

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 Электроснабжение деревообрабатывающего предприятия

Обучающийся

М. Р. Билюстин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д. А. Кретов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Работа посвящена разработке системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия.

Проведён комплексный анализ исходных данных, на основании чего в дальнейшем решён ряд ключевых задач, направленных на обеспечение надёжного и эффективного электроснабжения производственных процессов на объекте исследования.

В процессе проектирования выполнен комплексный расчёт и выбор электрооборудования для схемы электроснабжения объекта.

Определены оптимальные сечения проводников, выбраны и обоснованы для применения на объекте типы ячеек всех распределительных устройств системы электроснабжения объекта проектирования, которые укомплектованы соответствующими электрическими аппаратами.

Разработана система релейной защиты и собственных нужд питающей главной понижающей подстанции.

Работа включает расчётно-пояснительную записку объёмом 75 печатных страниц.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных на выполнение работы	7
1.1 Анализ технических условий	7
1.2 Требования к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий	12
2 Выбор схемы электроснабжения.....	17
3 Расчёт электрических нагрузок.....	22
3.1 Расчёт электрических нагрузок освещения	22
3.2 Расчёт силовых электрических нагрузок	24
3.3 Расчёт суммарных электрических нагрузок	26
4 Выбор и проверка силовых трансформаторов подстанций предприятия....	31
4.1 Выбор трансформаторов главной понизительной подстанции	31
4.2 Выбор конструктивного исполнения главной понизительной подстанции	34
4.3 Выбор и проверка трансформаторов распределительных цеховых трансформаторных подстанций	37
4.4 Выбор конструктивного исполнения главной понизительной подстанции	41
5 Расчёт токов короткого замыкания.....	45
6 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов.....	52
6.1 Выбор и проверка проводников	52
6.2 Выбор электрических аппаратов питающей сети предприятия.....	57
7 Выбор устройств вторичных цепей питающей ГПП	61
7.1 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	61
7.2 Расчёт системы собственных нужд ГПП	64
Заключение.....	69
Список используемых источников	73

Введение

Деревообрабатывающая отрасль играет значимую роль в национальной экономике, обеспечивая занятость населения, формирование экспортного потенциала и удовлетворение внутреннего спроса на продукцию из древесины.

В настоящее время отрасль характеризуется наличием богатых лесных ресурсов и разнообразием древесных пород. Однако существуют проблемы, связанные с износом производственных мощностей, недостаточной технологической оснащённостью и низким уровнем внедрения инноваций. Отсутствие современных технологий приводит к неэффективному использованию сырьевой базы и снижению конкурентоспособности продукции на мировом рынке.

Государственная поддержка играет ключевую роль в преодолении данных трудностей. Реализуются программы, направленные на модернизацию предприятий, стимулирование инвестиций и повышение экспортного потенциала. Предоставляются налоговые льготы, субсидии и льготные кредиты для компаний, внедряющих передовые технологии и инновационные решения [17].

Особое внимание уделяется развитию инфраструктуры, подготовки кадров и созданию благоприятных условий для малого и среднего бизнеса в отрасли.

Актуальность разработки и внедрения систем электроснабжения новых деревообрабатывающих предприятий обусловлена необходимостью повышения энергоэффективности и надёжности производственных процессов. Современные предприятия требуют высокотехнологичного оборудования, предъявляющего повышенные требования к качеству электроснабжения. Эффективная система электроснабжения обеспечивает бесперебойную работу оборудования, снижает риски аварийных ситуаций и повышает общую производительность.

Интеграция современных систем электроснабжения позволяет внедрять автоматизированные технологии управления энергопотреблением, что способствует снижению эксплуатационных расходов и повышению экологической устойчивости производства.

Энергосберегающие технологии и использование возобновляемых источников энергии уменьшают негативное воздействие на окружающую среду, что соответствует международным тенденциям и обязательствам Российской Федерации в области экологической политики.

Перспективы развития деревообрабатывающей промышленности связаны с цифровизацией производственных процессов, внедрением инновационных технологий и расширением географии экспорта.

Создание новых предприятий с современными системами электроснабжения и автоматизации позволит повысить конкурентоспособность российской продукции на мировом рынке, удовлетворить растущий спрос на высококачественные изделия из древесины и обеспечить устойчивый экономический рост регионов.

Таким образом, развитие деревообрабатывающей промышленности Российской Федерации требует комплексного подхода, включающего государственную поддержку, модернизацию производственных мощностей и внедрение передовых систем электроснабжения. Это позволит повысить эффективность отрасли, обеспечить её конкурентоспособность и внести существенный вклад в социально-экономическое развитие страны.

«Приведённые аспекты обуславливают актуальность и практическую ценность настоящей работы.

Основной целью работы является разработка комплекса рациональных и качественных мероприятий, направленных на проектирование системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия.

Объектом исследования является схема электрических соединений, а также основное оборудование электрической сети системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия» [18].

Предметом исследования являются показатели надёжности, бесперебойности электроснабжения, уровня резервирования электрической сети, а также безопасности, экономичности и экологичности системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия.

В работе определяются оптимальные сечения проводников, выбираются и обосновываются для применения на объекте, типы ячеек всех распределительных устройств системы электроснабжения объекта проектирования, которые необходимо укомплектовать соответствующими электрическими аппаратами.

Разрабатывается система релейной защиты и собственных нужд питающей главной понижающей подстанции.

Таким образом, в результате проведения исследований предполагается, что разработанная система электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия, будет характеризоваться высокими показателями надёжности, экономичности и безопасности с учётом требуемого уровня бесперебойности передачи электроэнергии, что критически важно для стабильной работы производственных процессов на данном объекте.

Все предложенные решения требуют подтверждения расчётно-аналитическим путём.

1 Анализ исходных данных на выполнение работы

1.1 Анализ технических условий

Проводится анализ исходных технических данных на выполнение работы с использованием источников [15] и [18].

На новом деревообрабатывающем предприятии большой установленной мощности, будет разработана комплексная система электроснабжения, включающая десять ключевых производственных участков, каждый из которых выполняет специфические функции и оснащён соответствующим оборудованием, обеспечивающим надёжное и эффективное энергоснабжение технологических процессов.

Начальным звеном производства является цех приёмки и сортировки древесины, где осуществляется поступление сырья, его тщательный осмотр и классификация по породам, размерам и качеству. Применение гидравлических погрузчиков, конвейерных систем, окорочных машин и автоматизированных сортировочных комплексов с оптическими сканерами и рентгеновскими установками позволяет эффективно оценивать и распределять древесину для дальнейшей обработки.

Лесопильный цех осуществляет распиловку подготовленной древесины на пиломатериалы различных размеров. Использование высокопроизводительных ленточнопильных и круглопильных станков с числовым программным управлением обеспечивает высокую точность реза и оптимизацию материального выхода, что способствует повышению эффективности производства и снижению отходов.

После распиловки пиломатериалы поступают в цех сушки древесины, где происходит снижение влажности до требуемого уровня для предотвращения деформаций и обеспечения стабильности размеров продукции.

Сушильные камеры, оснащённые современными системами контроля температуры и влажности, используют конвекционные, конденсационные и вакуумные методы сушки, что позволяет добиться равномерности процесса и сохранения качественных характеристик древесины. В данном цеху есть мощные высоковольтные печи, которые значительно ускоряют процесс высыхания древесины.

В цехе строгания и профилирования осуществляется обработка высушенных пиломатериалов для придания им необходимых геометрических форм и поверхностной чистоты. Высокоскоростные строгальные, фрезерные и профилирующие станки с числовым программным управлением позволяют изготавливать изделия сложной конфигурации с высокой точностью, удовлетворяя требованиям к качеству готовой продукции.

Цех производства фанеры, шпона, древесно-стружечных и древесноволокнистых плит занимается изготовлением фанерных листов и шпона из тонких слоёв древесины. Оборудование включает луцильные станки, шпонострогальные машины, горячие прессы для склеивания слоёв и системы автоматического нанесения клеевых составов. Тщательный контроль технологических параметров обеспечивает высокое качество продукции для последующего использования в мебельном производстве и строительстве. В отделении производства древесно-стружечных и древесноволокнистых плит перерабатываются отходы древесины и волокнистые материалы, создавая инженерные древесные продукты. Технологический процесс включает измельчение сырья, смешивание с синтетическими смолами, формование и горячее прессование. Применение современных прессов и систем контроля обеспечивает однородность и стабильность физических свойств плитной продукции.

Цех производства ламинированных напольных покрытий и деревянной мебели специализируется на изготовлении высококачественных ламинированных полов. Использование прецизионных раскройных станков, ламинирующих прессов, профилирующих станков для обработки кромок и

оборудования для нанесения защитных слоёв позволяет создавать продукты с высокой износостойкостью и эстетической привлекательностью. Изготовление деревянной мебели осуществляется в этом же цеху, оснащённом многофункциональными обрабатывающими центрами с числовым программным управлением, токарными и фрезерными станками, сверлильно-присадочными машинами и шлифовальным оборудованием. Внедрение роботизированных систем и автоматизированных линий сборки повышает производительность и обеспечивает высокое качество конечных изделий.

Цех отделки и нанесения покрытий обеспечивает финишную обработку продукции, улучшая её эстетические и эксплуатационные характеристики. Оборудование включает окрасочные камеры, распылительные установки, вальцовые и занавесочные машины для нанесения лаков и красок, а также сушильные печи с контролем температуры и влажности. Применение экологически чистых материалов и технологий снижает воздействие на окружающую среду и обеспечивает безопасность рабочих.

Заключительным этапом является отдел упаковки и отгрузки продукции, где готовые изделия подготавливаются к транспортировке и доставке потребителям. Автоматизированные линии упаковки, термоусадочные машины, системы маркировки и логистическое программное обеспечение позволяют оптимизировать процессы упаковки, хранения и отгрузки, повышая эффективность работы предприятия и удовлетворяя требования клиентов по срокам и качеству поставок.

Назначение насосной и компрессорной станций с высоковольтными электродвигателями на новом деревообрабатывающем предприятии большой мощности заключается в обеспечении необходимых технологических процессов, связанных с подачей жидкостей и газов под давлением для работы различных производственных участков. Насосная станция отвечает за перекачку воды, гидравлических жидкостей и других рабочих сред, необходимых для охлаждения, смазки и питания оборудования. Компрессорная станция обеспечивает сжатый воздух и другие газовые среды,

используемые в пневматических системах управления, очистки, сушки и транспортировки материалов.

Оборудование насосной станции включает высоковольтные насосные агрегаты с двумя электродвигателями мощностью 2500 кВт каждый, обеспечивающие высокую производительность. Системы автоматического управления и контроля параметров позволяют поддерживать оптимальные режимы работы, предотвращать аварийные ситуации и снижать энергопотребление. Установлены фильтрационные системы для очистки перекачиваемых сред, а также резервные насосы для обеспечения непрерывности процесса при обслуживании или выходе из строя основного оборудования.

Компрессорная станция оснащена высоковольтными компрессорными установками с электродвигателями мощностью 1440 кВт, предназначенными для генерации сжатого воздуха высокого давления. Системы охлаждения и осушки воздуха обеспечивают качество газовой среды, необходимое для корректной работы пневматического оборудования и инструментов. Автоматизированные системы управления контролируют давление, температуру и другие параметры, обеспечивая стабильность и безопасность работы станции.

Внедрение высоковольтных электродвигателей на насосной и компрессорной станциях обусловлено их высокой энергоэффективностью, возможностью передачи большой мощности и снижением эксплуатационных расходов. При этом использование современного силового оборудования и систем автоматизации повышает общую производительность деревообрабатывающего предприятия, обеспечивает устойчивую и надёжную работу технологических процессов, а также способствует снижению энергозатрат и повышению экологической безопасности производства.

Синергия всех производственных цехов и участков, оснащённых передовым оборудованием и интегрированных в единую систему управления,

обеспечивает высокую производительность и конкурентоспособность деревообрабатывающего предприятия.

