

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 агропромышленного предприятия

Обучающийся

А. Х. Закиуллин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доц. М. Н. Третьякова

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Работа посвящена разработке мероприятий по проектированию системы электроснабжения агропромышленного предприятия с последовательной проверкой основных решений.

Проведён анализ исходных данных на выполнение работы, включая сведения об используемом оборудовании в подразделениях предприятия.

Рассмотрен генеральный план предприятия, а также технические данные источников питания системы электроснабжения объекта проектирования.

На основе информации, полученной в результате проведённого анализа исходных данных, в работе решены следующие основные задачи:

- рассчитаны электрические нагрузки и выбраны рациональные схемы электроснабжения питающей и распределительной сети предприятия;
- проведён расчет и выбор силовых трансформаторов для установки и использования на главной понизительной подстанции (далее – ГПП), а также на цеховых трансформаторных подстанциях (далее – ЦТП или ТП);
- осуществлён расчет и выбор электрооборудования схемы электроснабжения объекта, включая выбор проводников и ячеек распределительных устройств питающих ГПП и ЦТП, с последующей их компоновкой;
- рассчитано заземления ГПП.

Данные вопросы решены в работе в полном объёме.

Работа состоит из расчётно-пояснительной записки объёмом 71 печатная страница и шести чертежей формата А1.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ технологического процесса и электроприемников предприятия .....	7
1.1 Анализ исходных данных на выполнение работы .....	7
1.2 Требования к проектированию систем электроснабжения предприятий АПК .....	13
2 Расчёт электрических нагрузок и выбор схемы электроснабжения предприятия .....	16
2.1 Выбор схемы электроснабжения предприятия .....	16
2.2 Расчёт электрических нагрузок ремонтного цеха .....	22
2.3 Расчёт электрических нагрузок освещения предприятия.....	28
2.4 Расчёт электрических нагрузок предприятия .....	31
3 Расчёт и выбор силовых трансформаторов .....	37
3.1 Выбор трансформаторов главной понизительной подстанции.....	37
3.2 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций.....	39
4 Расчёт и выбор электрооборудования.....	44
4.1 Выбор кабельных линий ремонтного цеха.....	44
4.2 Выбор и проверка проводников питающей сети предприятия .....	48
4.3 Выбор электрических аппаратов ремонтного цеха .....	51
4.4 Выбор электрических аппаратов питающей сети предприятия.....	54
5 Расчёт заземления ГПП .....	60
Заключение .....	65
Список используемых источников.....	69

## Введение

Развитие агропромышленного комплекса (АПК) в Российской Федерации является одним из приоритетных направлений государственной политики, обусловленное стратегической важностью обеспечения продовольственной безопасности страны, а также потенциалом для увеличения экспорта сельскохозяйственной продукции. В последние годы АПК России демонстрирует стабильный рост, что стало возможным благодаря целому ряду факторов и принятых мер.

Одним из ключевых факторов, способствующих развитию АПК, является активная государственная поддержка. Она реализуется через различные программы и инициативы, направленные на финансовую поддержку производителей, совершенствование инфраструктуры, научно-исследовательские работы в области сельского хозяйства, а также на развитие экспортного потенциала отрасли. Ключевыми направлениями поддержки являются кредитование, страхование, грантовая помощь и компенсация за часть затрат. Современное агропромышленное производство в России всё больше ориентируется на внедрение высоких технологий: от прецизионного земледелия и цифровизации до использования биотехнологий и автоматизации процессов. Это позволяет повышать урожайность, снижать затраты и минимизировать воздействие на окружающую среду.

Стратегия импортозамещения, активно реализуемая в последние годы, также способствовала укреплению и развитию отечественного АПК. Особенно это касается таких секторов, как животноводство и переработка сельскохозяйственной продукции, где удалось значительно сократить зависимость от импорта. Важной составляющей развития АПК является модернизация и развитие инфраструктуры: строительство и реконструкция объектов хранения и переработки сельхозпродукции, развитие транспортной логистики, обновление мелиоративной системы. Это направление позволяет повышать эффективность производства и снижать потери продукции.

Россия активно работает над расширением географии и ассортимента экспортируемой сельскохозяйственной продукции. Значительные успехи были достигнуты в экспорте зерновых культур, масличных, а также в организации поставок мяса птицы и свинины на международные рынки.

Несмотря на значительные успехи, развитие АПК России сталкивается с рядом проблем и вызовов, среди которых можно выделить изменение климата, что влечёт за собой необходимость адаптации сельскохозяйственного производства к новым условиям; нехватку квалифицированных кадров в сельской местности и устаревание материально-технической базы на многих хозяйствах. Также важным аспектом является необходимость улучшения доступа к финансовым ресурсам для малых и средних агропромышленных предприятий и повышение эффективности логистики и инфраструктуры для сокращения издержек производителей и увеличения конкурентоспособности российской агропромышленной продукции на внутреннем и внешнем рынках.

Таким образом, несмотря на значительный прогресс, достигнутый в последние годы, перед российским АПК стоят важные задачи по дальнейшему укреплению отрасли, обеспечению её устойчивого и динамичного развития, что потребует скоординированных усилий со стороны государства, бизнеса и научного сообщества.

Важнейшими аспектами проектирования систем электроснабжения современных предприятий АПК являются обеспечение промышленной безопасности, надёжности работы, энергоэффективности, электромагнитной совместимости, а также устойчивости к внешним воздействиям и возможности оперативного реагирования на изменения в нагрузке и технологических процессах. Известно, что в результате реализации таких мероприятий достигается повышение производительности, снижение энергозатрат и уровня рисков возникновения аварийных ситуаций, что способствует повышению конкурентоспособности и эффективности деятельности не только предприятия, но и всего АПК. Данный вопрос исследуется в настоящей работе, обуславливая её актуальность [17], [20].

Основная цель работы заключается в разработке рациональных и эффективных мероприятий по проектированию системы электроснабжения агропромышленного предприятия с последовательной проверкой основных решений.

Объектом исследования является система электроснабжения агропромышленного предприятия.

Предметом исследования выступают параметры объекта исследования (надёжность, безопасность, бесперебойность и безаварийность электроснабжения, а также экономичность и экологичность).

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

Для решения поставленных задач, на первом этапе проводится анализ исходных данных на выполнение работы, включая сведения об используемом оборудовании в подразделениях предприятия. Рассматривается генеральный план предприятия, а также технические данные источников питания системы электроснабжения объекта проектирования.

На основе информации, полученной в результате проведённого анализа исходных данных, в работе проводится решение следующих основных задач:

- рассчитываются электрические нагрузки и выбираются рациональные схемы электроснабжения питающей и распределительной сети предприятия;
- проводится расчет и выбор силовых трансформаторов для установки и использования на ГПП, а также на ЦТП предприятия;
- осуществляется расчет электрооборудования схемы электроснабжения объекта, включая выбор проводников и ячеек распределительных устройств питающих ГПП и ЦТП, с последующей их компоновкой;
- рассчитывается заземление ГПП.

Целесообразность мероприятий проверяются на основе результатов.

# **1 Анализ технологического процесса и электроприемников предприятия**

## **1.1 Анализ исходных данных на выполнение работы**

Как было указано ранее, в работе объектом исследования является система электроснабжения агропромышленного предприятия.

Известно, что агропромышленное предприятие может включать в себя разнообразные цеха и подразделения, охватывающие полный цикл производства от выращивания сырья до переработки и упаковки готовой продукции.

Состав и спецификация подразделений предприятий АПК зависят от направленности предприятия, его масштабов и производственных задач.

В состав рассматриваемого в работе агропромышленного предприятия входит комплекс следующих цехов и подразделений [16]:

- главный корпус;
- блок вспомогательных цехов;
- цех первичной переработки;
- цех глубокой переработки (включая два высоковольтных синхронных электродвигателя напряжением 10 кВ);
- цех утилизации отходов (включая две электропечи напряжением 10 кВ)
- экспериментальный цех;
- цех контроля и упаковки готовой продукции;
- компрессорная станция (включая два высоковольтных синхронных электродвигателя напряжением 10 кВ);
- складской комплекс;
- ремонтный цех.

Каждое из перечисленных подразделений агропромышленного предприятия выполняет специфические функции, обеспечивая эффективное и

бесперебойное производство. Приводится краткое описание функций перечисленных подразделений [1].

Главный корпус является центральным зданием предприятия, где располагаются административные офисы, управление предприятием, отделы планирования, маркетинга и продаж. Здесь принимаются стратегические решения, касающиеся деятельности всего агропромышленного комплекса.

Блок вспомогательных цехов включает в себя подразделения, которые обеспечивают бесперебойное функционирование производственных процессов, такие как энергетические установки, системы водоснабжения и очистки, а также другие технические службы.

Цех первичной переработки занимается обработкой сырья, полученного непосредственно с полей или ферм. Это может включать очистку, сортировку, первичную обработку зерна, молока, мяса и других продуктов. Целью этого цеха является подготовка сырья к дальнейшей переработке или реализации.

Цех глубокой переработки отвечает за создание готовых продуктов из первично обработанного сырья. Это может включать производство муки, масла, консервов, кормов и так далее. Два высоковольтных синхронных электродвигателя напряжением 10 кВ используются для обеспечения работы мощного производственного оборудования.

Цех утилизации отходов специализируется на обработке и переработке отходов, которые образуются в процессе производства. Две электропечи напряжением 10 кВ используются для сжигания отходов, что позволяет минимизировать воздействие производства на окружающую среду.

Экспериментальный цех предназначен для разработки и тестирования новых продуктов, технологий и процессов. Здесь проводятся исследования и эксперименты, направленные на улучшение качества продукции и повышение эффективности производства.

Цех контроля и упаковки готовой продукции отвечает за финальный контроль качества продукции перед упаковкой и отгрузкой. Здесь продукция



проверяется на соответствие стандартам и требованиям, после чего упаковывается для реализации.

Компрессорная станция обеспечивает производственные процессы сжатым воздухом. Высоковольтные синхронные электродвигатели напряжением 10 кВ используются для привода компрессоров большой мощности.

Складской комплекс используется для хранения сырья, материалов, полуфабрикатов и готовой продукции. Организация эффективного складского хозяйства позволяет оптимизировать логистические процессы на предприятии.

Ремонтный цех специализируется на обслуживании и ремонте производственного оборудования и транспортных средств. Наличие собственного ремонтного цеха позволяет быстро устранять неисправности и минимизировать простои в работе.

Исходные данные электрических нагрузок агропромышленного предприятия представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные электрических нагрузок агропромышленного предприятия

Наименование цеха	Номер по плану	n, шт	$\sum P_n$ , кВт	$P_n$ , кВт	m
Главный корпус	1	280	4500	10-400	40
Блок вспомогательных цехов	2	300	3000	2-500	250
Цех первичной переработки	3	120	1200	0,5-10	20
Цех глубокой переработки	4	50	3000	10-300	30
(в т.ч. СД 10 кВ)	-	2	5000	2500	1
Цех утилизации отходов	5	40	700	10-45	4,5
(в т.ч. электропечи 10 кВ)	-	2	2200	550	1
Экспериментальный цех	6	150	1500	1-30	30
Цех контроля и упаковки готовой продукции	7	80	200	1-4	4
Компрессорная станция (СД 10 кВ)	8	2	2880	1440	1
Складской комплекс	9	10	200	1-40	40
Ремонтный цех	10	Рассматривается отдельно			

Исходный генплан агропромышленного предприятия (согласно номерам цехов, представленных в таблице 1), показан на рисунке 1.

