

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения тракторного завода

Обучающийся

Е. В. Булыничев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доц. А. Г. Сорокин

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

Тольятти 2023

Аннотация

Цель работы – разработка проекта системы электроснабжения тракторного завода.

Для основной и качественной реализации цели работы, решены следующие поставленные задачи:

- анализ исходных данных по объекту исследования, с рассмотрением основных теоретических положений, для решения поставленных задач;
- выбор схемы электроснабжения тракторного завода;
- расчет и выбор силовых трансформаторов ГПП тракторного завода;
- выбор основного электрооборудования в системе электроснабжения объекта проектирования;
- выбор устройств РЗиА ГПП в системе электроснабжения тракторного завода.

Данная ВКР содержит пояснительную записку объемом 70 печатных страниц, дополняемой 16 таблицами, 8 рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных	7
1.1 Техническая характеристика тракторного завода	7
1.2 Анализ исходных данных на проектирование	10
1.3 Требования к проектированию систем электроснабжения предприятий тракторостроения	12
2 Проектирование системы электроснабжения тракторного завода	21
2.1 Выбор номинальных напряжений	21
2.2 Выбор схемы электроснабжения тракторного завода	22
2.3 Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения тракторного завода	27
2.4 Выбор и проверка мощности силовых трансформаторов ГПП	34
2.5 Расчёт токов коротких замыканий	36
2.6 Выбор и проверка трансформаторов цеховых ТП	43
2.7 Выбор и проверка проводников	44
2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов	50
3 Выбор устройств релейной защиты ГПП тракторного завода	59
Заключение	67
Список используемых источников	69

Введение

Тракторостроение является важной отраслью промышленности Российской Федерации, которая занимается производством сельскохозяйственной техники, строительной и дорожной техники, а также специализированной техники для различных отраслей промышленности.

Перспективы развития тракторостроения в России включают в себя несколько направлений, а именно:

- совершенствование технологий производства: применение новейших технологий и инновационных решений может существенно повысить качество продукции и снизить ее стоимость. При этом важным аспектом развития является автоматизация производственных процессов с активным внедрением современных цифровых технологий;
- развитие экспортного потенциала: отечественные производители сельскохозяйственной техники имеют потенциал для увеличения объемов экспорта своей продукции. Для этого необходимо продвижение российских брендов на мировом рынке и создание конкурентоспособной продукции;
- развитие научно-исследовательской деятельности: дальнейшее развитие тракторостроения в России невозможно без инвестиций в научно-исследовательскую деятельность. Необходимо совершенствовать конструкции и усовершенствовать технологии производства;
- государственная поддержка отечественных производителей: государство может оказывать поддержку отечественным производителям сельскохозяйственной техники через меры финансовой и налоговой поддержки, а также создание благоприятных условий для развития отечественного производства.

Таким образом, перспективы развития тракторостроения в Российской

Федерации весьма перспективны, у этой отрасли есть все шансы стать важным игроком на мировом рынке. Однако для этого необходимо продолжать инвестировать в развитие технологий и научно-исследовательскую деятельность, а также поддерживать отечественных производителей и активно развивать экспортный потенциал.

В работе рассмотрено и реализовано проектирование системы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода на примере ОАО «Липецкий трактор». Таким образом, «основной целью работы является разработка проекта системы электроснабжения» [5] на примере тракторного завода ОАО «Липецкий трактор».

«Объектом исследования в данной работе является новое производственное отделение тракторостроительного завода на примере ОАО «Липецкий трактор»» [7].

«Предметом исследования в работе выступает электрическая часть системы электроснабжения нового производственного отделения тракторостроительного завода на примере ОАО «Липецкий трактор»» [5].

Учитывая результаты финансовой отчётности предприятия ОАО «Липецкий трактор», можно сделать вывод, что данное предприятие характеризуется надёжностью, что в долгосрочной перспективе позволяет привлечь многочисленных инвесторов.

Однако на данном предприятии в последние годы наблюдается стойкое снижение основных финансовых показателей, что связано с падением спроса на продукцию, жёсткой конкуренцией со стороны иностранных компаний, а также вводом санкций.

Таким образом, финансовая и организационная отчётность предприятия ОАО «Липецкий трактор», находящаяся в свободном доступе, позволяет сделать предположение о значительной перспективе развития данного предприятия в условиях современности, при условии расширения рынков, увеличения спроса на производимую продукцию, а также налаживания и восстановлении логистических связей предприятия.

