

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 агрокомбината по производству молочной продукции

Обучающийся

А. А. Афанасьев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2025

Аннотация

Актуальность темы исследования обусловлена несколькими факторами. Во-первых, молочная отрасль демонстрирует устойчивый рост спроса на продукцию, что требует модернизации существующих производственных мощностей и строительства новых агрокомбинатов. Во-вторых, повышение энергоэффективности и снижение эксплуатационных затрат являются важными направлениями развития современных предприятий в условиях конкурентного рынка. В-третьих, внедрение инновационных технологий, таких как автоматизированные системы управления энергопотреблением и возобновляемые источники энергии, открывает новые возможности для оптимизации работы агрокомбинатов. Таким образом, разработка системы электроснабжения, отвечающей современным требованиям, имеет как теоретическую, так и практическую значимость.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка системы электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции, которая обеспечит надежное, экономичное и безопасное функционирование предприятия. В работе рассматриваются особенности энергопотребления молочного производства, проводится анализ нагрузок, выбор оборудования и схем электроснабжения с учетом современных стандартов и нормативных требований.

В работе проводится расчет электрических нагрузок, выбор оборудования, провода, кабелей и трансформаторов. Кроме того, проведен расчет молниезащиты и заземления ТП агрокомбината.

ВКР представляет собой пояснительную записку, состоящую из введения, восьми разделов основной части, заключения, списка используемой литературы и источников и графической части на 6 листах формата А1. Пояснительная записка выполнена на 76 листах формата А4, содержит 15 таблиц и 9 рисунков.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия.....	6
2 Расчет электрических нагрузок	13
3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....	17
4 Расчет токов короткого замыкания	24
4.1 Расчет питающей ВЛ 10 кВ	24
4.2 Расчет токов КЗ	26
5 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников.....	33
5.1 Расчет рабочих токов	33
5.2 Выбор оборудования 10 кВ ТП	33
5.3 Выбор оборудования 0,4 кВ ТП	39
5.4 Выбор измерительных трансформаторов	43
5.5 Выбор проводников	47
6 Выбор основного электрооборудования и его проверка.....	52
7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	56
7.1 Расчёт релейной защиты линии к кормоцеху.....	56
7.2 Расчёт релейной защиты сборных шин 0,4 кВ	58
7.3 Расчёт релейной защиты трансформатора на стороне 0,4 кВ.....	60
7.4 Релейная защита трансформатора	63
8 Расчет заземления и молниезащиты.....	66
8.1 Расчет заземления подстанции	66
8.2 Молниезащита	68
Заключение	71
Список используемой литературы и используемых источников	74

Введение

Аграрный сектор экономики занимает важное место в обеспечении продовольственной безопасности страны, а производство молочной продукции является одной из ключевых отраслей пищевой промышленности. Современные агрокомбинаты по переработке молока представляют собой сложные производственные комплексы, включающие в себя технологические линии, системы охлаждения, оборудование для упаковки и хранения продукции, а также вспомогательные системы жизнеобеспечения. Все эти процессы напрямую зависят от стабильного и качественного электроснабжения, что делает разработку надежных и эффективных энергетических систем одной из приоритетных задач для таких предприятий.

Надежность электроснабжения агрокомбината влияет не только на бесперебойность производственного цикла, но и на качество конечной продукции. Перебои в подаче электроэнергии могут привести к остановке оборудования, нарушению температурных режимов хранения молока и молочных изделий, а также к значительным финансовым потерям. Кроме того, в условиях роста цен на электроэнергию и ужесточения экологических требований, вопросы энергоэффективности и рационального использования ресурсов становятся особенно актуальными. Таким образом, проектирование системы электроснабжения агрокомбината требует комплексного подхода, учитывающего как технические, так и экономические аспекты.

Актуальность темы исследования обусловлена несколькими факторами. Во-первых, молочная отрасль демонстрирует устойчивый рост спроса на продукцию, что требует модернизации существующих производственных мощностей и строительства новых агрокомбинатов. Во-вторых, повышение энергоэффективности и снижение эксплуатационных затрат являются важными направлениями развития современных предприятий в условиях конкурентного рынка. В-третьих, внедрение инновационных технологий, таких как автоматизированные системы

управления энергопотреблением и возобновляемые источники энергии, открывает новые возможности для оптимизации работы агрокомбинатов. Таким образом, разработка системы электроснабжения, отвечающей современным требованиям, имеет как теоретическую, так и практическую значимость.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка системы электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции, которая обеспечит надежное, экономичное и безопасное функционирование предприятия. В работе рассматриваются особенности энергопотребления молочного производства, проводится анализ нагрузок, выбор оборудования и схем электроснабжения с учетом современных стандартов и нормативных требований.

Предметом исследования ВКР является система электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции.

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи:

- провести анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия;
- выполнить расчет электрических нагрузок предприятия;
- выбрать число и мощность трансформаторов;
- рассчитать токи КЗ;
- выбрать электрические аппараты и проводники;
- выбрать основное электрооборудование;
- выбрать устройства релейной защиты и автоматики;
- рассчитать заземление и молниезащиту подстанции.

В процессе выполнения работы были проанализированы особенности энергопотребления агрокомбината по производству молочной продукции, включая специфику работы основного и вспомогательного оборудования. Изучены требования к качеству электроэнергии, проведен обзор существующих подходов к проектированию СЭС подобных объектов, а также рассмотрены передовые технические решения в области энергетики.

1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия

Для разработки системы электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции необходимо провести анализ исходных данных, включающий характеристику потребителей электроэнергии, их назначение, особенности эксплуатации и требования к энергоснабжению. Агрокомбинат представляет собой комплекс зданий и сооружений, каждое из которых выполняет определенную функцию в производственном процессе. В состав предприятия входят: коровники на 200 голов, доильный зал, молочный цех, склады, административное здание, ветеринарный пункт, энергоцентр и кормоцех. Ниже представлен подробный анализ каждого объекта с учетом их роли в работе агрокомбината и потребностей в электроэнергии.

Коровники на 200 голов.

Коровники предназначены для содержания дойных коров в количестве 200 голов и являются основным производственным звеном агрокомбината. Эти здания оснащены системами освещения, вентиляции, обогрева и поения, что обеспечивает оптимальные условия для животных и поддерживает их продуктивность. Энергопотребление коровников зависит от климатических условий региона и времени года, так как зимой требуется дополнительный обогрев, а летом – интенсивная работа вентиляционных систем. Основные потребители электроэнергии включают осветительные приборы (светодиодные лампы для создания комфортного светового режима), электродвигатели вентиляторов и насосов для подачи воды. Нагрузка носит циклический характер с пиками в утренние и вечерние часы, когда проводятся основные мероприятия по уходу за животными. Надежность электроснабжения коровников относится к II категории, так как кратковременные перебои допустимы, но длительные остановки могут негативно сказаться на здоровье животных.

Кормоцех.

Кормоцех предназначен для приготовления и переработки кормов для дойных коров, что напрямую влияет на их продуктивность и здоровье. В этом здании размещается оборудование для измельчения, смешивания и дозирования кормовых смесей, такое как дробилки, смесители, транспортеры и электродвигатели. Энергопотребление кормоцеха характеризуется высокой мощностью и циклическим режимом работы, зависящим от графика кормления животных (обычно 2–3 раза в сутки). Основная нагрузка приходится на электродвигатели, которые обеспечивают механизацию процессов. Для поддержания санитарных условий в кормоцехе также используются системы вентиляции и освещения. Надежность электроснабжения кормоцеха относится к II категории, так как кратковременные перебои не критичны, но длительное отсутствие питания может нарушить режим кормления и повлиять на производство молока. Кроме того, стабильность напряжения важна для предотвращения поломок оборудования с высокой пусковой мощностью.

Котельная.

Котельная является ключевым элементом инфраструктуры агрокомбината, обеспечивая производство тепла для всех зданий комплекса. Он может включать дизель–генераторы, газовые котлы или подключение к внешним электрическим сетям, в зависимости от проектных решений. Энергопотребление котельной связано с работой вспомогательного оборудования (насосы, системы управления, освещение). Как основной источник питания, энергоцентр должен соответствовать I категории надежности, обеспечивая бесперебойную работу даже при авариях во внешних сетях. Его проектирование требует особого внимания к резервированию и автоматизации процессов.

Доильный зал.

Доильный зал служит для автоматизированной дойки коров и оснащен современными доильными установками, работающими в автоматическом

режиме. Это оборудование включает электродвигатели, вакуумные насосы и системы управления, что делает доильный зал одним из наиболее энергоемких объектов агрокомбината. Процесс дойки проводится дважды в сутки (утром и вечером), что формирует выраженные пиковые нагрузки в эти периоды. Кроме того, в доильном зале используются системы освещения и вентиляции для поддержания санитарных условий. Высокая степень автоматизации требует стабильного питания с минимальными отклонениями по напряжению и частоте, поэтому доильный зал относится к потребителям I категории надежности электроснабжения – перебои в подаче электроэнергии могут привести к нарушению графика дойки и снижению удоев.

Молочный цех.

Молочный цех предназначен для первичной обработки и хранения молока, включая охлаждение, фильтрацию, пастеризацию и упаковку продукции. Основное оборудование включает холодильные установки, насосы, пастеризаторы и фасовочные линии, которые работают в непрерывном или полунепрерывном режиме. Энергопотребление молочного цеха характеризуется высоким уровнем постоянной нагрузки, связанной с необходимостью поддержания низких температур в резервуарах для хранения молока. Требования к качеству электроэнергии здесь особенно строгие, так как перебои в питании могут привести к порче продукции и нарушению санитарных норм. Молочный цех относится к потребителям I категории надежности, что подразумевает наличие резервного источника питания для исключения рисков.

Склады.

Складские помещения агрокомбината используются для хранения кормов, готовой продукции и оборудования. В зависимости от назначения склада применяются различные системы: холодильные камеры для молочной продукции, вентиляция для кормов и освещение для всех типов складов. Энергопотребление складов варьируется: холодильные установки создают постоянную нагрузку, тогда как освещение и вентиляция работают

периодически. Склады с готовой продукцией требуют бесперебойного питания для поддержания температурного режима, что относит их к II категории надежности, в то время как склады кормов и оборудования могут быть отнесены к III категории, где кратковременные перебои допустимы.

Административное здание.

Административное здание предназначено для размещения персонала и управления деятельностью агрокомбината. Здесь расположены офисные помещения с компьютерами, оргтехникой, системами освещения и кондиционирования. Энергопотребление носит относительно низкий и равномерный характер, с небольшими пиками в рабочее время (с 8:00 до 17:00). Надежность электроснабжения административного здания соответствует III категории, так как кратковременные отключения не оказывают критического влияния на производственный процесс. Однако для обеспечения непрерывности управления в случае аварий возможно использование локальных резервных источников питания.

Ветеринарный пункт.

Ветеринарный пункт отвечает за контроль здоровья животных, проведение диагностики и лечения. Он оснащен специализированным оборудованием, таким как ультразвуковые аппараты, лабораторные приборы и системы освещения операционных помещений. Энергопотребление ветеринарного пункта невелико, но носит нерегулярный характер, зависящий от графика ветеринарных процедур. Надежность электроснабжения классифицируется как II категория, так как перебои в питании могут затруднить оказание экстренной помощи животным, хотя критические ситуации возникают редко.

Анализ исходных данных показывает, что агрокомбинат включает потребителей с различными характеристиками нагрузок и требованиями к надежности электроснабжения. Основная часть электроэнергии расходуется на технологические процессы (доильный зал, молочный цех, коровники, кормоцех), что составляет до 70–80% общей мощности. Остальные объекты

(склады, административное здание, ветеринарный пункт) имеют меньшую долю в энергопотреблении, но их функционирование важно для обеспечения производственного цикла. Энергоцентр выступает связующим звеном, обеспечивая интеграцию всех потребителей в единую систему. Включение кормоцеха в структуру предприятия подчеркивает необходимость учета дополнительных нагрузок, связанных с переработкой кормов, что требует более детального расчета мощности и выбора соответствующего оборудования. На основе этих данных будут выполнены расчеты электрических нагрузок, определены категории надежности и разработана схема электроснабжения, учитывающая специфику каждого объекта [13].

Таблица нагрузок агрокомбината по производству молочной продукции приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица нагрузок агрокомбината по производству молочной продукции

Наименование потребителя	Количество	Активные нагрузки, кВт		Реактивные нагрузки, кВар	
		$P_{дi}$	$P_{вi}$	$Q_{дi}$	$Q_{вi}$
Коровник на 200 голов	2	70	90	35	55
Кормоцех	2	140	160	80	100
Котельная	1	100	130	60	70
Доильный зал	1	30	25	15	12
Молочный цех	1	40	25	20	12
Склады	1	20	18	10	9
Административное здание	1	10	3	3	1
Ветеринарный пункт	1	5	2	2	1

План агрокомбината по производству молочной продукции приведён на рисунке 1.