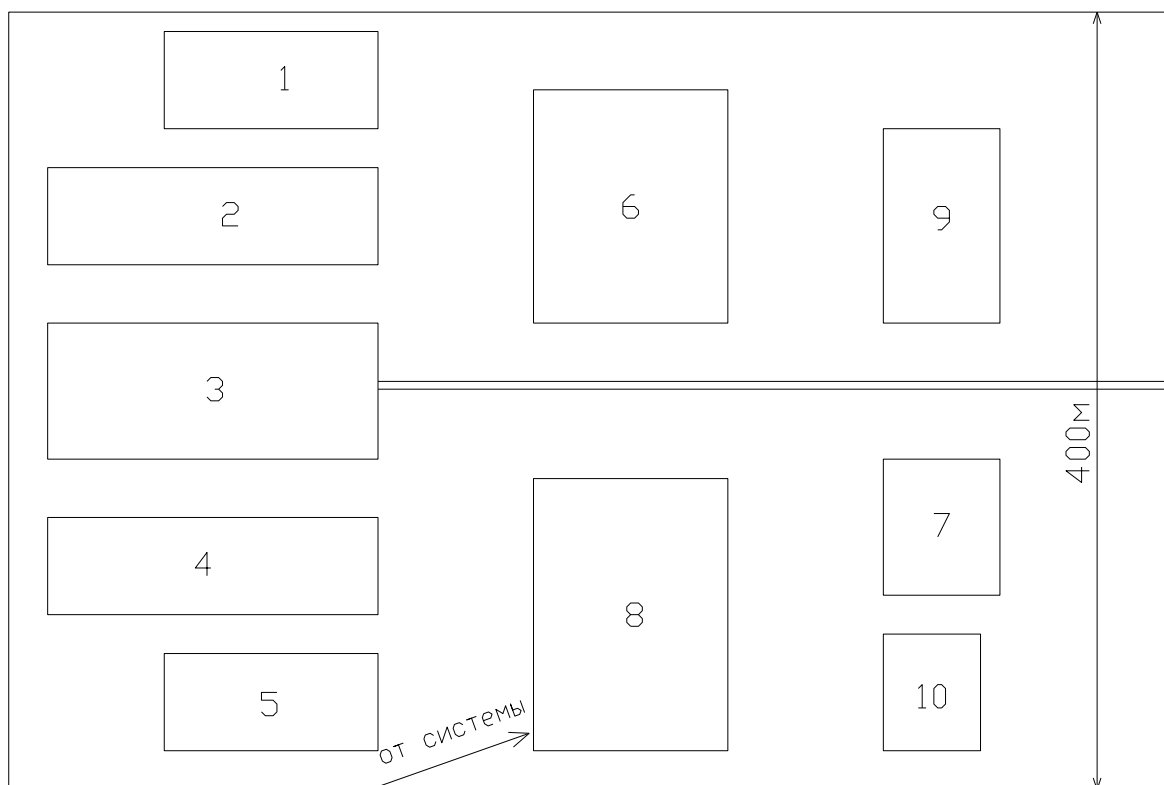


Рисунок 1 – Исходный генплан агропромышленного предприятия

В работе, согласно заданию, необходимо провести разработку системы электроснабжения отдельного цеха агропромышленного предприятия.

Для данной роли выбран ремонтный цех предприятия АПК.

Электрические нагрузки ремонтного цеха представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Электрические нагрузки ремонтного цеха

Наименование оборудования	п, шт	Р <sub>н</sub> , кВт
Электроприводы конвейеров	2	50
Мостовой кран, ПВ=25%	1	50
Кран-балки, ПВ=25%	5	10
Сварочный аппарат, ПВ=40%	1	20 кВА
Сверлильный станок	1	3,5
Металлообрабатывающие станки	14	14
Вентиляторы	5	10

Исходный план расположения оборудования ремонтного цеха (согласно номерам цехов, представленных в таблице 1), показан на рисунке 2.

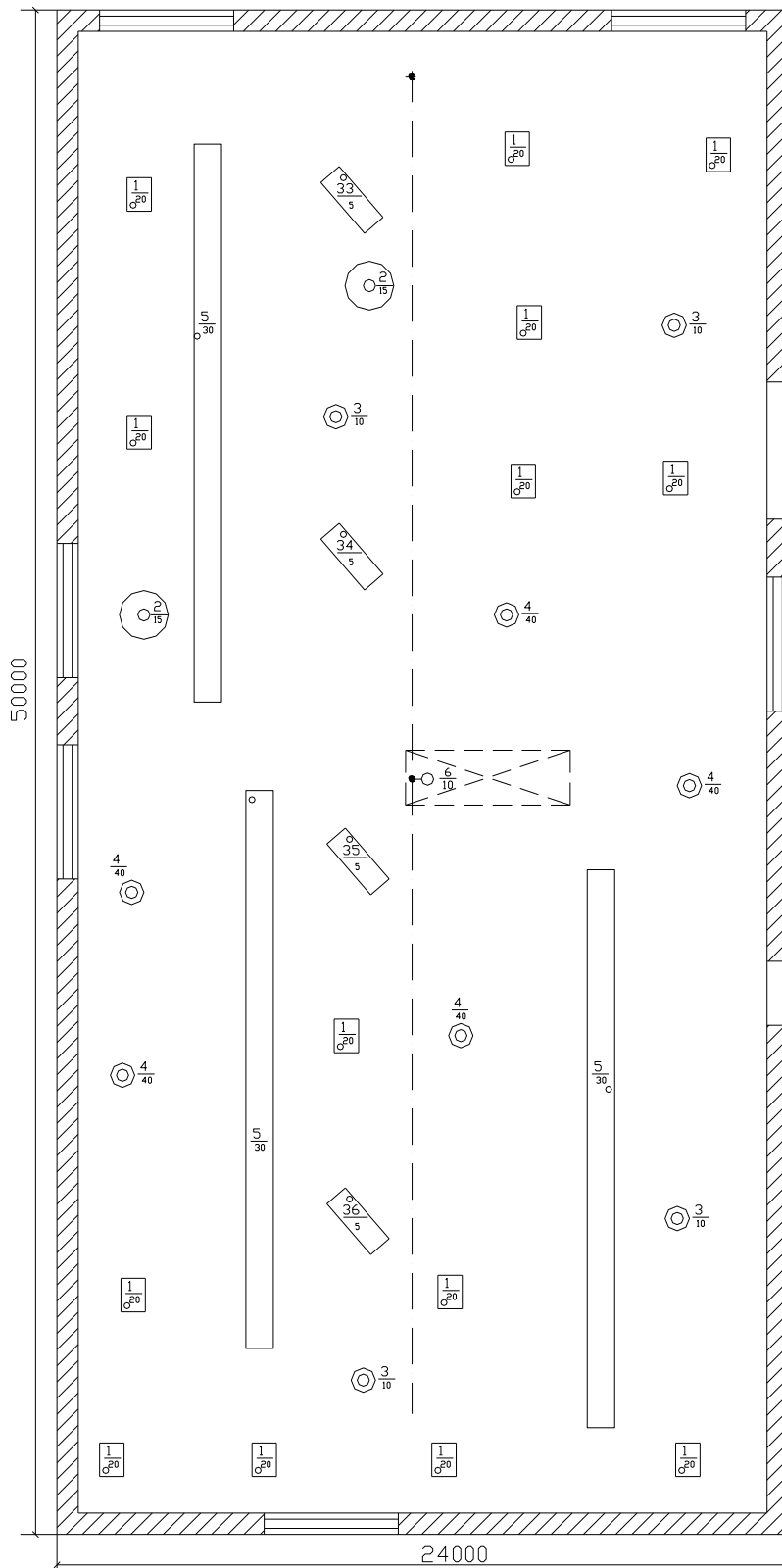


Рисунок 2 – Исходный план расположения оборудования ремонтного цеха

Ремонтный цех специализируется на обслуживании и ремонте производственного оборудования и транспортных средств.

Для выполнения данных задач, в его состав включены многочисленные станки и сварочное оборудование, а также прочие механизмы.

Наличие собственного ремонтного цеха позволяет быстро устранять неисправности и минимизировать простои в работе.

Для производственной необходимости в проектируемом цеху располагаются следующие основные типы электрооборудования, работающие в продолжительном режиме:

- электроприводы конвейеров;
- сверлильный станок;
- металлообрабатывающие станки;
- вентиляторы.

Кроме этого, в проектируемом цехе также имеются электроприемники, работающие в повторно – кратковременном режиме, а именно:

- мостовой кран (ПВ=25%);
- кран-балки (ПВ=25%);
- сварочный аппарат (ПВ=40%).

При расчёте электрических нагрузок надо обязательно учесть режимы работы оборудования.

Электроприемники в ремонтном цехе по надежности электроснабжения относятся ко второй категории, рассчитаны на переменный ток напряжением 380/220 В.

Они устанавливаются стационарно и по площади цеха распределены равномерно.

Окружающая среда в цехе нормальная, температура 25 °С.

Таким образом, установлено, что 50% нагрузки агропромышленного предприятия – приемники 10 кВ.

Остальные приёмники работают на напряжении 0,38/0,22 кВ.

На основании исходных данных, далее проводится решение поставленных задач.

## **1.2 Требования к проектированию систем электроснабжения предприятий АПК**

Проектирование систем электроснабжения агропромышленных предприятий представляет собой комплексное задание, которое включает в себя разработку надежной, эффективной и экономически оправданной электрической инфраструктуры, способной удовлетворить потребности сельскохозяйственного производства, переработки и хранения продукции.

Такие системы должны учитывать специфику агропромышленного сектора, включая сезонные колебания в потреблении электроэнергии, распределение производственных мощностей по территории и необходимость обеспечения бесперебойной работы в условиях повышенной влажности и загрязненности [16].

Перед началом проектирования очень важно тщательно изучить потребности всех участков агропромышленного предприятия в электроэнергии, включая зоны выращивания, сбора урожая, переработки, хранения и административные здания.

Особое внимание следует уделить максимальной и средней нагрузке, а также возможным пиковым значениям вследствие пуска мощного электрооборудования.

Далее необходимо определить оптимальные источники электроснабжения с учетом возможности подключения к централизованным сетям, а также использования автономных источников энергии, таких как генераторы, солнечные панели и ветрогенераторы для обеспечения надежности энергоснабжения и снижения эксплуатационных расходов.

В классическом варианте при электроснабжении от энергосистемы, используются трансформаторные подстанции (ГПП и ЦТП).

Возможно применение совмещённого принципа компоновки СЭС предприятия (первая часть потребителей получает питание от энергосистемы через ГПП и ТП, а вторая часть – от собственных мощностей).

Далее необходимо выбрать схемные решения. Разработка схемы распределения электроэнергии включает выбор подходящих кабелей и оборудования, расчет трасс прокладки кабельных линий и определение мест установки распределительных устройств, учитывая необходимость минимизации потерь электроэнергии и обеспечения легкого доступа к элементам системы для обслуживания.

Кроме того, при проектировании СЭС предприятий АПК важен выбор систем защиты от перегрузок, коротких замыканий и других аварийных режимов. Также необходимо обеспечить защиту от статического электричества и молний, особенно для сооружений, расположенных на открытых территориях.

Также проектирование системы электроснабжения должно включать меры по повышению энергоэффективности и снижению воздействия на окружающую среду, например, через использование современного энергосберегающего оборудования и технологий, а также через интеграцию возобновляемых источников энергии.

Система должна быть гибкой и адаптируемой к будущему расширению производства, изменениям в технологических процессах и возможному увеличению энергопотребления, что включает в себя разработку модульной архитектуры системы, способной к масштабированию и модернизации без значительных изменений в основной инфраструктуре.

В итоге, проектирование систем электроснабжения агропромышленных предприятий требует комплексного подхода, ориентированного на обеспечение надежности, безопасности, энергоэффективности и экологичности электроснабжения.

Данные аспекты включают в себя не только выбор подходящего оборудования и материалов, но и учет специфических условий агропромышленного сектора, а также потенциального развития и расширения предприятий в будущем.

Приведённые требования необходимо учесть в работе.

Выводы по разделу.

Проведён анализ исходных технических и технологических данных на выполнение работы.

Рассмотрен состав рассматриваемого в работе агропромышленного предприятия. Установлено, что в него входит комплекс, состоящий из десяти цехов и подразделений.

Установлено, что 50% нагрузки агропромышленного предприятия – приемники 10 кВ.

Остальные приёмники работают на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Приведены исходные данные электрических нагрузок и исходный генплан агропромышленного предприятия.

Установлено, что согласно заданию, необходимо провести разработку системы электроснабжения отдельного цеха агропромышленного предприятия. Для данной роли выбран ремонтный цех предприятия АПК.

Рассмотрены электрические нагрузки ремонтного цеха и план расположения его потребителей.

