предприятием крупной российской компании ПАО «АЛРОСА», которая является одним из мировых лидеров в области добычи алмазов [8].

Основной специализацией «Алроса-спецбурение» является проведение геологоразведочных работ, включая бурение скважин для изучения и подтверждения алмазосодержащих месторождений, а также для других нужд горнодобывающей, а также нефтегазодобывающей промышленности.

ООО «Алроса-спецбурение» играет важную роль в деятельности ПАО «АЛРОСА», обеспечивая выполнение комплексных работ по изучению геологического строения участков, где планируется или уже ведется добыча алмазов.

Это позволяет точно оценить потенциал месторождений и оптимизировать процессы добычи алмазного сырья.

Также оборудование организации используется на участках нефтегазодобычи (согласно действующих соглашений с компаниями).

ООО «Алроса-спецбурение» использует современное буровое и измерительное оборудование, что позволяет выполнять все работы с высокой точностью и эффективностью.

Специалисты компании обладают высокой квалификацией и опытом в геологоразведке, что вкупе с применением передовых технологий обеспечивает высокое качество и надежность получаемых результатов.

Кроме того, в дополнение к основным направлениям деятельности, ООО «Алроса-спецбурение» вносит вклад в разработку и реализацию экологических инициатив, утилизируя промышленные и бытовые отходы в разных формах [10].

Компания придерживается строгих экологических стандартов, что позволяет минимизировать воздействие буровых работ на окружающую среду и соблюдать принципы устойчивого развития.

Таким образом, ООО «Алроса-спецбурение» является ключевым элементом в структуре ПАО «АЛРОСА», способствующим эффективной разведке и добыче алмазов, а также устойчивому развитию горнодобывающей и нефтегазодобывающей отраслей в России.

Компания территориально расположена в Республике Саха (Якутия), в г. Мирный, по улице Ленина, дом 6 [9].

Расположение компании ООО «Алроса-спецбурение» на карте г. Мирный Республики Саха (Якутия) показан на рисунке 1.

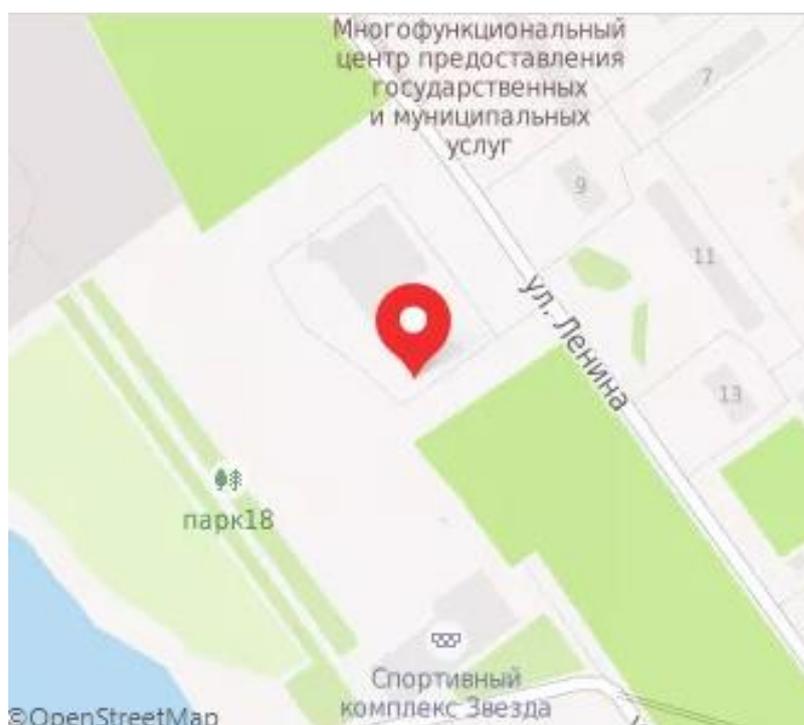


Рисунок 1 – Расположение компании ООО «Алроса-спецбурение» на карте г. Мирный Республики Саха (Якутия)

Для анализа экономических показателей и перспектив развития ООО «Алроса-спецбурение», дочерней компании крупнейшего в России производителя алмазов ПАО «АЛРОСА», важно учитывать несколько ключевых аспектов, влияющих на деятельность предприятия в нефтегазодобывающей и горнодобывающей отраслях [8].

Финансовое состояние компании может быть оценено по таким показателям, как выручка, прибыль, рентабельность и объем инвестиций в развитие. Как дочерняя компания «АЛРОСА», «Алроса-спецбурение» имеет стабильный поток финансирования для своих операций и развития.

Однако эффективность использования этих средств может колебаться в зависимости от изменений в ценах на алмазы, нефть и газ, геологической сложности добываемых месторождений и затрат на технологическое обновление.

Затраты и операционная эффективность могут значительно влиять на прибыльность. Важно учитывать стоимость буровых и исследовательских работ, особенно в удаленных или труднодоступных районах, где «Алроса-спецбурение» ведёт свою деятельность [10].

«График выручки организации за 2016-2022 гг., находящийся в свободном доступе, приведён на рисунке 2» [8].



Рисунок 2 – «График выручки организации за 2016-2022 гг., находящийся в свободном доступе» [8]

«График прибыли организации за 2016-2022 гг., находящийся в свободном доступе, приведён на рисунке 3» [8].

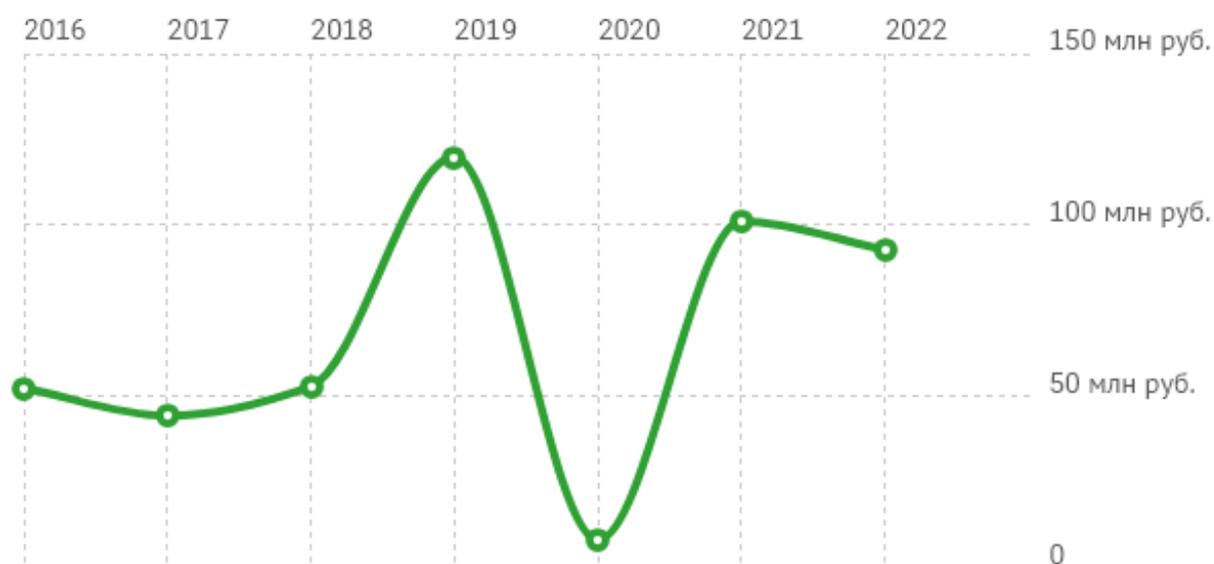


Рисунок 3 – «График прибыли организации за 2016-2022 гг., находящийся в свободном доступе» [8]

По графикам рисунков 2 и 3 можно сделать вывод, что рассматриваемая организация на данном этапе характеризуется некоторой нестабильностью и требует регулирования дальнейшего развития.

Технологическое развитие – ключ к увеличению эффективности и сокращению затрат. Инвестиции в новые технологии бурения, такие как горизонтальное бурение или буровые установки нового поколения, могут значительно повысить производительность добычи и сократить воздействие на окружающую среду.

Расширение географии добычи, включая поиск и освоение новых месторождений, может стать необходимостью в свете истощения старых. Это потребует от компании расширения экспертизы, увеличения объемов геологоразведки и возможно, сотрудничества с местными властями и общинами.

Кроме того, в условиях возрастающих требований к экологической ответственности компаний, «Алроса-спецбурение» должно уделять повышенное внимание сокращению экологического воздействия своей деятельности. Данный аспект включает в себя как улучшение процессов управления отходами, так и внедрение систем по защите окружающей среды.

Как и любое предприятие в России, работающее в сырьевой отрасли, «Алроса-спецбурение» подвержено влиянию международной конъюнктуры, изменениям в законодательстве и политической обстановке. Поэтому очень важно отслеживать эти изменения для прогнозирования их возможного влияния на деятельность компании.

Таким образом, «Алроса-спецбурение» стоит перед рядом вызовов, но также имеет значительные возможности для развития в контексте растущих технологических возможностей и усиления фокуса на экологической безопасности.

Однако эффективное управление ресурсами, приверженность инновациям и ответственное отношение к экологии могут способствовать долгосрочному успеху и устойчивости компании.

Анализ исходных технических данных на выполнение работы

Как было установлено ранее, ООО «Алроса-спецбурение» требует развития материально-технической базы, в связи с чем предлагается разработать проект нового подразделения данной организации, деятельность которого будет сосредоточена на ремонте и обслуживании буровых установок и сопутствующего оборудования.

Таким образом, в состав рассматриваемого в работе подразделения ООО «Алроса-спецбурение», специализирующемся на ремонте и эксплуатации буровых установок различного типа, предлагается включить комплекс следующих подразделений [10]:

- главный производственный корпус;
- блок вспомогательных цехов;
- цех текущего ремонта буровых установок;
- цех капитального ремонта буровых установок (включая два высоковольтных синхронных электродвигателя напряжением 10 кВ);

- цех утилизации отходов (включая две электропечи напряжением 10 кВ);
- экспериментальный цех;
- участок контроля производства и административный корпус;
- компрессорная станция (включая два высоковольтных синхронных электродвигателя напряжением 10 кВ);
- складской комплекс;
- цех модернизации буровых установок.

Каждое из перечисленных подразделений ООО «Алроса-спецбурение» выполняет специфические функции, обеспечивая эффективное и бесперебойное производство.

Далее в работе приводится краткое описание основных функций перечисленных выше подразделений [10].

«Главный производственный корпус является основным местом для проведения ремонтных и обслуживающих работ, где осуществляется основная деятельность по подготовке, сборке и первичному тестированию оборудования буровых установок и их комплектующих.

Блок вспомогательных цехов включает в себя подразделения, предоставляющие необходимые услуги и поддержку основному производственному процессу, такие как инструментальный цех, цех механической обработки и другие службы» [8].

Цех текущего ремонта буровых установок специализируется на выполнении плановых и аварийных ремонтных работ, необходимых для поддержания буровых установок в рабочем состоянии.