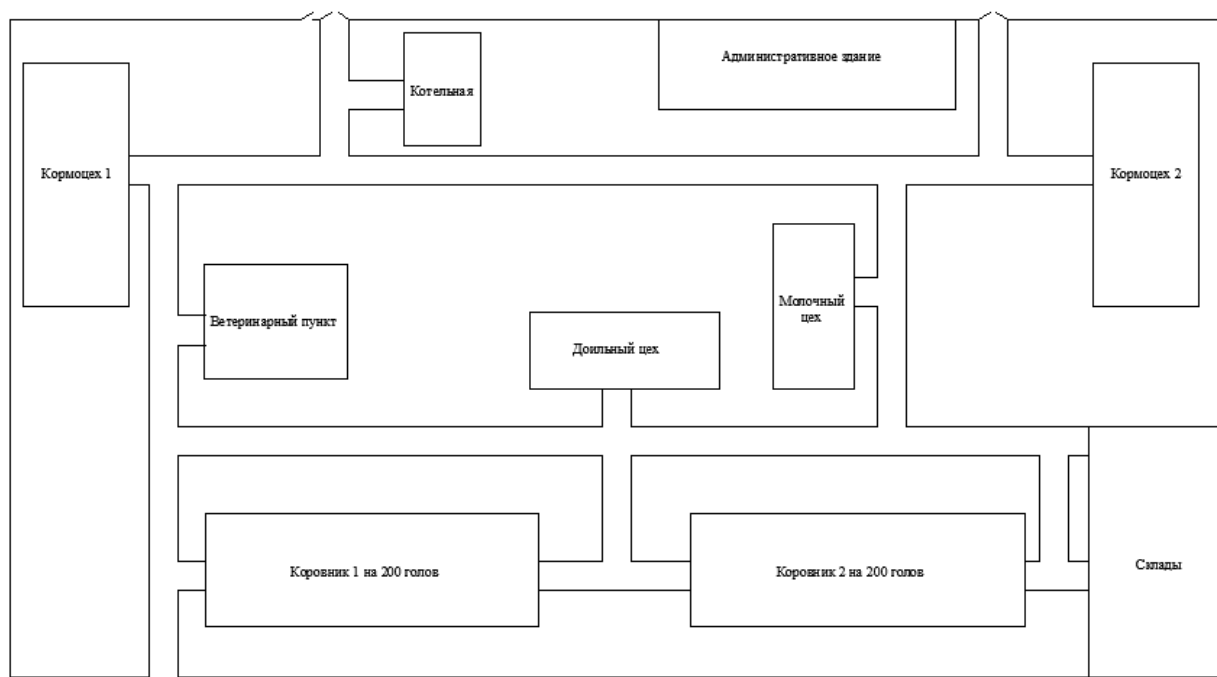


Рисунок 1 – План агрокомбината по производству молочной продукции

Климатические условия района расположения агрокомбината, для расчёта, приняты в соответствии с ПУЭ и СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85* (с Изменениями N 1–6) [24] приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Климатические условия района расположения агрокомбината

Параметр	Величина
Класс напряжения линии, кВ	10
Количество цепей ЛЭП	1
Ветровой район	III
Район по гололёдности	II
Низшая температура, °С	–40
Высшая температура, °С	40
Расчётная скорость ветра при гололёде, м/с	15
Температура гололёдообразования, °С	–5
Среднегодовая температура, °С	0

Начало промерзания грунтов приходится на середину ноября и продолжается в течение всей зимы. Суровая зима, маломощный снежный покров способствуют глубокому сезонному промерзанию грунтов до 2–3 м, а на болотах до 1,1 м.

Глубина промерзания глинистых грунтов под оголённой поверхностью составляет 1,9 м.

Выводы по разделу 1.

В первом разделе ВКР проведенный анализ исходных данных по электроснабжению агрокомбината по производству молочной продукции позволил выявить ключевые характеристики потребителей электроэнергии и определить их потребности в надежности и мощности. В состав предприятия входят восемь основных объектов: коровники на 200 голов, доильный зал, молочный цех, склады, административное здание, ветеринарный пункт, энергоцентр и кормоцех. Каждый из них выполняет специфическую функцию в производственном процессе, что обуславливает различия в режимах энергопотребления, категориях надежности и требованиях к качеству электроэнергии.

Полученные результаты станут основой для дальнейших расчетов электрических нагрузок, выбора трансформаторов, распределительных устройств и разработки схемы электроснабжения, обеспечивающей надежное и эффективное функционирование предприятия. Учет таблицы нагрузок и плана агрокомбината позволяет повысить точность проектных решений и адаптировать их к реальным условиям эксплуатации.

2 Расчет электрических нагрузок

Одним из ключевых этапов проектирования системы электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции является расчет электрических нагрузок. Этот процесс позволяет определить суммарную потребляемую мощность предприятия, выявить пиковые значения нагрузок и установить параметры оборудования, необходимого для обеспечения надежного и эффективного энергоснабжения. Точный расчет электрических нагрузок необходим для выбора трансформаторов, сечения кабельных линий, распределительных устройств и защитной аппаратуры, а также для оценки экономической целесообразности предлагаемых решений.

«Определяется активная нагрузка:

$$P_{\text{д}} = K_0 \cdot \sum_1^n P_{\text{д}i}; \quad (1)$$

$$P_{\text{в}} = K_0 \cdot \sum_1^n P_{\text{в}i}; \quad (2)$$

где K_0 – коэффициент одновременности;

$P_{\text{д}i}$, $P_{\text{в}i}$ – дневная и вечерняя активная нагрузка на вводе, кВт» [2].

«Определяется максимальная реактивная нагрузка дневная и вечерняя:

$$Q_{\text{д}} = K_0 \cdot \sum_1^n Q_{\text{д}i}; \quad (3)$$

$$Q_{\text{в}} = K_0 \cdot \sum_1^n Q_{\text{в}i}; \quad (4)$$

где $Q_{\text{д}i}$, $Q_{\text{в}i}$ – дневная и вечерняя реактивные нагрузки на вводе кВт» [2].

«Суммарная активная нагрузка на вводе:

$$P_{\text{д}} = P_{\text{д.наиб.}} + \sum_1^n \Delta P_{\text{дi}}; \quad (5)$$

$$P_{\text{в}} = P_{\text{в.наиб.}} + \sum_1^n \Delta P_{\text{ви}}; \quad (6)$$

где $P_{\text{д.наиб.}}$, $P_{\text{в.наиб.}}$ – наибольшая дневная и вечерняя нагрузка из всех
слагаемых нагрузок потребителей,
 $\Delta P_{\text{дi}}$, $\Delta P_{\text{ви}}$ – дополнительная и наибольшая нагрузки активная и
реактивная нагрузки, по таблице суммирования» [2].

Расчет коровника на 200 голов.

Активная нагрузка:

$$P_{\text{д}} = 2 \cdot 0,85 \cdot 70 = 119 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{в}} = 2 \cdot 0,85 \cdot 90 = 153 \text{ кВт}.$$

Реактивная нагрузка:

$$Q_{\text{д}} = 2 \cdot 0,85 \cdot 35 = 59,5 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{в}} = 2 \cdot 0,85 \cdot 55 = 93,5 \text{ квар}.$$

Для остальных потребителей расчет выполняется аналогично.

Результаты расчёта сведены в таблицу 3.

Суммарная активная нагрузка:

$$P_{\text{д}} = 119 + 252 + 100 + 27 + 36 + 18 + 9 + 4,5 + 0 = 566 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{в}} = 153 + 288 + 130 + 22,5 + 22,5 + 16,2 + 2,7 + 1,8 + 1,9 = 638,6 \text{ кВт}.$$

Суммарная реактивная нагрузка:

$$Q_{\text{д}} = 59,5 + 144 + 60 + 13,5 + 18 + 9 + 2,7 + 1,8 + 0 = 309 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{в}} = 93,5 + 180 + 70 + 10,8 + 10,8 + 8,1 + 0,9 + 0,9 + 1,9 = 377 \text{ квар.}$$

Таблица 3 – Таблица нагрузок на вводе агрокомбината по производству молочной продукции

Наименование потребителя	Количество	K ₀	Активные нагрузки, кВт				Реактивные нагрузки, квар			
			на вводе		расчетная		на вводе		расчетная	
			P _{дi}	P _{вi}	P _д	P _в	Q _{дi}	Q _{вi}	Q _д	Q _в
Коровник на 200 голов	2	0,85	70	90	119	153	35	55	59,5	93,5
Кормоцех	2	0,9	140	160	252	288	80	100	144	180
Котельная	1	1	100	130	100	130	60	70	60	70
Доильный зал	1	0,9	30	25	27	22,5	15	12	13,5	10,8
Молочный цех	1	0,9	40	25	36	22,5	20	12	18	10,8
Склады	1	0,9	20	18	18	16,2	10	9	9	8,1
Административное здание	1	0,9	10	3	9	2,7	3	1	2,7	0,9
Ветеринарный пункт	1	0,9	5	2	4,5	1,8	2	1	1,8	0,9
Освещение территории	20	0,95	0	0,1	0	1,9	0	0,1	0	1,9
ИТОГО	–	–	–	–	566	638,6	–	–	309	377

В связи с тем, что преобладает вечерняя нагрузка, то расчеты ведем по вечернему максимуму.

Определяется коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = P_{\text{в}} / S_{\text{расч}}; \quad (7)$$

где P_в – активная расчетная мощность, кВт,

S_{расч} – полная мощность, кВА.

Определяется полная расчетная мощность

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{P_{\text{в}}^2 + Q_{\text{в}}^2}; \quad (8)$$

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{638,6^2 + 377^2} = 741,5 \text{ кВА};$$

$$\cos\varphi = 638,6 / 741,5 = 0,86.$$

Выводы по разделу 2.

Во втором разделе ВКР проведен расчет электрических нагрузок агрокомбината по производству молочной продукции, который позволил определить суммарную потребляемую мощность предприятия, выявить пиковые значения нагрузок и установить распределение электроэнергии между основными потребителями.

Расчет выполнен на основе исходных данных, представленных в таблице нагрузок и плане агрокомбината, с применением нормативных методов, включая использование коэффициентов спроса, использования и одновременности. Это позволило учесть как постоянные, так и переменные нагрузки, характерные для технологических процессов, а также обеспечить точность определения максимальной расчетной мощности.

Результаты расчета электрических нагрузок обеспечивают надежную базу для последующего проектирования системы электроснабжения агрокомбината. Они позволяют обоснованно подойти к выбору оборудования, разработке схемы распределения электроэнергии и обеспечению энергоэффективности предприятия, что является ключевым шагом в достижении целей данной работы.

3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов

Данный раздел посвящен выбору и расчету числа и мощности трансформаторов для обеспечения основного электроснабжения агрокомбината. При этом необходимо также обосновать применение дополнительного источника питания. На основании анализа электрических нагрузок и требований к надежности принято решение об установке одного силового трансформатора, который будет покрывать потребности объекта в нормальном режиме работы. Однако, учитывая удаленность агрокомбината от городских сетей и высокую вероятность длительных перебоев в электроснабжении (например, из-за обрывов линий в результате погодных условий), в качестве резервного источника питания предусматривается использование дизельного генератора.

Целью раздела является определение оптимальных параметров трансформатора и подстанции, а также обоснование их совместной работы с дизель-генератором для создания устойчивой и экономически эффективной системы электроснабжения. Расчеты выполняются с учетом требований нормативных документов, таких как Правила устройства электроустановок (ПУЭ), ГОСТ 14695-80 «Подстанции трансформаторные комплектные» и СП 76.13330.2016 «Электротехнические устройства», а также специфики производственных процессов агрокомбината. Выбор одного трансформатора позволяет минимизировать капитальные затраты, в то время как дизель-генератор обеспечивает резервирование, необходимое для поддержания работы критически важного оборудования в аварийных ситуациях.

«Определяется расчетная мощность трансформаторов на основании рассчитанных нагрузок агрокомбината по производству молочной продукции:

$$S_{\text{т.расч}} \geq \frac{\sum S_{\text{р}\Sigma}}{K_{\text{з.тн}}}; \quad (9)$$

где $\sum S_{p.\Sigma}$ – сумма расчётных мощностей зданий, привязанных к ТП, кВА;

$K_{з.тн}$ – допустимый коэффициент загрузки трансформатора, так как все потребители агрокомбината» [3] по производству молочной продукции относятся к электроприемникам третьей категории, то $K_{з.тн} = 0,9$;

$$S_{т.расч} \geq \frac{741,5}{0,9} = 823,9 \text{ МВА.}$$

Принимаются силовые трансформаторы ТМГ33–1000/10/0,4 УЗ. Параметры данных трансформаторов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики трансформаторов ТМГ33–1000/10/0,4 УЗ

Параметры	Величины
Мощность	1000 кВА
Напряжение ВН	10 кВ
Напряжение НН	0,4 кВ
Потери КЗ	10000 Вт
Потери ХХ	1950 Вт
Ток ХХ	1 %
Напряжение КЗ	4,5 %
Габариты	1550 мм х 1000 мм х 1790 мм
Масса	2610 кг

«Данная серия трансформаторов была разработана в соответствии со стандартам ПАО «РОССЕТИ» СТО 34.01–3.2–011–2017 Трансформаторы силовые распределительные 6–10 кВ мощностью 63–2500 кВА. Требования к уровню потерь холостого хода и короткого замыкания. Уровень потерь холостого хода и короткого замыкания в данной серии трансформаторов соответствует классу энергоэффективности Х2К2. Класс энергоэффективности Х2К2 удовлетворяет требованиям Постановления Правительства Российской Федерации от 17.06.2015 № 600 Об утверждении

перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности» [19].

«Трехфазные масляные трансформаторы ТМГЗЗ предназначены для преобразования электроэнергии в сетях энергосистем и потребителей электроэнергии в условиях наружной или внутренней установки умеренного (от плюс 40 до минус 45 °С) или холодного (от плюс 40 до минус 60 °С) климата. Окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая пыли в концентрациях, снижающих параметры изделий в недопустимых пределах. Трансформаторы не предназначены для работы в условиях тряски, вибрации, ударов, в химически активной среде. Высота установки над уровнем моря не более 1000 м» [19].

«Обмотка низшего напряжения трансформаторов этой серии выполнена не из алюминиевых проводов, а из алюминиевой фольги, что сочетает в себе простоту намотки с высоким уровнем надежности.

Номинальная частота 50 Гц. Регулирование напряжения осуществляется в диапазоне до $\pm 5\%$ на полностью отключенном трансформаторе (ПБВ) переключением ответвлений обмотки ВН ступенями по 2,5 %.

Согласно ГОСТ 11677, предельные отклонения технических параметров трансформаторов составляют: напряжение короткого замыкания $\pm 10\%$; потери короткого замыкания на основном ответвлении $+10\%$; потери холостого хода $+15\%$; полная масса $+10\%$ » [19].

«Для контроля уровня масла в трансформаторах предусмотрен маслоуказатель поплавкового типа.

Для предотвращения возникновения избыточного давления в баке сверх допустимого в трансформаторах устанавливается предохранительный клапан.

Для контроля внутреннего давления в баке и сигнализации в случае превышения им допустимых величин в трансформаторах, размещаемых в

помещении, предусматривается по заказу потребителя установка электроконтактного мановакуумметра.

Для измерения температуры верхних слоев масла на крышке трансформаторов предусмотрена гильза для установки жидкостного стеклянного термометра, которым трансформаторы комплектуются по заказу потребителя» [19].

«Для измерения температуры верхних слоев масла и управления внешними электрическими цепями трансформаторы, предназначенные для эксплуатации в помещении или под навесом, по заказу потребителя комплектуются манометрическим сигнализирующим термометром.

Вводы и отводы нейтрали обмоток НН трансформаторов рассчитаны на продолжительную нагрузку током, равным 100% номинального тока обмотки НН. Трансформаторы комплектуются транспортными роликами (для перемещения трансформатора в продольном и поперечном направлениях» [19].

Коэффициент загрузки трансформатора определяется по формуле (10):

$$K_{з.н} = \frac{S_p}{S_{т.ном}}; \quad (10)$$
$$K_{з.н} = \frac{741,5}{1000} = 0,74.$$

Выбор трансформаторной подстанции.