На основании исходных данных, далее проводится решение поставленных задач.

## 2 Расчёт электрических нагрузок и выбор схемы электроснабжения предприятия

### 2.1 Выбор схемы электроснабжения предприятия

Проводится выбор схемы электроснабжения предприятия.

Рациональное напряжение внешней питающей системы вычисляется по формуле Стилла, кВ:

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

где « $L$  – длина линии, км;

$P$  – передаваемая мощность, кВт, принимается равной расчетной активной нагрузке предприятия  $P_{р.н}$  (таблица 1)» [5].

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

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

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

Таким образом, на питающей ГПП агропромышленного предприятия приняты два класса напряжения: 35 кВ (питающее напряжение внешней СЭС объекта) и 10 кВ (распределительное напряжение внешней СЭС объекта).

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



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

Следовательно, внешняя система электроснабжения предприятия будет состоять со следующих основных элементов:

- питающая линия электропередачи напряжением 35 кВ;
- питающая ГПП-35/10 кВ, состоящая из двух силовых трансформаторов, а также распределительных устройств высшего (35 кВ) и низшего напряжений (10) кВ.

Проводится выбор схем РУ питающей ГПП-35/10 кВ. Так как данная ГПП-35/10 кВ будет питать один конечный потребитель (проектируемое агропромышленное предприятие), по месту расположения в энергосистеме такая подстанция будет являться тупиковой.

Для РУ-35 кВ тупиковой ГПП-35/10 кВ с отходящими линиями 35 кВ и двумя силовыми трансформаторами выбирается схема 4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

Такая схема является одной из распространенных схем, используемых в РУ 35-500 кВ подстанций электроэнергетических систем.

Схема 4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» относится к типу схем подключения оборудования в распределительных устройствах, где используются две параллельные системы шин с возможностью переключения между ними. Эта схема обеспечивает увеличенную надежность электроснабжения за счет возможности маневрирования потоками мощности между различными источниками и шинами.

Основные элементы схемы:

- два блока шин: две параллельные линии шин, каждая из которых может быть подключена к своему источнику питания или к разным источникам;
- выключатели: установлены на каждом входе к блокам шин для обеспечения возможности отключения или подключения источников

питания к соответствующим шинам;

- неавтоматическая перемычка: предназначена для ручного переключения нагрузки между блоками шин со стороны линий, что позволяет подключать линии к любой из систем шин в зависимости от текущих условий эксплуатации или в случае аварии на одной из шин.

В нормальном режиме каждый блок шин обслуживает свою часть нагрузки. В случае необходимости проведения ремонтных работ или при возникновении аварийной ситуации на одном из блоков шин можно переключить всю или часть нагрузки на другой блок с помощью неавтоматической перемычки. Это позволяет минимизировать время простоя и обеспечить бесперебойное питание потребителей.

Преимущества схемы:

- гибкость эксплуатации: возможность переключения нагрузки между блоками шин дает гибкость в управлении системой электроснабжения;
- повышенная надежность: схема обеспечивает дополнительную надежность за счет возможности изолировать поврежденные участки и перераспределения нагрузки;
- простота обслуживания: неавтоматическая перемычка позволяет легко переключать нагрузки между шинами без необходимости сложных автоматических систем управления.

Однако такая схема также имеет некоторые недостатки:

- необходимость ручного управления: перемычка требует ручного вмешательства для переключения, что может увеличить время реакции на изменения в системе электроснабжения;
- риск ошибки оператора: ручное управление повышает вероятность ошибок при переключении, особенно в аварийных ситуациях.

Схема 4Н находит применение на объектах, где важно обеспечить высокий уровень надежности электроснабжения и возможность быстрого восстановления после аварий, а также там, где допустимо ручное управление

переключениями. Для питания потребителей II категории надёжности, к которым относится агропромышленное предприятие, данная схема является приемлемой.

Для РУ 10 кВ рассматриваемой подстанции принята типовая схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин» [3]. Схема, применяемая в РУ-10 кВ на стороне НН ГПП-35/10 кВ, является наиболее распространённой в сетях 6(10) кВ при двух источниках питания [3].

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

Ключевые элементы данной схемы:

- шины: основной элемент распределительного устройства, к которому подключаются все входящие и исходящие линии;
- секционный выключатель: устройство, позволяющее разделять шины на секции для возможности отключения или подключения их независимо друг от друга, что обеспечивает гибкость в управлении нагрузкой и повышает надёжность системы;
- входящие линии: линии, подводящие электроэнергию от источников питания (например, от подстанции);
- исходящие линии: линии, распределяющие электроэнергию к потребителям или к другим частям электроэнергетической системы.

Преимущества схемы:

- надёжность: возможность продолжения работы части системы при возникновении неисправности или проведении технического обслуживания на другой части;
- простота эксплуатации: схема не требует сложного обслуживания и легка в управлении;

- экономичность: по сравнению с многошинными системами, данная схема является более экономичным вариантом при сохранении достаточной надежности электроснабжения.

Недостатки схемы заключаются в следующем:

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

Таким образом, данная схема на стороне 10 кВ ГПП подходит для объектов, где требуется баланс между надежностью, простотой и стоимостью системы электроснабжения.

От шин РУ 10 кВ подстанции питается внутренняя система электроснабжения предприятия.

В состав внутренней системы электроснабжения предприятия входят следующие элементы:

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

Кроме того, в состав системы электроснабжения предприятия входят также высоковольтные электродвигатели и печи, которые получают питание напрямую от шин РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, минуя ЦТП.

Таким образом, принятые схемные решения для внедрения в систему электроснабжения проектируемого агропромышленного предприятия, представлены на рисунке 3.

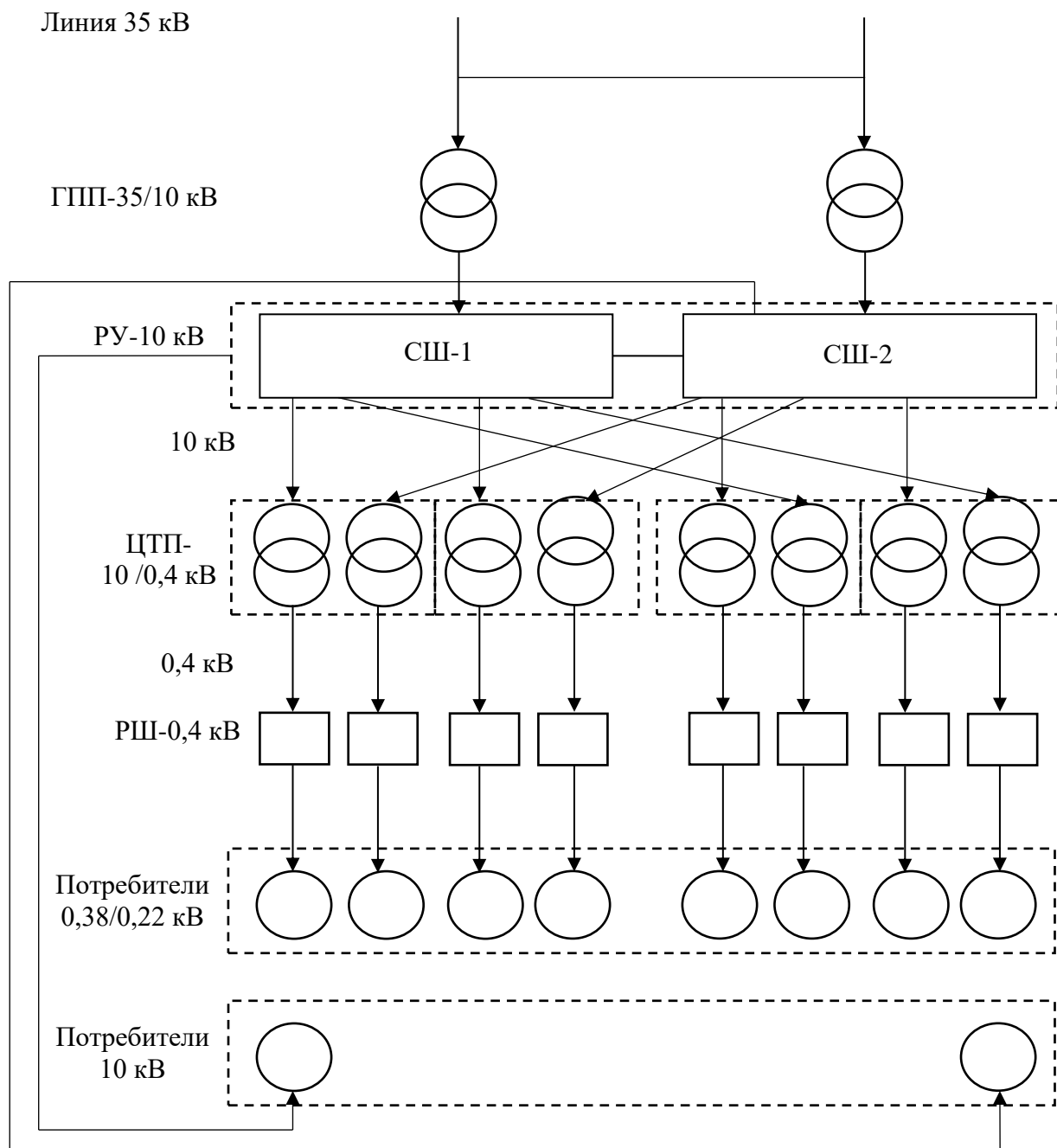


Рисунок 3 – Принятые схемные решения для внедрения в систему электроснабжения проектируемого агропромышленного предприятия

На основе принятых схемных решений для внедрения в систему электроснабжения проектируемого агропромышленного предприятия, далее в работе проводится решение поставленных задач.

Принятые схемные решения также представлены в графической части работы.

## 2.2 Расчёт электрических нагрузок ремонтного цеха

Расчёт электрических нагрузок ремонтного цеха проводится с помощью метода упорядоченных диаграмм.

Метод упорядоченных диаграмм – это метод расчета электрических нагрузок, позволяющий оценить максимальную нагрузку цеха или любого другого производственного объекта. Он основан на статистическом анализе работы всех потребителей электроэнергии в течение определенного периода времени. Этот метод позволяет учесть неодновременность включения различных потребителей и на основе полученных данных спрогнозировать максимальную суммарную нагрузку с достаточной степенью точности.

«Расчетная мощность группы электроприемников определяется по формуле, кВт» [19]:

$$P_p = K_m P_{см} = K_m K_u P_{ном}, \quad (2)$$

где « $P_{см}$  – средняя активная мощность группы электроприемников за наиболее нагруженную смену, кВт;

$P_{ном}$  – суммарная номинальная активная мощность группы электроприемников, кВт;

$K_u$  – групповой коэффициент использования активной мощности» [19].

Последний определяется так:

$$k_{И} = \frac{\sum_{i=1}^n k_H P_H}{\sum_{i=1}^n P_H}, \quad (3)$$

$K_m$  – «групповой коэффициент максимума» [19].

«Коэффициент максимума» [19]:

$$K_m = f(n_э, K_u), \quad (4)$$

где  $n_э$  – эффективное число электроприемников (если  $n_э > n$ , то следует принять  $n_э = n$ ).

Отсюда [19]:

$$n_э = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_H\right)^2}{\sum_{i=1}^n P_H}. \quad (5)$$

Данная формула используется при  $m > 3$ ;  $K_m < 0,2$  [5].

Для нахождения группового коэффициента мощности, предлагается воспользоваться формулой [19]:

$$\cos\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n \cos\varphi \cdot P_H}{\sum_{i=1}^n P_H}. \quad (6)$$

Для электроприемников, работающих в прерывистом режиме, номинальная мощность рассчитывается исходя из величины повторного включения ПВ, кВт [19]:

$$P_H = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}}. \quad (7)$$

Номинальная мощность кран-балки с ПВ = 25%:

$$P_H = 10 \cdot \sqrt{0,25} = 5 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная мощность группы электроприемников [19]:

$$Q_p = K'_m \cdot Q_{см} = K'_m \cdot P_{см} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (8)$$

где « $Q_{см}$  – средняя реактивная мощность группы электроприемников за наиболее нагруженную смену, квар;

$K'_m$  – коэффициент максимума реактивной нагрузки, равный  $K'_m = 1,1$  при  $nэ \leq 10$ ,  $K'_m = 1$  при  $nэ > 10$ ;

$\text{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности, соответствующий средневзвешенному  $\cos\varphi$ » [19].