Цех капитального ремонта буровых установок занимается более глубоким и комплексным ремонтом оборудования, включая замену и восстановление крупных и критически важных компонентов. Для обеспечения работы мощного оборудования, в данном цеху есть два высоковольтных синхронных электродвигателя напряжением 10 кВ.

Цех утилизации отходов отвечает за обработку и утилизацию отходов, возникающих в результате ремонтных работ, включая эксплуатацию электропечей для безопасного уничтожения материалов, которые трудно поддаются обычной утилизации. Данный цех также оказывает такую услугу сторонним организациям и населению.

Экспериментальный цех занимается разработкой и испытанием новых технологий, материалов и методов ремонта, повышая технологическую эффективность и качество работ.

Участок контроля производства и административный корпус осуществляют мониторинг качества продукции и работ, а также управление всеми процессами на предприятии.

Компрессорная станция обеспечивает производственные процессы сжатым воздухом, необходимым для работы различного пневматического инструмента и оборудования. Высоковольтные синхронные электродвигатели напряжением 10 кВ используются для привода компрессоров большой мощности.

Складской комплекс отвечает за хранение запасных частей, инструментов и других материалов, необходимых для «текущего и капитального ремонта буровых установок. Известно, что организация эффективного складского хозяйства позволяет оптимизировать логистические процессы на предприятии.

Цех модернизации буровых установок занимается улучшением и модернизацией существующего оборудования для повышения [8] его эффективности и адаптации под новые технологические требования и стандарты.

Таким образом, все подразделения ООО «Алроса-спецбурение» выполняет специфические функции, обеспечивая эффективное и бесперебойное производство.

Исходные данные электрических нагрузок ООО «Алроса-спецбурение» представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные электрических нагрузок ООО «Алроса-спецбурение»

Наименование цеха	Номер по плану	n, шт	$\sum P_n$, кВт	P_n , кВт
Главный производственный корпус	1	280	4500	10-400
Блок вспомогательных цехов	2	300	3000	2-500
Цех текущего ремонта буровых установок	3	120	1200	0,5-10
Цех капитального ремонта буровых установок	4	50	3000	10-300
(в т.ч. СД 10 кВ)	-	2	5000	2500
Цех утилизации отходов	5	40	700	10-45
(в т.ч. электропечи 10 кВ)	-	2	2200	550
Экспериментальный цех	6	150	1500	1-30
Участок контроля производства и административный корпус	7	80	200	1-4
Компрессорная станция (СД 10 кВ)	8	2	2880	1440
Складской комплекс	9	10	200	1-40
Цех модернизации буровых установок	10	30	390	1-20
Всего по предприятию	-	-	24770	-

Таким образом, установлено, что 50% нагрузки ООО «Алроса-спецбурение» – приемники 10 кВ. Остальные приёмники работают на напряжении 0,38/0,22 кВ. На основании исходных данных, далее проводится решение поставленных задач.

Требования к проектированию систем электроснабжения предприятий горнодобывающей и нефтегазодобывающей отраслей промышленности

Проектирование систем электроснабжения для предприятий горнодобывающей и нефтегазодобывающей отраслей является сложным инженерным заданием, требующим интеграции множества технических, экономических, технологических и нормативных аспектов [11], [12], [15].

Известно, что особая специфика данных отраслей заключается в высоких требованиях к надежности, бесперебойности и безопасности электроснабжения, а также в необходимости адаптации систем к

экстремальным условиям эксплуатации (особенно, в условиях северных регионов Российской Федерации).

При этом первостепенное значение при проектировании имеет обеспечение непрерывности электроснабжения, поскольку любые перебои могут привести к серьезным производственным потерям и даже к аварийным ситуациям, угрожающим безопасности персонала и окружающей среды.

Для этого проектируемые системы электроснабжения должны включать элементы резервирования и автоматики, которые способны в кратчайшие сроки восстанавливать подачу электроэнергии после сбоев.

Также крайне важным является выбор и применение оборудования, способного эффективно функционировать в условиях высокой влажности, запыленности, значительных температурных колебаний и других специфических факторов, характерных для мест разработок полезных ископаемых.

Это требует использования высокопрочных материалов и защитных технологий, способных минимизировать риски коррозии, механических повреждений и других видов износа.

Важную роль при этом играет также проектирование систем заземления и молниезащиты, поскольку электрооборудование в условиях открытых карьеров или нефтегазовых платформ подвергается повышенному риску поражения молниями.

Определено, что системы заземления должны быть рассчитаны таким образом, чтобы обеспечивать быстрый и безопасный отвод токов утечки и разрядов молнии.

Экологические аспекты также необходимо учитывать при проектировании систем электроснабжения.

В частности, следует предусматривать использование технологий, снижающих объемы вредных выбросов и отходов, а также максимально экономящих природные ресурсы. Данный аспект может включать внедрение энергоэффективного оборудования, систем умного управления

энергопотреблением, а также использование возобновляемых источников энергии там, где это возможно (включая применение «гибридных систем» электроснабжения).

Проектирование систем электроснабжения также должно учитывать целый ряд критически важных факторов, начиная от технических особенностей и заканчивая экологическими и экономическими аспектами, для обеспечения надежной, безопасной и эффективной эксплуатации систем электроснабжения на предприятиях горнодобывающей и нефтегазодобывающей промышленности.

Основными из них являются высокие требования к категории надёжности данных потребителей.

Приведённые требования необходимо учесть в работе.

Выводы по разделу 1.

Проведён анализ исходных технических и технологических данных на выполнение работы.

Установлено, ООО «Алроса-спецбурение» требует развития материально-технической базы, в связи с чем предлагается разработать проект нового подразделения данной организации, деятельность которого будет сосредоточена на ремонте и обслуживании буровых установок и сопутствующего оборудования.

Рассмотрен состав проектируемой системы электроснабжения данного нового подразделения ООО «Алроса-спецбурение». Установлено, что в его состав входит комплекс, состоящий из десяти цехов и участков.

В результате проведения анализа было установлено, что 50% нагрузки ООО «Алроса-спецбурение» составляют приемники 10 кВ. Остальные приёмники работают на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Выбор схемы электроснабжения

Известно, что выбор схемы электроснабжения предприятия представляет собой комплексную инженерную задачу, требующую учета множества факторов, которые определяют надежность, эффективность и экономичность будущей эксплуатации. Подход к выбору схемы должен базироваться на тщательном анализе потребностей предприятия, условий окружающей среды и возможных рисков.

В основе выбора схемных решений лежит определение оптимального источника питания, который может включать как централизованные, так и децентрализованные источники, включая возможность использования альтернативной энергии. Особое внимание уделяется мощности источников питания, их способности покрыть пиковые и базовые нагрузки, а также возможностям модернизации и расширения в будущем выбранной схемы.

При выборе схемы электроснабжения анализируется и техническое состояние доступных энергосистем, вероятность и последствия возможных аварийных отключений. Данный аспект требует введения систем резервирования и аварийного питания, которые могут быть реализованы через установку дополнительных схемных решений (автоматики, резервных линий от источников питания, «холодного» складского резерва).

Кроме того, выбор схемы включает в себя проектирование внутренней сети предприятия, определение требуемых уровней напряжения и методов его регулирования, расчет необходимых параметров защиты системы на всех уровнях.

Важно также определить способы распределения электроэнергии по объектам предприятия, что включает проектирование подстанций, распределительных устройств и кабельных линий.

Таким образом, выбор схемы электроснабжения предприятия является результатом многокритериального анализа, в который входят технические, экономические, экологические и эксплуатационные аспекты [12].

Выбор рациональной схемы требует комплексного подхода, включающего как инженерные расчеты, так и стратегическое планирование на основе прогнозируемых изменений в производственных процессах и рыночной среде.

На первом этапе, рациональное напряжение внешней питающей системы нового подразделения ООО «Алроса-спецбурение» вычисляется по формуле Стилла, кВ [6]:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{L + 0,016P}, \quad (1)$$

где L – «длина линии, км;

P – передаваемая мощность, кВт, принимается равной расчетной активной нагрузке предприятия $P_{р.н}$ (таблица 1)» [6].

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{20 + 0,016 \cdot 10335} = 59,1 \text{ кВ}.$$

Ближайший стандартный класс напряжения к расчётному – 35 кВ. Он принимается в качестве питающего стандартного напряжения для внешней системы электроснабжения предприятия.

Так как по заданию в схеме присутствуют высоковольтные электродвигатели напряжением 10 кВ, этот же класс напряжения рационально будет принять в качестве распределительного стандартного напряжения для внешней системы электроснабжения предприятия.

Таким образом, на питающей ГПП ООО «Алроса-спецбурение» приняты два класса напряжения:

- 35 кВ (питающее напряжение внешней СЭС объекта);
- 10 кВ (распределительное напряжение внешней СЭС объекта).

По причине того, что проектируемое предприятие относится ко II категории надёжности, его система электроснабжения должна быть обеспечена двумя независимыми источниками питания, следовательно, на

питающей ГПП-35/10 кВ необходимо установить два силовых трансформатора.

Значит, внешняя система электроснабжения нового подразделения ООО «Алроса-спецбурение» будет включать следующие основные элементы [7]:

- питающая линия электропередачи напряжением 35 кВ (двухцепная линия – по числу трансформаторов ГПП с учётом питания по радиальной схеме электроснабжения;
- питающая ГПП-35/10 кВ, состоящая из двух силовых трансформаторов, а также распределительных устройств высшего (35 кВ) и низшего напряжений (10) кВ.

Далее в работе проводится выбор схем РУ питающей ГПП-35/10 кВ.

Так как данная ГПП-35/10 кВ будет питать один конечный потребитель (проектируемое предприятие), по месту расположения в энергосистеме такая подстанция будет являться тупиковой. Значит, транзита и перетока энергии к соседним подстанциям и линиям предусмотрено не будет.

Следовательно, с учётом технических и экономических аспектов, для РУ-35 кВ тупиковой ГПП-35/10 кВ с двумя питающими линиями 35 кВ и двумя силовыми трансформаторами выбирается схема 4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [1].

Такая конфигурация часто используется в электрических распределительных системах для обеспечения гибкости управления нагрузкой и повышения надежности питания.

Данная схема имеет следующие основные преимущества:

- повышенная надежность питания: наличие двух блоков с выключателями позволяет поддерживать непрерывность питания даже в случае отказа одного из блоков, что критически важно для объектов с высокими требованиями к надежности электроснабжения;
- гибкость управления нагрузкой: схема обеспечивает возможность маневра между источниками питания, что позволяет оптимизировать нагрузку на оборудование и проводить техническое обслуживание без

полного отключения потребителей;

- изоляция аварийных секций: в случае возникновения короткого замыкания или другой аварийной ситуации на одном из блоков, возможно быстро изолировать поврежденный блок, минимизируя воздействие на остальную часть системы.

Однако данной схеме также присущи и некоторые недостатки:

- сложность конструкции: наличие неавтоматической перемычки и множества выключателей увеличивает сложность конструкции и эксплуатации системы;
- высокая стоимость: двойное оборудование увеличивает начальные капитальные затраты на установку системы, а также затраты на её обслуживание и эксплуатацию;
- ручное управление перемычкой: неавтоматическая перемычка требует ручного управления, что может увеличить время реагирования на аварийные ситуации и усилия по мониторингу состояния системы;
- риск человеческого фактора: ручное управление и сложность системы увеличивают вероятность ошибок обслуживающего персонала, что может привести к непредвиденным проблемам в работе системы.