«В качестве подстанции на агрокомбинате по производству молочной продукции выбирается комплектная трансформаторная подстанция проходного типа с воздушным вводом КТП–ПВ 1000/10/0,4 кВА. Данная подстанция наружной установки для кабельных и воздушных сетей, предназначенные для приема, транзита, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока напряжением 10/0,4 кВ частотой 50 Гц. КТП–ПВ используются для электроснабжения объектов

промышленности, сельского хозяйства, коммунальных потребителей и небольших населенных пунктов, объектов строительства, горноперерабатывающих, нефтегазодобывающих предприятий и других объектов» [27].

«Трансформаторная подстанция КТП изготовлена в соответствии с требованиями ГОСТ 14695–80, правилами устройства электроустановок (ПУЭ), ТУ и имеет сертификат соответствия. Условия эксплуатации подстанций КТП: от -45°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

КТП–ПВ имеет три отсека: отсек высоковольтный ВН, отсек низковольтный НН, отсек силового трансформатора. Коммутационно–защитное и прочее электротехническое оборудование устанавливается без камер и шкафов непосредственно в отсеках на опорных конструкциях.

В качестве вводного низковольтного коммутационного аппарата используются: рубильник, автоматический выключатель или рубильник в комбинации с автоматическим выключателем. Предусмотрен учет электроэнергии. По заказу возможен учет на отходящих линиях. Выполняется обогрев счетчиков. Устанавливается электрощит или энергощит для собственных нужд» [27].

«Для защиты линий используются автоматические выключатели типа ВА или рубильники с предохранителями типа РПС (РПЦ). Так же в состав НН входят трансформаторы тока, приборы контроля напряжения и тока, блок управления уличным освещением, ограничители перенапряжений низковольтные, сборные шины.

Общий вид подстанции» [27] приведен на рисунке 2.

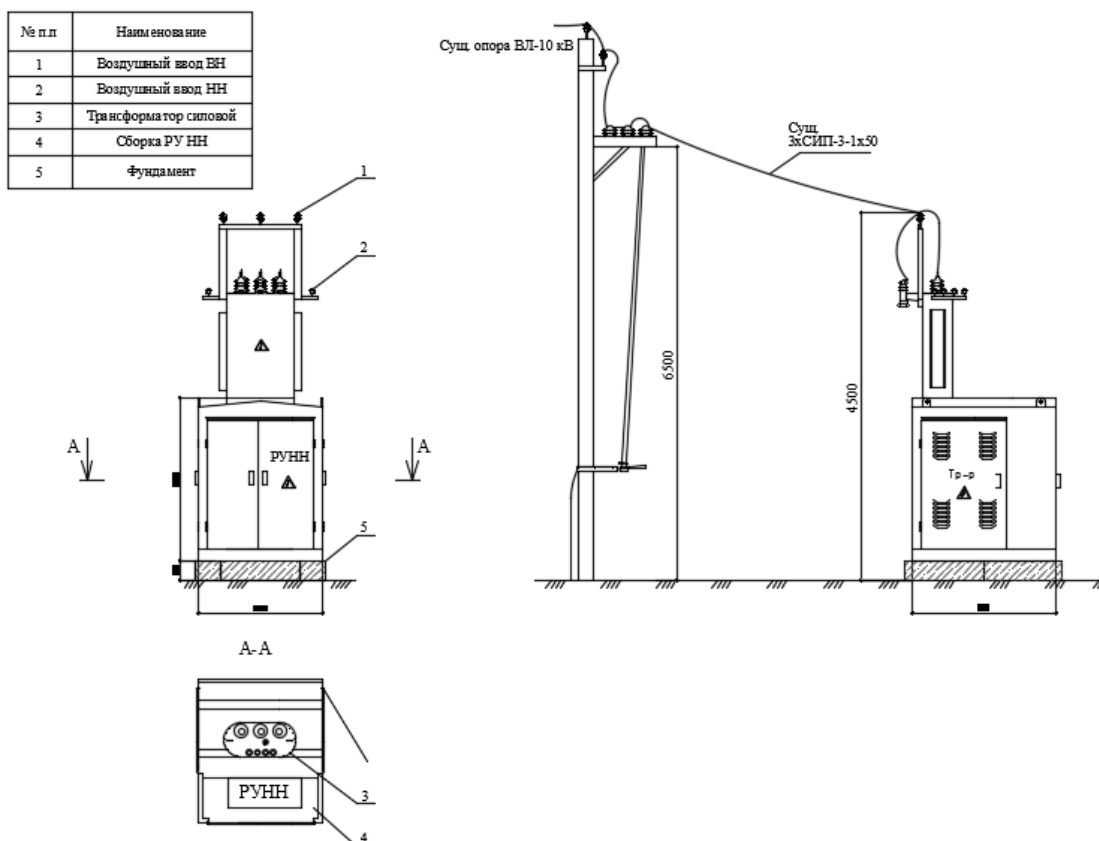


Рисунок 2 – Общий вид подстанции

Выводы по разделу 3.

В третьем разделе ВКР проведенный анализ электрических нагрузок агрокомбината по производству молочной продукции позволил определить оптимальную схему электроснабжения объекта. На основе расчетов текущей и перспективной мощности потребителей принято решение об использовании одного силового трансформатора ТМГ33–1000/10/0,4 УЗ мощностью 1000 кВА. Выбор данного трансформатора обусловлен его соответствием климатическим условиям эксплуатации, высокой энергоэффективностью и способностью обеспечить потребности предприятия с учетом резерва мощности.

Для размещения трансформатора выбрана комплектная трансформаторная подстанция проходного типа с воздушным вводом КТП–ПВ 1000/10/0,4 кВА. Такая конструкция оптимальна для сельской местности благодаря простоте подключения к воздушным линиям электропередач и

возможности транзита электроэнергии, что повышает гибкость системы. Установка одного трансформатора позволяет сократить затраты на оборудование и обслуживание, сохраняя при этом достаточный уровень надежности в нормальном режиме работы.

С учетом расположения агрокомбината в сельской местности и риска длительных перебоев в электроснабжении дополнительно предусмотрен дизельный генератор в качестве второго источника питания. Это решение гарантирует бесперебойность производственных процессов, предотвращает порчу продукции и обеспечивает работу ключевых систем в случае аварий на линиях электропередач.

Выбранная схема электроснабжения соответствует требованиям ПУЭ и ГОСТ 14695-80, обеспечивая безопасность, экономичность и устойчивость работы агрокомбината. Комбинация трансформатора ТМГ33–1000/10/0,4 УЗ и подстанции КТП–ПВ 1000/10/0,4 кВА с резервным дизель-генератором создает надежную основу для стабильного функционирования предприятия в любых условиях эксплуатации.

4 Расчет токов короткого замыкания

4.1 Расчет питающей ВЛ 10 кВ

Воздушная линия электропередач напряжением 10 кВ является важным элементом системы электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции, обеспечивая передачу электроэнергии от источника питания к трансформаторной подстанции объекта. Надежность и эффективность работы ВЛ напрямую влияют на стабильность производственных процессов, сохранность продукции и безопасность эксплуатации предприятия. Учитывая расположение агрокомбината в сельской местности, проектирование питающей линии должно учитывать местные климатические условия, рельеф местности и потенциальные риски, такие как обрывы проводов из-за сильного ветра или обледенения. Целью данного раздела является расчет параметров воздушной линии 10 кВ, включая выбор типа проводов, опор, изоляторов и определение длины пролета, с учетом электрических нагрузок агрокомбината и требований нормативных документов.

Сечения питающих линий напряжением выше 1 кВ должны выбираться по ЭПТ в нормальных режимах. Экономическое целесообразное сечение рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (11)$$

где $j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока, для проводов марки СИП–3 с СПЭ–изоляцией $j_{\text{эк}} = 1,7 \text{ А/мм}^2$ [21].

I_p – расчетный ток, А;

$$I_p = \frac{S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}; \quad (12)$$

$$I_p = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,8 \text{ А.}$$

$$S_{\text{эк}} = \frac{57,8}{1,7} = 34 \text{ мм}^2.$$

С учетом требований механической прочности принимаются провода с изоляцией из сшитого полиэтилена 3×СИП–3–1×50, с длительно допустимым током $I_{\text{д.д.}} = 245 \text{ А}$.

Максимальная длина пролета для III ветрового и II гололедного района (СП 20.13330.2016) принята для СИП–3 1×50 50 метров для стоек СБ–9–20.3, 60 метров для стоек СВ 110–3,5 и 70 метров для стоек СВ 164–12.

Прокладку и монтаж СИП производить при температуре окружающего воздуха не ниже минус 20 °С, в соответствии с ГОСТ 31946–2012. В проекте применены штыревые изоляторы марки ШФ–20Г1. Для крепления защищенного провода применить спиральные пружинные вязки с полимерным покрытием (по два на изолятор). На опорах анкерного типа, крепление проводов к натяжным изоляторам марки ЛК–70/20–III выполнить через анкерные зажимы марки SO–255.

Для защиты линии от грозových перенапряжений применить мультикамерный разрядник РМК–20–IV–УХЛ1. Разрядник установить по одному на опору с чередованием фаз.

Заземляющие устройства опор ВЛ–10 кВ, выполняются из двух вертикальных заземлителей диаметром 20 мм длиной 5 м, и двух горизонтальных заземлителей диаметром 10 мм, длиной по 10 м. Заземляющие спуски выполнить круглой сталью диаметром 12 мм.

Заземление металлических кронштейнов и траверс опор ВЛЗ–10 кВ выполняется путем присоединения их к заземляющему спуску.

Заземляющие устройство опоры с разъединителем выполняется с помощью контура заземления 2х2, двух горизонтальных заземлителей длиной по 5 м, диаметром 10 мм и двух вертикальных заземлителей длиной 5 м, диаметром 20 мм [19].

Все металлические элементы ВЛ защищаются антикоррозийным покрытием методом горячего оцинкования.

Подключение КТП выполняется через разъединители с ручными приводами, установленными на отдельно стоящих опорах.

В состав работ по установке отдельных ж/б опор ВЛ–10 кВ входят следующие работы [19]:

- бурение лидерных скважин;
- погружение винтовых свай;
- установка железобетонных отдельных опор;
- монтажные работы (заземление, армировка опор, монтаж металлоконструкций, установка разъединителя, разрядника и др.);
- подвеска проводов.

Разработку котлованов и установку опор в зоне расположения кабелей связи и инженерных сооружений производить в присутствии представителей электрических сетей. Работы по бурению лидерных скважин «с поля» выполняются универсальной буровой машиной типа УБМ–85 с буровой установкой. При бурении лидерных скважин необходимо уточнять глубину заложения слоев и состояние грунтов в основании свай. Бурение лидирующей скважины производится на всю глубину, необходимую для завинчивания свай до требуемой отметки.

В процессе производства работ по бурению скважин производителем работ ведется журнал, записи в котором контролируются представителем авторского надзора. Контрольный замер скважины и заносится в буровой журнал.

4.2 Расчет токов КЗ

«Основная причина нарушения нормального режима работы системы электроснабжения – это возникновение коротких замыканий в электросети или в элементах электрического оборудования вследствие повреждения

изоляции или неправильных действий обслуживающего персонала. Для уменьшения возможного ущерба, который обусловлен выходом из строя электрического оборудования при протекании токов короткого замыкания, а также для быстрого восстановления нормального режима работы системы электроснабжения требуется верно определять токи короткого замыкания и по ним выбирать электрическое оборудование, защитные аппараты и средства ограничения токов короткого замыкания. Расчет токов КЗ выполняется для выбора и проверки электроаппаратов, изоляторов и токоведущих частей по условиям короткого замыкания с целью обеспечения системы электроснабжения надежным в работе оборудованием» [22].

«Согласно РД 153–34.0–20.527–98 силы токов короткого замыкания рассчитывается в тех точках сети, при коротком замыкании в которых аппараты и токоведущие части будут находиться в наиболее тяжёлых условиях. Для определения силы токов короткого замыкания, составляется расчетная схема, на которую наносится все данные, необходимые для расчета, и точки, где следует определить токи короткого замыкания. Данная схема представлена на рисунке 3» [22].

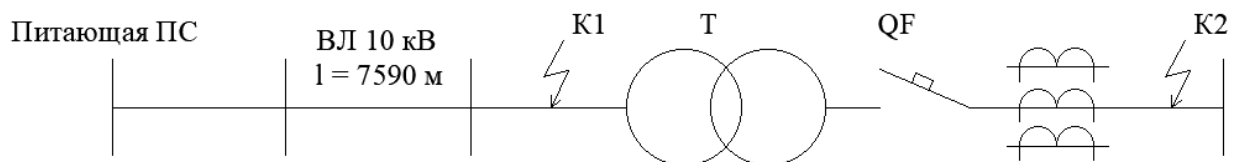


Рисунок 3 – Расчетная схема

Составляется расчетная схема замещения с учетом сопротивлений элементов. Данная схема представлена на рисунке 4.

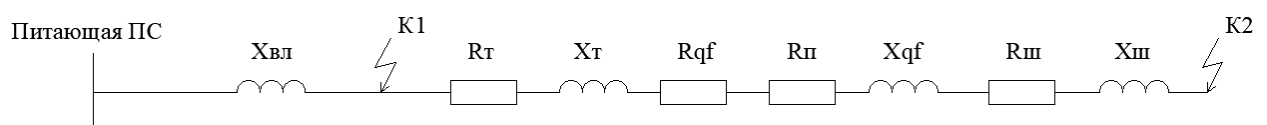


Рисунок 4 – Схема замещения для расчётов токов короткого замыкания

«В электроустановках выше 1000 В расчет ведется в относительных единицах.

Задаются базисные значения мощности S_6 , и напряжения U_6 : S_6 – базисная мощность, принимается равной 100 МВА; U_6 – базисное напряжение, это напряжение больше на 5% от номинального напряжения в расчетной точке, кВ.

Рассчитывается ток короткого замыкания в точке К1.

Определяется индуктивное сопротивление воздушной линии, по формуле» [22]:

$$X_{\text{вл}} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2}; \quad (13)$$

где x_0 – «удельное индуктивное сопротивление линии на один км, для воздушной линии принимается равным 0,4 Ом/км» [22];

l – длина линии, от питающей подстанции до ТП агрокомбината по производству молочной продукции, км;

$$X_{\text{кл}} = 0,4 \cdot 7,59 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 2,754.$$

«Определяется установившийся ток короткого замыкания в точке К1 от системы электроснабжения:

$$I_{\text{к1}} = \frac{U_{61}}{\sqrt{3} \cdot X_{\text{к1}}}; \quad (14)$$
$$I_{\text{к1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,754} = 2,2 \text{ кА}.$$

Определяется ударный ток короткого замыкания в точке К1:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{к}}; \quad (15)$$

где $K_{уд}$ – ударный коэффициент, зависящий от места точки короткого замыкания в энергосистеме, его значение принимается равным 1,8» [22]

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2,2 = 5,6 \text{ кА.}$$

Определяется мощность короткого замыкания в расчётной точке K1:

$$S_{к1} = \sqrt{3} \cdot I_k \cdot U_6; \quad (16)$$
$$S_{к1} = \sqrt{3} \cdot 2,2 \cdot 10,5 = 40,0 \text{ МВА.}$$

«Рассчитывается ток короткого замыкания в точке K2, которая полагается на стороне 0,4 кВ у трансформаторов ТП. Расчёт выполняется в именованных единицах. Для определения значения токов учитываются сопротивления элементов схемы как активные, так и индуктивные.