Токовые нагрузки для потребителей рассчитываются по известным формулам.

Для группового электроприемника ток будет рассчитываться, А [19]:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{л}}. \quad (9)$$

Для отдельного трёхфазного электроприемника ток будет, А [19]:

$$I_P = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \cos\varphi}. \quad (10)$$

Для отдельного однофазного электроприемника ток будет, А [19]:

$$I_P = \frac{P_H}{U_{\text{Фазн}} \cdot \cos\varphi}. \quad (11)$$

Для ЩР-1:



$$k_{и.с.в} = \frac{5 \cdot 0,1 + 12,6 \cdot 0,2 + 5 \cdot 14 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,5}{5 + 12,6 + 5 \cdot 14 + 10} = 0,33,$$

$$n_{э} = \frac{97,6^2}{5^2 + 12,6^2 + 5 \cdot 14^2 + 10^2} = 7,$$

$$m = \frac{P_{НОМ.маx}}{P_{НОМ.миn}} = \frac{14}{5} = 2,8 = 3.$$

По [19], методом интерполяции:

$$K_M = 1,73,$$

$$P_{см} = 0,33 \cdot 97,6 = 32,2 \text{ кВт},$$

$$P_p = 1,73 \cdot 0,33 \cdot 97,6 = 55,7 \text{ кВт},$$

$$\cos \varphi_{с.в} = \frac{5 \cdot 0,65 + 12,6 \cdot 0,65 + 5 \cdot 14 \cdot 0,7 + 10 \cdot 0,7}{5 + 12,6 + 5 \cdot 14 + 10} = 0,65,$$

$$tg \varphi_{с.в} = 1,17,$$

$$Q_{см} = 1,17 \cdot 32,2 = 37,7 \text{ квар},$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 37,7 = 41,4 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{55,7^2 + 41,4^2} = 69,4 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{69,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 105,5 \text{ А}.$$

Номинальный ток для кран-балки:

$$I_p = \frac{5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 11,7 \text{ А}$$

Аналогично определены остальные расчётные нагрузки отдельных потребителей, распределительных шкафов, а также всей системы внутреннего электроснабжения ремонтного цеха.

Полученные результаты представлены в работе в форме таблицы 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических нагрузок ремонтного цеха

Наименование РУ и оборудования	$P_{ном}$ , кВт	$n$	$P_{ном}$ $\Sigma$ , кВт	$K_u$	$m$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средние нагрузки					Расчетные нагрузки			
								$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар	$n_{э}$	$K_{м.р}$	$K_m$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p/I_{ном}$ А
ЩР-1	-	8	97,6	0,33	3	0,65	1,17	32,2	37,7	7	1,1	1,73	55,7	41,4	69,4	105,5
Кран-балки, ПВ=25%	5	1	5	0,1	-	0,65	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-	11,7
Сварочный аппарат, ПВ=40%	12,6	1	12,6	0,2	-	0,65	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-	29,5
Металлообрабатывающие станки	14	5	70	0,2	-	0,7	1,02	-	-	-	-	-	-	-	-	32,7
Вентиляторы	10	1	10	0,5	-	0,7	1,02	-	-	-	-	-	-	-	-	23,4
ЩР-2	-	7	112	0,48	10	0,69	1,05	53,8	56,5	6	1,1	1,63	87,7	62,2	107,5	163,3
Электроприводы конвейеров	50	1	50	0,6	-	0,65	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-	116,9
Кран-балки, ПВ=25%	5	2	10	0,1	-	0,65	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-	11,7
Металлообрабатывающие станки	14	3	42	0,2	-	0,7	1,02	-	-	-	-	-	-	-	-	32,7
Вентиляторы	10	1	10	0,5	-	0,7	1,02	-	-	-	-	-	-	-	-	23,4
ЩР-3	-	7	108	0,42	10	0,67	1,11	51,2	55,7	5	1,1	1,65	82,0	60,3	104,6	158,5
Электроприводы конвейеров	50	1	50	0,6	-	0,65	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-	116,9
Мостовой кран, ПВ=25%	5	1	5	0,1	-	0,65	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-	11,7
Кран-балки, ПВ=25%	5	1	5	0,1	-	0,65	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-	11,7
Металлообрабатывающие станки	14	2	28	0,2	-	0,7	1,02	-	-	-	-	-	-	-	-	32,7
Вентиляторы	10	2	20	0,5	-	0,7	1,02	-	-	-	-	-	-	-	-	23,4
ЩР-4	-	7	74,5	0,43	3,0	0,69	1,05	32,4	34,0	5	1,1	1,68	54,4	37,4	66,0	100,3

Продолжение таблицы 3

Наименование РУ и оборудования	$P_{ном}$ , кВт	$n$	$P_{ном}$ $\Sigma$ , кВт	$K_u$	$m$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средние нагрузки					Расчетные нагрузки			
								$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар	$n_{э}$	$K_{м.р}$	$K_m$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p/I_{ном}$ А
Кран-балки, ПВ=25%	5	1	5	0,1	-	0,65	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-	11,7
Сверлильный станок	3,5	1	3,5	0,2	-	0,7	1,02	-	-	-	-	-	-	-	-	8,2
Металлообрабатывающие станки	14	4	56	0,2	-	0,7	1,02	-	-	-	-	-	-	-	-	32,7
Вентиляторы	10	1	10	0,5	-	0,7	1,02	-	-	-	-	-	-	-	-	23,4
ЩО (раб.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,9	20,6	34,7	52,7
ЩО (авар.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,8	2,6	3,8	5,8
1СШ: (ЩР-1; ЩР-2; ЩО (авар))	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	146,2	106,2	180,7	278,0
2СШ: (ЩР-3; ЩР-4; ЩО (раб))	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150,3	108,3	185,3	285,0
Всего на шинах РП	-	-	392,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	296,5	214,5	366,0	563,0

Помимо силового оборудования важную группу электроприемников ремонтного цеха составляют осветительные приборы, потребляемую мощность которых определим далее.

### 2.3 Расчёт электрических нагрузок освещения предприятия

Расчетная активная мощность приемников освещения цеха определяется по методу коэффициента спроса.

Метод коэффициента спроса используется для расчёта систем освещения, преимущественно в промышленных, офисных и общественных зданиях, где требуется обеспечить оптимальный уровень освещённости при различных условиях эксплуатации.

Основная идея метода заключается в определении коэффициента спроса (КС), который отражает отношение фактической нагрузки освещения к максимально возможной в определённом помещении или на рабочем месте.

КС рассчитывается как отношение средней фактической нагрузки осветительной установки к её максимальной мощности.

Фактическая нагрузка может зависеть от многих факторов, включая режим работы предприятия, наличие естественного освещения и специфику производственных процессов.

В зависимости от полученного значения коэффициента спроса производится корректировка количества светильников или их мощности для достижения требуемого уровня освещённости.

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

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{ном.o} K_{пра}, \quad (12)$$

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

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

$K_{пра}$  – коэффициент, учитывающий потери мощности в

пускорегулирующей аппаратуре для светодиодных ламп» [8].

$$P_{ном.о} = P_{уд.о} F_{ц}, \quad (13)$$

где « $P_{уд.о}$  – удельная установленная мощность осветительных приемников на  $1\text{ м}^2$  освещаемой площади цеха, кВт/ $\text{м}^2$ ;  
 $F_{ц}$  – площадь пола цеха по генплану,  $\text{м}^2$ » [8].

«Светодиодные лампы используются на предприятии как основные источники света.

Для них реактивная мощность» [15]:

$$Q_{р.о} = P_{р.о} \cdot \text{tg}\phi_0, \quad (14)$$

где  $\text{tg}\phi_0$  – «коэффициент реактивной мощности электроприемников освещения (для светодиодных ламп – 0,43)» [8].

«Расчет мощности освещения для главного корпуса» [15]:

$$\begin{aligned} P_{уд.о} &= 15 \text{ Вт} / \text{м}^2, \\ F &= 50 \cdot 100 = 5000 \text{ м}^2, \\ P_{ном.о} &= 5000 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 75 \text{ кВт}, \\ P_{р.о} &= 75 \cdot 1,05 \cdot 0,95 = 74,8 \text{ кВт}, \\ Q_{р.о} &= 75 \cdot 0,43 = 32,3 \text{ квар}. \end{aligned}$$

Расчет освещения для остальных помещений предприятия сведён в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчетные нагрузки освещения на предприятии

Наименование цеха	$F_{ц}, \text{м}^2$	$P_{уд.о}, \text{Вт/м}^2$	$P_{ном.о}, \text{кВт}$	$K_{с.о}$	тип лампы	$K_{пр.а}$	$tg\varphi_0$	$P_{р.о}, \text{кВт}$	$Q_{р.о}, \text{квар}$
Главный корпус	5000	15	75,0	0,95	LED	1,05	0,43	74,8	32,3
Блок вспомогательных цехов	7500	15	112,5	0,95	LED	1,05	0,43	112,2	48,2
Цех первичной переработки	12000	15	180,0	0,95	LED	1,05	0,43	179,6	77,2
Цех глубокой переработки	5000	15	75,0	0,85	LED	1,05	0,43	74,8	32,3
Цех утилизации отходов	7500	15	112,5	0,95	LED	1,05	0,43	112,2	48,2
Экспериментальный цех	12000	15	180,0	0,95	LED	1,05	0,43	179,6	77,2
Цех контроля и упаковки готовой продукции	4000	10	40,0	0,95	LED	1,05	0,43	39,9	17,2
Компрессорная станция	12000	12	144,0	0,95	LED	1,05	0,43	143,6	61,7
Складской комплекс	5000	14	70,0	0,6	LED	1,05	0,43	69,8	30,0
Цех (рассчитываемый)	3200	10	48,0	0,95	LED	1,05	0,43	27,9	20,6
Освещение территории предприятия	158800	4	63,5	0,95	LED	1,05	0,43	63,3	27,2
Всего по предприятию	232000	-	-	-	-	-	-	1077,7	452,1

Для выбора электрооборудования ГПП необходимо определить электрическую мощность, требующуюся для нужд всех электропотребителей предприятия в целом, которую рассчитаем далее.

## 2.4 Расчёт электрических нагрузок предприятия

При проведении расчёта учитывается силовая и осветительная нагрузки. Расчёт электрических нагрузок предприятия проводится с помощью метода коэффициента спроса [18].

«Активная нагрузка объектов, кВт» [18]:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (15)$$

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

$K_c$  – значение коэффициента спроса» [18].