В связи с расширением производства, а также переориентацией его на новые рынки сбыта, актуальным является вопрос производства и сборки новой современной тракторной техники, которая удовлетворит зарубежных заказчиков и принесёт дополнительную прибыль предприятию.

Таким образом, внедрение нового производственного отделения на данном предприятии, рассматриваемого и проектируемого в работе, является актуальной задачей, решение которой приведёт к значительному увеличению производственных и финансовых показателей.

«Для качественной реализации цели работы, решаются следующие поставленные задачи» [5]:

- «анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением основных теоретических положений для решения» [8] поставленных задач;
- выбор схемы электроснабжения тракторного завода;
- расчет и выбор силовых трансформаторов ГПП тракторного завода;
- выбор основного электрооборудования в системе электроснабжения объекта проектирования;
- выбор устройств РЗ и А ГПП в системе электроснабжения тракторного завода.

Следовательно, в работе необходимо разработать систему электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода, с высокими показателями надёжности, бесперебойности электроснабжения, экономичности и электробезопасности принятых решений.

1 Анализ исходных данных

1.1 Техническая характеристика тракторного завода

В работе рассматривается проект системы электроснабжения нового производственного отделения ОАО «Липецкий тракторный завод», которое будет использоваться для производственных целей.

Рассматриваемое в работе предприятие ОАО «Липецкий трактор» входит в десятку крупнейших предприятий Российской Федерации.

ОАО «Липецкий тракторный завод» (ОАО «Литрз») является одним из крупнейших предприятий тракторостроения в России. Завод расположен в городе Липецке и специализируется на производстве тракторов марки «Кировец» и специальной техники.

История Липецкого тракторного завода начинается в 1935 году, когда был создан первый тракторный завод в Липецке. Завод начал производство тракторов марки «Кировец» в 1962 году и с тех пор продолжает развиваться и расширять свой ассортимент продукции.

Сегодня ОАО «Литрз» является одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной техники в России. Завод производит тракторы марки «Кировец» в широком диапазоне мощностей – от 220 до 600 л.с. Также на заводе выпускаются комбайны, прицепы, полуприцепы и другая специализированная техника.

ОАО «Липецкий трактор» имеет высокий уровень технического оснащения и широкую дилерскую сеть по всей России, что позволяет предприятию успешно конкурировать на рынке сельскохозяйственной техники. Кроме того, завод активно развивает экспортную деятельность и экспортирует свою продукцию в более чем 20 стран мира.

ОАО «Липецкий трактор» является важным игроком в отрасли тракторостроения и продолжает развиваться, модернизировать свои производственные мощности и расширять свой ассортимент продукции.

Рынок сбыта предприятия ОАО «Липецкий трактор» за период 2012 – 2022 гг. приведён на рисунке 1.