Определяется величина рабочего тока трансформатора на стороне низкого напряжения» [8]:

$$I_{p2} = \frac{S_{н.т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном2}}; \quad (17)$$
$$I_{p2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1445,1 \text{ А.}$$

«Пользуясь ГОСТ 28249–93, выбирается сопротивления элементов по параметрам электрических условий» [8].

«Предварительно выбираются шины по условию:

$$I_{доп \text{ шин}} \geq I_{номтр}; \quad (18)$$

где $I_{доп}$ – допустимый ток для шин.

Выбирается ШМА73 – 1600 с номинальным током 1600 А.

$$1600 \text{ А} \geq 1445,1 \text{ А}.$$

Из ГОСТ 28249–93 выбирается сопротивления $x_{\text{ош}}$ и $r_{\text{ош}}$, мОм/м, рассчитывается индуктивное и активное сопротивление шин по формуле:

$$X_{\text{ш}} = x_{\text{ош}} \cdot l_{\text{ш}}; \quad (19)$$

$$r_{\text{ш}} = r_{\text{ош}} \cdot l_{\text{ш}}; \quad (20)$$

где $l_{\text{ш}}$ – длина шины, принимается равной 10 м» [8].

$$r_{\text{ош}} = 0,031 \text{ мОм/м};$$

$$x_{\text{ош}} = 0,017 \text{ мОм/м};$$

$$x_{\text{ш}} = 0,031 \cdot 10 = 0,31 \text{ мОм};$$

$$r_{\text{ш}} = 0,017 \cdot 10 = 0,17 \text{ мОм}.$$

«Определяется активное и индуктивное сопротивление силового трансформатора по формуле» [8]:

$$R_{\text{T}} = \Delta P_{\text{K}} \cdot \left(\frac{U_{\text{HH}}}{S_{\text{T}}} \right)^2 \cdot 10^6; \quad (21)$$

где ΔP_{K} – потери мощности при коротком замыкании, кВт;

$$R_{\text{T}} = 10 \cdot \left(\frac{0,4}{1000} \right)^2 \cdot 10^6 = 1,6 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{T}} = \frac{U_{\text{K}} \%}{100} \cdot \frac{U_{\text{ср.2}}^2}{S_{\text{T.НОМ}}}; \quad (22)$$

$$X_{\text{T}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{0,4}{1000} = 0,018 \text{ мОм}.$$

«Из ГОСТ 28249–93 выбирается и учитывается переходное сопротивление на ступенях распределения, контактов, автоматических выключателей, катушек автоматов.

Для автоматического выключателя с номинальным током 1600 А:

– сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей

$$r_{QF} = 0,14 \text{ мОм}; x_{QF} = 0,08 \text{ мОм};$$

– активное сопротивление разъемных соединений $r_{\text{пер}QF} = 0,60 \text{ мОм}$.

Для распределительного устройства подстанции принимается значение переходных сопротивлений на ступенях распределения электроэнергии» [8]
 $R_{\text{ст}} = 15 \text{ мОм}$.

Определяется суммарное полное сопротивление до точки короткого замыкания К2 по формуле

$$Z_k = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}; \quad (23)$$

$$Z_{k2} = \sqrt{(1,6 + 0,17 + 0,14 + 0,6 + 15)^2 + (0,018 + 0,31 + 0,08)^2} = 17,5 \text{ мОм}.$$

«Определяется установившийся ток короткого замыкания в точке К2 от системы электроснабжения» [8]:

$$I_{K2} = \frac{U_{62}}{\sqrt{3} \cdot Z_{k2}}; \quad (24)$$

$$I_{k2} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 17,5} = 13,2 \text{ кА}.$$

Определяется ударный ток короткого замыкания в точке К2 по формуле
(15)

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 13,2 = 24,3 \text{ кА}.$$

Определяется мощность короткого замыкания в расчётной точке К2:

$$S_{K2} = \sqrt{3} \cdot 24,3 \cdot 0,4 = 16,8 \text{ МВА.}$$

Результаты расчета токов КЗ приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета токов КЗ

Точки	U _б ,кВ	I _к , кА	i _{уд} , кА	S _к , МВА
K ₁	10,5	2,2	5,6	40,0
K ₂	0,4	13,2	24,3	16,8

Выводы по разделу 4.

В четвертом разделе ВКР выполнен расчет токов короткого замыкания (КЗ) для системы электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции. Для питающей линии 10 кВ с учетом требований механической прочности и устойчивости к климатическим воздействиям приняты провода с изоляцией из сшитого полиэтилена марки 3×СИП–3–1×50. Данный тип проводов обладает высокой прочностью, устойчивостью к обледенению и ультрафиолетовому излучению, что особенно важно для эксплуатации в сельской местности. На основании рассчитанных токов КЗ далее будет выполнен выбор оборудования.

5 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников

5.1 Расчет рабочих токов

Расчет рабочих токов в ячейках распределительного устройства 10 кВ трансформаторной подстанции ТП необходим для верного выбора коммутационного электрооборудования, трансформаторов тока. Расчет рабочих токов на вводах 0,4 кВ силовых трансформаторов трансформаторной подстанции ТП необходим для верного выбора автоматических выключателей на вводе 0,4 кВ трансформаторов подстанции.

Рабочий ток для ввода РУ 10 кВ трансформаторной подстанции агрокомбината по производству молочной продукции составляет [20]:

$$I_{\max} = \frac{S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}; \quad (25)$$
$$I_{\max} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,8 \text{ А.}$$

Рабочий ток для ввода РУ 0,4 кВ трансформаторной подстанции агрокомбината по производству молочной продукции составляет [20]:

$$I_{\max} = \frac{S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}; \quad (26)$$
$$I_{\max} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1445,1 \text{ А.}$$

5.2 Выбор оборудования 10 кВ ТП

«Коммутационная аппаратура должны быть способны включать и отключать соответствующие цепи в продолжительном и в кратковременном аварийном режиме, в т.ч. в режиме короткого замыкания. Во включенном

положении коммутационная аппаратура должна иметь возможность пропускать сквозной ТКЗ.

Разъединитель на опоре перед подстанцией» [4].

Разъединители выбирают по [4]:

– по напряжению установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}, \quad (27)$$

– по длительному току

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}}, \quad (28)$$

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}, \quad (29)$$

– по электродинамической стойкости

$$i_y \leq i_{\text{дин}}, \quad (30)$$

где $i_{\text{дин}}$ – ток электродинамической стойкости, кА;

– по термической стойкости

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}, \quad (31)$$

где $t_{\text{отк}}$ – время отключения элегазового выключателя, $t_{\text{отк}} \approx 0,2$ с; T_a – постоянная, $T_a = 0,03$ с;

$$B_k = 2,2^2 \cdot (0,2 + 0,03) = 1,1 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Для установки на опоре перед подстанцией применяется разъединитель РЛНД.1–10/400 У1 с приводом ПРНЗ–10 УХЛ1. Расчетные и каталожные

данные разъединителя приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Выбор разъединителя на опоре перед подстанцией

Параметры выбора	Расчетные параметры электросети	Паспортные данные РЛНД.1–10/400 У1
$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{max}}$	$I_{\text{max}} = 57,8 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 400 \text{ А}$
$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{уд}} = 15,3 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$
$I_{\text{ТЕП}}^2 \cdot t_{\text{ТЕП}} \geq B_{\text{к}}$	$B_{\text{к}} = 1,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{ТЕП}}^2 \cdot t_{\text{ТЕП}} = 12,5^2 \cdot 3 = 469 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Разъединители наружной установки на напряжение 10 кВ предназначены для включения и отключения под напряжением участков электрической цепи высокого напряжения при отсутствии нагрузочного тока, а также заземления отключенных участков линий при помощи стационарных –заземляющих ножей, при их наличии.

Работы по монтажу оборудования линии ВЛ–10 кВ (разъединитель РЛНД–10, разрядник РМК–20 и др.) выполнять в соответствии с типовыми технологическим картами, паспортами и инструкциями заводов–изготовителей. Детальное описание состава и последовательности выполнения отдельных видов монтажных работ выполнить на стадии ППР.

Общий вид, габаритные, установочные и присоединительные размеры:

- разъединителя РЛНД–1–10–400 У1 с приводом и одним заземляющим ножом;
- привода ПРНЗ–10 УХЛ1 к разъединителю РЛНД–1–10–400 У1.

Данная схема предоставлена на рисунке 5.

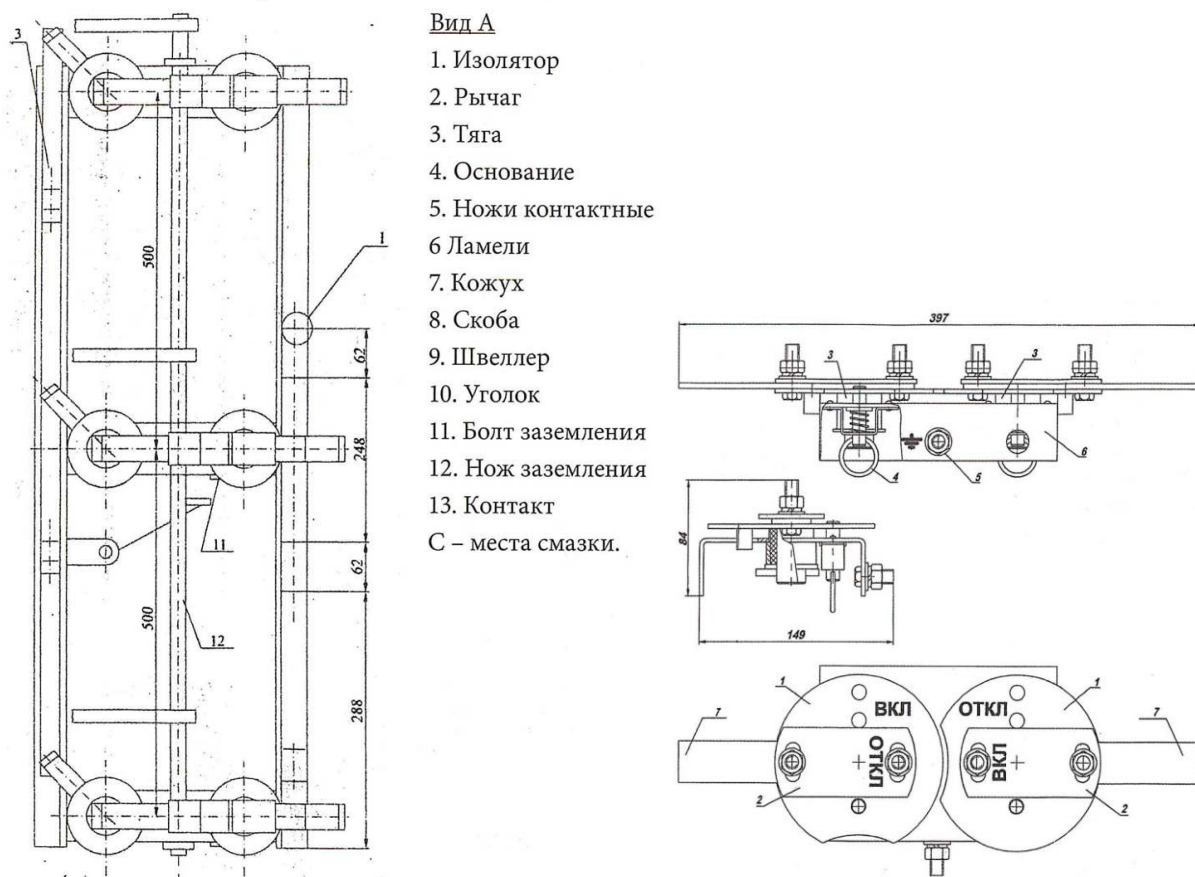


Рисунок 5 – Общий вид, габаритные, установочные и присоединительные размеры разъединителя и привода.

Предохранители напряжением 10 кВ.

«Высоковольтный предохранитель в проектируемой трансформаторной подстанции выбирается по следующим условиям» [5]:

По напряжению установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}, \quad (32)$$

«Номинальный ток плавкой вставки предохранителя со стороны ВН трансформатора выбирается с учетом отстройки от броска тока намагничивания при включении трансформатора в режиме холостого хода:

$$I_{\text{пл.вст.}} > 2 \cdot I_{\text{н.т.}}; \quad (33)$$

где $I_{\text{н.т.}}$ – номинальный ток трансформатора на стороне ВН, А.

По отключающей способности

$$I_{\text{к.з.}}^{(3)} \leq I_{\text{отк.ном}} , \quad (34)$$

где $I_{\text{отк.ном}}$ – номинальный ток отключения, кА.

$$I_{\text{ном.откл.}} \geq 2,2 \text{ кА.}$$

Для установки на вводе в ТП применяются предохранители ПКТ–104–10–160–20–У3–КЭАЗ» [28]. Расчетные и каталожные данные высоковольтного предохранителя приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор высоковольтного предохранителя на вводе в ТП

Параметры выбора	Расчетные параметры электросети	Паспортные данные ПКТ–104–10–160–20–У3–КЭАЗ
$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$	$U_{\text{уст}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{мах}}$	$I_{\text{мах}} = 57,8 \text{ А}$	$I_{\text{ном}}=160 \text{ А}$
$I_{\text{ном.откл}} \geq I_{\text{кз}}$	$I_{\text{кз}} = 2,2 \text{ кА}$	$I_{\text{отк.ном}}=20 \text{ кА}$

Предохранители высоковольтные серии ПКТ предназначены для использования в трехфазных сетях переменного тока напряжением от 6 до 35 кВ частоты 50 и 60 Гц для защиты силовых трансформаторов, воздушных и кабельных линий от сверхтоков при перегрузках и коротких замыканиях рисунок 6.