Таким образом, схема 4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий», выбранная для РУ-35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ предприятия, обеспечивает высокую надежность и гибкость в управлении электроснабжением, однако сопряжена с высокими затратами и требует тщательного управления и обслуживания. Это делает её подходящей для объектов с высокими требованиями к непрерывности электроснабжения, где стоимость потенциальных перерывов в питании значительно превышает затраты на реализацию и эксплуатацию такой сложной системы.

Для РУ 10 кВ рассматриваемой подстанции принята типовая схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин» [1].

Такая схема, применяемая в РУ-10 кВ на стороне НН ГПП-35/10 кВ, является наиболее распространённой в сетях 6(10) кВ при двух источниках питания.

В основе такой схемы лежит одна система шин, которая секционируется выключателем на две или более частей. Такое решение позволяет повысить надежность электроснабжения за счет возможности отключения части шин при проведении ремонтных или обслуживающих работ без полной остановки всей системы. В то же время, оно сохраняет простоту и экономичность конструкции по сравнению с более сложными многошинными системами.

Преимущества данной схемы:

- надежность: возможность продолжения работы части системы при возникновении неисправности или проведении технического обслуживания на другой части;
- простота и экономичность: эта схема является относительно простой в реализации и требует меньших капитальных вложений по сравнению с более сложными схемами, так как использует меньшее количество оборудования и шин;
- удобство обслуживания: благодаря наличию секционного выключателя, можно легко производить обслуживание отдельных частей системы без полной остановки всего оборудования. Это позволяет проводить плановые работы и ремонт с минимальным влиянием на производственный процесс;
- гибкость в управлении нагрузкой: секционирование шин позволяет более гибко управлять нагрузками, распределяя их между различными секциями в зависимости от потребностей и условий эксплуатации.

Недостатки схемы заключаются в следующем:

- ограниченные возможности расширения: в случае необходимости расширения или модернизации системы, такая схема может оказаться менее гибкой в сравнении с многоблочными схемами. Добавление

новых линий или увеличение мощности может потребовать значительного изменения исходной конфигурации или добавления новых шин;

- ограниченная гибкость: несмотря на наличие секционирования, возможности для маневрирования мощностью и резервирования ограничены по сравнению с более сложными схемами;
- потенциальный риск при отключении: в момент отключения секционного выключателя вся система или ее часть может быть временно обесточена, что требует внимательного планирования операций.

Таким образом, данная схема подходит для объектов, где требуется баланс между надежностью, простотой и стоимостью системы электроснабжения. Следовательно, для РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ она приемлема.

От шин РУ 10 кВ подстанции питается внутренняя система электроснабжения предприятия, в состав которой предлагается включить следующие элементы:

- цеховые двухтрансформаторные ТП-10/0,4 кВ;
- щитки распределительные (далее – ЩР) – для питания силовой нагрузки;
- щитки осветительные (далее – ЩО) – для питания осветительной нагрузки;
- конечные потребители (оборудование).

Кроме того, в составе системы электроснабжения предприятия также необходимо предусмотреть высоковольтные электродвигатели и печи, которые получают питание напрямую от шин РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, минуя цеховые ТП-10/0,4 кВ.

Таким образом, принятые схемные решения для внедрения в систему электроснабжения проектируемого ООО «Алроса-спецбурение», представлены на графических листах 1 и 2.

Выводы по разделу 2.

Приняты соответствующие схемные решения для внедрения в проектируемой системе электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение».

Расчётно-аналитическим способом установлено, на питающей ГПП ООО «Алроса-спецбурение» целесообразно использовать два класса напряжения:

- 35 кВ (питающее напряжение внешней СЭС объекта);
- 10 кВ (распределительное напряжение внешней СЭС объекта).

По причине того, что проектируемое предприятие относится ко II категории надёжности, его система электроснабжения должна быть обеспечена двумя независимыми источниками питания, следовательно, на питающей ГПП-35/10 кВ необходимо установить два силовых трансформатора.

Значит, внешняя система электроснабжения нового подразделения ООО «Алроса-спецбурение» будет включать следующие основные элементы:

- питающая линия электропередачи напряжением 35 кВ (двухцепная линия – по числу трансформаторов ГПП с учётом питания по радиальной схеме электроснабжения;
- питающая ГПП-35/10 кВ, состоящая из двух силовых трансформаторов, а также распределительных устройств высшего (35 кВ) и низшего напряжений (10) кВ.

«С учётом технических и экономических аспектов, для РУ-35 кВ тупиковой ГПП-35/10 кВ с двумя питающими линиями 35 кВ и двумя силовыми трансформаторами, выбрана схема 4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий». Приведены основные достоинства и недостатки данной схемы.

Для РУ 10 кВ рассматриваемой подстанции принята типовая схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин». Приведены основные достоинства и недостатки данной схемы» [1].

От шин РУ 10 кВ подстанции предлагается запитать внутреннюю

систему электроснабжения предприятия, в состав которой предложено включить следующие элементы:

- цеховые двухтрансформаторные ТП-10/0,4 кВ;
- щитки распределительные (далее – ЩР) – для питания силовой нагрузки;
- щитки осветительные (далее – ЩО) – для питания осветительной нагрузки;
- конечные потребители (оборудование).

Кроме того, в составе системы электроснабжения предприятия также необходимо предусмотреть высоковольтные электродвигатели и печи, которые получают питание напрямую от шин РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, минуя цеховые ТП-10/0,4 кВ.

Таким образом, выбранная схема питающей и распределительной сети системы электроснабжения нового подразделения ООО «Алроса-спецбурение» характеризуется надёжностью, экономичностью, безопасностью на всех звеньях сети, поэтому может быть рекомендована для применения на объекте исследования.

3 Расчёт электрических нагрузок

Расчёт электрических нагрузок освещения предприятия

Расчёт электрических нагрузок освещения предприятия проводится с использованием коэффициента спроса.

Такой метод учитывает, что не все устройства будут использоваться одновременно на полную мощность.

Этот «метод позволяет более точно и экономично проектировать системы электроснабжения, оптимизируя инфраструктуру и уменьшая излишние затраты на установку оборудования большей мощности, чем это требуется для реальных условий эксплуатации» [7].

Расчётная активная нагрузка освещения объекта (цеха, участка), кВт [15]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{ном.o} K_{пра}, \quad (2)$$

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» [15].

$$P_{ном.o} = P_{уд.o} F_{ц}, \quad (3)$$

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

$F_{ц}$ – площадь пола цеха по генплану, м²» [15].

«Реактивная нагрузка светодиодных источников света» [15]:

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot tg\Phi_o, \quad (4)$$

где $tg\varphi_o$ – «коэффициент реактивной мощности электроприемников освещения (для светодиодных ламп – 0,43)» [15].

«Расчет нагрузки освещения для главного производственного корпуса» [15]:

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

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

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

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

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

Расчет нагрузок освещения предприятия сведён в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетные нагрузки освещения

Наименование цеха	$F_{ц}, \text{ м}^2$	$P_{уд.о}, \text{ Вт/м}^2$	$P_{ном.о}, \text{ кВт}$	$P_{р.о}, \text{ кВт}$	$Q_{р.о}, \text{ квар}$
Главный производственный корпус	5000	15	75,0	74,8	32,3
Блок вспомогательных цехов	7500	15	112,5	112,2	48,2
Цех текущего ремонта буровых установок	12000	15	180,0	179,6	77,2
Цех капитального ремонта буровых установок	5000	15	75,0	74,8	32,3
Цех утилизации отходов	7500	15	112,5	112,2	48,2
Экспериментальный цех	12000	15	180,0	179,6	77,2
Участок контроля производства и административный корпус	4000	10	40,0	39,9	17,2
Компрессорная станция	12000	12	144,0	143,6	61,7
Складской комплекс	5000	14	70,0	69,8	30,0
Цех модернизации буровых установок	3200	10	48,0	27,9	20,6
Освещение территории предприятия	158800	4	63,5	63,3	27,2
Всего по предприятию	232000	-	-	1077,7	452,1

Таким образом, в работе получены результаты расчёта активной, реактивной и полной нагрузки потребителей освещения проектируемой системы электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение».

Расчёт электрических нагрузок предприятия

Расчёт силовых электрических нагрузок предприятия также проводится с помощью метода коэффициента спроса, описанного ранее при расчёте осветительных нагрузок [18].

При проведении расчёта суммарной нагрузки учитывается силовая и осветительная нагрузки.

«Активная нагрузка объектов, кВт» [18]:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (5)$$

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

K_c – значение коэффициента спроса» [18].

«Реактивная нагрузка, квар» [18]:

$$Q_p = P_n \cdot \operatorname{tg}\varphi, \text{ квар}. \quad (6)$$

«Полная нагрузка, кВА» [18]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

На примере главного производственного корпуса:

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

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

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

Аналогичные расчёты проведены для остальных подразделений системы электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение» и всей питающей ГПП-35/10 кВ. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта силовых электрических нагрузок предприятия

Наименование цеха	$P_{ном},$ кВт	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А
Главный производственный корпус	4500	0,3	0,7	1,02	1350	1377	1928,4	106,0
Блок вспомогательных цехов	3000	0,3	0,7	1,02	900	918	1285,6	70,7
Цех текущего ремонта буровых установок	1200	0,35	0,75	0,88	420	369,6	559,5	30,7
Цех капитального ремонта буровых установок	3000	0,4	0,75	0,88	1200	1056	1598,5	87,8
СД 10 кВ	5000	0,4	0,75	0,88	2000	1760	2664,1	146,4
Цех утилизации отходов	700	0,4	0,8	0,75	280	210	350,0	19,2
ЭП 10 кВ	2200	0,4	0,8	0,75	880	660	1100,0	60,4
Экспериментальный цех	1500	0,5	0,7	1,02	750	765	1071,4	58,9
Участок контроля производства и административный корпус	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
Складской комплекс	200	0,3	0,7	1,02	60,0	61,2	85,7	4,7
Цех модернизации буровых установок	390	-	-	-	296,5	214,5	366,0	563,0
Итого	24770	-	-	-	9348,5	1598,7	12629,5	693,9

Полная расчетная нагрузка цехов и предприятия определяется суммой осветительной и силовой нагрузки, рассчитанной в работе ранее, кВА [19]:

$$S_{p.n} = \sqrt{(P_{p.n} + P_{p.o})^2 + (Q_{p.n} + Q_{p.o})^2}. \quad (8)$$

Расчётная суммарная активная и реактивная нагрузка питающей ГПП-35/10 кВ [19]:

$$P_{p.ГПП} = (\Sigma P_{p.n} + \Sigma P_{p.в}) K_{pm} + \Sigma P_{p.o} + \Sigma \Delta P_{тц}, \text{ кВт}, \quad (9)$$

$$Q_{p.ГПП} = (\Sigma Q_{p.n} + \Sigma Q_{p.в}) K_{pm} + \Sigma Q_{p.o} + \Sigma \Delta Q_{mц}, \text{квар}, \quad (10)$$

где $K_{pm} = 0,95$ – «коэффициент разновременности максимумов нагрузки отдельных групп приемников» [13].