Применение инновационных технологий и автоматизация процессов способствуют повышению качества продукции, оптимизации производственных затрат и устойчивому развитию в соответствии с современными стандартами промышленности безопасности.

Таким образом, комплексное взаимодействие всех десяти производственных участков обеспечивает высокую производительность деревообрабатывающего предприятия, снижает энергозатраты и повышает конкурентоспособность на рынке.

Применение передовых технологий и оборудования соответствует современным требованиям в области энергетики и промышленности, способствует устойчивому развитию и экологической безопасности производства. Исходные технические данные проектных нагрузок нового деревообрабатывающего предприятия представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные технические данные проектных нагрузок нового деревообрабатывающего предприятия

Наименование цеха	Номер по плану	n, шт	P _н , кВт
Лесопильный цех	1	280	4500
Цех приёмки и сортировки древесины	2	300	3000
Цех производства ламинированных напольных покрытий и деревянной мебели	3	120	1200
Насосная станция (0,4 кВ)	4	50	3000
Насосная станция (СД 10 кВ)		2	5000
Цех сушки древесины (0,4 кВ)	5	40	700
Цех сушки древесины (электропечи 10 кВ)		2	2200
Цех производства фанеры, шпона, древесно-стружечных и древесноволокнистых плит	6	150	1500
Цех строгания и профилирования	7	80	200
Компрессорная станция (СД 10 кВ)	8	2	2880
Отдел упаковки и отгрузки продукции	9	10	200
Цех отделки и нанесения покрытий	10	30	390
Всего по деревообрабатывающему предприятию	-	-	24770

На основании исходных данных, далее в работе проводится решение поставленных задач.

1.2 Требования к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий

Требования к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий охватывают аспекты надёжности, экономичности, безопасности и резервирования.

Обеспечение бесперебойной и эффективной работы технологических процессов напрямую зависит от устойчивости и адекватности электрической инфраструктуры.

Надёжность является ключевым фактором, поскольку перерывы в электроснабжении могут приводить к существенным финансовым потерям, повреждению оборудования и угрозам безопасности.

Экономичность подразумевает оптимизацию затрат на установку, эксплуатацию и обслуживание системы электроснабжения.

Безопасность ориентирована на защиту персонала и оборудования от электрических опасностей.

Резервирование внедряется для поддержания непрерывности электроснабжения в случае отказов компонентов или внешних воздействий.

Потребители разделяются на категории надёжности в зависимости от критичности непрерывности их электроснабжения. Данные категории определяют уровень резервирования и защитных мер, которые необходимо интегрировать в систему. К первой категории (включая особую группу потребителей) относятся потребители, при отключении которых могут возникнуть катастрофические последствия, такие как взрывы, пожары или экологические катастрофы. Вторая категория включает потребителей, где перерывы приводят к значительным финансовым потерям или нарушению технологических процессов. Третья категория охватывает потребителей, для которых перерывы менее критичны, но всё же нежелательны [9], [12].

Принципы обеспечения надёжности электроснабжения потребителей указанных категорий надёжности показаны на рисунке 1.

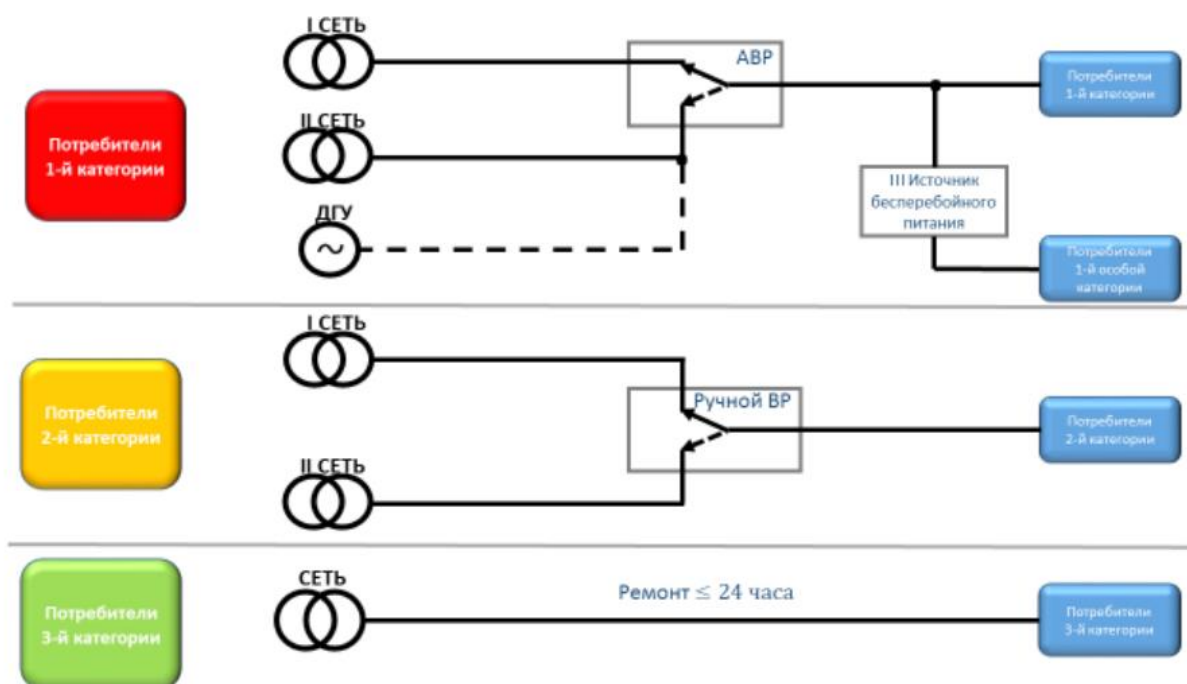


Рисунок 1 – Принципы обеспечения надёжности электроснабжения потребителей в зависимости от их категорий надёжности

В различных промышленных контекстах применяются схемы электроснабжения, включая радиальные, магистральные и смешанные конфигурации, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки [12].

Радиальная схема электроснабжения предполагает индивидуальное подключение каждого потребителя или группы потребителей к источнику питания по отдельным линиям.

Преимуществами данной схемы являются простота проектирования и эксплуатации, а также лёгкость локализации повреждений. При возникновении неисправности в одной линии влияние на остальные минимально.

Радиальные схемы с резервированием применяются для обеспечения электроснабжения наиболее ответственных потребителей.

Примеры радиальных схем электрической сети предприятия представлен на рисунке 2.

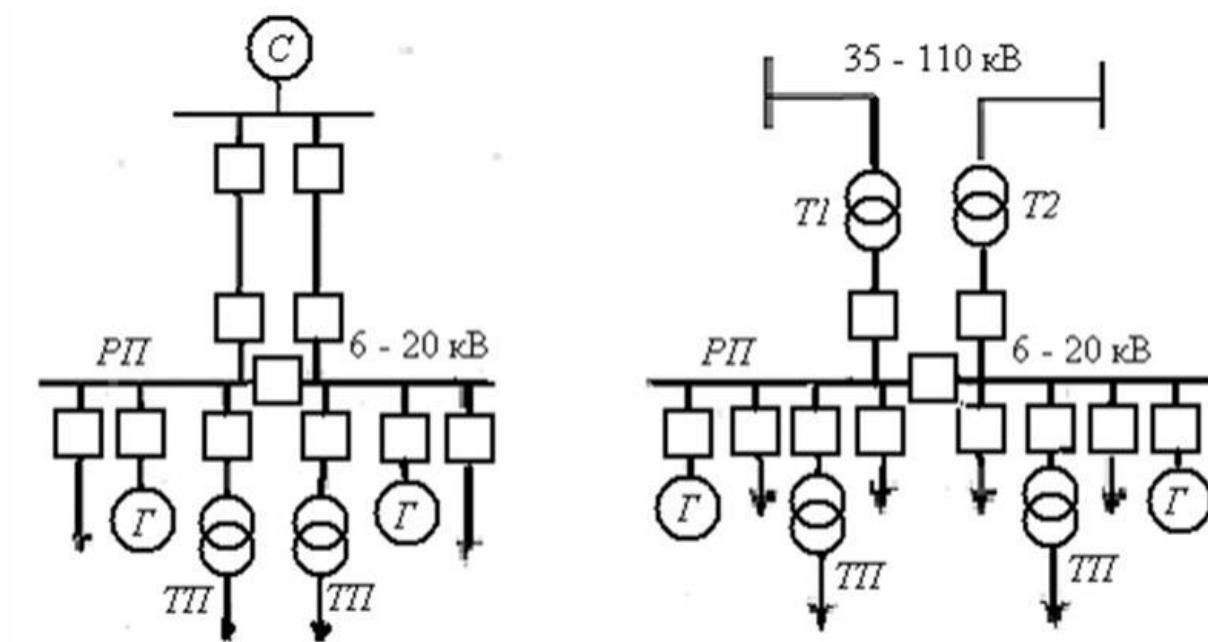


Рисунок 2 – Примеры радиальных схем электрической сети предприятия

Магистральная схема электроснабжения использует главный питающий фидер или шину, от которой отходят ответвления к различным потребителям. Данная конфигурация позволяет эффективно распределять электроэнергию на большие расстояния и сокращать количество необходимых кабелей.

Магистральная схема облегчает централизованное управление и является более экономичной при обеспечении электроснабжения потребителей.

Однако неисправность в одном из фидеров магистрали (особенно, вблизи источника питания) может привести к отключению всех подключённых потребителей, что представляет значительный риск для надёжности. Внедрение защитных устройств и секционирующих элементов может снизить этот риск, но значительно усложняет систему электроснабжения.

Поэтому для ответственных потребителей 1 и 2 категорий надёжности применяются только «сквозные» магистрали с обязательным резервированием и двухсторонним питанием.

Примеры магистральных схем электрической сети предприятия представлены на рисунке 3.

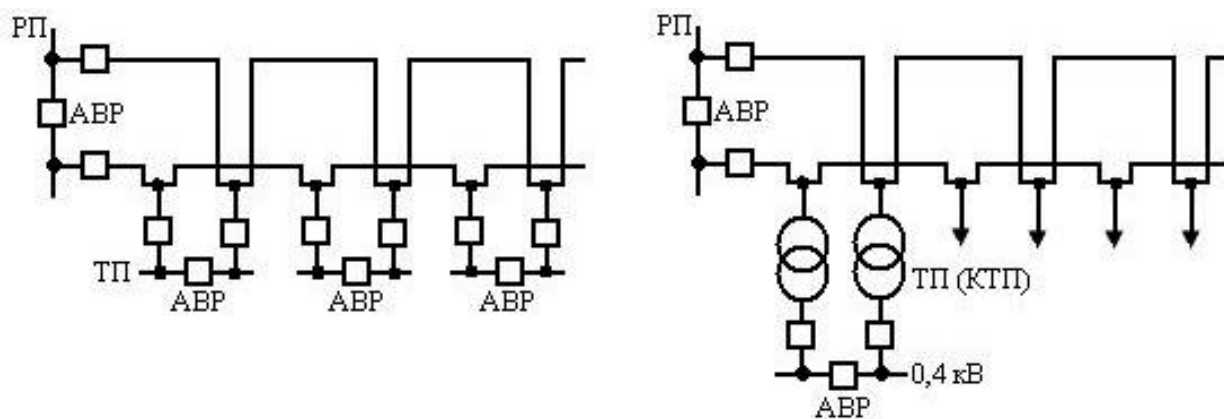


Рисунок 3 – Примеры магистральных схем электрической сети предприятия

Смешанная схема систем электроснабжения сочетает элементы радиальной и магистральной конфигураций, стремясь сбалансировать надёжность и экономичность. В такой схеме потребители снабжаются через комбинацию радиальных линий и магистралей, часто с использованием кольцевых сетей.

Смешанная схема повышает надёжность за счёт резервирования, позволяя перенаправлять питание в случае повреждений.

Данная конфигурация подходит для потребителей первой и второй категорий надёжности, где непрерывность электроснабжения имеет решающее значение.

Однако зачастую сложность смешанной схемы требует тщательного планирования и координации защитных устройств, что может увеличить затраты на проектирование и эксплуатацию.