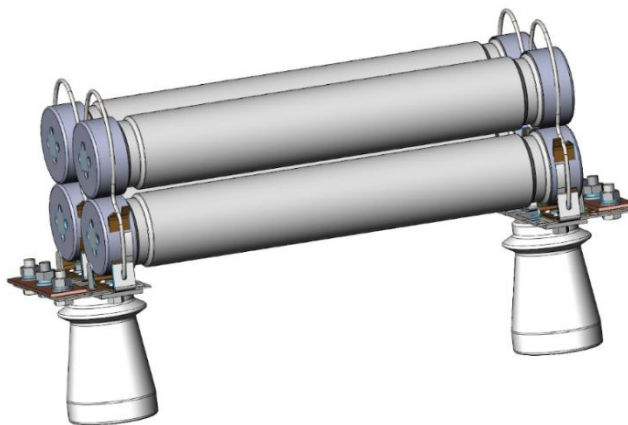


Рисунок 6 – Предохранитель высоковольтный серии ПКТ

Согласно [6], для защиты электрооборудования от перенапряжений следует отдавать предпочтение нелинейным ограничителям перенапряжений (ОПН), которые имеют более совершенные технические характеристики и являются более надежными в эксплуатации по сравнению с разрядниками, применение которых запрещается при реконструкции существующих электроустановок и строительстве новых.

ОПН обеспечивают надежную защиту электрооборудования, подключенного к шинам электроустановок, линий электропередачи, силовых трансформаторов от коммутационных и атмосферных перенапряжений. ОПН подключают параллельно к ошиновке силовых трансформаторов со стороны всех его обмоток. Также ОПН следует применять для защиты от перенапряжений электрооборудования ячеек КРУ–10 кВ, оснащенных вакуумными выключателями, в процессе коммутации, которых могут возникать опасные для электрооборудования коммутационные перенапряжения, в особенности при коммутации малых индуктивных токов.

Выбор ОПН осуществляется за номинальным напряжением электросети, в которой он будет эксплуатироваться. В РУ 10 кВ ТП применяются ограничители перенапряжения ОПН–П–10/12/10/550 УХЛ1.

Ограничитель выдерживает тяжение провода в горизонтальном направлении не менее 300 Н и давление ветра со скоростью:

– не более 40 м/с без гололеда,

– не более 15 м/с при толщине гололеда 2 см.

Характеристики ограничителя перенапряжения ОПН–П–10/12/10/550 УХЛ1 [7] приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Характеристики ограничителя ОПН–П–10/12/10/550 УХЛ1

Наименование параметра	Значения
1 Класс напряжения сети, кВ	10
2 Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя $U_{нр}$, кВ	12,0
3 Напряжение на ограничителе, допустимое в течение времени, кВ 1 ч 20 мин 10 с 1 с	14,5/13,8 14,9/14,0 16,2/15,2 16,8/15,8
4 Номинальный разрядный ток – амплитуда грозового импульса тока 8/20 мкс, I_n , кА	
5 Ток пропускной способности – значение амплитуды прямоугольного импульса тока длительностью 2000 мкс, $I_{пр}$, А	
6 Остающееся напряжение, кВ амп, не более, при грозовом импульсе тока 8/20 мкс с амплитудой: 5000 А 10000 А 20000 А	36,7 39,3 42,8
7 Остающееся напряжение, кВ амп, не более, при коммутационном импульсе тока 30/60 мкс с амплитудой: 250 А 500 А 1000 А	29,7 30,8 32,1
8 Остающееся напряжение, кВ амп, не более, при крутом импульсе тока 1/10 мкс с амплитудой 10000 А	44,8

5.3 Выбор оборудования 0,4 кВ ТП

Система электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции включает в себя трансформаторную подстанцию (ТП), обеспечивающую преобразование напряжения с 10 кВ до 0,4 кВ для питания производственного оборудования, освещения и других потребителей низкого напряжения. Оборудование стороны 0,4 кВ трансформаторной подстанции играет ключевую роль в распределении электроэнергии, защите сети от

«перегрузок и коротких замыканий, а также в обеспечении надежности и безопасности эксплуатации объекта.

Автоматические выключатели напряжением до 1 кВ выбираются по следующим условиям:

По номинальному напряжению

$$U_{\text{ном}} = 0,38 \text{ кВ} \geq U_{\text{ном.уст}} = 0,38 \text{ кВ} - \text{верно.}$$

По номинальному току теплового расцепителя

$$I_{\text{т.р.}} \geq K_{\text{т.р.}} \cdot I_{\text{ном.ЭП}}; \quad (35)$$

где $K_{\text{т.р.}}$ – коэффициент теплового расцепителя» [10].

«Для ввода 0,4 кВ трансформатора

$$I_{\text{т.р.}} \geq 1,1 \cdot 1445,1 = 1589,6 \text{ А.}$$

По номинальному току электромагнитного расцепителя:

– для одиночного электроприемника

$$I_{\text{у.э.р.}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{пуск}}; \quad (36)$$

– для группы электроприемников

$$I_{\text{у.э.р.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}. \quad (37)$$

Для ввода 0,4 кВ трансформатора» [10]:

$$I_{\text{у.э.р.}} \geq 1,2 \cdot (5 \cdot 1445,1) = 8670,6 \text{ А.}$$

«По номинальному току автоматического выключателя

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq I_p; \quad (38)$$

где I_p – расчетный ток линии, А.

Расчетный ток определяется в зависимости от числа электроприемников, получающих питание по линии.

– для одиночного электроприемника» [10]:

$$I_p = I_{\text{ном.ЭП}}; \quad (39)$$

– для группы электроприемников

$$I_p = \Sigma I_{\text{ном.ЭП}}. \quad (40)$$

«Для ввода 0,4 кВ трансформатора

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq I_p = 1445,1 \text{ А.}$$

По электродинамической стойкости» [10]:

$$I_{\text{ном.откл.}} \geq I_{K1}; \quad (41)$$

$$I_{\text{ном.откл.}} = 25 \text{ кА} \geq I_{K2} = 13,2 \text{ кА.}$$

Принимается к установке автоматический выключатель типа ВА57–43 $I_{\text{ном.АВ}} = 1600 \text{ А}$ с током расцепителя $I_{\text{т.р.}} = 1600 \text{ А}$.

Для отходящих линий к потребителям автоматические выключатели выбираются аналогично.

Результаты расчета даны в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора автоматических выключателей

Фидер	Наименование потребителя	P_v , кВт	Q_v , кВар	S_p , кВА	I_p , А	Марка АВ	$I_{ном.АВ}$, А	$I_{т.р.}$, А
Ф.1	Коровник 1 на 200 голов	76,5	46,75	89,7	129,6	ВА57–33	160	160
Ф.2	Коровник 2 на 200 голов	76,5	46,75	89,7	129,6	ВА57–33	160	160
Ф.3	Кормоцех 1	144	90	169,8	245,4	ВА57–39	320	320
Ф.4	Кормоцех 2	144	90	169,8	245,4	ВА57–39	320	320
Ф.5	Котельная	130	70	147,6	213,4	ВА57–35	250	250
Ф.6	Доильный зал	22,5	10,8	25,0	36,1	ВА57–31	100	40
Ф.7	Молочный цех	22,5	10,8	25,0	36,1	ВА57–31	100	40
Ф.8	Склады	16,2	8,1	18,1	26,2	ВА57–31	100	32
Ф.9	Административное здание	2,7	0,9	2,8	4,1	ВА57–31	100	16
Ф.10	Ветеринарный пункт	1,8	0,9	2,0	2,9	ВА57–31	100	16
Ф.11	Освещение территории	1,9	1,9	2,7	3,9	ВА47–29	63	6
–	Питание от АВР	638,6	377,0	741,5	1127,9	ВА57–43	1600	1250
–	Ввод 0,4 кВ ТП	–	–	1000	1445,1	ВА57–43	1600	1600

На подстанции предусмотрено автоматическое включение уличного освещения территории агрокомбината по производству молочной продукции. Для этого на подстанции применяется фотореле ФР–601, которое предназначено для автоматического включения и отключения уличного и внутреннего освещения в зависимости от уровня освещенности.

Выключатели–разъединители выбирают по [10]:

– по напряжению установки

$$U_{уст} \leq U_{ном}, \quad (42)$$

– по длительному току

$$I_{ном} \leq I_{ном}, \quad (43)$$

$$I_{max} \leq I_{ном}, \quad (44)$$

– по электродинамической стойкости

$$i_y \leq i_{\text{дин}}, \quad (45)$$

где $i_{\text{дин}}$ – ток электродинамической стойкости, кА;

– по термической стойкости

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}, \quad (46)$$

где $t_{\text{отк}}$ – время отключения элегазового выключателя, $t_{\text{отк}} \approx 0,2$ с;

T_a – постоянная, $T_a = 0,03$ с;

$$B_k = 13,2^2 \cdot (0,2 + 0,03) = 40,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Для установки на стороне 0,4 кВ подстанции применяется выключатель–разъединитель 0,4 кВ ВР101 с номинальным током 1600 А. Расчетные и каталожные данные разъединителя приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор выключатель–разъединителя 0,4 кВ

Параметры выбора	Расчетные параметры электросети	Паспортные данные ВР101
$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$	$U_{\text{уст}} = 0,4$ кВ	$U_{\text{ном}} = 0,4$ кВ
$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{мах}}$	$I_{\text{мах}} = 1445,1$ А	$I_{\text{ном}} = 1600$ А
$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{уд}} = 24,3$ кА	$i_{\text{дин}} = 40$ кА
$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$	$B_k = 40,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 12,5^2 \cdot 3 = 469 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

5.4 Выбор измерительных трансформаторов

«Трансформаторы тока предназначены для уменьшения первичного тока до значений наиболее удобного для измерительных приборов и реле, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

ТТ, которые предназначены для питания КИП выбираются:

- по величине номинального напряжения
- по величине номинального тока;
- по конструкции и кл. т.» [11].

На стороне 0,4 кВ устанавливают КИП, приведённые в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет мощности счетчиков

Прибор	Класс точности	Нагрузка фазы		
		фаза А	фаза В	фаза С
Счетчик электрической энергии трехфазный трансформаторного включения СЕ 303 S31 543 JAYVZ (12)	0,5S	0,5 ВА	0,5 ВА	0,5 ВА
ИТОГО	–	0,5 ВА	0,5 ВА	0,5 ВА

«Для обеспечения выбранного кл. т. требуется, чтобы величина действительной нагрузки вторичной цепи не превышала нормированное значение для данного кл. т.» [11]:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном}} \cdot \quad (47)$$

«Индуктивное сопротивление токовых цепей достаточно мало, в связи с этим $Z_2 \approx r_2$, тогда

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}}, \quad (48)$$

где $r_{\text{приб}}$ – величина сопротивления КИП;

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{2\text{ном}}^2}; \quad (49)$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, которую потребляют КИП,

$I_{2\text{ном}}$ – величина вторичного номинального тока КИП,

$r_{\text{к}}$ – значение сопротивления контактов, $r_{\text{к}} = 0,1$ Ом,

$$r_{\text{приб}} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом.}$$

Сопротивление соединительных проводов» [11]:

$$r_{\text{пр}} = z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}}. \quad (50)$$

«Величина вторичной номинальной нагрузки ТТ в кл. т. 0,5
 $z_{2\text{ном}} = 1,2 \text{ Ом}$

$$r_{\text{пр}} = 1,2 - 0,02 - 0,1 = 1,08 \text{ Ом.}$$

При известной величине $r_{\text{пр}}$ сечение соединительных проводов
 вычисляется по выражению» [11]:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пр}}}, \quad (51)$$

где ρ – «удельное сопротивление провода, $\rho = 0,0175 \frac{\text{См} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ для

проводов с медными жилами;

$l_{\text{расч}}$ – расчетная длина проводов, $l_{\text{расч}} = l_{\text{пр}} = 120 \text{ м}$.

$$q = \frac{0,0175 \cdot 120}{1,08} = 1,94 \text{ мм}^2.$$

По условию механической прочности принимается многожильный
 контрольный кабель КРВГ–7х 2,5 мм²» [11].

«По электродинамической стойкости

$$i_{\text{дин}} \geq i_y = 24,3 \text{ кА};$$

По термической стойкости. Термической стойкостью аппарата называют его способность противостоять кратковременному тепловому действию тока КЗ без повреждений, препятствующих дальнейшей работе» [11].

«Термическую стойкость аппаратов заводы–изготовители характеризуют током термической стойкости и временем его прохождения.

Током термической стойкости аппарата называют затухающий периодический ток (действующее значение), установленный заводом–изготовителем на основании соответствующих тепловых расчетов и испытаний в качестве параметра аппарата рассматриваемого типа. Аппарат должен выдерживать этот ток в течение времени термической стойкости. При этом температура частей аппарата не должна превышать допускаемую температуру при кратковременном нагревании. На термическую стойкость выключатель проверяется по тепловому импульсу тока КЗ» [11].

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k = 40,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

На основании вышеизложенного выбираются ТТ на вводе РУ 0,4 кВ ТП в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор ТТ на вводе РУ 0,4 кВ ТП

Параметры	Тип трансформатора	Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{сети.ном}} \leq U_{\text{н}}, \text{ кВ}$	Т–0,66	$U_{\text{уст}} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 0,66 \text{ кВ}$
$I_{\text{норм.расч}} \leq I_{\text{н}}, \text{ А}$		$I_{\text{max}} = 1445,1 \text{ А}$	$I_{\text{н}} = 1500 \text{ А}$
$i_y \leq i_{\text{дин}}, \text{ кА}$		$i_y = 24,3 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 22,5 \text{ кА}$
$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$		$B_k = 40,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 45^2 \cdot 4 = 8100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$Z_2 \leq Z_{2\text{ном}}, \text{ Ом}$		1,02 Ом	$Z_{2\text{ном}} = 1,2 \text{ Ом}$

Полные технические характеристики трансформаторов тока Т–0,66, 1500/5 А [12] приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Технические характеристики трансформаторов тока Т–0,66

Характеристики	Значения
Номинальное напряжение	0,4 кВ
Частота переменного тока	50 Гц
Номинальный первичный ток	1500 А
Номинальный вторичный ток	5 А
Количество вторичных обмоток	1
Номинальный класс точности	0,5 S
Номинальная предельная кратность вторичной обмотки (для защиты)	300
Ток односекундной термической стойкости	50 кА

5.5 Выбор проводников

Кабельные линии напряжением 0,4 кВ являются важной частью системы электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции, обеспечивая передачу электроэнергии от трансформаторной подстанции к силовым щитам отдельных зданий. Правильный выбор кабелей напрямую влияет на надежность, безопасность и эффективность работы предприятия, а также на минимизацию потерь электроэнергии и эксплуатационных затрат. Учитывая расположение агрокомбината в сельской местности и специфику производственных процессов, кабельная сеть должна быть устойчивой к внешним воздействиям и способной обеспечить бесперебойное питание в условиях возможных перебоев основного электроснабжения.