Полная суммарная нагрузка питающей ГПП-35/10 кВ [13]:

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{P_{p.ГПП}^2 + Q_{p.ГПП}^2}, \text{кВА}. \quad (11)$$

Входная реактивная мощность, которая отводится предприятию [13]:

$$Q_{э1} = tg\varphi_{э1} P_{p.ГПП}, \text{квар}, \quad (12)$$

где $tg\varphi_{э1} = 0,328$ – «экономически целесообразный коэффициент реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП-35/10 кВ» [13].

«На данном этапе трансформаторы ГПП еще не выбраны, поэтому потери мощности в них приближенно определяются по формулам» [13]:

$$\Delta P_{m.ГПП} = 0,02 S_{p1,ГПП}, \text{кВт}, \quad (13)$$

$$\Delta Q_{m.ГПП} = 0,1 S_{p1,ГПП}, \text{квар}. \quad (14)$$

«Тогда полная расчетная мощность на шинах высшего напряжения 35 кВ ГПП-35/10 кВ» [13]:

$$S_{p.n} = \sqrt{P_{p.n}^2 + Q_{p.n}^2} = \sqrt{(P_{p.ГПП} + \Delta P_{m.ГПП})^2 + (Q_{p.ГПП} + \Delta Q_{m.ГПП})^2}, \text{кВА}. \quad (25)$$

Производится расчет для главного производственного корпуса.

Полная суммарная расчетная нагрузка:

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

Предварительные потери в цеховых трансформаторах:

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 2004 = 40,1 \text{кВт};$$

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

«Суммарные расчётные нагрузки ГПП-35/10 кВ без учета компенсации реактивной мощности (КРМ)» [13]:

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

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

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

«Суммарные расчётные нагрузки ГПП-35/10 кВ с учетом КРМ» [13]:

$$Q_{\text{с1}} = 0,328 \cdot 14148 = 4640,7 \text{ квар}.$$

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

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 11317,7 = 226,4 \text{кВт};$$

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

Тогда полная суммарная расчетная нагрузка на шинах высшего напряжения 35 кВ ГПП-35/10 кВ:

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

Результаты расчётов суммарных нагрузок приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные суммарные нагрузки предприятия

Наименование цеха	Р _{рн} , кВт	Р _{р.о} , кВт	Q _{рн} , квар	Q _{р.о} , квар	Р _р , кВт	Q _р , квар	Sp, кВА	ΔP _т , кВт	ΔQ _т , квар
Главный производственный корпус	1350	74,8	1377	32,3	1424,8	1409,3	2004,0	40,1	200,4
Блок вспомогательных цехов	900	112,2	918	48,2	1012,2	966,2	1399,3	28,0	139,9
Цех текущего ремонта буровых установок	420	179,6	369,6	77,2	599,6	446,8	747,8	15,0	74,8
Цех капитального ремонта буровых установок	1200	74,8	1056	32,3	1274,8	1088,3	1676,2	33,5	167,6
(в т.ч. СД 10 кВ)	2000	-	1760	-	2000	1760	2664,1	53,3	266,4
Цех утилизации отходов	280	112,2	210	48,2	392,2	258,2	469,6	9,4	47,0
(в т.ч. ЭП 10 кВ)	880	-	660	-	880	660	1100,0	22,0	110,0
Экспериментальный цех	750	179,6	765	77,2	929,6	842,2	1254,4	25,1	125,4
Цех контроля и упаковки готовой продукции	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
Складской комплекс	60,0	69,8	61,2	30,0	129,8	91,2	158,6	3,1	15,9
Цех модернизации буровых установок	392,1	27,9	-	20,6	296,5	214,5	366,0	7,3	36,6
Освещение территории	-	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	-	-	-	-	10322,5	4640,7	11317,7	226,4	1131,8
Итого на стороне ВН	-	-	-	-	10548,9	10807,6	15102,4	-	-

Таким образом, в работе получены результаты расчёта осветительных, силовых и суммарных нагрузок цехов и всего объекта проектирования.

Выводы по разделу 3.

В работе рассчитаны электрические нагрузки освещения, а также силовой и суммарной нагрузки системы электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение».

Расчёт и проверка силовых трансформаторов подстанций

Выбор трансформаторов главной понизительной подстанции

Выбор трансформаторов для главной понизительной подстанции 35/10 кВ предприятия представляет собой важный аспект проектирования электроснабжения, который требует всестороннего подхода и тщательного анализа. Актуальность данной задачи обусловлена необходимостью обеспечения надежного и эффективного электроснабжения для всех производственных, административных и вспомогательных нужд предприятия.

Правильный выбор трансформаторов напрямую влияет на безопасность, экономичность и экологическую устойчивость энергетической системы.

Основные цели выбора трансформаторов включают обеспечение достаточной мощности для покрытия текущих и прогнозируемых нагрузок предприятия, а также соблюдение требований к качеству электроэнергии.

При этом силовые трансформаторы должны быть способны выдерживать пиковые и динамические нагрузки без риска перегрева и других аварийных режимов, которые могут привести к сбоям в работе оборудования и даже к простоям производства.

По существующей методике, рекомендуется выбирать трансформатор с некоторым запасом мощности для обеспечения надежности системы и возможности подключения дополнительных потребителей.

С учётом этого, расчётная мощность силового трансформатора для установки на ГПП-35/10 кВ ООО «Алроса-спецбурение» [14]:

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

где « $S_{м.зн}$ – полная расчетная нагрузка» [14].

«Значит» [14]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{9348,5}{2 \cdot 0,7} = 6677,5 \text{ кВА.}$$

Для установки на питающей ГПП-35/10 кВ выбираются два силовых трансформатора типа ТМН-10000/35, которые удовлетворяют условиям выбора [14].

«Проверка на соответствие номинальной мощности выполняется» [14]:

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

$$S_{ном.т} = 10000 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р} = 9348,5 \text{ кВА.}$$

«Проверка на перегрузочную способность выполняется» [14]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{м.зпп}}{S_{ном.т}} \leq 0,7. \quad (17)$$

$$K_{з.н} = \frac{S_{м.зпп}}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (18)$$

«Проверка в нормальном режиме выполняется» [14]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 9348,5}{10000} = 0,47 \leq 0,7.$$

«Проверка в послеаварийном режиме выполняется» [14]:

$$K_{з.н} = \frac{9348,5}{10000} = 0,93 \leq 1,4.$$

«Таким образом, окончательно на ГПП-35/10 кВ предприятия выбирается установка двух силовых трансформаторов типа ТМН-10000/35, которые удовлетворяют условиям выбора и перегрузочной способности» [7].

4.2 Выбор типа ГПП предприятия

«В качестве ГПП-35/10 кВ выбирается комплектная трансформаторная подстанция (далее – КТП) типа КТП «ELM» 35/10 (6)» [4] производства российской компании АО «Электронмаш».

Внешний вид данной подстанции представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – КТП «ELM» 35/10 (6) производства российской компании АО «Электронмаш»

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) серии «ELM» 35/10 (6) кВ, производимые АО «Электронмаш», представляют собой высокотехнологичное решение для обеспечения надежного электроснабжения различных объектов, включая промышленные предприятия, жилые зоны и инфраструктурные объекты [4].

Основные преимущества данной серии КТП заключаются в их высокой эффективности, надежности и адаптивности к различным эксплуатационным условиям. Эти подстанции разработаны с использованием современных материалов и технологий, что обеспечивает их длительный срок службы и минимальные требования к обслуживанию.

Оснащение КТП серии «ELM» высокоэффективными трансформаторами и распределительными устройствами позволяет существенно снизить потери электроэнергии в процессе её передачи и распределения, что является важным фактором для сокращения эксплуатационных расходов.

Компактная и модульная конструкция данных КТП делает их установку и интеграцию в существующие и новые электросети более простой и экономичной.

Этот факт также способствует уменьшению времени, необходимого для монтажа и пусконаладочных работ.

Кроме того, модульность конструкции предоставляет возможности для гибкой настройки конфигурации подстанции в соответствии с конкретными требованиями и условиями эксплуатации.

Также стоит отметить, что КТП «ELM» обладают высоким уровнем защиты от внешних воздействий, включая атмосферные осадки, пыль и механические повреждения.

Это достигается за счет использования прочных и износостойких материалов в конструкции корпуса подстанций, а также благодаря применению современных изоляционных и гидроизоляционных материалов.

Таким образом, КТП «ELM» от АО «Электронмаш» предлагают эффективное и экономически выгодное решение для организации электроснабжения, сочетая в себе передовые технологии, надежность и удобство эксплуатации.

Эти качества делают их подходящим выбором для широкого спектра приложений и обеспечивают их популярность на рынке электротехнического оборудования, а также обуславливают их применение в качестве ГПП-35/10 кВ объекта проектирования.

Таким образом, данный тип подстанции окончательно принимается в системе электроснабжения объекта проектирования.

Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций

Выбор и проверка трансформаторов для цеховых трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ на предприятии являются критически важными аспектами обеспечения эффективной и безопасной работы всей электроэнергетической системы. Подход к этим процессам должен быть системным и многоаспектным, включая технические, экономические и эксплуатационные соображения.

При выборе трансформаторов особое внимание уделяется их техническим характеристикам, которые должны соответствовать текущим и перспективным потребностям производства.

Важными параметрами являются мощность трансформатора, тип охлаждения, класс напряжения, КПД, а также способность выдерживать кратковременные перегрузки и динамические воздействия без ущерба для долговечности и надежности.

Процесс выбора и проверки трансформаторов обеспечивает не только техническую исправность оборудования, но и его экономическую эффективность, минимизацию рисков для производственных процессов и повышение общей надежности электроснабжения предприятия.

В работе принимаются двухтрансформаторные подстанции в качестве цеховых ТП-10/0,4 кВ (ЦТП).

«Мощность трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ» [2]:

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

Г

д N – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.;

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

$\sum P_{\text{р.}}$ – «суммарная нагрузка на подстанции» [2], кВт;

«На примере новой цеховой ТП-1» [2]:

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

Трансформатор ближайшей стандартной мощности «ТМ-1250/10 не проходит по условиям загрузочной и перегрузочной способности, поэтому на ТП-1 предприятия предварительно устанавливаются два силовых трансформатора ТМ-1600/10» [2].