Установлено, что при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий должны учитываться специфические требования предприятия, включая критичность непрерывности электроснабжения, экономические ограничения и стандарты безопасности.

Выбор схемы электроснабжения должен соответствовать категории надёжности потребителей.

Также схема должна иметь необходимый и достаточный уровень резервирования, секционирования и иметь селективную защиты и быстродействующую автоматику [12].

Выводы по разделу.

В результате проведения анализа исходных технических данных на выполнение работы установлено, что на новом деревообрабатывающем предприятии большой установленной мощности, будет разработана комплексная система электроснабжения, включающая десять ключевых производственных участков, каждый из которых выполняет специфические функции и оснащён соответствующим оборудованием, обеспечивающим надёжное и эффективное энергоснабжение технологических процессов.

Определено, что перечень данных производственных участков включает следующие объекты: лесопильный цех, цех приёмки и сортировки древесины, цех производства ламинированных напольных покрытий и деревянной мебели, цех отгрузки продукции, цех отделки и нанесения покрытий, а также прочие аналогичные производственные объекты.

Установлено, что выбор схемы электроснабжения должен соответствовать категории надёжности потребителей и должен осуществляться с учётом требований критичности и непрерывности электроснабжения, экономических ограничений и стандартов безопасности.

Также схема должна иметь необходимый и достаточный уровень резервирования, секционирования и иметь селективную защиты и быстродействующую автоматику.

2 Выбор схемы электроснабжения

Построение системы электроснабжения крупного деревообрабатывающего предприятия требует тщательного обоснования выбора схемы и оборудования, обеспечивающих надёжность, эффективность и соответствие технологическим потребностям.

Так как большинство потребителей цехов проектируемой системе электроснабжения деревообрабатывающего предприятия относится к 1 и 3 категориям надёжности, в схеме электроснабжения объекта необходимо применять два независимых ввода на всех участках схемы [12].

Исходя из этого, в системе электроснабжения деревообрабатывающего предприятия приняты следующие основные электротехнические устройства:

- главная понизительная подстанция (ГПП) – принимается с наличием двух источников питания и двумя силовыми трансформаторами, мощность которых выбирается в работе далее. На ГПП принимается низший класс напряжения 10 кВ. Высший класс напряжения питающей ГПП будет выбран в работе далее по формуле Стилла;
- «цеховые распределительные трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ (ЦРТП-10/0,4 кВ) – также принимаются двухтрансформаторными, с высшим напряжением 10 кВ (питание – от шин 10 кВ ГПП) и низшим напряжением 0,4 кВ;
- силовые вводные шкафы потребителей – получают питание от шин РУ-0,4 кВ распределительных ЦТП-10/0,4 кВ, от них получают непосредственное питание потребители цехов на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ» [4] (в работе не рассматриваются).

«Рациональное напряжение внешней питающей системы нового деревообрабатывающего предприятия по формуле Стилла, кВ» [4]:

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

где L – «длина линии, км;

P – передаваемая мощность, кВт, принимается равной проектной активной нагрузке предприятия (таблица 1)» [4].

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{0,38 + 0,016 \cdot 10335} = 55,87 \text{ кВ}.$$

«Принимается в качестве питающего класса напряжения на ГПП ближайший номинальный класс напряжения – 35 кВ» [4].

Далее проводится обоснование принятых схемных решений. Применение главной понизительной подстанции напряжением 35/10 кВ обусловлено необходимостью преобразования электроэнергии высокого напряжения, поступающей от внешних энергосистем, до уровня, пригодного для внутреннего распределения по предприятию. Трансформация напряжения с 35 кВ до 10 кВ на питающей ГПП-35/10 кВ позволяет обеспечить потребители нужной проектной мощностью, а также оптимизировать передачу электроэнергии внутри предприятия, снижая потери и обеспечивая стабильность параметров электроснабжения.

Использование цеховых распределительных подстанций напряжением 10/0,4 кВ способствует дальнейшему понижению напряжения до уровня 0,4 кВ, необходимого для питания большинства технологического оборудования и бытовых потребителей.

Размещение таких подстанций в непосредственной близости от потребителей позволяет сократить протяжённость низковольтных распределительных сетей, что снижает энергетические потери и затраты, а также упрощает эксплуатацию и техническое обслуживание сетей, повышая общую надёжность системы электроснабжения.

В работе все «цеховые распределительные трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ (ЦРТП-10/0,4 кВ) выполняются с использованием двух силовых трансформаторов, получающих питание от разных секций сборных шин 10 кВ РУ-10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ. Таким образом, будет» [4] обеспечено резервирование потребителей согласно их категории надёжности.

Питание высоковольтных электродвигателей насосной станции и котельной, а также высоковольтных электропечей цеха сушки древесины, по радиальной схеме непосредственно от шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ, является технически обоснованным решением. Данные высоковольтные потребители характеризуются значительной мощностью и специфическими требованиями к качеству электроснабжения. Подключение их напрямую к шинам 10 кВ позволяет обеспечить стабильное напряжение и минимизировать потери при передаче электроэнергии. Отсутствие дополнительных ступеней трансформации снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций и упрощает схемы релейной защиты и автоматики.

Высоковольтные электродвигатели насосной станции играют ключевую роль в обеспечении водоснабжения и поддержания гидравлических систем предприятия. Питание от сети 10 кВ позволяет использовать электродвигатели с более высокой эффективностью и меньшими токами, что снижает нагрузку на сеть и уменьшает требования к сечению проводников.

Аналогично, электродвигатели компрессорной, ответственные за работу систем подачи сжатого воздуха, требуют надёжного и мощного источника питания для обеспечения стабильной работы технологических процессов.

Высоковольтные электропечи цеха сушки древесины являются энергоёмким оборудованием, требующим значительных мощностей и стабильности параметров электроснабжения. Передача электроэнергии напрямую от шин 10 кВ позволяет обеспечить необходимые режимы работы печей, повышая качество сушки и производительность цеха. Указанный аспект особенно важен для предотвращения дефектов продукции и оптимизации технологических процессов.

Кроме того, применение радиальной схемы питания высоковольтного оборудования от шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ предприятия способствует рациональному распределению нагрузок по уровням напряжения, что повышает общую энергоэффективность системы. Данные решения позволяют разгрузить низковольтные сети 0,38/0,22 кВ цехового электроснабжения и

избежать перегрузок, а также упрощает структуру сети и снижает затраты на оборудование и материалы.

Кроме того, такая конфигурация обеспечивает гибкость системы электроснабжения, позволяя легко масштабировать мощности и подключать новых потребителей без существенных изменений в существующей инфраструктуре, что является важным условием для предприятий с перспективой роста и расширения производственных мощностей.

В виду требований по надёжности и безопасности, применение «главной понизительной подстанции 35/10 кВ и цеховых подстанций 10/0,4 кВ обеспечивает высокий уровень резервирования и возможность оперативного реагирования на нештатные ситуации. В такой схеме система релейной защиты и автоматики работают» 4] более эффективно (по сравнению с магистральной схемой), обеспечивая селективное отключение повреждённых участков без воздействия на работу критически важных потребителей, а также автоматическое включение резервного источника питания системой АВР (автоматического включения резерва).

«Для РУ-35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ предприятия выбрана схема 4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий». Для РУ 10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ предприятия принята схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин»» [3].

Таким образом, выбранная схема электроснабжения отвечает требованиям крупного деревообрабатывающего предприятия по надёжности, эффективности и экономичности.

Такая схема обеспечивает оптимальные условия для работы высоковольтного оборудования, снижает эксплуатационные расходы и повышает общую производительность предприятия, способствуя его конкурентоспособности и устойчивому развитию.

Схема системы электроснабжения предприятия, после выбора всех её составляющих (трансформаторов, проводников и аппаратов), представлена на графическом листе 2.

Выводы по разделу.

В системе электроснабжения деревообрабатывающего предприятия приняты следующие основные электротехнические устройства:

- главная понизительная подстанция (ГПП-35/10 кВ) – принимается с наличием двух источников питания и двумя силовыми трансформаторами;
- цеховые распределительные трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ (ЦРТП-10/0,4 кВ) – также принимаются двухтрансформаторными, с высшим напряжением 10 кВ (питание – от шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ) и низшим напряжением 0,4 кВ;
- силовые вводные шкафы потребителей – получают питание от шин РУ-0,4 кВ распределительных ЦТП-10/0,4 кВ, от них получают непосредственное питание потребители цехов на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ (в работе не рассматриваются).

Установлено, что питание высоковольтных электродвигателей насосной станции и котельной, а также высоковольтных электропечей цеха сушки древесины, по радиальной схеме непосредственно от шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ, является технически обоснованным решением. Данные высоковольтные потребители характеризуются значительной мощностью и специфическими требованиями к качеству электроснабжения. Подключение их напрямую к шинам 10 кВ позволяет обеспечить стабильное напряжение и минимизировать потери при передаче электроэнергии. Отсутствие дополнительных ступеней трансформации снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций и упрощает схемы релейной защиты и автоматики.

Для РУ-35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ предприятия выбрана схема 4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий», а для РУ-10 кВ – схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин».

3 Расчёт электрических нагрузок

3.1 Расчёт электрических нагрузок освещения

Первостепенное значение расчёта электрических нагрузок заключается в обеспечении соответствия параметров системы электроснабжения реальным потребностям предприятия.

Точный расчёт позволяет определить оптимальные значения номинальных токов, напряжений и мощностей, что способствует правильному выбору трансформаторов, сечений проводников и коммутационного оборудования.

Данный аспект обеспечивает стабильное функционирование оборудования без перегрузок и снижает риск аварийных ситуаций, связанных с короткими замыканиями или перегревом элементов сети.

Осветительная нагрузка играет ключевую роль в создании комфортных и безопасных условий труда.

Правильное освещение производственных помещений повышает производительность труда, снижает вероятность производственного травматизма и улучшает общее самочувствие работников.

Расчёт осветительной нагрузки позволяет определить необходимое количество и мощность световых приборов, обеспечить равномерность освещения и соответствие санитарным нормам и требованиям техники безопасности.

«Расчётная активная нагрузка освещения цеха, кВт» [8]:

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

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» [8].

«Значение суммарной номинальной мощности освещения цеха определяется с учётом удельной мощности освещения и площади цехов, которые подлежат искусственному освещению» [8]:

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

где $P_{уд.о}$ – «удельная мощность осветительных приемников на 1 м^2 освещаемой площади цеха, кВт/ м^2 ;

$F_{ц}$ – площадь пола цеха по генплану, м^2 » [8].

«В работе применяются современные светодиодные источники освещения.

Реактивная нагрузка светодиодных источников света» [8]:

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

где $\operatorname{tg} \varphi_o$ – «коэффициент реактивной мощности электроприемников освещения (для светодиодных ламп – 0,43)» [8].

«Расчет нагрузки освещения для лесопильного цеха» [14]:

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

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

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

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

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

Расчет нагрузок освещения нового деревообрабатывающего предприятия сведён в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта нагрузок освещения нового деревообрабатывающего предприятия

Наименование цеха	$F_{ц}, \text{м}^2$	$P_{уд.о}, \text{Вт/м}^2$	$P_{ном.о}, \text{кВт}$	$P_{р.о}, \text{кВт}$	$Q_{р.о}, \text{квар}$
Лесопильный цех	5000	15	75,0	74,8	32,3
Цех приёмки и сортировки древесины	7500	15	112,5	112,2	48,2
Цех производства ламинированных напольных покрытий и деревянной мебели	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
Цех производства фанеры, шпона, древесно-стружечных и древесноволокнистых плит	12000	15	180,0	179,6	77,2
Цех строгания и профилирования	4000	10	40,0	39,9	17,2
Компрессорная станция	12000	12	144,0	143,6	61,7
Отдел упаковки и отгрузки продукции	5000	14	70,0	69,8	30,0
Цех отделки и нанесения покрытий	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 расчета нагрузок освещения нового деревообрабатывающего предприятия используются при определении суммарной нагрузки цехов и предприятия в целом.