«Реактивная нагрузка, квар» [18]:

$$Q_p = P_n \cdot \operatorname{tg}\varphi, \text{ квар}. \quad (16)$$

«Полная нагрузка, кВА» [18]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (17)$$

На примере главного корпуса по условиям (1) – (3):

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

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

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

Аналогичные расчёты проведены для остальных подразделений агропромышленного предприятия и всей питающей ГПП-35/10 кВ. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта силовых электрических нагрузок предприятия

Наименование цеха	$P_{ном},$ кВт	$K_c$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А
Главный корпус	4500	0,3	0,7	1,02	1350	1377	1928,4	106,0
Вспомогательные цеха	3000	0,3	0,7	1,02	900	918	1285,6	70,7
Цех первичной переработки	1200	0,35	0,75	0,88	420	369,6	559,5	30,7
Цех глубокой переработки	3000	0,4	0,75	0,88	1200	1056	1598,5	87,8
СД 10 кВ	5000	0,4	0,75	0,88	2000	1760	2664,1	146,4
Цех утилизации	700	0,4	0,8	0,75	280	210	350,0	19,2
ЭП 10 кВ	2200	0,4	0,8	0,75	880	660	1100,0	60,4
Экспериментальный цех	1500	0,5	0,7	1,02	750	765	1071,4	58,9
Цех контроля и упаковки	200	0,3	0,7	1,02	60,0	61,2	85,7	4,7
Компрессорная станция (СД 10 кВ)	2880	0,4	0,75	0,88	1152,0	1013,8	1534,6	84,3
Складской комплекс	200	0,3	0,7	1,02	60,0	61,2	85,7	4,7
Цех ремонтный	392,1	-	-	-	296,5	214,5	366,0	563,0
Итого	24772,1	-	-	-	9348,5	1598,7	12629,5	693,9

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

$$S_{p.n} = \sqrt{(P_{p.n} + P_{p.o})^2 + (Q_{p.n} + Q_{p.o})^2}. \quad (18)$$

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

$$P_{p.ГПП} = (\Sigma P_{p.n} + \Sigma P_{p.в}) K_{pm} + \Sigma P_{p.o} + \Sigma \Delta P_{mц}, \text{кВт}, \quad (19)$$

$$Q_{p.ГПП} = (\Sigma Q_{p.n} + \Sigma Q_{p.в}) K_{pm} + \Sigma Q_{p.o} + \Sigma \Delta Q_{mц}, \text{квар}, \quad (20)$$



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

Полная суммарная нагрузка питающей ГПП-35/10 кВ предприятия [19]:

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{P_{p.ГПП}^2 + Q_{p.ГПП}^2}, \text{кВА.} \quad (21)$$

Входная реактивная мощность, которая отводится предприятию [11]:

$$Q_{\phi 1} = \operatorname{tg} \phi_{\phi 1} P_{p.ГПП}, \text{квар,} \quad (22)$$

где  $\operatorname{tg} \phi_{\phi 1} = 0,328$  – «экономически целесообразный коэффициент реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП-35/10 кВ» [11].

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

$$\Delta P_{m.ГПП} = 0,02 S_{p1,ГПП}, \text{кВт,} \quad (23)$$

$$\Delta Q_{m.ГПП} = 0,1 S_{p1,ГПП}, \text{квар.} \quad (24)$$

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

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

Производится расчет для главного корпуса.

Полная суммарная расчетная нагрузка:

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

Предварительные потери в цеховых трансформаторах объекта:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Результаты расчётов суммарных нагрузок предприятия приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Расчетные суммарные нагрузки предприятия

Наименование цеха	Р <sub>рн</sub> , кВт	Р <sub>р.о</sub> , кВт	Q <sub>рн</sub> , квар	Q <sub>р.о</sub> , квар	Р <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	Sp, кВА	ΔP <sub>т</sub> , кВт	ΔQ <sub>т</sub> , квар
Главный корпус	1350	74,8	1377	32,3	1424,8	1409,3	2004,0	40,1	200,4
Блок вспомогательных цехов	900	112,2	918	48,2	1012,2	966,2	1399,3	28,0	139,9
Цех первичной переработки	420	179,6	369,6	77,2	599,6	446,8	747,8	15,0	74,8
Цех глубокой переработки	1200	74,8	1056	32,3	1274,8	1088,3	1676,2	33,5	167,6
(в т.ч. СД 10 кВ)	2000	-	1760	-	2000	1760	2664,1	53,3	266,4
Цех утилизации отходов	280	112,2	210	48,2	392,2	258,2	469,6	9,4	47,0
(в т.ч. ЭП 10 кВ)	880	-	660	-	880	660	1100,0	22,0	110,0
Экспериментальный цех	750	179,6	765	77,2	929,6	842,2	1254,4	25,1	125,4
Цех контроля и упаковки готовой продукции	60,0	39,9	61,2	17,2	99,9	78,4	127,0	2,5	12,7
Компрессорная станция (СД 10 кВ)	1152,0	143,6	1013,8	61,7	1295,6	952,1	1607,8	32,2	160,8
Складской комплекс	60,0	69,8	61,2	30,0	129,8	91,2	158,6	3,1	15,9
Ремонтный цех	392,1	27,9	-	20,6	296,5	214,5	366,0	7,3	36,6
Освещение территории	-	63,3	-	27,2	63,3	27,2	68,9	1,4	6,9
Итого на стороне 10 кВ, без учета КРМ	9444,1	1077,7	8251,8	472,2	10322,5	9675,8	14148,3	272,9	1364,4
Потери в трансформаторах ГПП с учетом КРМ	-	-	-	-	10322,5	4640,7	11317,7	226,4	1131,8
Итого на стороне ВН	-	-	-	-	10548,9	10807,6	15102,4	-	-

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

Выводы по разделу.

Приняты соответствующие схемные решения для применения в проектируемой системе электроснабжения агропромышленного предприятия.

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

предприятия будет состоять со следующих основных элементов:

- питающая линия электропередачи напряжением 35 кВ;
- питающая ГПП-35/10 кВ, состоящая из двух силовых трансформаторов, а также распределительных устройств высшего (35 кВ) и низшего напряжений (10 кВ).

Проведён выбор схем РУ питающей ГПП-35/10 кВ. Определено, что так как данная ГПП-35/10 кВ будет питать один конечный потребитель (проектируемое агропромышленное предприятие), по месту расположения в энергосистеме такая подстанция будет являться тупиковой.

Для РУ-35 кВ тупиковой ГПП-35/10 кВ с отходящими линиями 35 кВ и двумя силовыми трансформаторами выбрана схема 4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий». Для РУ 10 кВ ГПП-35/10 кВ принята типовая схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин». Установлено, что данные схемы на сторонах 35 кВ и 10 кВ ГПП подходят для объектов, где требуется баланс между надёжностью, простотой и стоимостью системы электроснабжения.

Установлено, что в состав внутренней системы электроснабжения предприятия входят следующие элементы:

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

Кроме того, в состав системы электроснабжения предприятия входят также высоковольтные электродвигатели и печи, которые получают питание напрямую от шин РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, минуя ЦТП.

Рассчитаны электрические нагрузки детально рассматриваемого ремонтного цеха, а также освещения, силовой и суммарной нагрузки системы электроснабжения агропромышленного предприятия.

### 3 Расчёт и выбор силовых трансформаторов

#### 3.1 Выбор трансформаторов главной понизительной подстанции

Выбор трансформаторов для главной понизительной подстанции 35/10 кВ предприятия – это важный этап проектирования энергетической системы, который требует учета ряда технических и экономических параметров.

При этом основной задачей является обеспечение надежного и эффективного электроснабжения всех производственных процессов предприятия. Основным критерием является выбор мощности трансформатора, который должен соответствовать суммарной максимальной нагрузке предприятия с учетом будущего развития и возможного расширения.

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

С учётом этого, расчётная мощность силового трансформатора для установки на ГПП-35/10 кВ агропромышленного предприятия [9]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{м.знп}}{N \cdot K_3}, \quad (26)$$

где « $S_{м.знп}$  – полная расчетная нагрузка» [9].

«Значит» [9]:

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

В зависимости от условий эксплуатации и размещения подстанции выбирают между масляными и сухими трансформаторами. Масляные трансформаторы характеризуются высокой надежностью и длительным сроком службы, но требуют строительства специального фундамента и

обеспечения пожарной безопасности. Сухие трансформаторы безопаснее в плане пожарной безопасности и не требуют специального фундамента, но обычно стоят дороже. Исходя из данной информации, для установки на питающей ГПП-35/10 кВ выбираются два силовых трансформатора типа ТМН-10000/35, которые удовлетворяют условиям выбора [9].

«Проверка на соответствие номинальной мощности выполняется» [9]:

$$S_{ном.т} \geq S_{м.зпп}, МВА. \quad (27)$$

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

«Проверка на перегрузочную способность выполняется» [9]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{м.зпп}}{S_{ном.т}} \leq 0,7. \quad (28)$$

$$K_{з.н} = \frac{S_{м.зпп}}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (29)$$

«Проверка в нормальном режиме выполняется» [9]:

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

«Проверка в послеаварийном режиме выполняется» [9]:

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

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

### 3.2 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций

Выбор и проверка трансформаторов для цеховых трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ на предприятии требует комплексного подхода, учитывающего как технические характеристики оборудования, так и специфические требования производственного процесса.

Эти подстанции выполняют критически важную функцию по обеспечению надежного и эффективного питания различных цехов предприятия, в том числе оборудования с низким рабочим напряжением.

Выбор и проверка трансформаторов – ответственный этап, требующий внимательного подхода и соответствия всем техническим требованиям и стандартам безопасности, что обеспечит надежное и безопасное электроснабжение производственных цехов предприятия.

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

«Удельная плотности нагрузки» [5]:

$$\sigma_{y\partial} = S_{cm} / F_{ц}, \text{кВА} / \text{м}^2, \quad (30)$$

где « $S_{cm}$  – полная расчетная нагрузка (среднее значение) цеха, кВА» [5].

Последняя определяется так:

$$S_{cm} = K_{32} S_p, \quad (31)$$

где « $F_{ц}$  – площадь цеха по генплану,  $\text{м}^2$ » [5].

Для главного корпуса:

$$\sigma_{y\partial} = 1928,4 / 5000 = 0,39 \text{кВА} / \text{м}^2.$$

«Мощность трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ» [8]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\Sigma P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (32)$$

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

$N$  – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.;

$\beta_{\text{т}}$  – нормируемое значение коэффициента активной загрузки трансформаторов подстанции» [8].

«На примере новой цеховой ТП-1» [8]:

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

Трансформатор ближайшей стандартной мощности ТМ-1250/10 не проходит по условиям загрузочной и перегрузочной способности, поэтому на ТП-1 предприятия предварительно устанавливаются два силовых трансформатора ТМ-1600/10» [8].

«Проверка по условиям нормальной нагрузки выполняется» [8]:

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

«Проверка по условиям аварийной перегрузки также выполняется» [8]:

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

«Наибольшую РМ, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть НН без превышения предусмотренного коэффициента нормальной загрузки  $\beta_{\text{норм.т}}$ , определяется по формуле, квар» [12]:



$$Q_{\max,m} = \sqrt{\left(N_{\text{отт}} \beta_{\text{норм.т}} S_{\text{ном}}\right)^2 - P_{\text{см}}^2}. \quad (33)$$

Для ТП-1:

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

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

$$Q_{\text{НБК}} = Q_{\text{см}} - Q_{\max,m}. \quad (34)$$

Для ТП-1:

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

При  $Q_{\text{НБК}} < 0$  установка КУ на данной подстанции не требуется. Поэтому на ТП-1 КУ не устанавливаются.

Аналогично проведён выбор силовых трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ агропромышленного предприятия с учётом компенсации РМ. Результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор цеховых трансформаторов

№ ТП	№ цеха	Наименование цеха	$F_{ц},$ м <sup>2</sup>	$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ квар	$S_{см},$ кВА	$\sigma_{уд},$ кВ·А/м <sup>2</sup>	$S_{ном.т},$ кВ·А	$Q_{max.т},$ квар	$Q_{НБК},$ квар	$R_{ТП},$ кВт	$Q_{ТП},$ квар	$S_{ТП},$ кВ·А
ТП-1	8	Компрессорная станция	5000	1295,6	952,1	1607,8	0,32	1600	1575,7	-409,2	1592,1	1166,5	1973,8
	10	Ремонтный цех	3200	296,5	214,5	366,0	0,11						
ТП-2	6	Экспериментальный цех	12000	929,6	842,2	1254,4	0,10	1600	1496,7	-489,4	1159,3	1011,8	1538,7
	7	Цех контроля и упаковки готовой продукции	4000	99,9	78,4	127,0	0,03						
	9	Складской комплекс	5000	129,8	91,2	158,6	0,03						
ТП-3	3	Цех первичной переработки	12000	599,6	446,8	747,8	0,06	2500	2666,9	-873,6	2266,6	1793,3	2890
	4	Цех глубокой переработки	5000	1274,8	1088,3	1676,2	0,34						
	5	Цех утилизации отходов	7500	392,2	258,2	469,6	0,06						
ТП-4	1	Главный корпус	5000	1424,8	1409,3	2004,0	0,39	2500	2512,2	-136,7	2437,0	2375,5	3403,2
	2	Блок вспомогательных цехов	7500	1012,2	966,2	1399,3	0,19						

Все цеховые ТП-10/0,4 кВ выполнены в виде комплектных подстанций, которые удобнее, компактнее и надёжнее закрытых и открытых типов подстанций [11].