«Проверка по условиям нормальной нагрузки выполняется» [2]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 1592,1}{1600} = 0,49 \leq 0,7.$$

«Проверка по условиям аварийной перегрузки также выполняется» [2]:

$$K_{з.п} = \frac{1592,1}{1600} = 0,995 \leq 1,4.$$

«Наибольшую РМ, которую целесообразно передать через трансформаторы, квар» [12]:

$$Q_{\text{max,т}} = \sqrt{\left(N_{\text{отт}} \beta_{\text{норм.т}} S_{\text{ном}}\right)^2 - P_{\text{см}}^2}. \quad (20)$$

Для ТП-1:

$$Q_{\text{max,т}} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - 1592,1^2} = 1575,7 \text{ квар.}$$

«Суммарная мощность конденсаторных батарей напряжением ниже 1000 В составит, квар» [12]:

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

Для ТП-1:

$$Q_{НБК} = 1166,5 - 1575,7 = -409,2 \text{ квар.}$$

При $Q_{НБК} < 0$ установка КУ на данной подстанции не требуется. Поэтому на ТП-1 КУ не устанавливаются. Аналогично проведён выбор силовых трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ ООО «Алроса-спецбурение» с учётом КРМ. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор цеховых трансформаторов с учётом КРМ

№ ТП	№ цеха	Наименование цеха	$S_{ном,m}$, кВА	$Q_{max,m}$, квар	$Q_{НБК}$, квар	$P_{ТП}$, кВт	$Q_{ТП}$, квар	$S_{ТП}$, кВА
ТП-1	8	Компрессорная станция	1600	1575,7	-409,2	1592,1	1166,5	1973,8
	10	Цех модернизации буровых установок						
ТП-2	6	Экспериментальный цех	1600	1496,7	-489,4	1159,3	1011,8	1538,7
	7	Участок контроля производства и административный корпус						
	9	Складской комплекс						
ТП-3	3	Цех текущего ремонта буровых установок	2500	2666,9	-873,6	2266,6	1793,3	2890
	4	Цех капитального ремонта буровых установок						
	5	Цех утилизации отходов						
ТП-4	1	Главный производственный корпус	2500	2512,2	-136,7	2437,0	2375,5	3403,2
	2	Блок вспомогательных цехов						

Таким образом, для питания нагрузки цехов на напряжении 0,38/0,22 кВ, выбраны четыре двухтрансформаторные подстанции 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами ТМ-1600/10 (ТП-1 и ТП-2) и ТМ-2500/10 (ТП-3 и ТП-4).

4.4 Выбор типа цеховых ТП

В качестве цеховых ТП выбираются комплектные трансформаторные подстанции типа КТП-ELM-10 (6)/0,4 (0,69) производства российской компании АО «Электронмаш» [5].

Внешний вид данной подстанции (закрытого типа) представлен на рисунке 5.

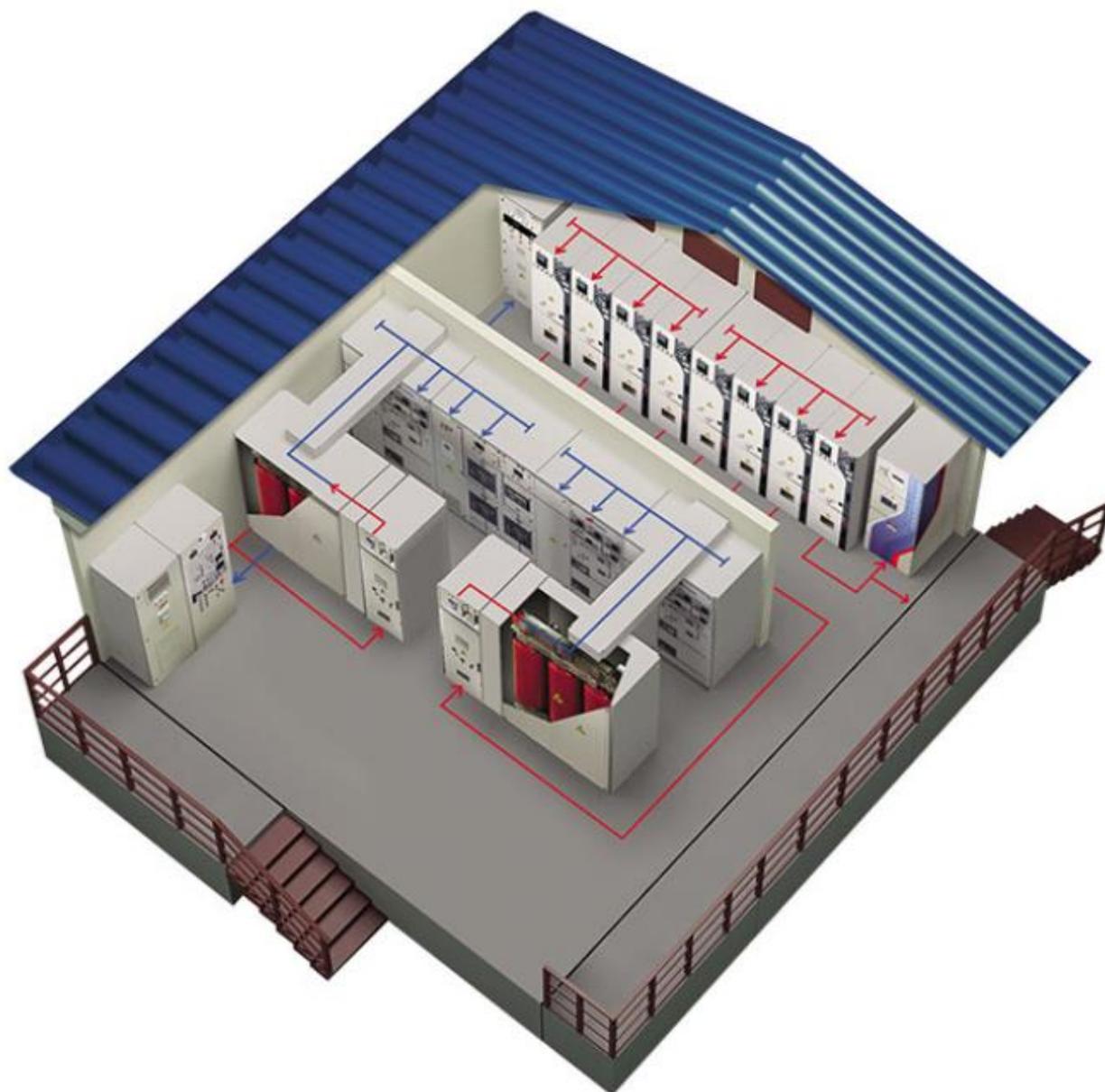


Рисунок 5 – КТП-ELM-10 (6)/0,4 (0,69) производства российской компании АО «Электронмаш»

Комплектные трансформаторные подстанции КТП-ELM-10 (6)/0,4 (0,69) производства АО «Электронмаш» представляют собой современное решение для обеспечения надёжного и качественного электроснабжения промышленных объектов, коммерческих зданий и жилых комплексов. Эти подстанции конструктивно выполнены таким образом, что максимально отвечают требованиям современной энергетики в части функциональности, экономичности и экологичности [5].

Основные преимущества подстанций КТП-ELM заключаются в их высокой степени заводской готовности (практически 80% общей сборки), что существенно ускоряет и упрощает монтажные работы на объекте. Использование в конструкции только высококачественных материалов и комплектующих обеспечивает долговечность и надёжность в эксплуатации. Кроме того, подстанции оснащены современными системами защиты и автоматики, что повышает уровень безопасности и позволяет оптимизировать процесс управления энергопотреблением.

Инновационная конструкция подстанций предусматривает возможность легкой интеграции в любые электросети и адаптацию к специфическим условиям эксплуатации благодаря модульному принципу организации внутреннего пространства. Это обеспечивает гибкость при проектировании систем электроснабжения и дает возможность эффективно решать задачи по расширению или модернизации существующих энергетических систем без значительных капитальных вложений.

Кроме технических аспектов, КТП-ELM также отвечают современным экологическим стандартам. Низкий уровень шума, отсутствие выбросов в атмосферу и возможность использования энергосберегающих технологий делают их предпочтительным выбором для регионов с жесткими экологическими требованиями.

Таким образом, комплектные трансформаторные подстанции КТП-ELM-10 (6)/0,4 (0,69) производства АО «Электронмаш» являются оптимальным решением, сочетающим в себе технологичность, экономичность

и экологичность, что делает их востребованными на рынке электрооборудования.

Эти качества делают их подходящим выбором для широкого спектра приложений и обеспечивают их популярность на рынке электротехнического оборудования, а также обуславливают их применение в качестве цеховых ТП-10/0,4 кВ объекта проектирования.

Таким образом, данный тип подстанции окончательно принимается в системе электроснабжения объекта проектирования.

Выводы по разделу 4.

Выбраны и проверены число, мощности и типноминалы силовых трансформаторов системы электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение».

Окончательно на ГПП-35/10 кВ предприятия принята установка двух силовых трансформаторов типа ТМН-10000/35, которые удовлетворяют условиям выбора и перегрузочной способности.

В качестве ГПП-35/10 кВ выбрана комплектная трансформаторная подстанция (далее – КТП) типа КТП «ELM» 35/10 (6) производства российской компании АО «Электронмаш», имеющей значительные преимущества по сравнению с аналогичными разработками.

Для питания нагрузки цехов на напряжении 0,38/0,22 кВ, выбраны четыре двухтрансформаторные подстанции 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами следующих марок:

- ТП-10/0,4 кВ (№1 и №2) – два трансформатора марки ТМ-1600/10;
- ТП-10/0,4 кВ (№3 и №4) – один трансформатор марки ТМ-2500/10.

В качестве цеховых ТП-10/0,4 кВ выбраны комплектные трансформаторные подстанции типа КТП-ELM-10 (6)/0,4 (0,69) АО «Электронмаш». Данный выбор обоснован в работе.

5 Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения предприятия представляет собой фундаментальный аспект обеспечения электрической безопасности и надёжности энергосистемы. Этот процесс имеет важное значение для правильного подбора защитного оборудования и оптимизации параметров электрической сети.

В основу расчёта токов короткого замыкания лежит анализ потенциальных рисков и последствий, которые могут возникнуть в результате аварийных ситуаций в электрической сети.

Основные цели расчёта токов короткого замыкания заключаются в определении максимально возможных токовых нагрузок, которые могут возникнуть при нарушении изоляции или других нештатных ситуациях, ведущих к короткому замыканию. Данный анализ позволяет выбирать соответствующие типы и характеристики защитной аппаратуры, которые должны своевременно отключать повреждённые участки сети, тем самым предотвращая возможные повреждения оборудования и угрозы для персонала.

Задачи, стоящие перед расчётом токов короткого замыкания, включают определение всех возможных точек короткого замыкания в электрической сети предприятия и анализ сценариев, которые могут привести к таким ситуациям. Это требует комплексного изучения схемы электроснабжения, характеристик установленного электрооборудования и параметров электрической сети. Кроме того, необходимо учитывать режимы работы всех компонентов системы и их взаимное влияние, что позволяет более точно моделировать и прогнозировать потенциальные аварии.

Таким образом, расчёт токов короткого замыкания является неотъемлемой частью проектирования и эксплуатации электрических систем на предприятиях, направленной на минимизацию рисков и повышение общей надёжности энергоснабжения. Расчет КЗ проводится с выключенным АВР и двумя СД, запитанными от одного кабеля.

«Исходная схема для расчёта токов КЗ приведена на рисунке 6» [13].