3.2 Расчёт силовых электрических нагрузок

Силовая нагрузка, связанная с работой производственного оборудования, требует особого внимания из-за высокой потребляемой мощности и специфики технологических процессов.

Деревообрабатывающие станки, сушильные камеры, насосные и компрессорные станции предъявляют повышенные требования к качеству и надёжности электроснабжения.

Недостаточный учёт силовых нагрузок может привести к перегрузкам сети, частым отключениям и выходу из строя дорогостоящего оборудования, что повлечёт за собой значительные финансовые потери и простои в производстве.

Точный расчёт электрических силовых нагрузок способствует оптимизации затрат на строительство и эксплуатацию системы электроснабжения.

«Активная нагрузка объектов, кВт» [5]:

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

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

K_c – значение коэффициента спроса» [5].

«Реактивная нагрузка, квар» [5]:

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

«Полная нагрузка, кВА» [5]:

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

«На примере лесопильного цеха» [5]:

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

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

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

Аналогичные расчёты проведены для остальных подразделений системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия.

Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта силовых электрических нагрузок системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия

Наименование цеха	$P_{ном},$ кВт	K_c	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А
Лесопильный цех	4500	0,3	0,7	1,02	1350	1377	1928,4	106,0
Цех приёмки и сортировки древесины	3000	0,3	0,7	1,02	900	918	1285,6	70,7
Цех производства ламинированных напольных покрытий и деревянной мебели	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
Цех сушки древесины (0,4 кВ)	700	0,4	0,8	0,75	280	210	350,0	19,2
Цех сушки древесины (электропечи 10 кВ)	2200	0,4	0,8	0,75	880	660	1100,0	60,4
Цех производства фанеры, шпона, древесно-стружечных и древесноволокнистых плит	1500	0,5	0,7	1,02	750	765	1071,4	58,9
Цех строгания и профилирования	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
Отдел упаковки и отгрузки продукции	200	0,3	0,7	1,02	60,0	61,2	85,7	4,7
Цех отделки и нанесения покрытий	390	-	-	-	296,5	214,5	366,0	563,0
Всего силовой нагрузки предприятия	24770	-	-	-	9348,5	1598,7	12629,5	693,9

Результаты расчета силовых нагрузок нового деревообрабатывающего предприятия используются при определении суммарной нагрузки цехов и предприятия в целом.

3.3 Расчёт суммарных электрических нагрузок

При расчёте суммарных нагрузок учитываются полученные ранее результаты расчета нагрузок освещения и силовых нагрузок нового деревообрабатывающего предприятия.

Баланс между экономичностью и надёжностью достигается посредством детального анализа и расчёта реальных потребностей предприятия.

По полученным данным суммарных электрических нагрузок выбираются рациональные сечения проводников, электрические аппараты, а также «мощности силовых трансформаторов на РЦТП-10/0,4 кВ и питающей ГПП-35/10 кВ предприятия.

Кроме того, расчёт суммарных нагрузок является основой для разработки системы релейной защиты и автоматики» [4], которая обеспечивает безопасную эксплуатацию электрических сетей.

Знание точных значений максимальных нагрузок объектов позволяет правильно настроить защитные устройства, обеспечивая своевременное отключение повреждённых участков и предотвращая распространение аварийных режимов.

Энергетическая эффективность предприятия также зависит от точности расчёта суммарных электрических нагрузок. Оптимизация режимов работы оборудования, внедрение энергосберегающих технологий и рациональное использование электроэнергии позволяют снизить эксплуатационные расходы.

Таким образом, расчёт суммарных электрических нагрузок обеспечивает надёжность и безопасность работы оборудования, экономическую эффективность проекта, соответствие нормативным требованиям и способствует устойчивому развитию предприятия в долгосрочной перспективе.

Расчёт проводится по методике [5].

«Полная расчетная нагрузка цехов и предприятия определяется суммой осветительной и силовой нагрузки, рассчитанной в работе ранее, кВА» [5]:

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

«Расчётная суммарная активная и реактивная нагрузка питающей ГПП-35/10 кВ» [5]:

$$P_{p.ГПП} = \left(\sum P_{p.n} + \sum P_{p.в} \right) K_{pm} + \sum P_{p.o} + \sum \Delta P_{mц}, \text{ кВт}, \quad (9)$$

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

где K_{pm} – «коэффициент разновременности максимумов нагрузки» [13].

«Полная суммарная нагрузка питающей ГПП-35/10 кВ» [5]:

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

«Входная реактивная мощность, которая отводится предприятию» [5]:

$$Q_{\text{в1}} = \operatorname{tg} \varphi_{\text{в1}} P_{p.ГПП}, \text{ квар}, \quad (12)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{\text{в1}}$ – «экономически целесообразный коэффициент реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП-35/10 кВ» [5].

«На данном этапе трансформаторы ГПП еще не выбраны, поэтому потери мощности в них приближенно определяются по формулам» [5]:

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

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

«Тогда полная расчетная мощность на шинах 35 кВ ГПП-35/10 кВ» [5]:

$$S_{p.n} = \sqrt{P_{p.n}^2 + Q_{p.n}^2} = \sqrt{\left(P_{p.ГПП} + \Delta P_{m.ГПП} \right)^2 + \left(Q_{p.ГПП} + \Delta Q_{m.ГПП} \right)^2}, \text{ кВА}. \quad (15)$$

«Производится расчет суммарной нагрузки лесопильного цеха.

Полная суммарная расчетная нагрузка» [5]:

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

«Предварительные потери в цеховых трансформаторах» [5]:

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

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

«Суммарные расчётные нагрузки ГПП-35/10 кВ без учета КРМ» [5]:

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

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

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

«Суммарные расчётные нагрузки ГПП-35/10 кВ с учетом КРМ» [5]:

$$Q_{\text{я1}} = 0,328 \cdot 14148 = 4640,7 \text{ квар},$$

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

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

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

«Полная суммарная нагрузка на шинах 35 кВ ГПП-35/10 кВ» [5]:

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

Результаты расчётов суммарных нагрузок приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчётов суммарных нагрузок системы электроснабжения нового деревообрабатывающего 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	ΔР _т , кВт	ΔQ _т , квар
Лесопильный цех	1350	74,8	1377	32,3	1424,8	1409,3	2004,0	40,1	200,4
Цех приёмки и сортировки древесины	900	112,2	918	48,2	1012,2	966,2	1399,3	28,0	139,9
Цех производства ламинированных напольных покрытий и деревянной мебели	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
Цех сушки древесины (0,4 кВ)	280	112,2	210	48,2	392,2	258,2	469,6	9,4	47,0
Цех сушки древесины (электропечи 10 кВ)	880	-	660	-	880	660	1100,0	22,0	110,0
Цех производства фанеры, шпона, древесно-стружечных и древесноволокнистых плит	750	179,6	765	77,2	929,6	842,2	1254,4	25,1	125,4
Цех строгания и профилирования	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
Отдел упаковки и отгрузки продукции	60,0	69,8	61,2	30,0	129,8	91,2	158,6	3,1	15,9
Цех отделки и нанесения покрытий	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	-	-

Результаты расчёта являются основой для выбора оборудования.

Выводы по разделу.

Определены нагрузки системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия. По полученным результатам расчёта суммарных электрических нагрузок выбираются рациональные сечения проводников, электрические аппараты и силовые трансформаторы.

4 Выбор и проверка силовых трансформаторов подстанций предприятия

4.1 Выбор трансформаторов главной понизительной подстанции

Актуальность и важность данного вопроса связана с тем, что трансформаторы играют решающую роль в преобразовании и распределении электроэнергии между высоковольтными и низковольтными сетями, что напрямую влияет на надёжность и эффективность работы энергетической системы предприятия.

Правильный выбор трансформаторов обусловлен высокими требованиями деревообрабатывающей промышленности к стабильному и бесперебойному электроснабжению.

Технологические процессы на предприятии требуют надёжного и качественного снабжения электроэнергией, устойчивой к перегрузкам и аварийным ситуациям.

Поэтому выбранные силовые трансформаторы должны соответствовать техническим характеристикам, включая номинальную мощность, класс изоляции, низкий уровень потерь, а также быть устойчивыми к перегрузкам и коротким замыканиям.

Особое внимание уделяется адаптации оборудования к климатическим условиям региона.

При выборе трансформаторов необходимо учитывать экологические и климатические особенности района, что требует применения оборудования, рассчитанного на работу в сложных погодных условиях с соответствующей защитой от внешних воздействий.

Кроме того, важно предусмотреть перспективы развития предприятия, так как в будущем возможно увеличение нагрузок.

Выбор трансформаторов с определённым запасом мощности позволяет избежать необходимости замены оборудования при возрастании

энергопотребления, что способствует экономической целесообразности проекта в долгосрочной перспективе.

Таким образом, выбор и проверка трансформаторов для ГПП-110/10 кВ нового деревообрабатывающего предприятия являются стратегически важными этапами, от которых зависят надёжность, безопасность и эффективность всей системы электроснабжения.

Грамотное решение этой задачи позволяет обеспечить бесперебойную работу энергетической инфраструктуры, минимизировать риски аварий и успешно эксплуатировать оборудование в соответствии с высокими стандартами деревообрабатывающей отрасли.

«Расчётная мощность силового трансформатора для установки на ГПП-35/10 кВ деревообрабатывающего предприятия» [4]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{м.гпп}}{N \cdot K_3}, \quad (16)$$

где « $S_{м.гпп}$ – полная расчетная нагрузка питающей ГПП-35/10 кВ деревообрабатывающего предприятия» [4].

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

«Для установки на питающей ГПП-35/10 кВ деревообрабатывающего предприятия выбираются два силовых трансформатора типа ТМН-10000/35. Проверка номинальной мощности трансформаторов на соответствие расчётной нагрузке ГПП-35/10 кВ деревообрабатывающего предприятия выполняется» [4]:

$$S_{ном.т} \geq S_{м.гпп}, \text{ МВА}, \quad (17)$$
$$S_{ном.т} = 10000 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р} = 9348,5 \text{ кВА}.$$

Далее проводится проверка выбранных трансформаторов.

Известно, что важность проверки выбранных трансформаторов заключается в обеспечении соответствия оборудования нормативным требованиям и стандартам безопасности.

Проверка позволяет убедиться в том, что технические параметры трансформаторов соответствуют расчётным нагрузкам и условиям эксплуатации, что предотвращает возможные риски отказов и аварийных ситуаций.

Кроме того, проверка обеспечивает оптимизацию затрат на эксплуатацию за счёт выбора оборудования с наилучшим соотношением цены и качества, а также снижает эксплуатационные расходы благодаря повышенной энергоэффективности и надёжности.

Критически важным аспектом является обеспечение надёжности электроснабжения потребителей первой и второй категории, к которым относятся основные технологические объекты предприятия.

Отказ одного трансформатора на ГПП-35/10 кВ деревообрабатывающего предприятия может привести к остановке производственных процессов, что повлечёт значительные экономические потери и возможные экологические последствия. Поэтому трансформаторы должны обладать высокой надёжностью, а система должна предусматривать возможность резервирования и быстрого восстановления электроснабжения.

«Условия проверки трансформаторов на перегрузочную способность выполняются» [4]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{м.знп}}{S_{ном.т}} \leq 0,7, \quad (18)$$

$$K_{з.н} = \frac{S_{м.знп}}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (19)$$

«Проверка в нормальном режиме выполняется» [4]:

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

«Проверка в послеаварийном режиме также выполняется» [4]:

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

«Таким образом, трансформаторы марки ТМН-10000/35 полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к их системе охлаждения по нагрузочной способности, что подтверждает их пригодность для установки на питающей ГПП-35/10 кВ» [4] нового деревообрабатывающего предприятия.

4.2 Выбор конструктивного исполнения главной понизительной подстанции

«В качестве ГПП-35/10 кВ выбирается комплектная трансформаторная подстанция (далее – КТП) типа КТП «ELM» 35/10 (6) производства российской компании АО «Электронмаш»» [7], представленная на рисунке 4.