«Сечение кабеля выбирается по длительно допустимому току по условию нагрева» [14].

$$I_p \leq I_{д.д.}, \quad (52)$$

где $I_{д.д.}$ – «длительно допустимый ток кабеля, А;

I_p – расчетный ток линии» [14];

$$I_p \leq \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (53)$$

так коровника 1 на 200 голов

$$I_p \leq \frac{76,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 129,6 \text{ А}.$$

Также при выборе кабеля необходимо учитывать ток расцепителя автоматического выключателя, защищающего данный кабель:

$$I_{т.р.} \leq I_{д.д.}, \quad (54)$$

где $I_{д.д.}$ – длительно допустимый ток кабеля;

$I_{т.р.}$ – ток расцепителя автоматического выключателя, А.

Для питания коровника 1 на 200 голов с расчётным током $I_p = 129,6 \text{ А}$ выбирается кабель АПвБбШв – 5×50 с допустимым током $I_{д.д.} = 170 \text{ А}$ [26]. Так как средняя температура окружающей среды на предприятии не измеряется, то будем считать, что она равна нормируемой, и таким образом, $I_{д.д.} = 170 \text{ А}$.

Для защиты данной линии применяется автоматический выключатель ВА57–33 с током теплового расцепителя 160 А, таким образом, условие

$$I_{т.р.} = 160 \text{ А} \leq I_{д.д.} = 170 \text{ А},$$

выполняется.

Выбор кабелей для системы электроснабжения агрокомбината на уровне 0,4 кВ, выполненный в рамках проектирования, требует обязательной проверки «по условию потери напряжения. Это необходимо для обеспечения стабильного уровня напряжения у потребителей, минимизации потерь

электроэнергии и соответствия требованиям ГОСТ 32144–2013. Согласно ГОСТ 32144–2013, допустимая потеря напряжения в кабельных линиях от трансформаторной подстанции до конечных потребителей не должна превышать 5% от номинального напряжения 0,4 кВ.

Потеря напряжения в кабельной линии» [15]:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot r_0 \cdot L + Q_1 \cdot x_0 \cdot L}{U_n^2 \cdot 10^3} \cdot 100\% \leq \Delta U_{\text{доп}} = 5\%, \quad (55)$$

где r_0 и x_0 – «удельные активное и индуктивное сопротивления кабеля, Ом/км;

L – длина кабельной линии, км» [24].

$$\Delta U_1 = \frac{76,5 \cdot 0,641 \cdot 0,105 + 46,75 \cdot 0,085 \cdot 0,105}{0,4^2 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 3,47 < 5\%,$$

что соответствует требованиям ГОСТ 32144–2013 [9].

Аналогично выбираются и проверяются остальные кабели. Результаты расчета представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты выбора кабельных линий

Фидер	Наименование потребителя	P_v , кВт	Q_v , кВар	S_p , кВА	I_p , А	$I_{т.р.}$, А	Кабель	$I_{д.д.}$, А	Длина	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	ΔU , %
Ф.1	Коровник 1 на 200 голов	76,5	46,75	89,7	129,6	160	АПвБбШв–5×50	170	0,105	0,641	0,085	3,47
Ф.2	Коровник 2 на 200 голов	76,5	46,75	89,7	129,6	160	АПвБбШв–5×50	170	0,222	0,641	0,085	7,35
Ф.3	Кормоцех 1	144	90	169,8	245,4	320	АПвБбШв–5×240	372	0,021	0,125	0,077	0,33
Ф.4	Кормоцех 2	144	90	169,8	245,4	320	АПвБбШв–5×240	372	0,197	0,125	0,077	3,07
Ф.5	Котельная	130	70	147,6	213,4	250	АПвБбШв–5×150	287	0,031	0,206	0,079	0,63
Ф.6	Доильный зал	22,5	10,8	25,0	36,1	40	АПвБбШв–5×16	72	0,115	1,91	0,095	3,17
Ф.7	Молочный цех	22,5	10,8	25,0	36,1	40	АПвБбШв–5×16	72	0,147	1,91	0,095	4,03
Ф.8	Склады	16,2	8,1	18,1	26,2	32	АПвБбШв–5×25	100	0,306	1,2	0,091	3,86
Ф.9	Административное здание	2,7	0,9	2,8	4,1	16	АПвБбШв–5×16	72	0,132	1,91	0,095	0,43
Ф.10	Ветеринарный пункт	1,8	0,9	2,0	2,9	16	АПвБбШв–5×16	72	0,032	1,91	0,095	0,07
Ф.11	Освещение территории	1,9	1,9	2,7	3,9	16	АПвБбШв–5×16	72	0,500	1,91	0,095	1,19

Выводы по разделу 5.

В пятом разделе ВКР выполнен выбор электрических аппаратов и проводников для системы электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции, обеспечивающих надежное распределение электроэнергии на уровнях 10 кВ и 0,4 кВ.

Для распределительных устройств 10 кВ и 0,4 кВ выбрано коммутационное оборудование, соответствующее расчетным параметрам сети. На опоре перед подстанцией установлен разъединитель РЛНД.1–10/400 У1 с приводом ПРНЗ–10 УХЛ1. Данный разъединитель обеспечивает оперативное отключение линии и безопасность при проведении ремонтных работ. На вводе в трансформаторную подстанцию применены предохранители ПКТ–104–10–160–20–У3–КЭАЗ с номинальным током 160 А, которые гарантируют защиту трансформатора от перегрузок и коротких замыканий в сети 10 кВ.

Для стороны 0,4 кВ на вводах трансформаторов и отходящих линиях выбраны автоматические выключатели типа ВА57, обеспечивающие надежную коммутацию и защиту от аварийных режимов. Их параметры подобраны с учетом токов нагрузки и короткого замыкания, что повышает безопасность эксплуатации низковольтной сети. Также в подстанции установлены измерительные трансформаторы тока, необходимые для контроля параметров сети, и ограничители перенапряжения 10 кВ, защищающие оборудование от импульсных перенапряжений, вызванных молниями или коммутационными процессами.

Для передачи электроэнергии от подстанции к потребителям выбраны кабели марки АПвБбШв различных сечений, которые обладают высокой механической прочностью, устойчивостью к внешним воздействиям и соответствуют требованиям пожарной безопасности. Сечения кабелей определены на основе расчетных токов нагрузки, длины линий и допустимых потерь напряжения, что обеспечивает эффективность и надежность распределения электроэнергии на уровне 0,4 кВ.

6 Выбор основного электрооборудования и его проверка

Для резервного питания агрокомбината по производству молочной продукции предлагается применить дизель–генератор – источник электроснабжения, представляющий собой установку, преобразующую механическую энергию вращения коленвала дизельного двигателя внутреннего сгорания в электрическую энергию, вырабатываемую генератором переменного тока.

Выбор мощности дизель генератора зависит от предполагаемой нагрузки на него потребителями электроэнергии. Для рассматриваемого агрокомбината по производству молочной продукции мощность ДГУ выбирается по расчетной мощности агрокомбината по производству молочной продукции, которая составляет 761 кВт. «Принимается к установке дизельный генератор SDMO KD1100–Е в кожухе. Дизельный генератор SDMO KD1100–Е в кожухе показан на рисунке 7» [29].



Рисунок 7 – Дизельный генератор SDMO KD1100–Е в кожухе

Технические характеристики дизельного генератора SDMO KD1100–Е в кожухе приведены в таблице 15.

Характеристики электростанции приведены при следующих условиях:

- температура окружающего воздуха от -40 до $+40$ °С;
- относительная влажность до 98 %;
- высоты над уровнем моря до 4000 м;
- запыленность воздуха не более $0,01$ г/м³.

Таблица 15 – Технические характеристики ДЭС SDMO KD1100–Е в кожухе

Характеристика	Величина
Мощность номинальная	800 кВт / 1000 кВА
Мощность максимальная	880 кВт / 1100 кВА
Напряжение	230/400 В
Частота тока	50 Гц
Тип запуска	Электростартер/Автоматический
Модель генератора	КН03544Т
Номинальный коэффициент мощности	0,8
Класс изоляции	Н
Степень защиты	IP 21
Топливный бак	1035 л
Расход топлива при 75% нагрузке	155 л/ч
Габариты	6400 мм х 2170 мм х 2721 мм
Вес	9100 кг

Комплектация:

- заправлена антифризом (50/50), $t = -40$ °С;
- заправлена маслом;
- автомат защиты от короткого замыкания;
- подогрев охлаждающей жидкости;
- блок зарядки аккумуляторов;
- свинцовые необслуживаемые аккумуляторные батареи;
- электронный регулятор частоты вращения;
- датчик давления масла;
- датчик температуры охлаждающей жидкости;
- термостат;
- встроенный топливный бак;
- запираемая дверца панели управления;

- антивибрационные прорезиненные подушки;
- «стальная сварная рама;
- дизельный двигатель с навесным оборудованием;
- стандартный радиатор системы охлаждения;
- генератор (бесщеточный, одноопорный);
- электростартер;
- гибкий переходник выхлопной системы;
- стандартный промышленный глушитель (–9 дБ);
- воздушный фильтр для работы в нормальных условиях;
- система топливоподачи с фильтрацией;
- система смазки с фильтрацией;
- система защиты по низкому давлению масла;
- защита обмоток генератора» [29].

Контроллер APM403S.

Новая панель управления KOHLER–SDMO APM403.

Пульт APM403 предназначен для управления электростанциями мощностью от 66 кВА. Он русифицирован и обеспечивает возможность дистанционного управления. с помощью специального веб–интерфейса WEBSUPERVISOR.

Для переключения питания с основной сети на ДЭС в системе электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции устанавливается щит АВР. Подключение щита АВР от ДЭС выполняется кабелем.

Расчетный ток в максимальном режиме составляет:

$$I_p = \frac{S_{\text{ДЭС}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (56)$$

где $S_{\text{ДЭС}}$ – мощность ДЭС, кВА,

$$I_p = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1521,1 \text{ А.}$$

По [16] выбирается кабель 3×ПВБбШв–5×240. Длительно допустимый ток данного кабеля составляет $I_{\text{дд}} = 3 \times 556 = 1668 \text{ А}$, при этом

$$I_{\text{дд}} > I_p; \quad (57)$$

$$I_{\text{дд}} = 1668 \text{ А} > I_p = 1521,1 \text{ А.}$$

Автоматический выключатель в АВР выбирается исходя из максимальной мощности агрокомбината по производству молочной продукции, которая составляет 741,5 кВт. Принимается к установке автоматический выключатель ВА51–43 у которого $I_{\text{н.а.}} = 1600 \text{ А}$ [17].

При выборе кабеля также должно выполняться условие

$$I_{\text{ТР}} \cdot k_3 \leq I_{\text{дд}}; \quad (58)$$

где k_3 – коэффициент отстройки от аппарата защиты, $k_3 = 1$,

$$1600 \cdot 1 = 1600 \text{ А} \leq 1668 \text{ А},$$

условие выполняется, следовательно, выбирается кабель 3×ПВБбШв–5×240.

Система автоматики дизельного электроагрегата выполняется от щита автоматики, поставляемого комплектно с ДГУ. Основная функция системы автоматики ДЭС – это обеспечение автоматического пуска/остановки дизельного двигателя в случае нарушения работы основной электросети.

Выводы по разделу 6.

В шестом разделе ВКР разработана система резервного электроснабжения. Для резервного электроснабжения базы принят к установке дизельный генератор SDMO KD1100–Е с АВР номинальной мощностью 800 кВт. Даны его характеристики.

7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

7.1 Расчёт релейной защиты линии к кормоцеху

«Релейная защита сборных шин 0,4 кВ трансформатора выполнена с помощью секционного выключателя QF1.

I ступень – защита от перегруза

Определим расчетный ток уставки электронного расцепителя» [1]:

$$I_p^{\text{расч}} = k_p \cdot I_{\text{max.раб}}. \quad (59)$$

«Ток максимальный рабочий для линии к кормоцеху составляет 245,4 А, для защиты данной линии ранее выбран автоматический выключатель ВА57–39 с – номинальным током $I_{\text{ном.ав}} = 320 \text{ А}$ » [18]. Уставка номинального тока электронного расцепителя составит $I_{p1} = 320 \text{ А}$.

«Уставка по току электронного расцепителя при перегрузке определяется по формуле:

$$\begin{aligned} I_{п1} &= 1,125 \cdot I_{p1}; \\ I_{п1} &= 1,125 \cdot 320 = 360 \text{ А}. \end{aligned} \quad (60)$$

По каталогу принимаем уставку по времени срабатывания расцепителя при перегрузке $T_{п1} = 4 \text{ с}$ при $6 \cdot I_p$.

II ступень – селективная токовая отсечка с выдержкой времени.

Расчетный ток уставки электронного расцепителя по току срабатывания при коротком замыкании с выдержкой времени» [1]:

$$I_{\text{к.расч}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{сз}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{max.раб}}, \quad (61)$$

$$I_{\text{к,расч}} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,95} \cdot 245,4 = 310,0 \text{ А.}$$

«Тогда уставка по току электронного расцепителя при коротком замыкании с выдержкой времени, кратная номинальному току расцепителя составит» [1]:

$$\begin{aligned} I_{\text{к1}} &= 1,2 \cdot I_{\text{пл}}; \\ I_{\text{к1}} &= 1,2 \cdot 320 = 384 \text{ А.} \end{aligned} \tag{62}$$

«По каталогу принимаем уставку по времени срабатывания расцепителя при коротком замыкании равной $T_{\text{к}} = 0,15 \text{ с.}$

Определим коэффициент чувствительности» [1]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{к}}} > 1,5, \tag{63}$$

где $I_{\text{кз}}^{(2)}$ – ток двухфазного короткого замыкания в месте КЗ, кА

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{кз}}^{(3)}, \tag{64}$$

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 12200 = 10553 \text{ А,}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{10553}{384} = 27,5 > 1,5.$$

«Условие выполнено.

Предельная отключающая способность выключателя должна быть больше максимального трёхфазного тока КЗ в месте установки выключателя» [1]:

$$I_{cu} > I_{кз}^{(3)}, \quad (65)$$

$$25 \text{ кА} > 13,2 \text{ кА}.$$

7.2 Расчёт релейной защиты сборных шин 0,4 кВ

«Релейная защита сборных шин 0,4 кВ трансформатора выполнена с помощью секционного выключателя QF1.