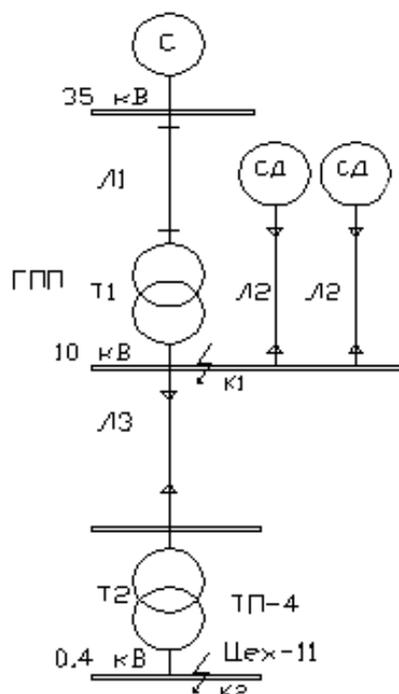


Рисунок 6 – «Исходная схема для расчета токов КЗ» [13]

«Схема замещения для расчётов токов КЗ приведена на рисунке 7» [13].

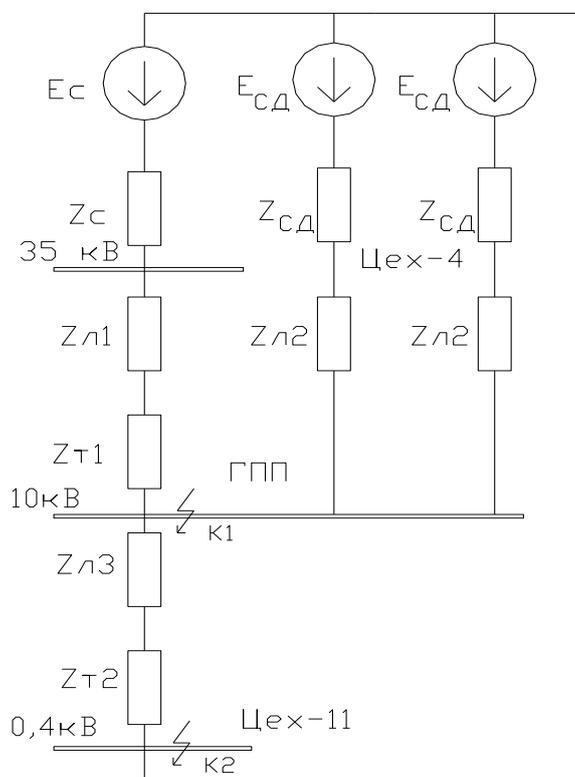


Рисунок 7 – «Схема замещения для расчётов токов КЗ» [13]

«Сопротивление системы, приведенное к 10 кВ, Ом» [13]:

$$X_c = X_{*c} \cdot \frac{U_C^2}{S_C} \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2, \quad (22)$$

где $X_{*c} = 0,3$ – «относительное сопротивление системы;

$S_C = 100$ МВт – мощность энергосистемы» [13].

$$X_c = 0,3 \cdot \frac{35^2}{100} \cdot \left(\frac{11}{35} \right)^2 = 0,35 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление силовых трансформаторов, приведенное к стороне 10 кВ, Ом» [13]:

$$X_m = \kappa^2 \cdot \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_{н.тр}}, \quad (23)$$

$$R_m = \kappa^2 \cdot P_\kappa \cdot \frac{U_{ном}}{S_{н.тр}}, \quad (24)$$

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

«Для трансформатора ГПП (ТМН-10000/35)» [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 участка ТП-1 (ТМ-1600/10)» [13]:

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

$$R_{T1} = 0,0073 \cdot \frac{10,5}{0,63} = 2,03 \text{ Ом}.$$

«Сопротивление СД, Ом» [13]:

$$x_{CD} = x'' \cdot \frac{U_n^2 \cdot \eta \cdot \cos \varphi}{P_n}, \quad (25)$$

$$E_{CD} = \sqrt{(U_n \cdot \cos \varphi)^2 + (U_n \cdot \sin \varphi - I_n \cdot x'')^2}, \quad (26)$$

где P_n – номинальная мощность двигателя;

η – КПД;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности;

I_n – номинальный ток, А;

x'' – «сверхпереходное сопротивление» [13].

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

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

«Сопротивление линий» [13]:

$$z_{л} = (x + jr) \cdot L, \text{ Ом}, \quad (27)$$

где « L – длина линии, км» [13].

«Для Л1: АС-50 (ВЛ-35 кВ) – $r_{уд} = 0,625$ Ом/км, $x_{уд} = 0,4$ Ом/км.

Для Л2: АСБ-3×25 (КЛ-10 кВ) – $r_{уд} = 1,24$ Ом/км, $x_{уд} = 0,08$ Ом/км.

Для Л3: АСБ-3×35 (КЛ-10 кВ) – $r_{уд} = 0,84$ Ом/км, $x_{уд} = 0,095$ Ом/км» [13].

«Сопротивление линий, приведенное к 10 кВ» [13]:

$$Z_{л1} = (0,625 + j \cdot 0,4) \cdot 4 \cdot 0,31^2 = 0,24 + j \cdot 0,15 \text{ Ом.}$$

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

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

«Расчет токов КЗ в сети 10 кВ в именованных единицах, А» [13]:

$$I_k^{(3)} = \frac{E_C}{\sqrt{3} \cdot Z_{k\Sigma}}, \quad (28)$$

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

E_C – напряжение системы, кВ» [13].

«Слаживаются параллельные ветви системы и СД, Ом» [13]:

$$Z_1 = \left(\frac{1}{Z_C + Z_{л1} + Z_{Т1}} + \frac{2}{Z_{СД} + Z_{л2}} \right)^{-1}, \quad (29)$$

$$Z_1 = 0,29 + j \cdot 2,35 \text{ Ом,}$$

$$E_C = \left(\frac{E_C}{Z_C + Z_{л1} + Z_{Т1}} + \frac{2E_{СД}}{Z_{СД} + Z_{л2}} \right) \cdot Z_1, \quad (30)$$

$$E_C = 10,82 + j0,024 = 10,82 \text{ кВ,}$$

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

«Постоянная времени, с» [13]:

$$T_{A1} = \frac{\sum R = 0}{\omega \cdot r \sum X = 0} = \frac{\left(\frac{1}{X_C + X_{Л1} + X_{Т1}} + \frac{2}{X_{СД} + X_{Л2}} \right)^{-1}}{\omega \cdot \left(\frac{1}{R_{Л1} + R_{Т1}} + \frac{2}{R_{Л2}} \right)^{-1}}, \quad (31)$$

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

«Ударный коэффициент» [13]:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{0,01/T_A}, \quad (32)$$

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

«Ударный ток КЗ в точке К1, кА» [13]:

$$i_{y\partial 1} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1}, \quad (33)$$

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

«Расчет токов КЗ в сети 0,4 кВ проводится в именованных единицах. При этом параметры схемы замещения приводим к ступени напряжения сети, на которой находится расчетная точка КЗ.

Результирующие активное и индуктивное сопротивления короткозамкнутой цепи до точки К2» [13]:

$$Z_{\Sigma 2(0,4)} = \left| (Z_1 + Z_{Т2} + Z_{Л3}) \cdot (K_T)^2 + R_{доб} \right|, \quad (34)$$

где $R_{доб}$ – «добавочное сопротивление контактов, $R_{доб} = 15$ мОм для РУ-0,4 кВ ТП» [13].

$$Z_{\Sigma 2(0,4)} = \left| \frac{(0,29 + j2,35 + 2,03 + j9,63 + 0,084 + j0,0095) \times}{\times 0,04^2 + 0,015} \right| = 0,02 + j0,019 \text{ Ом.}$$

Ток КЗ:

$$I_{k3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot (0,02 + j0,019)} = 11,56 - j12,17 = 16,79 \text{ кА.}$$

«Постоянная времени» [13]:

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

«Ударный коэффициент» [13]:

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

«Ударный ток КЗ в точке К2» [13]:

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

Полученные результаты используются в работе далее.

Выводы по разделу 5.

В работе рассчитаны токи короткого замыкания и ударные токи в сети 35 кВ и 10 кВ объекта проектирования.

Выбор и проверка электрических аппаратов и проводников

Выбор и проверка проводников

Проводится «выбор и проверка проводников питающей и распределительной сети напряжением 10 кВ и 0,4 кВ.

Данные линии предлагается выполнить кабельными.

Их выбор проводится «по экономической плотности тока» [14]:

$$F_э = \frac{I_{р.}}{j_э}, \quad (35)$$

где « $j_э$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [14].

«Проверка выбранного сечения провода в нормальном режиме» [14]:

$$I_{дон} \geq I_{р.}, \quad (36)$$

где « $I_{дон}$ – предельно – допустимое значение тока проводника, А» [14].

«Проверка проводника в послеаварийном режиме работы» [14]:

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

где « $I_{р.маx}$ – максимальный ток, А» [14].

«Проверка по климатическим условиям (минимальное допустимое сечение проводника)» [14]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (38)$$

«Проводится выбор кабельной линии 10 кВ, питающей ТП-1 от шин РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ предприятия» [14].

Определяются расчетные токи в нормальном и послеаварийном режимах для кабеля от ГПП до ТП-1, А:

$$I_{p.норм} = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_{ном}}, \quad (39)$$

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

$$I_{p.ав} = 2I_{p.норм}, \quad (40)$$

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

Экономическое сечение жил кабеля:

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

Выбирается кабель АСБ - 3×35, $I_{дл.доп.} = 115 \text{ А}$. Прокладка кабеля будет в траншее [12].

Проверка кабеля в нормальном режиме работы:

$$115 \text{ А} \geq 54,3 \text{ А}.$$

Условие выполняется.

Проверка кабеля в послеаварийном режиме работы:

$$115 \text{ А} \geq 108,6 \text{ А}.$$

Сечение проводников остальных кабельных линий питающей сети 10 кВ и 0,4 кВ выбраны аналогично и представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Выбор кабелей питающей сети 10 кВ и 0,4 кВ предприятия

Линия	N, шт.	S _p , кВА	I _{p.норм} , А	I _{p.ав} , А	Сечение кабеля	Марка	L, м	R, Ом/ км	X, Ом/ км	ΔU%
Питающая сеть 10 кВ										
ГПП-ТП1	2	1973,8	54,3	108,6	3×35	АСБ	100	0,84	0,095	0,21
ГПП-ТП2	2	1538,7	42,3	84,6	3×35	АСБ	250	0,84	0,095	1,12
ГПП-ТП3	2	2890,0	79,5	158,9	3×50	АСБ	400	0,59	0,09	1,48
ГПП-ТП4	2	3403,2	93,6	187,2	3×70	АСБ	100	0,42	0,095	0,21
ГПП-4 (СД)	2	5000,0	137,5	275,0	3×120	АСБ	100	0,31	0,083	0,35
ГПП-8 (СД)	2	2880,0	79,2	158,4	3×50	АСБ	100	0,59	0,09	0,49
ГПП-5 (ЭП)	2	2200,0	60,5	121,0	3×50	АСБ	100	0,59	0,09	0,54
Питающая сеть 0,4 кВ										
ТП1-10	2	366,0	264,1	528,2	2 шт. 3×70+1×35	АВВГ	25	0,42	0,061	0,34
ТП2-7	2	127,0	91,7	183,4	3×50+1×25	АВВГ	200	0,59	0,063	2,17
ТП2-9	2	158,6	114,5	229,0	3×70+1×35	АВВГ	180	0,42	0,061	3,47
ТП3-3	2	747,8	539,7	1079,4	2 шт. 3×185+1×95	АВВГ	350	0,16	0,059	4,37
ТП3-5	2	469,6	338,9	677,8	2 шт. 3×95+1×50	АВВГ	400	0,31	0,06	4,18
ТП4-1	2	2004,0	1446,3	2892,6	6 шт. 3×185+1×95	АВВГ	25	0,16	0,059	0,24
ТП4-6	2	414,8	315,1	630,2	2 шт. 3×95+1×50	АВВГ	120	0,20	0,059	1,22

Выбранные кабели марки АСБ-10 и АВВГ обладают специфическими характеристиками и преимуществами, делающими их подходящими для определённых условий эксплуатации и применений, в частности, для применения на объекте исследования.