Рисунок 4 – «КТП «ELM» 35/10 (6) АО «Электронмаш»» [7]

«Применение комплектной трансформаторной подстанции типа КТП «ELM» 35/10(6) производства российской компании АО «Электронмаш» [7]» в качестве главной понижающей подстанции (ГПП) напряжением 35/10 кВ для нового деревообрабатывающего предприятия является обоснованным решением, учитывающим ряд технических, экономических и эксплуатационных факторов.

Во-первых, КТП «ELM» 35/10(6) обладает высокой степенью заводской готовности, что существенно сокращает сроки монтажа и ввода в эксплуатацию энергетического объекта. Комплектная поставка подстанции, включающая все необходимые компоненты, обеспечивает минимизацию рисков, связанных с несовместимостью оборудования различных производителей и ошибок при монтаже. В условиях сжатых сроков строительства и необходимости быстрого запуска производственных мощностей предприятия данный фактор приобретает особую важность.

Во-вторых, технические характеристики подстанции соответствуют требованиям деревообрабатывающего предприятия большой мощности. Подстанция оснащена современными силовыми трансформаторами с высоким коэффициентом полезного действия, что способствует снижению потерь электроэнергии при преобразовании напряжения с 35 кВ до 10 кВ, что повышает общую энергоэффективность системы электроснабжения и снижает эксплуатационные расходы предприятия. Кроме того, оборудование рассчитано на работу в условиях высоких нагрузок, что обеспечивает стабильное электроснабжение мощных электроприводов и технологического оборудования предприятия.

Особое внимание уделено системам релейной защиты и автоматики, интегрированным в КТП «ELM» 35/10(6). Применение современных микропроцессорных устройств позволяет обеспечить высокий уровень надёжности и безопасности работы энергетической инфраструктуры. Быстродействующие и точные системы защиты минимизируют риски аварийных ситуаций, предотвращая повреждение оборудования и перерывы в

технологических процессах, что критически важно для непрерывности производства в деревообрабатывающей промышленности.

Компактность и модульность конструкции подстанции позволяют оптимально использовать территорию предприятия. Возможность размещения оборудования на ограниченной площади является существенным преимуществом в условиях плотной застройки производственных объектов. Модульный принцип построения подстанции облегчает последующую модернизацию или расширение энергетической системы без существенных затрат и простоев в работе предприятия.

Производство подстанции компанией АО «Электронмаш», имеющей значительный опыт в разработке и изготовлении энергетического оборудования, гарантирует высокое качество продукции и соответствие отечественным и международным стандартам. Использование оборудования российского производства облегчает процессы сервисного обслуживания, технической поддержки и поставки запасных частей, что снижает эксплуатационные затраты и обеспечивает оперативное решение технических вопросов.

Устойчивость подстанции к климатическим и экологическим условиям региона эксплуатации является ещё одним важным фактором. Конструкция КТП «ELM» 35/10(6) предусматривает защиту от внешних воздействий, включая температурные перепады, повышенную влажность, пыль и агрессивные среды. Применение материалов и технологий, устойчивых к коррозии и механическим повреждениям, обеспечивает длительный срок службы оборудования и стабильность его работы в различных погодных условиях.

Экономическая эффективность использования данной подстанции проявляется в оптимальном соотношении стоимости и функциональности. Сокращение сроков строительства, снижение затрат на монтаж и пусконаладочные работы, а также уменьшение эксплуатационных расходов благодаря высокой энергоэффективности оборудования делают выбор КТП

«ELM» 35/10(6) рациональным с точки зрения инвестиций в энергетическую инфраструктуру предприятия.

Кроме того, применение современных технологий позволяет снизить потери электроэнергии и повысить общую производительность предприятия.

Соответствие подстанции современным требованиям экологической безопасности и энергоэффективности способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду. Использование экологически чистых материалов и технологий, а также наличие систем мониторинга и управления энергетическими потоками позволяют предприятию соответствовать высоким стандартам устойчивого развития и экологической ответственности.

Таким образом, применение «комплектной трансформаторной подстанции типа КТП «ELM» 35/10(6) производства АО «Электронмаш» в качестве ГПП-35/10 кВ» [7] нового деревообрабатывающего предприятия обосновано с точки зрения технических, экономических и эксплуатационных преимуществ.

Данный выбор способствует повышению надёжности и эффективности системы электроснабжения, снижению эксплуатационных затрат и обеспечивает условия для успешной и устойчивой работы предприятия в долгосрочной перспективе.

4.3 Выбор и проверка трансформаторов распределительных цеховых трансформаторных подстанций

Трансформаторы распределительной сети 10/0,4 кВ служат ключевым звеном в цепи преобразования напряжения, позволяя передавать электроэнергию от высоковольтных сетей к низковольтным потребителям с минимальными потерями и высоким уровнем безопасности.

Необходимость правильного выбора трансформаторов на распределительных подстанциях 10/0,4 кВ неразрывно связана с особенностями эксплуатационных условий деревообрабатывающего

предприятия, где предъявляются повышенные требования к надёжности оборудования из-за критической важности непрерывности технологических процессов.

Неправильный выбор трансформаторов может привести к перегрузкам, повышенному износу, снижению коэффициента полезного действия и, в конечном итоге, к аварийным ситуациям, способным вызвать значительные экономические потери и угрозу экологической безопасности.

Также следует учитывать перспективы развития производства и возможное увеличение нагрузок в будущем.

Выбор трансформаторов с запасом по мощности обеспечивает возможность расширения производственных мощностей без необходимости замены оборудования, что способствует экономической эффективности проекта в долгосрочной перспективе.

Таким образом, выбор и проверка трансформаторов распределительных подстанций 10/0,4 кВ являются неотъемлемой частью комплексного подхода к проектированию системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия, обеспечивая соответствие оборудования современным требованиям и стандартам, способствуют устойчивому развитию предприятия и укрепляют его позиции в отрасли.

«В работе необходимо выбрать новые распределительные цеховые ТП-10/0,4 кВ (далее – РЦТП-10/0,4 кВ) для питания рассчитанной ранее нагрузки системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия.

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

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (20)$$

где $\sum P_{\text{р.}}$ – «суммарная активная нагрузка объектов, кВт;

N – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.;

$\beta_{\text{т}}$ – нормируемое значение коэффициента активной загрузки трансформаторов подстанции» [4].

«На примере новой РЦТП-10/0,4 кВ №1» [4]:

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

«Трансформатор ближайшей стандартной мощности – ТМ-1250/10.
Проверка по условиям нормальной нагрузки выполняется» [4]:

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

«Проверка по условиям аварийной перегрузки также выполняется» [4]:

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

«Наибольшую РМ, которую целесообразно передать через трансформаторы, квар» [4]:

$$Q_{\text{max},m} = \sqrt{\left(N_{\text{опт}} \beta_{\text{норм.т}} S_{\text{ном}}\right)^2 - P_p^2}. \quad (21)$$

«Для условий новой РЦТП-10/0,4 кВ №1» [4]:

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

«Суммарная мощность конденсаторных батарей напряжением ниже 1000 В составит, квар» [4]:

$$Q_{\text{НБК}} = Q_p - Q_{\text{max},m}. \quad (22)$$

«Для условий новой РЦТП-10/0,4 кВ №1» [4]:

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

«При $Q_{НБК} < 0$ установка КУ не требуется, поэтому на новой РЦТП-10/0,4 кВ №1 КУ-0,4 кВ не устанавливаются. Аналогично проведён выбор силовых трансформаторов РЦТП-10/0,4 кВ деревообрабатывающего предприятия с учётом КРМ» [4] с приведением полученных результатов в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты выбора силовых трансформаторов РЦТП-10/0,4 кВ деревообрабатывающего предприятия с учётом КРМ

№ ТЦТП-10/0,4 кВ	№ цеха	Наименование цеха	$S_{ном.т,}$ кВА	$Q_{мах.т,}$ квар	$Q_{НБК,}$ квар	$P_{тп,}$ кВт	$Q_{тп,}$ квар	$S_{тп,}$ кВА
1	8	Компрессорная станция (0,4 кВ)	1250	1575,7	-849,3	1592,1	1166,5	1973,8
	10	Цех отделки и нанесения покрытий						
2	6	Цех производства фанеры, шпона, древесно-стружечных и древесноволокнистых плит	1600	1496,7	-489,4	1159,3	1011,8	1538,7
	7	Цех строгания и профилирования						
	9	Отдел упаковки и отгрузки продукции						
3	3	Цех производства ламинированных напольных покрытий и деревянной мебели	2500	2666,9	-873,6	2266,6	1793,3	2890
	4	Насосная станция (0,4 кВ)						
	5	Цех сушки древесины (0,4 кВ)						
4	1	Лесопильный цех	2500	2512,2	-136,7	2437,0	2375,5	3403,2
	2	Цех приёмки и сортировки древесины						

Обоснован выбор для применения в системе электроснабжения предприятия четырёх двухтрансформаторных распределительных

подстанций, на которых устанавливаются следующие силовые трансформаторы:

- «на РЦТП-1: два силовые трансформатора марки ТМ-1250/10;
- на РЦТП-2: два силовые трансформатора марки ТМ-1600/10;
- на РЦТП-3: два силовые трансформатора марки ТМ-2500/10;
- на РЦТП-4: два силовые трансформатора марки ТМ-2500/10» [10].

4.4 Выбор конструктивного исполнения главной понизительной подстанции

«В качестве распределительных цеховых ТП выбираются комплектные трансформаторные подстанции типа КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69) производства российской компании АО «Электронмаш» [6], представленная на рисунке 5.

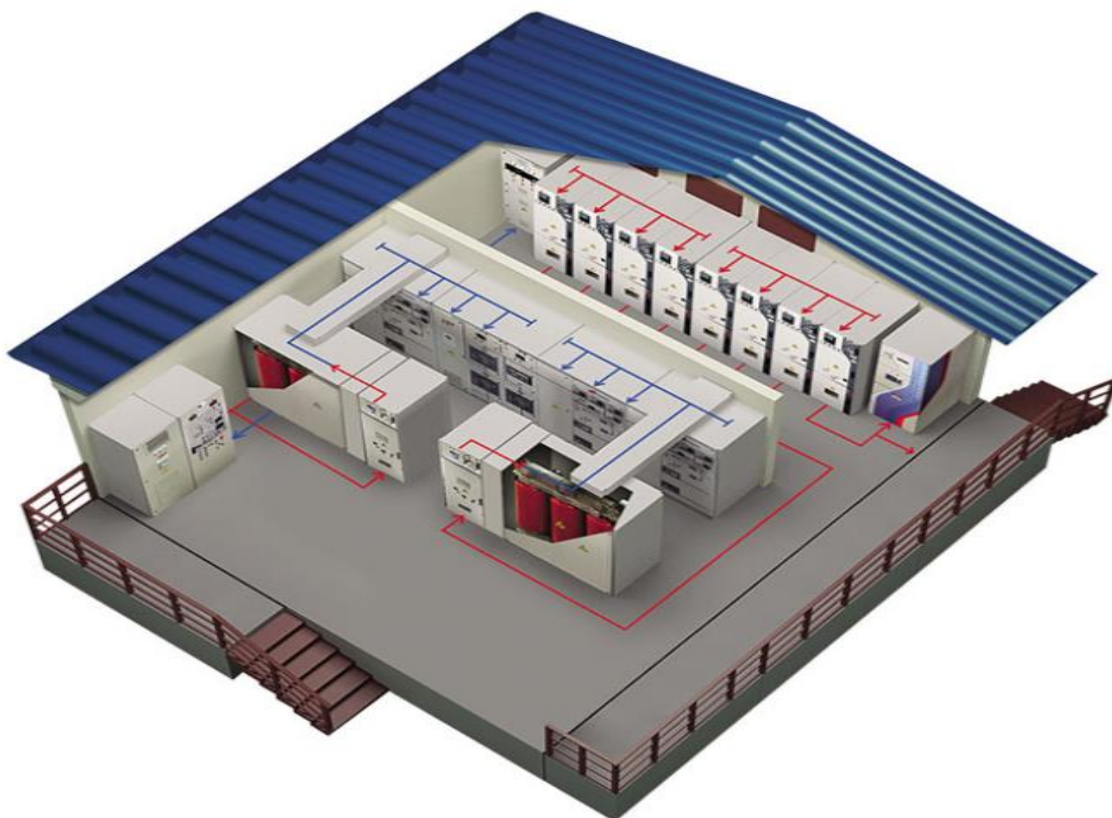


Рисунок 5 – КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69) производства российской компании АО «Электронмаш»

«Применение комплектных трансформаторных подстанций типа КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69), производимых российской компанией АО «Электронмаш», в качестве распределительных цеховых ТП-10/0,4 кВ» [6] в системе электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия, является технически и экономически обоснованным решением.