I ступень – защита от перегруза

Определим расчетный ток уставки электронного расцепителя» [1]:

$$I_p^{\text{расч}} = k_p \cdot I_{\text{max.раб}}. \quad (66)$$

Ток максимальный рабочий определяется по формуле

$$I_{\text{max.раб}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нн}}}, \quad (67)$$

где S_p – полная расчётная мощность агрокомбината, кВА,

$$I_{\text{max.раб}} = \frac{741,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1071,5 \text{ А},$$

$$I_p^{\text{расч}} = 1,1 \cdot 1071,5 = 1178,7 \text{ А}.$$

«По каталогу выбираем автоматический выключатель ВА57–43 с – номинальным током $I_{\text{ном.ав}} = 1600 \text{ А}$ » [18]. Уставка номинального тока электронного расцепителя составит $I_{p1} = 1250 \text{ А}$.

«Уставка по току электронного расцепителя при перегрузке определяется по формуле» [1]:

$$I_{п2} = 1,125 \cdot I_{p2}; \quad (68)$$

$$I_{п2} = 1,125 \cdot 1250 = 1406 \text{ A.}$$

«По каталогу принимаем уставку по времени срабатывания расцепителя при перегрузке $T_{п2} = 4$ с при $6 \cdot I_p$.

II ступень – селективная токовая отсечка с выдержкой времени

Расчетный ток уставки электронного расцепителя по току срабатывания при коротком замыкании с выдержкой времени» [1]:

$$I_{к.расч} = \frac{k_{отс} \cdot k_{сз}}{k_b} \cdot I_{max.раб}, \quad (69)$$

$$I_{к.расч} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,95} \cdot 1246,6 = 1574,7 \text{ A.}$$

«Тогда уставка по току электронного расцепителя при коротком замыкании с выдержкой времени, кратная номинальному току расцепителя составит» [1]:

$$I_{к2} = 1,2 \cdot I_{p1}; \quad (70)$$

$$I_{к2} = 1,2 \cdot 1250 = 1500 \text{ A.}$$

«По каталогу принимаем уставку по времени срабатывания расцепителя при коротком замыкании равной $T_k = 0,15$ с.

Определим коэффициент чувствительности» [1]:

$$K_{\chi} = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_k} > 1,5, \quad (71)$$

где $I_{кз}^{(2)}$ – ток двухфазного короткого замыкания в месте КЗ, кА

$$I_{кз}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{кз}^{(3)}, \quad (72)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{10553}{1500} = 7,0 > 1,5.$$

«Условие выполнено.

Предельная отключающая способность выключателя должна быть больше максимального трёхфазного тока КЗ в месте установки выключателя» [1]:

$$I_{\text{cu}} > I_{\text{кз}}^{(3)}, \quad (73)$$

$$25 \text{ кА} > 13,2 \text{ кА}.$$

7.3 Расчёт релейной защиты трансформатора на стороне 0,4 кВ

«Релейная защита трансформатора со стороны 0,4 кВ выполнена с помощью секционного выключателя QF2.

I ступень – защита от перегруза

Определим расчетный ток уставки электронного расцепителя» [1]:

$$I_{\text{р}}^{\text{расч}} = k_{\text{р}} \cdot k_{\text{н}} \cdot I_{\text{max.паб}}. \quad (74)$$

$$I_{\text{р}}^{\text{расч}} = 1,1 \cdot 1445,1 = 1589,6 \text{ А}.$$

«По каталогу выбираем автоматический выключатель ВА57–43 с – номинальным током $I_{\text{ном.ав}} = 1600 \text{ А}$ » [18].

Уставка номинального тока электронного расцепителя составит

$$I_{\text{рз}} = 1,0 \cdot I_{\text{ном.ав}}; \quad (75)$$

$$I_{\text{рз}} = 1,0 \cdot 1600 = 1600 \text{ А}.$$

«Уставка по току электронного расцепителя при перегрузке определяется по формуле» [1]:

$$I_{п3} = 1,125 \cdot I_{p2}; \quad (76)$$

$$I_{п3} = 1,125 \cdot 1600 = 1800 \text{ А.}$$

«По каталогу принимаем уставку по времени срабатывания расцепителя при перегрузке $T_{п2} = 4 \text{ с}$ при $6 \cdot I_p$.

II ступень – селективная токовая отсечка с выдержкой времени

Расчетный ток уставки электронного расцепителя по току срабатывания при коротком замыкании с выдержкой времени» [1]:

$$I_{к,расч} = \frac{k_{отс} \cdot k_{сз}}{k_b} \cdot I_{max,раб}, \quad (77)$$

$$I_{к,расч} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,95} \cdot 1445,1 = 1825,4 \text{ А.}$$

«Тогда уставка по току электронного расцепителя при коротком замыкании с выдержкой времени, кратная номинальному току расцепителя составит» [1]:

$$I_{к3} = 1,2 \cdot I_{п3}; \quad (78)$$

$$I_{к3} = 1,2 \cdot 1600 = 1920 \text{ А.}$$

«По каталогу принимаем уставку по времени срабатывания расцепителя при коротком замыкании равной $T_k = 0,15 \text{ с}$.

Определим коэффициент чувствительности» [1]:

$$K_q = \frac{I_{к3}^{(2)}}{I_k} > 1,5, \quad (79)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{10553}{1920} = 5,5 > 1,5.$$

«Условие выполнено.

Предельная отключающая способность выключателя должна быть больше максимального трёхфазного тока КЗ в месте установки выключателя» [1]:

$$I_{\text{cu}} > I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (80)$$

$$25 \text{ кА} > 13,2 \text{ кА}.$$

«Условие справедливо.

Время–токовая характеристика автоматических выключателей серии ВА–57 представлена на рисунке 8. III ступень – мгновенная токовая отсечка у выбранных автоматических выключателей отключена, так как она не проходит по требованиям чувствительности» [1].

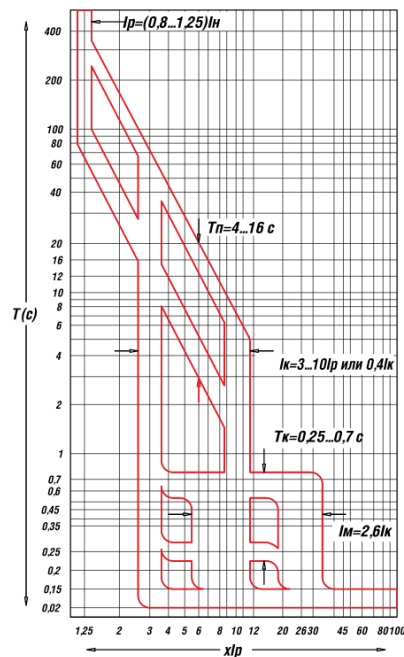


Рисунок 8 – Время–токовая характеристика автоматических выключателей серии ВА57 [1]

7.4 Релейная защита трансформатора

«Релейная защита трансформатора ТМГ–1600/10/0,4 выполнена с помощью предохранителей типа ПКТ103–10–63/12,5 У3. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя со стороны ВН трансформатора выбирается с учетом отстройки от броска тока намагничивания при включении трансформатора в режиме холостого хода» [1]:

$$I_{\text{пл.вст.}} > 2 \cdot I_{\text{н.т.}}; \quad (81)$$

где $I_{\text{н.т.}}$ – номинальный ток трансформатора на стороне ВН, А.

«Номинальный ток трансформатора на стороне ВН определим по формуле» [1]:

$$I_{\text{н.т.}} = \frac{S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}; \quad (82)$$
$$I_{\text{н.т.}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,8 \text{ А};$$

тогда

$$I_{\text{пл.вст.}} > 2 \cdot 57,8 = 115,6 \text{ А}.$$

«Значит, выбираем плавкую вставку типа ПКТ–10 с ближайшим током $I_{\text{Ф1.н}} = 160 \text{ А}$.

Теперь необходимо произвести проверку селективности защит. Согласование защитных ВТХ выключателя QF2 и предохранителя F1 можно проверить только при построении время–токовых характеристик. Данное согласование приведено на диаграмме селективности в графической части.

Выбранный плавкий предохранитель проверим на чувствительность к минимальным токам КЗ, за трансформатором» [1]:

$$K_{\text{ч.Ф1}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(2)}}{I_{\text{Ф1.Н}} \cdot K_{\text{ТН}}} \geq K_{\text{ч.доп}}, \quad (83)$$

где $K_{\text{ТН}}$ – коэффициент трансформации силового трансформатора,

$$K_{\text{ТН}} = \frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{НН}}}, \quad (84)$$

$$K_{\text{ТН}} = \frac{10000}{400} = 25,$$

где $I_{\text{КЗ}}^{(2)}$ – ток двухфазного короткого замыкания в месте КЗ, кА

$$K_{\text{ч.Ф1}} = \frac{10553}{160 \cdot 25} = 2,6 \geq 1,5.$$

«Таким образом, выбранный предохранитель имеет достаточную чувствительность.

Последним этапом выбора плавкого предохранителя, является проверка по отключающей способности» [1]:

$$I_{\text{п.о.}} > I_{\text{КЗ}}^{(3)}; \quad (85)$$

где $I_{\text{п.о.}}$ – предельно отключаемый ток предохранителя, кА;

$I_{\text{КЗ}}^{(3)}$ – максимальный ток КЗ в месте установки предохранителя, кА.

$$20,0 \text{ кА} > 2,2 \text{ кА}.$$

Диаграмма селективности рассчитанных защит представлена на рисунке 9.

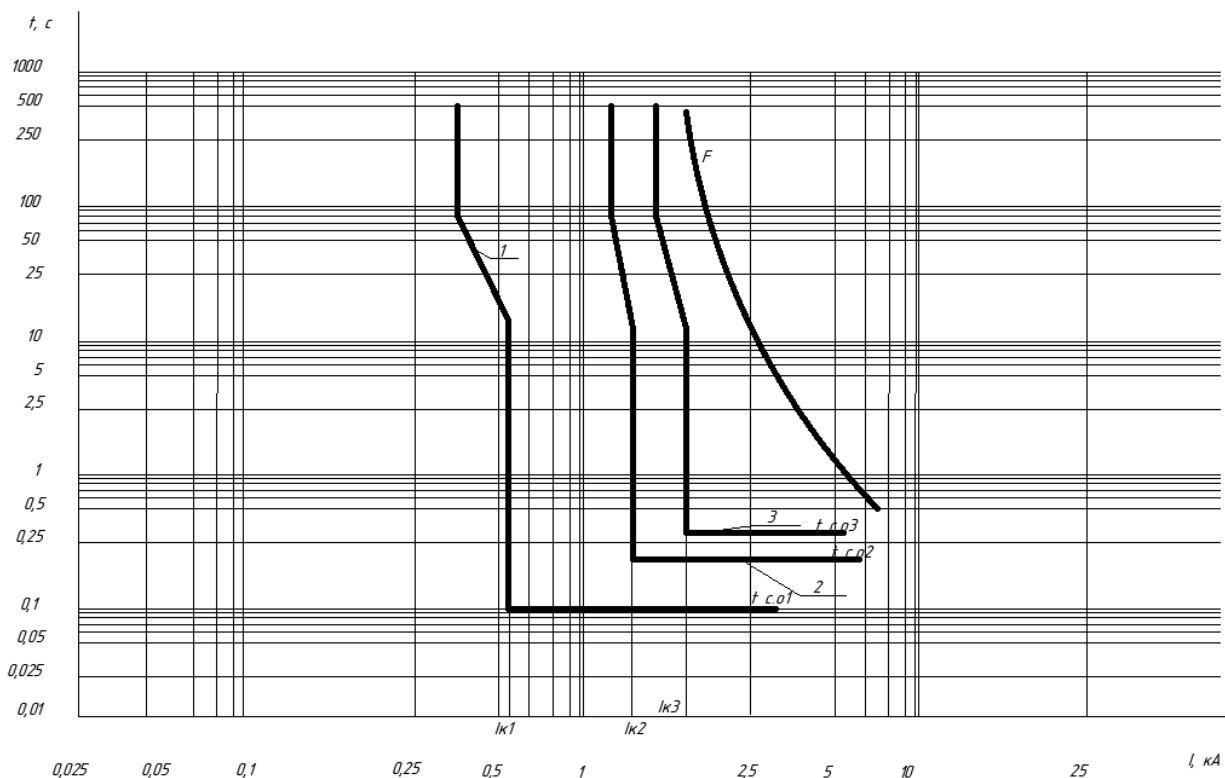


Рисунок 9 – Диаграмма селективности выбранных защит

Выводы по разделу 7.

В седьмом разделе ВКР выполнен выбор устройств релейной защиты, обеспечивающих защиту оборудования трансформаторной подстанции от аварийных режимов. Для обеспечения координации работы защитных устройств построена диаграмма селективности, отражающая временные и токовые характеристики срабатывания автоматических выключателей на стороне 0,4 кВ и предохранителя на стороне 10 кВ. Диаграмма демонстрирует, что уставки защит выбраны таким образом, чтобы обеспечить селективное отключение: при возникновении КЗ на отходящих линиях 0,4 кВ срабатывают соответствующие автоматы, не затрагивая вводной выключатель, а при аварии на стороне 10 кВ предохранитель отключает трансформатор, защищая питающую сеть. Это позволяет локализовать повреждения и минимизировать зону отключения.

8 Расчет заземления и молниезащиты

8.1 Расчет заземления подстанции

Заземление трансформаторной подстанции является неотъемлемой частью системы электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции, обеспечивая безопасность персонала, защиту оборудования и надежность эксплуатации объекта. Основная задача заземляющего устройства заключается в отводе токов короткого замыкания в землю, снижении напряжения прикосновения и шага до безопасных значений, а также предотвращении повреждения электроустановок при аварийных режимах. Для агрокомбината, расположенного в сельской местности, где возможны перебои в электроснабжении и воздействие неблагоприятных климатических условий, правильно спроектированное заземление приобретает особое значение.

«Контур заземления размещается в контур вокруг КТП с расстоянием между заземлителями равно 2 м и вертикальными заземлителями из круглой стали диаметром 18 мм длиной 4 м.

В качестве горизонтального заземлителя принимается полосовая сталь 30×5 мм²» [25].

«Сопротивление одиночного вертикального заземлителя равно» [25]:

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right); \quad (86)$$

где ρ – сопротивление грунта, для суглинка $\rho = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}$,

l – «длина электрода, $l = 4 \text{ м}$,

d – диаметр электрода, $d = 18 \text{ мм} = 0,018 \text{ м}$,

t – расстояние от середины электрода до поверхности земли, м» [25],

$$R_0 = \frac{60}{2 \cdot 3,14 \cdot 4} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 4}{0,018} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,5 + 4}{4 \cdot 2,5 - 4} \right) = 15,6 \text{ Ом}.$$

«Принимается количество стержней 8 шт.