Кабели АСБ-10 – это многожильные кабели с алюминиевой жилой, имеющие изоляцию из сшитого полиэтилена, что обеспечивает хорошую диэлектрическую прочность и стойкость к различным внешним факторам, включая влагу и механические повреждения. Особенностью кабелей АСБ-10 является наличие брони, что делает их устойчивыми к механическим воздействиям и способными выдерживать значительные нагрузки без повреждения.

Преимущества кабелей АВВГ заключаются в их гибкости, устойчивости к ультрафиолету и химическим реагентам, а также в невысокой стоимости по сравнению с другими типами кабелей.

Выбор электрических аппаратов питающей сети предприятия

Далее в работе проводится выбор электрических аппаратов питающей сети предприятия.

Ранее в работе были выбраны типы подстанций для ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ. В качестве ГПП-35/10 кВ выбрана КТП «ELM» 35/10 (6) производства российской компании АО «Электронмаш», в качестве цеховых ТП-10/0,4 кВ выбраны комплектные трансформаторные подстанции типа КТП-ELM-10 (6)/0,4 (0,69) АО «Электронмаш».

Исходя из данного выбора, их типовые ячейки комплектуются аппаратами, которые выбираются в разделе далее при использовании [3].

Результаты выбора выключателей высокого напряжения 35 кВ и 10 кВ (на примере вводных присоединений) для установки в соответствующих РУ питающей ГПП-35/10 кВ, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора выключателей высокого напряжения 35 кВ и 10 кВ (на примере вводных присоединений) для установки в соответствующих РУ питающей ГПП-35/10 кВ

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводы 1 и 2, выключатели КРУ 35 кВ: ВВУ–СЭЩ–П-35 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 369,9 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 3,3 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 7,6 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,3^2 \cdot 3 =$ $= 32,67 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 =$ $= 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$
Вводы 1 и 2, выключатели КРУ 6 кВ: ВВУ–СЭЩ–10–20/1600 У3 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 1177,1 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 4,8 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 12,4 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,8^2 \cdot 3 =$ $= 69,1 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в ячейках КРУ 35 кВ и КРУ 10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ, представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в ячейках КРУ 35 кВ и КРУ 10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ

Тип ТН	Кол-во ТН	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \Sigma}$, ВА
НАЛИ-СЭЩ-35	2	1,0	35/35	1000,0/ ≤1000,0
НАЛИ-СЭЩ-10	2	1,0	10/10	600,0/ ≤600,0

Результаты выбора трансформаторов тока для установки в ячейках КРУ 35 кВ и КРУ 10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ, представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в ячейках КРУ 35 кВ и КРУ 10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ

Тип ТТ	Кол-во ТН	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \Sigma}$, ВА
ТОЛ-СЭЩ-35	2	1,0	35/35	120,0/ ≤120,0
ТОЛ-СЭЩ-10	2	1,0	10/10	60,0/ ≤60,0

С целью защиты от атмосферных и коммутационных перенапряжений выбираются ограничители перенапряжений (далее – ОПН). Известно, что ОПН устанавливаются на вводах воздушных линий электропередачи (в нашем случае – ввод 35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ), а также в ячейках 35 кВ и 10 кВ совместно с выбранными ранее вакуумными выключателями. В последнее время практически все ОПН производят с нелинейной характеристикой, что значительно лучше предыдущих разработок. В таких ОПН выходной параметр (напряжение на выходе из установки) не зависит от входного параметра (перенапряжение на входе установки). Следовательно, данные типы ОПН

более перспективные и надёжные, поэтому их выбор обоснован. Выбор ОПН показан в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора ограничителей перенапряжения 35 кВ и 10 кВ (на примере вводных присоединений) для установки в соответствующих РУ питающей ГПП-35/10 кВ

Наименование и место установки	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводы 1 и 2 КРУ 35 кВ: ОПН-п-35/40,5/10/600	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 369,9 \text{ А.}$	$I_{ном} = 600 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 7,6 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,3^2 \cdot 3 =$ $= 32,67 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 =$ $= 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$
Вводы 1 и 2 КРУ 10кВ: ОПН-п 6/7,2/10/400	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 1177,1 \text{ А.}$	$I_{ном} = 400 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 12,4 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,8^2 \cdot 3 =$ $= 69,1 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Выводы по разделу 6.

Выбраны проводники и электрические аппараты.

Для питания сети 10 кВ выбраны кабели марки АСБ – 10 различных сечений, проложенные в земляной траншее.

Для питания сети 0,4 кВ выбраны кабели марки АВВГ различных сечений, проложенные в бетонном полу.

Выбрано и проверено основное оборудование для комплектования ячеек РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ объекта исследования.

Расчёт релейной защиты и системы собственных нужд ГПП

7.1 Расчёт релейной защиты трансформаторов ГПП

Как было установлено ранее, «на питающей ГПП-35/10 кВ СЭС ООО «Алроса-спецбурение» устанавливаются два силовые трансформатора марки ТМН-10000/35.

В качестве защиты трансформаторов от межфазных КЗ, используется продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью» [14]:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot (I_{раб.макс.НН} - I_{раб.макс.ВН}), \quad (41)$$

где $I_{раб.макс.НН}, I_{раб.макс.ВН}$ – «соответственно максимальный рабочий ток на сторонах НН и ВН силового трансформатора;
 K_n – коэффициент надёжности» [14].

«Коэффициент чувствительности дифференциальной токовой защиты должен удовлетворять условию» [14]:

$$K_{ч} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.нач.мин}}{I_{с.з}} \geq 1,5. \quad (42)$$

«Ток срабатывания продольной дифференциальной токовой защиты трансформатора» [14]:

$$I_{с.з} \geq 1,5 \cdot (1294,8 - 117,6) = 1765,8 \text{ А.}$$

«Коэффициент чувствительности продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов удовлетворяет требованиям» [14]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{4210}{1765,8} = 2,38 > 1,5.$$

«Защита от перегрузки отстраивается от максимального рабочего тока на стороне ВН силового трансформатора» [14]:

$$I_{\text{с.з}} \geq K_{\text{н}} \cdot I_{\text{раб.макс.ВН}}, \quad (43)$$

где $K_{\text{н}}$ – «коэффициент надёжности» [14].

«Ток срабатывания защиты от перегрузки трансформатора» [14]:

$$I_{\text{с.з}} \geq 1,05 \cdot 117,6 \approx 123,5 \text{ А.}$$

«Ток срабатывания МТЗ силового трансформатора» [14]:

$$I_{\text{с.з}} \geq K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{сзп}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (44)$$

где $K_{\text{отс}}$ – «коэффициент отстройки» [14];

$K_{\text{сзп}}$ – «коэффициент самозапуска» [14].

«Коэффициент чувствительности МТЗ определяется по формуле» [14]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.мин}}^{(\kappa)}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1,2, \quad (45)$$

где $I_{\text{к.мин}}^{(\kappa)}$ – «минимальный ток при КЗ в конце защищенной линии» [14];

$K_{\text{сх}}^{(3)}$ – «коэффициент схемы соединения ТТ и реле» [14];

$K_{\text{сх}}^{(\kappa)}$ – «коэффициент схемы соединения ТТ и реле при КЗ» [14];

$I_{\text{с.з}}$ – «ток срабатывания защиты» [14].

«Для комплекта МТЗ силового трансформатора на стороне ВН (35 кВ) значение тока срабатывания защиты» [14]:

$$I_{c.з} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 117,6 \approx 207 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформаторов подстанции на стороне ВН удовлетворяет требованиям» [14]:

$$K_{\nu} = \frac{1}{1} \cdot \frac{4210}{207} \approx 20,3 > 1,2.$$

«Аналогично на стороне НН (10 кВ)» [14]:

$$I_{c.з} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 1294,8 \approx 2278,8 \text{ A.}$$

$$K_{\nu} = \frac{1}{1} \cdot \frac{3860}{2278,8} = 1,69 > 1,2.$$

Результаты выбора уставок РЗиА силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора типа защит и уставок РЗиА силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ

Тип РЗиА	$I_{c.з.}, \text{ A}$	$t_{c.з.}, \text{ с}$
ДЗ	1765,8	-
ЗП	123,5	5,0
МТЗ (ВН)	207,0	1,0
МТЗ (НН)	2278,8	1,5
ЗОЗ	5,0	-
ГЗ	-	-

Таким образом, силовые трансформаторы, установленные на ГПП-35/10 кВ проектируемой системы электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение», будут надёжно защищены.

Для реализации всех рассчитанных функций защиты, предлагается использовать микропроцессорный терминал РЗА серии «ТОР 200-16К» [16] (рисунок 8).



Рисунок 8 – Микропроцессорный терминал РЗА серии «ТОР 200-16К»

Микропроцессорный терминал РЗА серии «ТОР 200-16К» представляет собой передовое устройство в области релейной защиты и автоматики, предназначенное для контроля и управления в электроэнергетических системах [16].

Терминал обеспечивает высокий уровень надежности электроснабжения за счет точного и быстрого реагирования на аварийные ситуации в сети, предотвращения повреждений оборудования и минимизации времени простоев.

Одним из ключевых аспектов функциональности терминала «ТОР 200-16К» является его способность к мониторингу широкого спектра параметров сети, включая напряжение, ток, частоту и фазовые углы. Это позволяет терминалу точно определять типы и места возникновения неисправностей, что критически важно для оперативного устранения проблем и восстановления нормальной работы системы.

Преимущества микропроцессорного терминала РЗА «ТОР 200-16К» включают его модульность и гибкость в настройке. Устройство может быть легко адаптировано к различным условиям эксплуатации и специфическим требованиям конкретной электросети благодаря возможности программирования функций защиты и автоматики. Такая многофункциональность обеспечивается за счет использования современных цифровых технологий и программного обеспечения, позволяющего настраивать параметры устройства в соответствии с нуждами пользователя.