Данные подстанции обладают рядом преимуществ, способствующих повышению надёжности, эффективности и безопасности энергетической инфраструктуры предприятия.

Во-первых, КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69) характеризуются высокой степенью заводской готовности и комплектности, что значительно сокращает сроки монтажа и ввода в эксплуатацию [11]. Подстанции поставляются в полностью собранном и протестированном виде, что минимизирует риски ошибок при установке и обеспечивает быстрое интегрирование в энергетическую систему предприятия, что особенно важно в условиях сжатых сроков строительства и необходимости оперативного запуска производственных процессов.

Во-вторых, технические характеристики данных подстанций соответствуют требованиям деревообрабатывающей промышленности, где стабильность и качество электроснабжения являются критически важными.

Трансформаторы, используемые в КТП-ELM, обладают высоким коэффициентом полезного действия и низкими потерями, что способствует повышению энергоэффективности и снижению эксплуатационных затрат. Способность трансформаторов работать в условиях повышенных нагрузок обеспечивает надёжное питание всех потребителей предприятия.

Кроме того, конструкция подстанций учитывает специфические условия эксплуатации на деревообрабатывающих предприятиях, где присутствуют повышенная запылённость и влажность.

Использование современных материалов и технологий обеспечивает высокую степень защиты от внешних воздействий, включая пыле- и влагозащиту, что продлевает срок службы оборудования и снижает затраты на

техническое обслуживание. Компактность и модульность конструкции позволяют оптимально использовать производственные площади и облегчить возможное расширение или модернизацию энергетической системы в будущем.

Системы релейной защиты и автоматики, интегрированные в КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69), обеспечивают высокий уровень безопасности и оперативности управления. Применение микропроцессорных устройств защиты позволяет быстро реагировать на нештатные ситуации, предотвращая повреждение оборудования и перерывы в производстве. Возможность дистанционного мониторинга и управления повышает эффективность эксплуатации и облегчает работу обслуживающего персонала.

Экономическая эффективность применения данных подстанций обусловлена оптимальным соотношением стоимости и функциональности. Сокращение затрат на монтажные работы, уменьшение эксплуатационных расходов за счёт повышенной энергоэффективности и снижение потерь электроэнергии положительно сказываются на общей рентабельности предприятия [11]. Использование оборудования отечественного производства облегчает логистику, обеспечивает доступность сервисного обслуживания и запасных частей, что является важным фактором для бесперебойной работы предприятия.

Применение КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69) способствует соблюдению современных стандартов и нормативных требований в области электроснабжения промышленных предприятий. Соответствие экологическим нормам и требованиям по энергоэффективности позволяет предприятию позиционировать себя как социально ответственное и устойчиво развивающееся, что повышает его конкурентоспособность на рынке.

Таким образом, использование «комплектных трансформаторных подстанций типа КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69) производства АО «Электронмаш» в качестве распределительных цеховых ТП-10/0,4 кВ» [6] является обоснованным выбором для нового деревообрабатывающего предприятия.

Данное решение обеспечивает надёжное и эффективное электроснабжение технологических процессов, способствует повышению производительности, снижению эксплуатационных затрат и соответствует современным требованиям промышленной безопасности и энергоэффективности.

Выводы по разделу.

Расчётным путём установлено, что трансформаторы марки ТМН-10000/35 полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к их системе охлаждения по нагрузочной способности, что подтверждает их пригодность для установки на питающей ГПП-35/10 кВ нового деревообрабатывающего предприятия.

В результаты выбора силовых трансформаторов РЦТП-10/0,4 кВ деревообрабатывающего предприятия с учётом КРМ, обоснован выбор применения в системе электроснабжения предприятия четырёх двухтрансформаторных распределительных подстанций, на которых устанавливаются по два силовых трансформатора марок ТМ-1250/10 (ТП1), ТМ-1600/10 (ТП2) и ТМ-2500/10 (ТП3 и ТП4).

Показано, что применение КТП «ELM» 35/10(6) производства АО «Электронмаш» в качестве ГПП-35/10 кВ нового деревообрабатывающего предприятия обосновано с точки зрения технических, экономических и эксплуатационных преимуществ.

Установлено, что использование КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69) производства АО «Электронмаш» в качестве ТП-10/0,4 кВ является обоснованным выбором для нового деревообрабатывающего предприятия.

5 Расчёт токов короткого замыкания

Известно, что токи короткого замыкания создают значительные электродинамические и термические нагрузки на проводники, трансформаторы, коммутационные аппараты и другие компоненты сети.

Кроме того, расчёт токов короткого замыкания необходим для обеспечения соответствия системы электроснабжения нормативным документам и стандартам, регламентирующим параметры электрических сетей.

В условиях нового деревообрабатывающего предприятия, где технологические процессы требуют высокой степени надёжности и непрерывности электроснабжения, точность и достоверность расчётов токов короткого замыкания приобретают особое значение.

Результаты расчётов токов КЗ позволяют оптимизировать структуру сети, выбрать оптимальные схемы соединений и обеспечить эффективное функционирование системы в различных режимах работы.

Также важно отметить, что расчёт токов короткого замыкания способствует повышению энергоэффективности системы.

Правильный выбор оборудования и его настроек на основе точных расчётов позволяет снизить потери электроэнергии, уменьшить эксплуатационные расходы и повысить общую экономическую эффективность проекта.

В схеме при расчёте токов КЗ выбирается наиболее тяжёлый режим – послеаварийный, когда всё электроснабжение осуществляется по одной питающей линии 35 кВ с использованием одного силового трансформатора ГПП и ПТЦП-10/0,4 кВ.

«Расчетная однолинейная схема для расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия» [13] показана на рисунке 6.

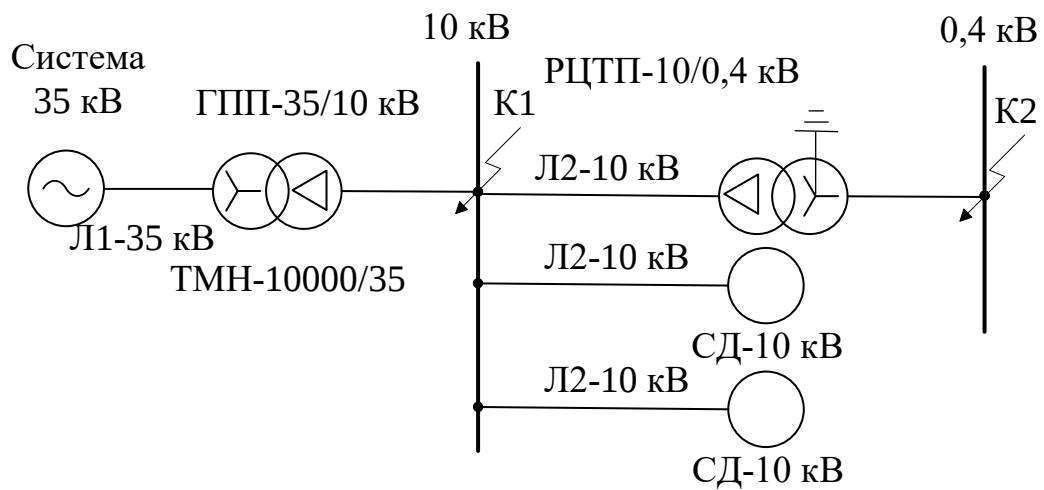


Рисунок 6 – Расчетная однолинейная схема для расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия

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

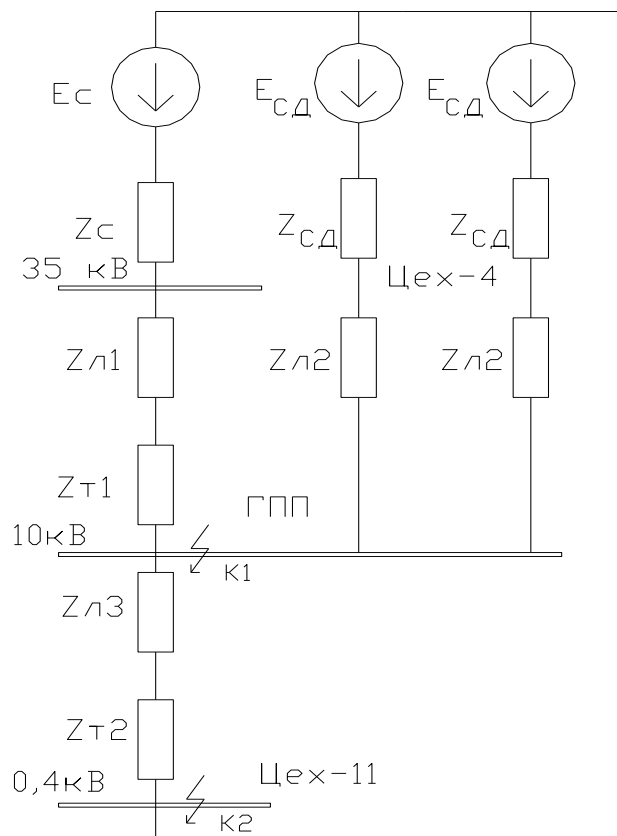


Рисунок 7 – «Схема замещения для расчётов токов КЗ» [13]

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

$$X_c = X_{*c} \cdot \frac{U_c^2}{S_c} \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2, \quad (23)$$

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]:

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

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

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 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 двигателя;

η – КПД;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности;

I_n – номинальный ток, А;

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

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

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

«Сопротивление линий» [13]:

$$z_l = (x + jr) \cdot L, \text{ Ом,} \quad (28)$$

где « L – длина линии, км» [13].

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

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

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

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

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

$$I_k^{(3)} = \frac{E_C}{\sqrt{3} \cdot Z_{k\Sigma}}, \quad (29)$$

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

E_C – напряжение системы, кВ» [13].

«Суммарное сопротивление ветви, Ом» [13]:

$$Z_1 = \left(\frac{1}{Z_C + Z_{Л1} + Z_{Т1}} + \frac{2}{Z_{CD} + Z_{Л2}} \right)^{-1}, \quad (30)$$

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

$$E_C = \left(\frac{E_C}{Z_C + Z_{Л1} + Z_{Т1}} + \frac{2E_{CD}}{Z_{CD} + Z_{Л2}} \right) \cdot Z_1, \quad (31)$$

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

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

«Постоянная времени, с» [13]:

$$T_{A1} = \frac{\sum R = 0}{\omega \cdot \sum X = 0} = \frac{\left(\frac{1}{X_C + X_{Л1} + X_{Т1}} + \frac{2}{X_{CD} + X_{Л2}} \right)^{-1}}{\omega \cdot \left(\frac{1}{R_{Л1} + R_{Т1}} + \frac{2}{R_{Л2}} \right)^{-1}}, \quad (32)$$

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

«Ударный коэффициент» [13]:

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

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

«Ударный ток КЗ в точке К1, кА» [13]:

$$i_{y\partial 1} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}, \quad (34)$$

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

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

$$Z_{\Sigma 2(0,4)} = \left| (Z_1 + Z_{T2} + Z_{ЛЗ}) \cdot (K_T)^2 + R_{доб} \right|, \quad (35)$$

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

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

«Ток КЗ» [13]:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot (0,02 + j0,019)} = 11,56 - j12,17 = 16,79 \text{ кА}.$$

«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.

В работе рассчитаны значения максимальных трёхфазных токов КЗ в системе электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия в сети 35 кВ и 10 кВ.