Сопротивление всех вертикальных заземлителей равно» [25]:

$$R_B = \frac{R_0}{n \cdot \eta_c}, \quad (87)$$

где $\eta_c = 0,73$,

$$R_B = \frac{15,6}{8 \cdot 0,73} = 2,7 \text{ Ом.}$$

«Длина горизонтального заземлителя» [28]:

$$L = 2 \cdot 8 + 1 \cdot 2 = 18 \text{ м,}$$

«принимается глубина прокладки $h = 50$ см, ширина заземлителя $b = 3$ см.

Сопротивление горизонтального заземлителя равно» [25]:

$$R_{г.з.} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2l^2}{dt}; \quad (88)$$
$$R_{г.з.} = \frac{60}{2 \cdot 3,14 \cdot 4} \cdot \ln \frac{2 \cdot 18^2}{0,018 \cdot 2,5} = 22,9 \text{ Ом.}$$

«Действительное сопротивление горизонтального заземлителя равно:

$$R_\Gamma = \frac{R_{г.з.}}{\eta_c}, \quad (89)$$
$$R_\Gamma = \frac{22,9}{0,77} = 29,7 \text{ Ом.}$$

Сопротивление всего заземляющего устройства» [25]:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, \quad (90)$$

$$R_3 = \frac{2,7 \cdot 29,7}{2,7 + 29,7} = 2,5 < 4 \text{ Ом.}$$

«Из этого следует, что число вертикальных стержней выбрано верно» [25].

Исходя из расчетов, выполняется заземление КТП, согласно ПУЭ [21]. «Для этого выполняется искусственное ЗУ, которое состоит из восьми вертикальных заземлителей диаметром 18 мм длиной 5 метров, которые забиты в грунт и соединены стальной полосой 30×5. Стальная полоса укладывается в траншею на глубину 500 мм от уровня земли» [25].

8.2 Молниезащита

Для защиты зданий агрокомбината от прямых ударов молнии предлагается использование молниезащитной сетки, выполненной из металлической арматуры, уложенной на крышах зданий. Такая конструкция соответствует требованиям СО 153–34.21.122–2003 для зданий с металлической кровлей и обеспечивает равномерное распределение тока молнии [23].

Молниезащитная сетка.

Сетка выполняется из стальной арматуры диаметром 10 мм с размером ячеек 6×6 м. Размеры ячеек выбраны в соответствии с нормативными требованиями для объектов III уровня защиты, где допустимый шаг сетки составляет до 12×12 м, но для повышения надежности принят более плотный шаг 6×6 м. Сетка укладывается непосредственно на кровлю и надежно закрепляется с использованием сварки или болтовых соединений.

Токоотводы.

Для отвода тока молнии от сетки к системе заземления предусматривается установка токоотводов из стальной полосы сечением

40×4 мм. Токоотводы прокладываются по стенам здания с шагом не более 20 м, минимальное количество на каждое здание – 4. Токоотводы соединяются с молниезащитной сеткой сваркой для обеспечения надежного контакта.

Заземление.

Система заземления выполняется в виде контура вокруг каждого здания. Контур состоит из горизонтальных заземлителей (стальная полоса 40×4 мм) и вертикальных электродов длиной 3 м, заглубленных в грунт с шагом 5 м. Сопротивление заземления должно быть не более 10 Ом, что проверяется расчетом или измерением после монтажа.

Выводы по разделу 8.

В восьмом разделе ВКР выполнен расчет заземляющего устройства для комплектной трансформаторной подстанции КТП–ПВ 1000/10/0,4 кВА и системы молниезащиты зданий агрокомбината по производству молочной продукции. Основной целью было обеспечение безопасности персонала, защиты оборудования от аварийных режимов и предотвращения повреждений, вызванных ударами молнии.

Для заземления подстанции разработана конструкция контурного заземлителя, состоящего из горизонтальных стальных полос сечением 40×4 мм и вертикальных электродов длиной 5 м, заглубленных в грунт. Расчет сопротивления заземления проведен с учетом удельного сопротивления грунта и климатических условий региона, результат составил менее 4 Ом, что соответствует требованиям ПУЭ для установок напряжением 10 кВ и 0,4 кВ. Такое значение обеспечивает эффективный отвод токов короткого замыкания в землю, снижение напряжения прикосновения и шага до безопасных пределов, а также совместимость с системой молниезащиты.

Молниезащита зданий агрокомбината реализована с использованием сетки из металлической арматуры с ячейками 6×6 м, уложенной на крышах цехов. Сетка соединена с токоотводами (стальная полоса 40×4 мм, шаг не более 20 м) и заземляющим контуром каждого здания, образуя единую систему. Выбор данного решения обусловлен простотой монтажа,

эффективностью защиты от прямых ударов молнии и соответствием требованиям СО 153-34.21.122-2003 для зданий III уровня защиты. Для предотвращения импульсных перенапряжений в сети дополнительно предусмотрены ограничители перенапряжения 10 кВ на стороне высокого напряжения подстанции.

Совместная работа заземления и молниезащиты обеспечивает комплексную защиту агрокомбината от электрических и атмосферных воздействий. Расчеты подтвердили, что сопротивление заземляющего устройства и конструкция молниезащитной сетки соответствуют нормативам ПУЭ, ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 и РД 34.21.122-87. Реализация предложенных решений гарантирует безопасность персонала, сохранность оборудования и бесперебойность производственных процессов, минимизируя риски, связанные с короткими замыканиями, молниями и другими аварийными ситуациями.

Заключение

В выпускной квалификационной работе разработан проект системы электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции.

В первом разделе ВКР проведенный анализ исходных данных по электроснабжению агрокомбината по производству молочной продукции позволил выявить ключевые характеристики потребителей электроэнергии и определить их потребности в надежности и мощности. В состав предприятия входят восемь основных объектов: коровники на 200 голов, доильный зал, молочный цех, склады, административное здание, ветеринарный пункт, энергоцентр и кормоцех. Каждый из них выполняет специфическую функцию в производственном процессе, что обуславливает различия в режимах энергопотребления, категориях надежности и требованиях к качеству электроэнергии.

Рассчитаны электрические нагрузки агрокомбината по производству молочной продукции, выбрана силовые трансформаторы подстанции – ТМГ33–1000/10/0,4 УЗ и представлены их технические характеристики.

Для размещения трансформатора выбрана комплектная трансформаторная подстанция проходного типа с воздушным вводом КТП–ПВ–1000/10/0,4 кВА. Такая конструкция оптимальна для сельской местности благодаря простоте подключения к воздушным линиям электропередач и возможности транзита электроэнергии, что повышает гибкость системы. Установка одного трансформатора позволяет сократить затраты на оборудование и обслуживание, сохраняя при этом достаточный уровень надежности в нормальном режиме работы. С учетом расположения агрокомбината в сельской местности и риска длительных перебоев в электроснабжении дополнительно предусмотрен дизельный генератор в качестве второго источника питания. Это решение гарантирует бесперебойность производственных процессов, предотвращает порчу

продукции и обеспечивает работу ключевых систем в случае аварий на линиях электропередач.

Выполнен расчет токов короткого замыкания (КЗ) для системы электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции. Для питающей линии 10 кВ с учетом требований механической прочности и устойчивости к климатическим воздействиям приняты провода с изоляцией из сшитого полиэтилена марки 3×СИП-3-1×50. Данный тип проводов обладает высокой прочностью, устойчивостью к обледенению и ультрафиолетовому излучению, что особенно важно для эксплуатации в сельской местности.

Выбрано коммутационное оборудование в распределительных устройствах 10 кВ и 0,4 кВ трансформаторной подстанции. Для установки на опоре перед подстанцией применяется разъединитель РЛНД.1-10/400 У1 с приводом ПРНЗ-10 УХЛ1. Для установки на вводе в ТП применяются предохранители ПКТ-104-10-160-20-УЗ-КЭАЗ. На вводах 0,4 кВ трансформаторов ТП и на отходящих линиях выбраны автоматические выключатели типа ВА57.

Выбраны измерительные трансформаторы тока трансформаторной подстанции, а также ограничители перенапряжения 10 кВ.

Для передачи электроэнергии от подстанции к потребителям выбраны кабели марки АПвБбШв различных сечений, которые обладают высокой механической прочностью, устойчивостью к внешним воздействиям и соответствуют требованиям пожарной безопасности. Сечения кабелей определены на основе расчетных токов нагрузки, длины линий и допустимых потерь напряжения, что обеспечивает эффективность и надежность распределения электроэнергии на уровне 0,4 кВ.

Разработана система резервного электроснабжения агрокомбината по производству молочной продукции. Для резервного электроснабжения базы принят к установке дизельный генератор SDMO KD1100-E с АВР

номинальной мощностью 800 кВт. Даны его характеристики. Подключение щита АВР от ДЭС выполняется кабелем 3×ПВББШв–5×240.

Выполнен выбор устройств релейной защиты, обеспечивающих защиту оборудования трансформаторной подстанции от аварийных режимов. Для обеспечения координации работы защитных устройств построена диаграмма селективности, отражающая временные и токовые характеристики срабатывания автоматических выключателей на стороне 0,4 кВ и предохранителя на стороне 10 кВ. Диаграмма демонстрирует, что уставки защит выбраны таким образом, чтобы обеспечить селективное отключение: при возникновении КЗ на отходящих линиях 0,4 кВ срабатывают соответствующие автоматы, не затрагивая вводной выключатель, а при аварии на стороне 10 кВ предохранитель отключает трансформатор, защищая питающую сеть. Это позволяет локализовать повреждения и минимизировать зону отключения.

В восьмом разделе ВКР выполнен расчет заземляющего устройства для комплектной трансформаторной подстанции КТП–ПВ 1000/10/0,4 кВА и системы молниезащиты зданий агрокомбината по производству молочной продукции. Основной целью было обеспечение безопасности персонала, защиты оборудования от аварийных режимов и предотвращения повреждений, вызванных ударами молнии.

Для заземления подстанции разработана конструкция контурного заземлителя, состоящего из горизонтальных стальных полос сечением 40×4 мм и вертикальных электродов диаметром 18 мм длиной 5 м, заглубленных в грунт.

Молниезащита зданий агрокомбината реализована с использованием сетки из металлической арматуры с ячейками 6×6 м, уложенной на крышах цехов. Сетка соединена с токоотводами (стальная полоса 40×4 мм, шаг не более 20 м) и заземляющим контуром каждого здания, образуя единую систему.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Антонов В.И., Мартынов М.В., Наумов В.А. Основы релейной защиты и автоматики интеллектуальной электрической сети. Вологда. Инфра–Инженерия, 2023. 324 с.
2. Белый В. Б. Расчет электрических нагрузок в системах сельского электроснабжения : учебное пособие. Барнаул : АГАУ, 2024. 72 с.
3. Бирюлин В.И., Куделина Д.В. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов. Вологда. Инфра–Инженерия, 2022. 204 с.
4. Бойчук В. С., Куксин А. В. Электрооборудование энергетических систем. Вологда. Инфра–Инженерия, 2021. 268 с.
5. Боцман В. В. Электроснабжение. Белгород : БелГАУ им.В.Я.Горина, 2019. 144 с.
6. Вахнина В.В. Проектирование систем электроснабжения : электрон. учеб.–метод. пособие. Тольятти: Изд–во ТГУ, 2016. 78 с.
7. Гордеев А. С., Мишин Б. С., Гордеева Н. П. Оптимизация в сельскохозяйственных технологиях / А. С. Гордеев,. Санкт–Петербург : Лань, 2024. 260 с.
8. ГОСТ 28249–93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ // Консультант плюс: справочно–правовая система
9. ГОСТ 32144–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (с Поправкой, с Изменением N 1) // Консультант плюс: справочно–правовая система
10. Ершов А.М. Системы электроснабжения. Часть 1: Основы электроснабжения: курс лекций. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. 245 с.

11. Ершов А.М. Системы электроснабжения. Часть 4: Электроснабжение промышленных предприятий и городов: курс лекций. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2020. 324 с.
12. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
13. Кокин С.Е., Дмитриев С.А., Хальясмаа А.И. Схемы электрических соединений подстанций: учеб. пособие. 2–е изд., стер. Москва: Флинта, 2017. 100 с.
14. Костюченко, Л. П. Специальные вопросы электроснабжения : учебное пособие. 2–е изд., испр. и доп. Красноярск : КрасГАУ, 2019. 103 с.
15. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. Вологда.: Инфра–Инженерия, 2021. 156 с.
16. Малафеев А. В., Панова Е. А., Варганова А. В. Проектирование электрической части понизительных подстанций промышленного предприятия. Вологда.: Инфра–Инженерия, 2022. 312 с.
17. Немировский А. Е., Сергиевская И. Ю., Крепышева Л. Ю. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. Вологда : Инфра–Инженерия, 2023. 176 с.
18. Никитенко Г. В., Коноплев Е. В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение сельского хозяйства. Дипломное проектирование : учебное пособие. 2–е изд., испр. Санкт–Петербург : Лань, 2022. 316 с.
19. Олин Д. М., Кирилин А. А. Электроснабжение сельского хозяйства : учебное пособие. пос. Караваево : КГСХА, 2018. 69 с.
20. Патшин Н.Т. Проектирование электроснабжения. Вологда : Инфра–Инженерия, 2024. 680 с.
21. Правила устройства электроустановок. 7–е издание // Консультант плюс: справочно–правовая система

22. РД 153–34.0–20.527–98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования // Консультант плюс: справочно–правовая система

23. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций // Консультант плюс: справочно–правовая система

24. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1-6) // Консультант плюс: справочно–правовая система

25. СТО 56947007–29.130.15.114–2012 Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 6–750 кВ // Консультант плюс: справочно–правовая система

26. Технические характеристики кабелей АПвБбШв. URL: [https://k-
ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-izolyacziy-iz-silanolnosshitogo-polietilena-
\(1kv\)/apvbbshv/?ysclid=m913h2307n835876605](https://k-
ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-izolyacziy-iz-silanolnosshitogo-polietilena-
(1kv)/apvbbshv/?ysclid=m913h2307n835876605) (дата обращения 02.04.2025)

27. Технические характеристики КТП с воздушным вводом. URL: <https://energorus.ru/product/podstantsii/ktp-podstantsii/ktp-pv/ktp-pv-1000-10/> (дата обращения 02.04.2025)

28. Технические характеристики предохранителей ПКТ–104–10–160–20–У3–КЭАЗ. URL: <https://keaz.ru/catalog/product/120517> (дата обращения 02.04.2025)

29. Технические характеристики дизельного генератора SDMO KD1100–Е в кожухе. URL: https://www.grandmotors.ru/kohler-sdmo_kd1100-e.php?srsltid=AfmBOoruB5-U8vINRDp20aFO28iKY15NBul19owXCm43uxyJQ_cKuKBg (дата обращения 02.04.2025)