Кроме того, «ТОР 200-16К» обладает улучшенными коммуникационными возможностями, поддерживая различные протоколы связи, что делает его совместимым с другими устройствами системы управления электростанциями и подстанциями. Это обеспечивает эффективный обмен данными и интеграцию с общей системой автоматизации, увеличивая общую эффективность управления сетью.

Также следует отметить высокий уровень безопасности, который обеспечивает терминал РЗА «ТОР 200-16К». Применение передовых методов шифрования и аутентификации данных минимизирует риски несанкционированного доступа и манипуляций с системой, что является важным аспектом для критически важных инфраструктур.

Таким образом, микропроцессорный терминал РЗА серии «ТОР 200-16К» является высокотехнологичным решением для систем электроснабжения, предлагающим улучшенную надежность, гибкость и безопасность в управлении электрическими сетями. Указанные преимущества обуславливают выбор данного терминала РЗА.

7.2 Расчёт системы собственных нужд ГПП

Далее в работе проводится расчёт системы собственных нужд на питающей ГПП-35/10 кВ СЭС ООО «Алроса-спецбурение».

Известно, что система собственных нужд (СН) на питающей главной понизительной подстанции (ГПП) 35/10 кВ играет ключевую роль в обеспечении надежного и бесперебойного функционирования всей подстанции. Эта система предназначена для питания оборудования, которое необходимо для управления, защиты, мониторинга и поддержания работоспособности основных элементов подстанции, таких как трансформаторы, выключатели, разъединители и другие компоненты электросети.

Система собственных нужд включает в себя различные электрические и неэлектрические элементы. К электрическим относится оборудование для обеспечения питания контрольно-измерительных приборов и автоматики, систем управления, телемеханики, а также освещения и отопления помещений подстанции. Для поддержания непрерывности электроснабжения система собственных нужд часто оснащается автономными источниками питания, такими как аккумуляторные батареи и дизель-генераторы, которые способны обеспечивать питание в случае внешних сбоев в электросети.

Неэлектрические элементы системы собственных нужд включают в себя вентиляционные и отопительные системы, необходимые для создания оптимальных условий для работы оборудования и персонала. Также важным элементом является система пожарной безопасности, которая должна быть спроектирована и установлена таким образом, чтобы минимизировать риски и последствия возможных пожаров.

Настройка и эксплуатация системы собственных нужд требует высокой степени автоматизации. Использование современных систем автоматизированного управления позволяет эффективно реагировать на изменения в работе подстанции, быстро диагностировать неисправности и

предотвращать аварийные ситуации. Это способствует повышению общей надежности и эффективности функционирования электрической системы предприятия.

Таким образом, система собственных нужд на питающей ГПП 35/10 кВ является комплексным и многогранным элементом инфраструктуры, который требует тщательного проектирования, внимательного отношения к деталям и строгого соблюдения технических норм и стандартов для обеспечения ее эффективной и безопасной работы.

Далее проводится выбор и проверка ТСН на питающей ГПП-35/10 кВ СЭС ООО «Алроса-спецбурение»

Расчёт нагрузки СН объекта проектирования представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчёт нагрузки СН

Наименование потребителя СН	Потребляемая нагрузка		
	$P_{\text{макс}}$, кВт	$Q_{\text{макс}}$, квар	$S_{\text{макс}}$, кВА
Отопление помещений РУ-10 кВ и диспетчерской	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
Вентиляция и кондиционирование помещений, диспетчерской и ячеек РУ-10 кВ	10,00	-	10,00
Системы связи и передачи данных, система административные нужд	2,00	-	2,00
Системы учета и мониторинга энергопотребления	0,50	-	0,50
Системы контроля и автоматики, система безопасности	3,50	-	3,50
Итого	34,00	-	34,00

«Суммарная нагрузка СН» [6]:

$$S_{\text{макс.сн}} = k_{\text{р.м}} \sqrt{\sum_1^n P_{\text{макс}}^2 + \sum_1^n Q_{\text{макс}}^2} \quad (46)$$

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

$Q_{\text{макс}}$ – суммарная реактивная потребляемая нагрузка СН, квар» [6].

«Расчётная полная нагрузка СН» [6]:

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

«Расчетная мощность ТСН» [6]:

$$S_{\text{ТСН}} = \frac{S_{\text{макс.сн}}}{k_3 \cdot n}, \text{ кВА.} \quad (47)$$
$$S_{\text{ТСН}} = \frac{28,9}{0,7 \cdot 2} = 20,64 \text{ кВА.}$$

«Принимаются два трансформатора СН марки ТМ-25/10 У1» [6].

Выводы по разделу 7.

Рассчитаны уставки релейной защиты силовых трансформаторов на питающей ГПП-35/10 кВ СЭС ООО «Алроса-спецбурение». Установлено, что микропроцессорный терминал РЗА серии «ТОР 200-16К» является высокотехнологичным решением для систем электроснабжения, предлагающим улучшенную надежность, гибкость и безопасность в управлении электрическими сетями, поэтому он выбирается для обеспечения защиты на ГПП.

В результате расчёта системы СН, выбраны и обоснованы к применению два трансформатора марки ТМ-24/10 У1.

Заключение

В работе осуществлена разработка мероприятий по проектированию системы электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение» с последовательной проверкой основных решений.

Проведён анализ исходных технических и технологических данных на выполнение работы.

Установлено, ООО «Алроса-спецбурение» требует развития материально-технической базы, в связи с чем предлагается разработать проект нового подразделения данной организации, деятельность которого будет сосредоточена на ремонте и обслуживании буровых установок и сопутствующего оборудования.

Рассмотрен состав проектируемой системы электроснабжения данного нового подразделения ООО «Алроса-спецбурение». Установлено, что в его состав входит комплекс, состоящий из десяти цехов и участков.

В результате проведения анализа было установлено, что 50% нагрузки ООО «Алроса-спецбурение» составляют приемники 10 кВ. Остальные приёмники работают на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Приняты соответствующие схемные решения для внедрения в проектируемой системе электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение».

Расчётно-аналитическим способом установлено, на питающей ГПП ООО «Алроса-спецбурение» целесообразно использовать два класса напряжения:

- 35 кВ (питающее напряжение внешней СЭС объекта);
- 10 кВ (распределительное напряжение внешней СЭС объекта).

По причине того, что проектируемое предприятие относится ко II категории надёжности, его система электроснабжения должна быть обеспечена двумя независимыми источниками питания, следовательно, на питающей ГПП-35/10 кВ необходимо установить два силовых трансформатора.

Значит, внешняя система электроснабжения нового подразделения ООО «Алроса-спецбурение» будет включать следующие основные элементы:

- питающая линия электропередачи напряжением 35 кВ (двухцепная линия – по числу трансформаторов ГПП с учётом питания по радиальной схеме электроснабжения;
- питающая ГПП-35/10 кВ, состоящая из двух силовых трансформаторов, а также распределительных устройств высшего (35 кВ) и низшего напряжений (10) кВ.

От шин РУ 10 кВ подстанции предлагается запитать внутреннюю систему электроснабжения предприятия, в состав которой предложено включить следующие элементы:

- цеховые двухтрансформаторные ТП-10/0,4 кВ;
- щитки распределительные (далее – ЩР) – для питания силовой нагрузки;
- щитки осветительные (далее – ЩО) – для питания осветительной нагрузки;
- конечные потребители (оборудование).

Кроме того, в составе системы электроснабжения предприятия также необходимо предусмотреть высоковольтные электродвигатели и печи, которые получают питание напрямую от шин РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, минуя цеховые ТП-10/0,4 кВ.

Таким образом, выбранная схема питающей и распределительной сети системы электроснабжения нового подразделения ООО «Алроса-спецбурение» характеризуется надёжностью, экономичностью, безопасностью на всех звеньях сети, поэтому может быть рекомендована для применения на объекте исследования.

Рассчитаны электрические нагрузки освещения, а также силовой и суммарной нагрузки системы электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение».

Выбраны и проверены число, мощности и типономиналы силовых трансформаторов системы электроснабжения ООО «Алроса-спецбурение».

Окончательно на ГПП-35/10 кВ предприятия принята установка двух силовых трансформаторов типа ТМН-10000/35, которые удовлетворяют условиям выбора и перегрузочной способности.

В качестве ГПП-35/10 кВ выбрана комплектная трансформаторная подстанция (далее – КТП) типа КТП «ELM» 35/10 (6) производства российской компании АО «Электронмаш», имеющей значительные преимущества по сравнению с аналогичными разработками.

Для питания нагрузки цехов на напряжении 0,38/0,22 кВ, выбраны четыре двухтрансформаторные подстанции 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами следующих марок:

- ТП-10/0,4 кВ (№1 и №2) – два трансформатора марки ТМ-1600/10;
- ТП-10/0,4 кВ (№3 и №4) – один трансформатор марки ТМ-2500/10.

В качестве цеховых ТП-10/0,4 кВ выбраны комплектные трансформаторные подстанции типа КТП-ELM-10 (6)/0,4 (0,69) АО «Электронмаш». Данный выбор обоснован в работе.

Рассчитаны токи короткого замыкания и ударные токи в сети 35 кВ и 10 кВ объекта проектирования.

Выбраны проводники и электрические аппараты. Для питания сети 10 кВ выбраны кабели марки АСБ – 10, а для питания сети 0,4 кВ – кабели марки АВВГ. Выбрано и проверено основное оборудование для комплектования ячеек РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ объекта исследования.

Рассчитаны уставки релейной защиты силовых трансформаторов на питающей ГПП-35/10 кВ СЭС ООО «Алроса-спецбурение». Установлено, что микропроцессорный терминал РЗА серии «ТОР 200-16К» является высокотехнологичным решением для систем электроснабжения, предлагающим улучшенную надежность, гибкость и безопасность в управлении электрическими сетями, поэтому он выбирается для обеспечения защиты на ГПП. В результате расчёта системы СН, выбраны и обоснованы к применению два трансформатора марки ТМ-24/10 У1.

Список используемых источников

1. 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: 18.02.2024).
2. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
3. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
4. КТП «ELM» 35/10 (6). [Электронный ресурс]: URL: <https://electronmash.ru/catalog/komplektnye-transformatornye-podstancii-do-220-kv/ktp-elm-35-kv> (дата обращения: 15.04.2024).
5. 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: 15.04.2024).
6. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
7. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
8. ООО «АЛРОСА-Спецбурение» [Электронный ресурс]: URL: <https://respublika-saha-yakutiya.orgsinfo.ru/mirnyy/company/1338327-alrosa-specburenie> (дата обращения: 15.04.2024).
9. ООО «АЛРОСА-Спецбурение» [Электронный ресурс]: URL: <https://www.sburenie.ru/> (дата обращения: 15.04.2024).
10. ООО «АЛРОСА-СПЕЦБУРЕНИЕ». [Электронный ресурс]: URL: <https://checko.ru/company/alrosa-specburenie-1021400968984> (дата обращения: 15.04.2024).
11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.

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

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

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

15. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 15.04.2024).

16. ТОР 200-16К – 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: 15.04.2024).

17. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями на 13 июня 2023 года). [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902186281> (дата обращения: 15.04.2024).

18. Фризен В.Э., Назаров С.Л. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2021. 184 с.

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

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