6 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов

6.1 Выбор и проверка проводников

В работе для канализации электроэнергии в системе электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия, предлагается применить следующие типы 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» [19];
- питающая сеть 0,38/0,22 кВ – кабельные линии электропередачи, выполненные кабелем АВВГнг-LS [20].

Проводится аргументированное обоснование данного выбора проводников.

Выбор проводников для системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия большой мощности является ключевым фактором, влияющим на надёжность, эффективность и безопасность энергетической инфраструктуры.

«Для питающей линии напряжением 35 кВ предлагается использование двухцепной воздушной линии электропередачи, выполненной современным проводом марки СИП-3» [2].

Применение самонесущих изолированных проводов СИП-3 обосновано их высокими электрическими и механическими характеристиками.

Изоляция проводов снижает риск коротких замыканий, вызванных внешними воздействиями, такими как контакт с ветками деревьев или неблагоприятные погодные условия, что повышает общую надёжность линии и уменьшает затраты на обслуживание и расчистку трасс от растительности.

Двухцепная конфигурация обеспечивает резервирование, позволяя сохранить электроснабжение потребителей при выходе из строя одной из цепей, что особенно важно для предприятий с непрерывным технологическим процессом.

«Для распределительных линий напряжением 10 кВ предлагается использование кабельных линий электропередачи, выполненных кабелем марки АПвБШв-10 с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ)» [19].

Данный кабель обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными кабелями с бумажно-масляной изоляцией.

Сшитый полиэтилен имеет высокие диэлектрические свойства, устойчив к высоким температурам и не подвержен старению под воздействием электрических полей.

Указанный фактор обеспечивает длительный срок службы кабеля без существенного снижения его эксплуатационных характеристик.

Наличие брони из стальных лент (БШв) защищает кабель от механических повреждений, что особенно актуально при прокладке в земле в условиях промышленной площадки, где возможны вибрации и нагрузки от передвижения тяжёлой техники.

Алюминиевые проводники снижают массу кабеля и его стоимость, сохраняя при этом достаточную проводимость для передачи необходимых токов.

Для питающей сети низкого напряжения 0,38/0,22 кВ предлагается применение кабельных линий электропередачи с использованием кабеля марки АВВГнг-LS.

Предложенная марка кабеля имеет алюминиевые жилы с поливинилхлоридной изоляцией, негорючий (нг) и с низким дымо- и газовыделением (LS).

Использование негорючего кабеля с низким дымовыделением обосновано требованиями пожарной безопасности, особенно важными в

деревообрабатывающей промышленности, где присутствует большое количество горючих материалов.

Применение таких кабелей снижает риск распространения огня и обеспечивает безопасность персонала в случае возникновения пожара.

Поливинилхлоридная изоляция устойчива к воздействию влаги, химических веществ и механическим повреждениям, что продлевает срок службы кабеля и снижает затраты на эксплуатацию.

Таким образом, выбор указанных типов проводников основан на комплексном анализе требований к электрическим, механическим и эксплуатационным характеристикам системы электроснабжения.

Применение современных изолированных проводов и кабелей с улучшенными материалами и конструкцией позволяет повысить надёжность и безопасность электроснабжения, снизить эксплуатационные расходы и обеспечить соответствие современным стандартам и нормативам в области энергетики и промышленной безопасности.

Выбор «проводников напряжением выше 1 кВ проводится по экономической плотности тока» [4]:

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

где « $j_{\text{э}}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [4].

«Проверка выбранного сечения проводника в нормальном режиме» [4]:

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

где « $I_{\text{дон}}$ – предельно – допустимое значение тока проводника, А» [4].

«Проверка проводника в послеаварийном режиме работы» [4]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (38)$$

где « $I_{p.\text{max}}$ – максимальный ток, А» [4].

«Проверка проводника по климатическим условиям (минимальное допустимое сечение проводника)» [4]:

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

«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 для кабеля от ГПП до ТП-1, А» [4]:

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

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

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

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

«Экономическое сечение жил кабеля» [4]:

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

«Выбирается кабель АПвБШв-10- 3×35, $I_{\text{дл.доп.}} = 115$ А. Прокладка кабеля осуществляется в земляной траншее.

Условие проверки кабеля в нормальном режиме работы выполняется» [19]:

$$115 A \geq 54,3 A.$$

«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 6.

Таблица 6 – Выбор кабелей питающей сети 35 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ системы электроснабжения деревообрабатывающего предприятия

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	2	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

Все выбранные проводники системы электроснабжения нового деревообрабатывающего показаны в графической части настоящей работы (включая узлы монтажа кабельных линий).

6.2 Выбор электрических аппаратов питающей сети предприятия

Проводится комплектация выбранных типов ячеек ГПП-35/10 кВ и ТП-10/0,4 кВ питающей сети предприятия, современными и рациональными электрическими аппаратами.

При выборе оборудования учитываются климатические условия региона, специфика технологических процессов деревообрабатывающего предприятия и требования нормативных документов.

Высокое качество и надёжность выбранных электрических аппаратов являются залогом стабильной и безопасной работы системы электроснабжения, что имеет критическое значение для непрерывности производственных процессов и предотвращения аварийных ситуаций.

Кроме того, проводится анализ совместимости выбранных аппаратов с системой релейной защиты и автоматики, что позволяет обеспечить эффективное взаимодействие всех компонентов энергосистемы.

Тщательный подход к выбору и проверке электрических аппаратов способствует оптимизации технических решений, повышению энергоэффективности и снижению эксплуатационных затрат.

В результате достигается оптимальное сочетание технических характеристик, экономической целесообразности и соответствия современным стандартам энергетической отрасли.

Особое внимание уделяется основным коммутационным и защитным аппаратам, среди которых ключевую роль играют высоковольтные выключатели, обеспечивающие надёжное отключение токов перегрузки и короткого замыкания.

«В РУ-35 кВ и РУ-10 кВ устанавливаются вакуумные высоковольтные выключатели» [5].

Результаты выбора выключателей высокого напряжения представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора выключателей высокого напряжения 35 кВ и 10 кВ

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

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

Таблица 8 – Результаты выбора трансформаторов напряжения на стороне 35 кВ и 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/ $\leq 1000,0$
НАЛИ-СЭЩ-10	2	1,0	10/10	600,0/ $\leq 600,0$

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

Таблица 9 – Результаты выбора трансформаторов тока на стороне 35 кВ и 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

Результаты выбора ограничителей перенапряжения на стороне 35 кВ и 10 кВ представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора ограничителей перенапряжения на стороне 35 кВ и 10 кВ

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

Выбранные аппараты обеспечивают защиту важных элементов системы электроснабжения от токов короткого замыкания, перегрузки, перенапряжений, что способствуют повышению надёжности и долговечности оборудования, а также минимизируют эксплуатационные риски.

Указанные условия необходимы для обеспечения безопасной и бесперебойной работы объекта проектирования.

Следовательно, выбор современных коммутационных аппаратов для применения на объекте, полностью обоснован.

Выводы по разделу.

Для канализации электроэнергии в системе электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия, выбраны и проверены следующие типы проводников:

- для питающей линии 35 кВ подтверждено использование двухцепной воздушной линии электропередачи, выполненной современным изолированным проводом марки СИП-3 (1×150);
- для питающих кабельных линии 10 кВ обосновано применение силовых кабелей марки АПвБШв-10 различных сечений с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- для питающих кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ обосновано применение силовых кабелей марки АВВГнг-LS различных сечений с негорючей изоляцией.

Для комплектации выбранных типов ячеек ГПП-35/10 кВ и ТП-10/0,4 кВ питающей сети предприятия, выбраны и проверены современные электрические аппараты напряжением 35 кВ и 10 кВ, которые обеспечивают оптимальное сочетание технических характеристик оборудования с особенностями эксплуатации в реальных условиях, способствуя устойчивой и безопасной работе энергетической инфраструктуры нового деревообрабатывающего предприятия.

7 Выбор устройств вторичных цепей питающей ГПП

7.1 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Выбор устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) ГПП системы электроснабжения деревообрабатывающего предприятия согласно требованиям, приведённым в [1].

«Для реализации функций релейной защиты и автоматики, предлагается использовать микропроцессорный терминал РЗА серии «ТОР 200-16К»» [16], представленный на рисунке 8.



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

Проводится обоснование применения данного типа терминала на объекте проектирования.

Применение микропроцессорного терминала релейной защиты и автоматики серии «ТОР 200-16К» в системе электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия большой мощности обосновано рядом технических и эксплуатационных преимуществ, соответствующих специфическим требованиям отрасли. Деревообрабатывающая промышленность характеризуется использованием мощного электрооборудования, высокопроизводительных станков и сложных технологических линий, что предъявляет повышенные требования к надёжности и безопасности системы электроснабжения.

Микропроцессорные терминалы серии «ТОР 200-16К» обеспечивают высокоточное и быстрое реагирование на нештатные режимы работы электрической сети, включая перегрузки, короткие замыкания и другие аварийные ситуации. Высокая скорость обработки сигналов и точность измерений позволяют минимизировать время отключения повреждённого участка, предотвращая распространение аварии и снижая риск повреждения дорогостоящего оборудования, что особенно важно для деревообрабатывающих предприятий, где простои в работе оборудования могут привести к существенным финансовым потерям и срывам производственного процесса.

Терминалы «ТОР 200-16К» обладают широкой функциональностью, включающей в себя различные виды защит: максимальную токовую, дифференциальную, дистанционную и другие. Гибкость настройки параметров защиты позволяет адаптировать систему под конкретные условия эксплуатации и требования предприятия. Возможность программирования логики работы терминала обеспечивает реализацию сложных алгоритмов управления и автоматизации, что способствует повышению эффективности и оптимизации работы энергетической системы.

Высокая надёжность и долговечность терминалов подтверждаются соответствием международным стандартам качества и безопасности.

Применение современных электронных компонентов и передовых технологий производства обеспечивает устойчивость к внешним воздействиям, таким как вибрации, температурные перепады и электромагнитные помехи.

Данный фактор гарантирует стабильную работу оборудования в условиях промышленного предприятия с интенсивными нагрузками и неблагоприятными факторами окружающей среды.

Интеграция терминалов «ТОР 200-16К» в систему автоматизированного управления энергетическим хозяйством предприятия позволяет осуществлять мониторинг и контроль параметров электрической сети в режиме реального времени.

Сбор и анализ данных о состоянии оборудования и режимах работы сети способствуют своевременному выявлению потенциальных проблем и принятию профилактических мер.

Данный аспект повышает общую надёжность системы электроснабжения и снижает эксплуатационные расходы за счёт оптимизации процессов обслуживания и ремонта.

Важным преимуществом является возможность дистанционного доступа к терминалам для проведения диагностики, обновления программного обеспечения и настройки параметров. Наличие указанных параметров упрощает процесс управления системой релейной защиты и автоматики, сокращает время реагирования на нештатные ситуации и повышает эффективность работы обслуживающего персонала.

Экономическая целесообразность применения терминалов «ТОР 200-16К» обусловлена не только повышением надёжности и эффективности системы электроснабжения, но и снижением затрат на эксплуатацию и обслуживание оборудования.

Унификация применяемых устройств и совместимость с различными системами автоматизации сокращает расходы на обучение персонала и техническую поддержку.

Кроме того, долгий срок службы оборудования и низкая вероятность отказов уменьшают финансовые риски и непредвиденные затраты.

Соответствие терминалов современным требованиям к кибербезопасности обеспечивает защиту от несанкционированного доступа и воздействия на систему электроснабжения. Данный аспект особенно актуален в условиях повышенной зависимости предприятий от информационных технологий и цифровых систем управления.

Таким образом, применение микропроцессорного терминала релейной защиты и автоматики серии «ТОР 200-16К» в системе электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия большой мощности обосновано комплексом технических, эксплуатационных и экономических факторов.

Высокая функциональность, надёжность и адаптивность оборудования соответствуют специфическим потребностям отрасли и способствуют повышению безопасности, эффективности и конкурентоспособности предприятия на рынке.