Выводы по разделу.

Выбраны и проверены число, мощности и типонаминалы силовых трансформаторов системы электроснабжения агропромышленного предприятия.

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

Все цеховые ТП-10/0,4 кВ выполнены в виде комплектных подстанций, которые удобнее, компактнее и надёжнее закрытых и открытых типов подстанций.

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

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

## 4 Расчёт и выбор электрооборудования

### 4.1 Выбор кабельных линий ремонтного цеха

Выбор кабельных линий ремонтного цеха осуществляется по допустимому нагреву током нормального режима (расчётным током линии), А [10]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (35)$$

где « $I_p$  – расчётный ток линии, А» [10].

Допустимый ток [10]:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.каб.}} \cdot n \cdot K_n, \quad (36)$$

где  $K_n$  – коэффициент прокладки кабелей (если условия отличаются от стандартных).

Выбранный кабель необходимо проверить на допустимую потерю напряжения по условию [12]:

$$\Delta U = \frac{L(P_p \cdot r_0 - Q_p \cdot x_0)}{U^2} \cdot 100, \%. \quad (37)$$

Для питания ЩР-1 предварительно выбирается кабель АВВГ 3×70+1×35, проложенный открыто, в лотке.

Допустимый длительный ток кабелей выбирается из [12].

Активное и реактивное сопротивление кабеля:  $r = 0,474$  Ом/км,  $x = 0,15$  Ом/км [12].

Длительный допустимый ток для данного кабеля:

$$I_{\text{доп}} = 140 \cdot 1 \cdot 1 = 140 \text{ А.}$$

Условие проверки кабеля по нагреву длительным допустимым током выполняется:

$$140 \text{ А} > 105,5 \text{ А.}$$

Определяются потери напряжения в предварительно выбранном кабеле:

$$\Delta U = \frac{80(55,7 \cdot 0,549 + 41,4 \cdot 0,065)}{0,4^2} \cdot 100 = 2,3\%.$$

$$2,3\% \leq 5 \%$$

Условие выполняется.

Для ЩР-1 окончательно выбираем кабель АВВГ 3×70+1×35, проложенный открыто, в лотке.

Результаты выбора остальных кабелей ремонтного цеха представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора кабелей ремонтного цеха

Участок	I <sub>p</sub> , А	I доп, А	L, м	Кз, м	Способ прокладки	Марка шин или кабеля	Кабель		ΔU, %
							Сечение, мм <sup>2</sup>	Принятая марка	
ЩР-1	105,5	140,0	80	0,71	открыто, в лотке	АВВГ	70	3×70+1×35	2,3
Кран-балка, ПВ=25% №1	11,7	45,0	8	0,26	открыто, в лотке	АВВГ	10	3×10+1×6	0,1
Сварочный аппарат, ПВ=40%	29,5	60,0	12	0,49	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,2
Металлообрабатывающий станок №1	32,7	60,0	16	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,2
Металлообрабатывающий станок №2	32,7	60,0	18	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,3
Металлообрабатывающий станок №3	32,7	60,0	22	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,4
Металлообрабатывающий станок №4	32,7	60,0	16	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,3
Металлообрабатывающий станок №5	32,7	60,0	15	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,3
Вентилятор №1	23,4	60,0	26	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,4
ЩР-2	163,3	165,0	50	0,98	открыто, в лотке	АВВГ	95	3×95+1×50	1,6
Металлообрабатывающий станок №6	32,7	60,0	18	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,3
Металлообрабатывающий станок №7	32,7	60,0	22	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,4
Металлообрабатывающий станок №8	32,7	60,0	16	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,3
Вентилятор №2	23,4	60,0	10	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,2
Электропривод конвейеров №1	116,9	140,0	15	0,84	открыто, в лотке	АВВГ	70	3×70+1×35	0,1
Кран-балка, ПВ=25% №2	11,7	45,0	10	0,26	открыто, в лотке	АВВГ	10	3×10+1×6	0,1
Кран-балка, ПВ=25% №3	11,7	45,0	12	0,26	открыто, в лотке	АВВГ	10	3×10+1×6	0,2
ЩР-3	158,5	165,0	100	0,98	открыто, в лотке	АВВГ	95	3×95+1×50	2,3
Электропривод конвейеров №2	116,9	140,0	30	0,84	открыто, в лотке	АВВГ	70	3×70+1×35	0,3
Мостовой кран, ПВ=25%	11,7	45,0	12	0,26	открыто	ШТА-75	-	ШТА-75	2,6
Кран-балки, ПВ=25% №4	11,7	45,0	10	0,26	открыто, в лотке	АВВГ	10	3×10+1×6	0,1
Металлообрабатывающий станок №9	32,7	60,0	18	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,3
Металлообрабатывающий станок №10	32,7	60,0	22	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,4
Вентилятор №3	23,4	60,0	26	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,4
Вентилятор №4	23,4	60,0	26	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,4

Продолжение таблицы 8

Участок	I <sub>p</sub> , А	I доп, А	L, м	Kз, м	Способ прокладки	Марка шин или кабеля	Кабель		ΔU, %
							Сечение, мм <sup>2</sup>	Принятая марка	
ЩР-4	100,3	110,0	140	0,91	открыто, в лотке	АВВГ	50	3×50+1×25	2,9
Кран-балка, ПВ=25% №4	11,7	45,0	8	0,26	открыто, в лотке	АВВГ	10	3×10+1×6	0,1
Сверлильный станок	8,2	25,0	10	0,33	открыто, в лотке	АВВГ	2,5	3×4+1×2,5	0,4
Вентилятор №5	23,4	60,0	26	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,4
Металлообрабатывающий станок №11	32,7	60,0	18	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,3
Металлообрабатывающий станок №12	32,7	60,0	22	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,4
Металлообрабатывающий станок №13	32,7	60,0	16	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,3
Металлообрабатывающий станок №14	32,7	60,0	15	0,55	открыто, в лотке	АВВГ	16	3×16+1×10	0,3
ЩО (раб)	52,7	60,0	10	0,9	открыто, в лотке	АВВГ	25	3×25+1×16	0,2
ЩО (авар).	5,8	25	10	0,05	открыто, в лотке	АВВГ	2,5	3×4+1×2,5	0,3

Как можно видеть по данным таблицы 8 в ремонтном цехе агропромышленного предприятия питающие кабели планируется укладывать в лотках открытым способом.

#### 4.2 Выбор и проверка проводников питающей сети предприятия

С учётом внешней схемы электроснабжения объекта исследования необходимо выбрать и проверить проводники вводных линий питающей сети предприятия напряжением 10 кВ и 0,4 кВ.

Отходящие линии питающей сети предприятия напряжением 10 кВ и 0,4 кВ выполнены в виде кабельных линий.

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

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\text{э}}}, \quad (38)$$

где « $j_{\text{э}}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [14].

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

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.}}, \quad (39)$$

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

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

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.макс}}, \quad (40)$$

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

«Проверка по климатическим условиям (минимальное допустимое сечение проводника)» [13]:



$$F_{ст} \geq F_{мин}, мм^2. \quad (41)$$

Проводится выбор кабельной линии 10 кВ, питающей ТП-1 от шин РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ предприятия.

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

$$I_{р.норм} = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_{ном}}, \quad (42)$$

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

$$I_{р.ав} = 2I_{р.норм}, \quad (43)$$

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

Экономическое сечение жил кабеля:

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

Выбирается кабель АСБ - 3×35,  $I_{дл.доп.} = 115 А$  с укладкой в траншее [4].

Проверка кабеля в нормальном режиме работы

$$115 А \geq 54,3 А.$$

Условие выполняется.

Проверка кабеля в послеаварийном режиме работы:

$$115 А \geq 108,6 А.$$

Условие выполняется.

Сечение проводников остальных кабельных линий питающей сети 10 кВ и 0,4 кВ выбраны аналогично и представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор кабелей питающей сети 10 кВ и 0,4 кВ предприятия

Линия	Кол-во линий	$S_p$ , кВА	$I_{p.норм}$ , А	$I_{p.ав}$ , А	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>			Марка	L, м	R, Ом/ км	X, Ом/ км	$\Delta U\%$	$K_{п}$	$I_{доп}$	$K_{ав}$	$K_{ав \cdot X}$ $I_{доп}$	$\Delta P$ , Вт/км	Кз
					по $J_{эк}$	по нагрев у	принято											
$U_{л} = 10 \text{ кВ}$																		
ГПП-ТП1	2	1973,8	54,3	108,6	38,8	35	3×35	АСБ	100	0,84	0,095	0,21	0,9	103,5	1,35	139,7	4300	0,42
ГПП-ТП2	2	1538,7	42,3	84,6	30,2	35	3×35	АСБ	250	0,84	0,095	1,12	0,9	103,5	1,35	139,7	6945	0,52
ГПП-ТП3	2	2890,0	79,5	158,9	56,8	50	3×50	АСБ	400	0,59	0,09	1,48	0,9	126,0	1,35	170,1	7130	0,46
ГПП-ТП4	2	3403,2	93,6	187,2	66,9	70	3×70	АСБ	100	0,42	0,095	0,21	0,9	148,5	1,35	200,4	3352	0,38
ГПП-4 (СД)	2	5000,0	137,5	275,0	98,2	120	3×120	АСБ	100	0,31	0,083	0,35	0,9	216,0	1,35	291,6	5372	0,42
ГПП-8 (СД)	2	2880,0	79,2	158,4	56,6	50	3×50	АСБ	100	0,59	0,09	0,49	0,9	126,0	1,35	170,1	7130	0,46
ГПП-5 (ЭП)	2	2200,0	60,5	121,0	43,2	50	3×50	АСБ	100	0,59	0,09	0,54	0,9	126,0	1,35	170,1	7130	0,48
$U_{л} = 0,4 \text{ кВ}$																		
ТП1-10	2	366,0	264,1	528,2	-	2×70	2 шт. 3×70+1×35	АВВГ	25	0,42	0,061	0,34	0,9	360,0	1,35	486,0	52780	0,55
ТП2-7	2	127,0	91,7	183,4	-	50	3×50+1×25	АВВГ	200	0,59	0,063	2,17	0,9	148,5	1,35	200,5	60430	0,92
ТП2-9	2	158,6	114,5	229,0	-	70	3×70+1×35	АВВГ	180	0,42	0,061	3,47	0,9	180,0	1,35	243,0	20280	0,69
ТП3-3	2	747,8	539,7	1079,4	-	2×185	2 шт. 3×185+1×95	АВВГ	350	0,16	0,059	4,37	0,9	621,0	1,35	838,4	15038	0,64
ТП3-5	2	469,6	338,9	677,8	-	2×95	2 шт. 3×95+1×50	АВВГ	400	0,31	0,06	4,18	0,9	432,0	1,35	583,2	17576	0,61
ТП4-1	2	2004,0	1446,3	2892,6	-	6×185	6 шт. 3×185+1×95	АВВГ	25	0,16	0,059	0,24	0,9	1863	1,35	2515	44880	0,11
ТП4-6	2	414,8	315,1	630,2	-	2×95	2 шт. 3×95+1×50	АВВГ	120	0,20	0,059	1,22	0,9	432	1,35	583,2	27150	0,35

### 4.3 Выбор электрических аппаратов ремонтного цеха

Для обеспечения защиты и коммутации сети ремонтного цеха агропромышленного предприятия, выбираются автоматические выключатели.

Автоматические выключатели играют ключевую роль в схеме электроснабжения любого цеха или производственного объекта, обеспечивая защиту электрической сети и подключенного оборудования от перегрузок и коротких замыканий.

Расчет и выбор автоматического выключателя приводится для защиты и коммутации ЩР-1.

В качестве пиковой нагрузки от одного асинхронного двигателя принимают его пусковой ток, А [19]:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск.двmax}} + (\sum I_{\text{р-кн}} \cdot I_{\text{номmax}}) = i_{\text{п}} \cdot I_{\text{ном.дв}} + (\sum I_{\text{р-кн}} \cdot I_{\text{номmax}}), \quad (44)$$

где « $I_{\text{пуск.дв}}$  – пусковой ток двигателя, А, принимается  $I_{\text{пуск.дв}} = (3-5) I_{\text{ном.дв}}$ ;

$I_{\text{ном.дв}}$  – номинальный ток двигателя, А;

$i_{\text{п}}$  – кратность пускового тока двигателя по отношению к номинальному» [19].