7.2 Расчёт системы собственных нужд ГПП

«Система собственных нужд на питающей главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ» [5] нового деревообрабатывающего предприятия имеет критическое значение для обеспечения надёжной и бесперебойной работы электрической инфраструктуры. Данная системы СН обеспечивает электроэнергией собственные потребности подстанции, поддерживая функционирование оборудования и систем, необходимых для поддержания стабильности и безопасности эксплуатации.

Значимость системы собственных нужд обусловлена её способностью снабжать энергией устройства управления, защиты и автоматики, а также вспомогательные системы, требуемые для нормального функционирования подстанции. Без надёжной системы собственных нужд подстанция была бы уязвима к отказам, что могло бы привести к нарушениям электроснабжения

всего предприятия, вызывая простои в производстве и потенциальные финансовые потери.

Среди основных потребителей системы собственных нужд выделяются устройства релейной защиты и автоматики, включающие микропроцессорные терминалы защиты, цепи управления выключателями и системы автоматики.

Данные устройства требуют стабильного и непрерывного электроснабжения для обеспечения быстрого реагирования на аварийные ситуации и поддержания целостности энергосистемы.

Другим важным потребителем является система освещения подстанции, обеспечивающая освещение внутренних и внешних зон, что необходимо для безопасного проведения эксплуатационных и ремонтных работ при различных условиях окружающей среды.

Непрерывное электроснабжение системы освещения гарантирует видимость и безопасность персонала, особенно в ночное время или при неблагоприятных погодных условиях.

Системы отопления и вентиляции зданий подстанции также зависят от системы собственных нужд. Данные системы поддерживают оптимальные температурные и влажностные режимы в помещениях с оборудованием, предотвращая конденсацию и перегрев, что может негативно сказаться на работе чувствительной электронной аппаратуры.

Оборудование зарядки аккумуляторных батарей является важным потребителем.

Известно, что аккумуляторные батареи служат резервным источником питания для критически важных систем в случае потери внешнего электроснабжения.

Зарядные устройства обеспечивают поддержание оптимального уровня заряда батарей, готовых обеспечить аварийное питание при необходимости.

Системы обнаружения и тушения пожара функционируют за счёт системы собственных нужд.

Непрерывное электроснабжение датчиков дыма, пожарных сигнализаций и автоматического пожаротушения необходимо для своевременного обнаружения возгораний и быстрого реагирования, тем самым защищая подстанцию и предприятие от возможных ущербов, связанных с пожаром.

Системы связи и передачи данных также получают питание от системы собственных нужд.

Указанные системы обеспечивают обмен информацией между подстанцией и центрами управления предприятия, позволяя осуществлять мониторинг и управление параметрами работы энергосистемы в реальном времени.

Надёжное электроснабжение оборудования связи гарантирует непрерывность потока данных и координацию между различными подразделениями предприятия.

«Таким образом, система собственных нужд на питающей главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ» [5] играет неотъемлемую роль в обеспечении безопасной и эффективной работы электрической инфраструктуры нового деревообрабатывающего предприятия.

Обеспечивая стабильное и непрерывное электроснабжение основных потребителей, таких как устройства управления и защиты, освещение, системы поддержания микроклимата, зарядное оборудование, системы пожарной безопасности и коммуникации, система собственных нужд поддерживает общую надёжность и производительность энергосистемы предприятия.

«Далее проводится выбор и проверка трансформаторов собственных нужд (ТСН) на питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия.

Расчёт нагрузки СН питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия» [5] представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчёт нагрузки СН питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия

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 нового деревообрабатывающего предприятия	34,00	-	34,00

«Суммарная нагрузка СН» [5]:

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

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

$Q_{\text{макс}}$ – суммарная реактивная потребляемая нагрузка СН, квар» [5].

«Расчётная полная нагрузка СН» [5]:

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

«Расчетная мощность ТСН» [5]:

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

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

«Для системы собственных нужд питающей ГПП-35/10 кВ, выбираются два трансформатора СН марки ТМ-25/10 У1» [5].

Выводы по разделу.

Установлено, что применение микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики серии «ТОР 200-16К» в системе электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия большой мощности, обосновано комплексом технических, эксплуатационных и экономических факторов.

Определено, что в системе собственных нужд питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия, необходимо предусмотреть следующие основные потребители:

- системы отопления зданий подстанции;
- подогрев шкафов и оборудования РУ-10 кВ;
- рабочее освещение;
- аварийное освещение;
- системы вентиляции зданий подстанции;
- системы связи и передачи данных;
- система релейной защиты, автоматики и сигнализации;
- оборудование зарядки аккумуляторных батарей.

Выбраны и проверены два трансформатора СН марки ТМ-25/10 У1.

Заключение

В работе осуществлена разработка системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия.

В результате проведения анализа исходных технических данных на выполнение работы установлено, что на новом деревообрабатывающем предприятии большой установленной мощности, будет разработана комплексная система электроснабжения, включающая десять ключевых производственных участков, каждый из которых выполняет специфические функции и оснащён соответствующим оборудованием, обеспечивающим надёжное и эффективное энергоснабжение технологических процессов.

Определено, что перечень данных производственных участков включает следующие объекты: лесопильный цех, цех приёмки и сортировки древесины, цех производства ламинированных напольных покрытий и деревянной мебели, цех отгрузки продукции, цех отделки и нанесения покрытий, а также прочие аналогичные производственные объекты.

Установлено, что выбор схемы электроснабжения должен соответствовать категории надёжности потребителей и должен осуществляться с учётом требований критичности и непрерывности электроснабжения, экономических ограничений и стандартов безопасности.

Также схема должна иметь необходимый и достаточный уровень резервирования, секционирования и иметь селективную защиты и быстродействующую автоматику.

В системе электроснабжения деревообрабатывающего предприятия приняты следующие основные электротехнические устройства:

- главная понизительная подстанция (ГПП-35/10 кВ) – принимается с наличием двух источников питания и двумя силовыми трансформаторами;
- цеховые распределительные трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ (ЦРТП-10/0,4 кВ) – также принимаются двухтрансформаторными, с

высшим напряжением 10 кВ (питание – от шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ) и низшим напряжением 0,4 кВ;

- силовые вводные шкафы потребителей – получают питание от шин РУ-0,4 кВ распределительных ЦТП-10/0,4 кВ, от них получают непосредственное питание потребители цехов на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ (в работе не рассматриваются).

Установлено, что питание высоковольтных электродвигателей насосной станции и котельной, а также высоковольтных электропечей цеха сушки древесины, по радиальной схеме непосредственно от шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ, является технически обоснованным решением. Данные высоковольтные потребители характеризуются значительной мощностью и специфическими требованиями к качеству электроснабжения. Подключение их напрямую к шинам 10 кВ позволяет обеспечить стабильное напряжение и минимизировать потери при передаче электроэнергии. Отсутствие дополнительных ступеней трансформации снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций и упрощает схемы релейной защиты и автоматики.

Для РУ-35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ предприятия выбрана схема 4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий», а для РУ-10 кВ – схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин».

Определены нагрузки системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия. По полученным результатам расчёта суммарных электрических нагрузок выбираются рациональные сечения проводников, электрические аппараты и силовые трансформаторы.

Расчётным путём установлено, что трансформаторы марки ТМН-10000/35 полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к их системе охлаждения по нагрузочной способности, что подтверждает их пригодность для установки на питающей ГПП-35/10 кВ нового деревообрабатывающего предприятия.

В результаты выбора силовых трансформаторов РЦТП-10/0,4 кВ деревообрабатывающего предприятия с учётом КРМ, обоснован выбор применения в системе электроснабжения предприятия четырёх двухтрансформаторных распределительных подстанций, на которых устанавливаются по два силовых трансформатора марок ТМ-1250/10 (ТП1), ТМ-1600/10 (ТП2) и ТМ-2500/10 (ТП3 и ТП4).

Показано, что применение КТП «ELM» 35/10(6) производства АО «Электронмаш» в качестве ГПП-35/10 кВ нового деревообрабатывающего предприятия обосновано с точки зрения технических, экономических и эксплуатационных преимуществ.

Установлено, что использование КТП-ELM-10(6)/0,4(0,69) производства АО «Электронмаш» в качестве ТП-10/0,4 кВ является обоснованным выбором для нового деревообрабатывающего предприятия.

В работе рассчитаны значения максимальных трёхфазных токов КЗ в системе электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия в сети 35 кВ и 10 кВ.

Для канализации электроэнергии в системе электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия, выбраны и проверены следующие типы проводников:

- для питающей линии 35 кВ подтверждено использование двухцепной воздушной линии электропередачи, выполненной современным изолированным проводом марки СИП-3 (1×150);
- для питающих кабельных линии 10 кВ обосновано применение силовых кабелей марки АПвБШв-10 различных сечений с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- для питающих кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ обосновано применение силовых кабелей марки АВВГнг-LS различных сечений с негорючей изоляцией.

Для комплектации выбранных типов ячеек ГПП-35/10 кВ и ТП-10/0,4 кВ питающей сети предприятия, выбраны и проверены современные

электрические аппараты напряжением 35 кВ и 10 кВ, которые обеспечивают оптимальное сочетание технических характеристик оборудования с особенностями эксплуатации в реальных условиях, способствуя устойчивой и безопасной работе энергетической инфраструктуры нового деревообрабатывающего предприятия.

Установлено, что применение микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики серии «ТОР 200-16К» в системе электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия большой мощности, обосновано комплексом технических, эксплуатационных и экономических факторов.

Определено, что в системе собственных нужд питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия, необходимо предусмотреть следующие основные потребители:

- системы отопления зданий подстанции;
- подогрев шкафов и оборудования РУ-10 кВ;
- рабочее освещение;
- аварийное освещение;
- системы вентиляции зданий подстанции;
- системы связи и передачи данных;
- система релейной защиты, автоматики и сигнализации;
- оборудование зарядки аккумуляторных батарей.

Выбраны и проверены два трансформатора СН марки ТМ-25/10 У1.

В результате проведения исследований подтверждено, что разработанная система электроснабжения нового деревообрабатывающего предприятия характеризуется высокими показателями надёжности, экономичности и безопасности с учётом требуемого уровня бесперебойности передачи электроэнергии, что критически важно для стабильной работы производственных процессов.

Список 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: 11.10.2024).
3. 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).
4. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
5. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
6. КТП «ELM» 35/10 (6). [Электронный ресурс]: URL: <https://electronmash.ru/catalog/komplektnye-transformatornye-podstancii-do-220-kv/ktp-elm-35-kv> (дата обращения: 11.10.2024).
7. 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: 11.10.2024).
8. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
9. Методические рекомендации для определения категорийности потребителей по надежности электроснабжения (утверждены решением Электроэнергетического Совета СНГ от 25 октября 2019 года, протокол № 55). [Электронный ресурс]: URL: https://continent-online.com/Document/?doc_id=36892186#sub_id=100 (дата обращения: 11.10.2024).

10. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
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. 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: 09.10.2024).
14. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 11.10.2024).
15. Технологические процессы деревообработки [Электронный ресурс]: URL: <https://www.spbstanok.ru/info/15-tekhnologii/88-tekhnologicheskie-protsessy-derevoobrabotki> (дата обращения: 11.10.2024).
16. 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: 11.10.2024).
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: 11.10.2024).
18. Чернышев О. Н. Проектирование технологических процессов деревообработки: учебное пособие. Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург, 2023. 125 с.: ил. [Электронный ресурс]: URL: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/12692/1/3_23.pdf (дата обращения: 11.10.2024).

19. Кабели силовые бронированные, с изоляцией из сшитого полиэтилена АПВБШв. [Электронный ресурс]: URL: <https://zvetlit.ru/katalog/novinki/kabeli-silovye-bronirovannye-102-detail> (дата обращения: 11.10.2024).

20. Кабель АВВГнг-LS. [Электронный ресурс]: URL: [https://kps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/avvgng-ls/](https://kps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/avvgng-ls/) (дата обращения: 11.10.2024).