Для ЩР-1 ремонтного цеха:

$$I_{\text{пик}} = 5 \cdot 32,7 + (105,5 - 0,2 \cdot 32,7) = 262,5 \text{ А.}$$

Для защиты и коммутации ЩР-1 выбирается автоматический выключатель марки ВА-52-33 с номинальным током 160 А, ток теплового расцепителя – 160 А, ток электромагнитного расцепителя  $10 \cdot I_{\text{ср.т}}$  [2].

«Номинальное напряжение выключателя должно соответствовать номинальному напряжению сети, В» [19]:

$$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.с}}, \quad (45)$$

где « $U_{\text{ном.в}}$  – номинальное напряжение выключателя, В;

$U_{\text{ном.с}}$  – номинальное напряжение сети, В» [19].

$$400 \text{ В} = 400 \text{ В.}$$

«Условие выполняется.

Номинальный ток выключателя должен быть равен или превышать расчетный ток ответвления, А» [19]:

$$I_{\text{ном.в}} \geq I_{\text{р}}, \quad (46)$$

где « $I_{\text{ном.в}}$  – номинальный ток выключателя, А;

$I_{\text{р}}$  – расчетный ток ответвления, А» [19].

Для автомата ЩР-1 ремонтного цеха:

$$160 \text{ А} > 105,5 \text{ А.}$$

«Условие выполняется.

Номинальный ток теплового расцепителя должен быть равен или превышать расчетный ток ответвления, А» [19]:

$$I_{\text{ср.т}} > (1,2 \div 1,4) \cdot I_{\text{р}}, \quad (47)$$

где « $I_{\text{ср.т}}$  – ток срабатывания теплового расцепителя. А;

$I_{\text{р}}$  – расчетный ток, А» [19].

Для автомата ЩР-1 ремонтного цеха:

$$160 \text{ А} > 1,4 \cdot 105,5 = 147,7 \text{ А.}$$

«Ток срабатывания электромагнитного расцепителя должен превышать пусковой ток защищаемого двигателя, А» [19]:

$$I_{\text{ср.э}} \geq k_{\text{н.о}} \cdot I_{\text{пик}}, \quad (48)$$

где « $I_{\text{ср.э}}$  – ток срабатывания электромагнитного расцепителя. А;  
 $k_{\text{н.о}}$ –коэффициент надежности» [19].

Для автомата ЩР-1 ремонтного цеха:

$$10 \cdot 160 = 1600 \text{ А} \geq 2,1 \cdot 262,5 = 551,3 \text{ А.}$$

Условие выполняется. Результаты выбора автоматов для защиты сети 0,38/0,22 кВ ремонтного цеха представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор автоматических выключателей ремонтного цеха

Наименование потребителя	$I_p$ , А	$I_{\text{пик}}$ , А	$I_{\text{пик}} \cdot K_{\text{н.о.}}$ , А	$I_p \cdot 1,4$ , А	Тип автомата	$I_{\text{ном.в.}}$ , А	$I_{\text{ср.т.}}$ , А	$I_{\text{ср.э}}$ , А	$I_{\text{уставки}}$ , А
Электроприводы конвейеров	116,9	584,5	1227,5	163,7	ВА-52-35	250	200	2400	2400
Мостовой кран, ПВ=25%	11,7	58,5	122,9	16,4	ВА-82-31	100	25	250	250
Кран-балки, ПВ=25%	11,7	58,5	122,9	16,4	ВА-82-31	100	25	250	250
Сварочный аппарат ПВ=40%	29,5	147,5	309,8	41,3	ВА-82-31	100	50	500	500
Сверлильный станок	8,2	41,0	86,1	11,5	ВА-82-31	100	16	160	160
Металло обрабатывающие станки	32,7	163,5	343,4	45,8	ВА-82-31	100	50	500	500
Вентиляторы	23,4	117,0	245,7	32,8	ВА-82-31	100	50	500	500
ЩР-1	105,5	262,5	551,3	147,7	ВА-52-33	160	160	-	1600
ЩР-2	163,3	408,3	857,4	228,6	ВА-88-37	400	250	-	2500
ЩР-3	158,5	364,6	765,7	221,9	ВА-88-37	400	250	-	2500
ЩР-4	100,3	248,7	522,3	140,4	ВА-52-33	160	160	-	1600
ЩО (раб)	52,7	52,7	52,7	52,7	ВА-82-31	100	32	-	320
ЩО (авар)	5,8	5,8	5,8	5,8	ВА-82-31	100	16	-	160

Все автоматы представлены на схеме цеха.

#### **4.4 Выбор электрических аппаратов питающей сети предприятия**

Проводится выбор электрических аппаратов питающей сети предприятия. Решение поставленной задачи выполняется в два этапа. Первый этап предусматривает выбор типов ячеек распределительного устройства. На втором этапе выбираются электрические аппараты для компоновки выбранных ячеек.

На 35 кВ стороне главной понизительной подстанции 35/10 кВ предприятия используется модульное распределительное устройство (МРУ). Этот выбор отражает современный и гибкий подход к обеспечению электроэнергией объектов предприятия. В рамках проекта ГПП-35/10 кВ, предполагается создание модульной комплектной распределительной установки 35 кВ, которая включает ячейки КРУ-СЭЩ-65 от производителя ОАО «Электроцит». Одной из ключевых характеристик МРУ является его адаптивность к потребностям заказчика, позволяющая без труда модифицировать конфигурацию оборудования благодаря возможности легкой замены или добавления модулей. Функционал МРУ может быть скорректирован в соответствии с конкретными требованиями и условиями использования, где основное внимание уделяется мощности и номинальному напряжению. Также принимаются во внимание потребности в защите от коротких замыканий, перегрузок и других экстренных ситуаций.

В целом, МРУ представляет собой универсальное решение для электроснабжения, адаптируемое под индивидуальные потребности заказчика и эксплуатационные условия, с упором на безопасность и надежность. В конечном итоге, для стороны 35 кВ ГПП-35/10 кВ планируется установка КРУ–35 кВ с ячейками КРУ–СЭЩ–65 от ОАО «Электроцит» [7].

На 10 кВ стороне главной понизительной подстанции 35/10 кВ устанавливается комплектное закрытое распределительное устройство (КЗР), которое играет ключевую роль в системе электроснабжения промышленных объектов, коммерческих и жилых комплексов. Это устройство является

компактной и самостоятельной системой, объединяющей в себе высоковольтные коммутационные аппараты, измерительные устройства и защитное оборудование. При разработке и производстве КЗР учитывается ряд ключевых аспектов, включая спецификации заказчика, конфигурацию электросети и эксплуатационные условия. Одним из критически важных параметров служит номинальное напряжение, которое выбирается в соответствии с потребностями и условиями использования.

Конструкция КЗР включает разнообразные элементы, такие как металлический корпус, дверцы, смотровые окна, перегородки для отделения различных отсеков и монтажные платформы. Значимым является также обеспечение защиты аппаратуры от воздействия пыли, влаги и других внешних факторов, что достигается за счет использования специальных герметизирующих соединений и уплотнителей. Такая конструкция предотвращает прямой контакт обслуживающего персонала с электрооборудованием, повышая уровень безопасности работы. Кроме того, она способствует уменьшению уровня шума и электромагнитных излучений от работающего оборудования. В процессе проектирования КЗР также акцентируется внимание на энергоэффективности и экологичности используемых решений, применяются системы автоматического контроля и управления, энергосберегающие технологии, а также экологически безопасные материалы. Мобильность и возможность переноски КЗР облегчают его установку на различных объектах и, при необходимости, перемещение, благодаря чему устройство может использоваться в разнообразных условиях. Распределительное устройство РУ 10 кВ выполняется комплектным (КРУ) с ячейками типа КРУ-СВЭЛ-10 [6].

Таким образом, для применения на питающей ГПП-35/10 кВ, выбраны следующие типы современных распределительных устройств и ячеек:

- на стороне 35 кВ ГПП-35/10 кВ предусматривается внедрение модульного КРУ–35 кВ с ячейками марки КРУ–СЭЩ–65, производства компании ОАО «Электрощит»;

– на стороне 10 кВ выбрано для внедрения комплектное распределительное устройство закрытого типа с ячейками КРУ-СВЭЛ-10.

Выбор всех типов РУ обоснован в работе.

Далее необходимо провести выбор и проверку электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ для установки на питающей ГПП-35/10 кВ в системе электроснабжения агропромышленного предприятия.

При выборе необходимо учитывать, что каждое конкретное РУ может комплектоваться определенным оборудованием. Методика выбора аппаратов взята из [14].

Результаты выбора выключателей высокого напряжения 35 кВ и 10 кВ (на примере вводных присоединений) для установки в соответствующих РУ питающей ГПП-35/10 кВ, представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора выключателей высокого напряжения 35 кВ и 10 кВ (на примере вводных присоединений) для установки в соответствующих РУ питающей ГПП-35/10 кВ

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



Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в ячейках КРУ 35 кВ и КРУ 10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ, представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в ячейках КРУ 35 кВ и КРУ 10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ

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

Результаты выбора трансформаторов тока для установки в ячейках КРУ 35 кВ и КРУ 10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ, представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в ячейках КРУ 35 кВ и КРУ 10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ

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

Для защиты от атмосферных и коммутационных перенапряжений выбираются ограничители перенапряжений (далее – ОПН). Известно, что ОПН устанавливаются на вводах воздушных линий электропередачи (в нашем случае – ввод 35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ), а также в ячейках 35 кВ и 10 кВ совместно с выбранными ранее вакуумными выключателями (с целью гашения перенапряжения, возникшего в результате появления «вакуумной дуги»).

В последнее время практически все ОПН производят с нелинейной характеристикой, что значительно лучше предыдущих разработок. В таких ОПН выходной параметр (напряжение на выходе из установки) не зависит от

входного параметра (перенапряжение на входе установки). Следовательно, данные типы ОПН более перспективные и надёжные, поэтому их выбор обоснован.

Таким образом, выбор современных ограничителей перенапряжений для защиты оборудования питающей ГПП-35/10 кВ предприятия, полностью обоснован (таблица 14).

Таблица 14 – Результаты выбора ограничителей перенапряжения 35 кВ и 10 кВ (на примере вводных присоединений) для установки в соответствующих РУ питающей ГПП-35/10 кВ

Наименование и место установки	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводы 1 и 2 КРУ 35 кВ: ОПН-п-35/40,5/10/600	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 369,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 600 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 7,6 \text{ кА}$	$i_{дин} = 40,5 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,3^2 \cdot 3 =$ $= 32,67 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 =$ $= 2976,8 \text{ кА}^2\text{с}$
Вводы 1 и 2 КРУ 10кВ: ОПН-п 6/7.2/10/400	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 1177,1 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 12,4 \text{ кА}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,8^2 \cdot 3 =$ $= 69,1 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Всё выбранное оборудование напряжением 35 кВ и 10 кВ подходит для установки на ГПП-35/10 кВ объекта исследования.

Все выбранные в работе электрические аппараты показаны в графической части.

Выводы по разделу.

Выбраны проводники и электрические аппараты.

Для питания ЩР и потребителей ремонтного цеха, выбраны четырёхжильные кабели АВВГ 3×70 + 1×35, проложенные открыто в лотках.

Для питания сети 10 кВ выбраны кабели марки АСБ – 3 различных сечений, проложенные в земляной траншее.

Для обеспечения защиты и коммутации сети ремонтного цеха агропромышленного предприятия, выбраны автоматические выключатели марки ВА различных типоминалов.

Для применения на питающей ГПП-35/10 кВ, выбраны следующие типы современных распределительных устройств и ячеек:

- на стороне 35 кВ ГПП-35/10 кВ предусматривается внедрение модульного КРУ–35 кВ с ячейками марки КРУ–СЭЩ–65, производства компании ОАО «Электрощит»;
- на стороне 10 кВ выбрано для внедрения комплектное распределительное устройство закрытого типа с ячейками КРУ-СВЭЛ-10.

Выбрано и проверено основное оборудование для комплектования данных ячеек РУ.

Установлено, что всё выбранное оборудование напряжением 35 кВ и 10 кВ подходит для установки на ГПП-35/10 кВ объекта исследования.

## 5 Расчёт заземления ГПП

Далее в работе проводится расчёт заземления питающей ГПП-35/10 кВ СЭС агропромышленного предприятия.

Устройства заземления на электрических подстанциях выполняют критически важную функцию для обеспечения безопасности и эффективного функционирования систем электроснабжения.

Они служат для безопасного отведения токов, возникающих при коротких замыканиях и ударах молнии, способствуют стабилизации работы электрооборудования и защищают работников от поражения электрическим током.

Заземление также способствует предотвращению ущерба оборудованию за счет равномерного распределения токов и поддержания надежного соединения с землей, что важно для сетей с эффективно заземленной нейтралью.

Более того, системы заземления позволяют безопасно рассеивать атмосферные и коммутационные перенапряжения, которые могут возникать в сети.

Таким образом, система заземления является одним из основных конструктивных элементов любой подстанции.

При разработке заземляющего контура применяются два основных типа заземлителей: вертикальные и горизонтальные, выбор между которыми определяется исходя из специфических условий и требований.

«Допустимое время воздействия на человека» [12]:

$$\tau_{\text{в}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{откл.в}}, \text{ с.} \quad (49)$$

где  $t_{\text{р.з}}$  – время срабатывания релейной защиты, с;

$t_{\text{откл.в}}$  – время отключения выключателя, с.

$$\tau_g = 0,1 + 0,035 = 0,135 \text{ с.}$$

«Сопротивление растекания контура» [12]:

$$R_c = 1,5 \cdot \rho, \text{ Ом.} \quad (50)$$

где « $\rho$  – сопротивление грунта, Ом» [11].

$$R_c = 1,5 \cdot 90 = 135 \text{ Ом.}$$

«Коэффициент растекания» [12]:

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + R_c}. \quad (51)$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 135} = 0,97.$$

«Суммарная длина горизонтального заземлителя» [12]:

$$L_r = \frac{a}{l_g} \cdot b + \frac{b}{l_g} \cdot a, \text{ м,} \quad (52)$$

где  $a$  – длина ГПП, м;

$b$  – ширина ГПП, м.

$$L_r = \frac{69,5}{5} \cdot 32 + \frac{32}{5} \cdot 69,5 = 889,6 \text{ м.}$$

«Коэффициент напряжения прикосновения» [12]:

$$K_n = \frac{M \cdot \beta}{\left( \frac{l_g \cdot L_r}{l_g \cdot \sqrt{a \cdot b}} \right)^{0,45}}, \quad (53)$$

$$S = a \cdot b, \text{ м}^2. \quad (54)$$

В числовых значениях:

$$S = 69,5 \cdot 32 = 2224 \text{ м}^2,$$

$$K_n = \frac{0,5 \cdot 0,97}{\left( \frac{5 \cdot 889,6}{5 \cdot \sqrt{2224}} \right)^{0,45}} = 0,129.$$

«Напряжение на заземлителе» [12]:

$$U_3 = \frac{U_{\text{нр.дон.}}}{K_n}, \text{ кВ}, \quad (55)$$

$$U_3 = \frac{400}{0,129} = 3092 \text{ В} \approx 3,09 \text{ кВ}.$$

«Сопротивление заземляющего устройства» [12]:

$$R_{\text{з.дон.}} = \frac{U_3}{I_3}, \text{ Ом}, \quad (56)$$

$$R_{\text{з.дон.}} = \frac{3,09}{1,3} = 2,38 \text{ Ом}.$$

«Число ячеек» [12]:

$$m = \frac{L_r}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1, \quad (57)$$

$$m = \frac{889,6}{2 \cdot \sqrt{2224}} - 1 = 8,43.$$

«Длина полос» [12]:

$$L_r^0 = 2 \cdot \sqrt{S} \cdot (m+1), \text{ м.} \quad (58)$$

$$L_r^0 = 2 \cdot \sqrt{2224} \cdot (9+1) \approx 943,2 \text{ м.}$$

«Длина сторон ячеек» [12]:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m}, \text{ м.} \quad (59)$$

$$b = \frac{\sqrt{2224}}{9} = 5,2 \text{ м.}$$

«Число вертикальных заземлителей» [12]:

$$n_g = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{\frac{a}{l_g} \cdot l_g} \quad (60)$$

$$n_g = \frac{\sqrt{2224} \cdot 4}{\frac{5}{5} \cdot 5} = 35,7.$$

«Принимается  $n_g=36$ . Общая длина вертикальных заземлителей» [12]:

$$L_g = l_g \cdot n_g, \text{ м.} \quad (61)$$

$$L_g = 5 \cdot 36 = 180 \text{ м.}$$

«Относительная глубина» [12]:

$$A = 0,444 - 0,84 \cdot \frac{l_g + t}{\sqrt{S}}, \text{ м.} \quad (62)$$

$$A = 0,444 - 0,84 \cdot \frac{5 + 0,7}{\sqrt{2224}} = 0,34 \text{ м.}$$

«Общее сопротивление сложного заземлителя» [12]:

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{L_r^9 + L_g}, \text{ Ом.} \quad (63)$$

$$R_3 = 0,34 \cdot \frac{60}{\sqrt{2224}} + \frac{60}{943,2 + 190} = 0,485 \text{ Ом.}$$

«Общее сопротивление сложного заземлителя» [12]:

$$R_3 = 0,485 \text{ Ом} \leq R_{3,\text{доп.}} = 0,5 \text{ Ом.}$$

«Напряжение прикосновения» [12]:

$$U_{np} = K_n \cdot R_3 \cdot I_3, \text{ В.} \quad (64)$$

$$U_{np} = 0,129 \cdot 0,485 \cdot 1,3 \approx 0,08 \text{ В.}$$

Все условия соблюдены.

Выводы по разделу.

Рассчитано заземление главной понизительной подстанции предприятия. Определено, что в контуре заземления ГПП рекомендовано использовать 36 вертикальных заземлителей и выполнить его в виде квадрата и «замкнутой сетки» с расположением вертикальных электродов по стороне квадрата 6×6 шт.



## Заключение

В работе осуществлена разработка мероприятий по проектированию системы электроснабжения агропромышленного предприятия с последовательной проверкой основных решений.

Проведён анализ исходных технических и технологических данных на выполнение работы.

Рассмотрен состав рассматриваемого в работе агропромышленного предприятия. Установлено, что в него входит комплекс, состоящий из десяти цехов и подразделений.

Определено, что 50% нагрузки агропромышленного предприятия – приемники 10 кВ.

Остальные приёмники работают на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Приведены исходные данные электрических нагрузок и исходный генплан агропромышленного предприятия.

Установлено, что согласно заданию, необходимо провести разработку системы электроснабжения отдельного цеха агропромышленного предприятия.

Для данной роли выбран ремонтный цех предприятия АПК.

Рассмотрены электрические нагрузки ремонтного цеха и план расположения его потребителей.

Приняты соответствующие схемные решения для применения в проектируемой системе электроснабжения агропромышленного предприятия.

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

Следовательно, внешняя система электроснабжения предприятия будет состоять со следующих основных элементов:

- питающая линия электропередачи напряжением 35 кВ;
- питающая ГПП-35/10 кВ, состоящая из двух силовых трансформаторов, а также распределительных устройств высшего (35 кВ) и низшего напряжений (10) кВ.

Проведён выбор схем РУ питающей ГПП-35/10 кВ.

Определено, что так как данная ГПП-35/10 кВ будет питать один конечный потребитель (проектируемое агропромышленное предприятие), по месту расположения в энергосистеме такая подстанция будет являться тупиковой.

Для РУ-35 кВ тупиковой ГПП-35/10 кВ с отходящими линиями 35 кВ и двумя силовыми трансформаторами выбрана схема 4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий». Для РУ 10 кВ ГПП-35/10 кВ принята типовая схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин».

Установлено, что данные схемы на сторонах 35 кВ и 10 кВ ГПП подходят для объектов, где требуется баланс между надежностью, простотой и стоимостью системы электроснабжения.

Установлено, что в состав внутренней системы электроснабжения предприятия входят следующие элементы:

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

Кроме того, в состав системы электроснабжения предприятия входят также высоковольтные электродвигатели и печи, которые получают питание напрямую от шин РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, минуя ЦТП.

Рассчитаны электрические нагрузки детально рассматриваемого ремонтного цеха, а также освещения, силовой и суммарной нагрузки системы электроснабжения агропромышленного предприятия.

Выбраны и проверены число, мощности и типономиналы силовых трансформаторов системы электроснабжения агропромышленного предприятия.

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

Все цеховые ТП-10/0,4 кВ выполнены в виде комплектных подстанций, которые удобнее, компактнее и надёжнее закрытых и открытых типов подстанций.

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

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

Выбраны проводники и электрические аппараты.

Для питания ЩР и потребителей ремонтного цеха, выбраны четырёхжильные кабели АВВГ 3×70 + 1×35, проложенные открыто в лотках.

Для питания сети 10 кВ выбраны кабели марки АСБ – 3 различных сечений, проложенные в земляной траншее.

Для обеспечения защиты и коммутации сети ремонтного цеха агропромышленного предприятия, выбраны автоматические выключатели марки ВА различных типономиналов.

Для применения на питающей ГПП-35/10 кВ, выбраны следующие типы современных РУ и ячеек:

- на стороне 35 кВ ГПП-35/10 кВ предусматривается внедрение модульного КРУ–35 кВ с ячейками марки КРУ–СЭЩ–65, производства компании ОАО «Электрощит»;

– на стороне 10 кВ выбрано для внедрения комплектное распределительное устройство закрытого типа с ячейками КРУ-СВЭЛ-10.

Выбрано и проверено основное оборудование для комплектования данных ячеек РУ.

Установлено, что всё выбранное оборудование напряжением 35 кВ и 10 кВ подходит для установки на ГПП-35/10 кВ объекта исследования.

Рассчитано заземление главной понизительной подстанции предприятия.

Определено, что в контуре заземления ГПП рекомендовано использовать 36 вертикальных заземлителей и выполнить его в виде квадрата и «замкнутой сетки» с расположением вертикальных электродов по стороне квадрата 6×6 шт.

Таким образом, по результатам расчётов можно сделать вывод, что предложенные мероприятия по проектированию схемы электрических соединений и оборудования системы электроснабжения агропромышленного предприятия, являются технически обоснованными.

## Список используемых источников

1. Агропромышленный комплекс [Электронный ресурс]: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81) (дата обращения: 08.04.2024).
2. ВА 88 (88-32, 88-33, 88-35, 88-37, 88-40, 88-43). [Электронный ресурс]: URL: <https://m-energo-spb.ru/va-88-88-32-88-33-88-35-88-37-88-40-88-43> (дата обращения: 08.04.2024).
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. Длительно допустимый ток кабелей АСБ. [Электронный ресурс]: URL: <https://ru.pinterest.com/pin/463870830372952509/> (дата обращения: 08.04.2024).
5. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
6. Комплектное распределительное устройство КРУ-СВЭЛ-6(10) кВ. [Электронный ресурс]: URL: <https://svel.ru/catalog/komplektnye-raspredelitelnye-ustroystva/kru-svel-6-10-kv/kru-svel/> (дата обращения: 28.02.2024).
7. Комплектное распределительное устройство КРУ–СЭЩ–65 35 кВ. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.electroshield.ru/catalog/komplektnye-raspredelitelnye-ustroystva/kru-seshch-65-35-kv/> (дата обращения: 28.02.2024).
8. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
9. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.

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

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

15. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 08.04.2024).

16. СТРУКТУРА АПК И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКА [Электронный ресурс]: URL: <https://konspekt.wordpress.com/2012/06/05/%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0-%D0%B0%D0%BF%D0%BA-%D0%B8-%D0%B5%D0%B5-%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0/> (дата обращения: 08.04.2024).

17. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями на 13 июня 2023 года). [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902186281> (дата обращения: 08.04.2024).

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

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

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