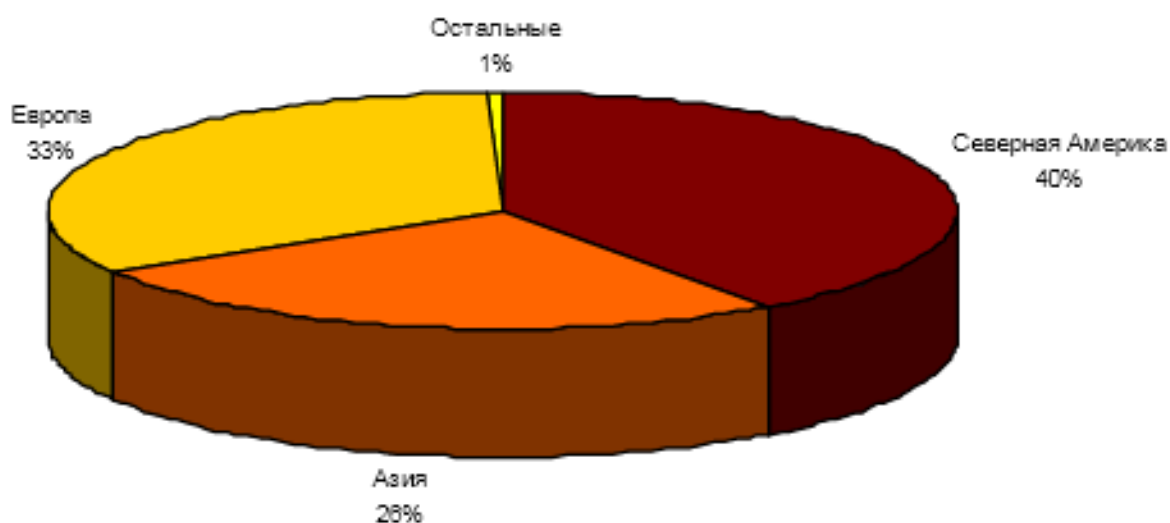


Рисунок 1 – Рынок сбыта предприятия ОАО «Липецкий трактор»

Структура продаж предприятия ОАО «Липецкий трактор» за период 2012 – 2022 гг. приведён на рисунке 2.

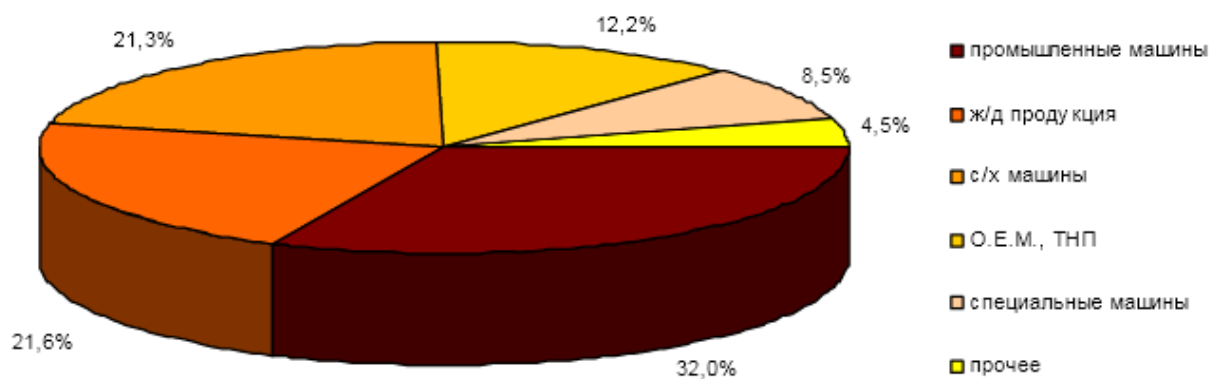


Рисунок 2 – Структура продаж предприятия ОАО «Липецкий трактор» за период 2012 – 2022 гг.

Структура инвестиций в предприятие ОАО «Липецкий трактор» за период 2012 – 2022 гг., показана на рисунке 3.



Рисунок 3 – Структура инвестиций в предприятие ОАО «Липецкий трактор», находящийся в свободном доступе, за период 2012 – 2022 гг.

Значит, учитывая результаты финансовой отчётности предприятия ОАО «Липецкий трактор», находящейся в свободном доступе, за период 2012 – 2022 гг., сделаем вывод, что данное предприятие характеризуется надёжностью, что в долгосрочной перспективе позволяет привлечь многочисленных инвесторов.

Однако на ОАО «Липецкий трактор» в последние годы наблюдается стойкое снижение основных финансовых показателей, что связано с падением спроса на продукцию, жёсткой конкуренцией со стороны иностранных компаний, а также вводом санкций.

Таким образом, финансовая и организационная отчётность предприятия ОАО «Липецкий трактор», находящаяся в свободном доступе, позволяет сделать предположение о значительной перспективе развития данного предприятия в условиях современности, при условии расширения рынков, увеличения спроса на производимую продукцию, а также налаживания и восстановлении логистических связей предприятия.

Таким образом, внедрение новой производственной базы на предприятии способно решить данные проблемы.

Данный аспект определяет актуальность и практическую значимость данной работы.

1.2 Анализ исходных данных на проектирование

Как было указано ранее, компания ОАО «Липецкий трактор» специализируется на производстве тракторов, сельскохозяйственной техники, а также специальной техники (погрузчики, экскаваторы, бульдозеры и прочей аналогичной техники), а также запасных частей и комплектующих к ним.

В связи с расширением производства, а также переориентацией его на новые рынки сбыта, актуальным является вопрос производства и сборки новой современной тракторной техники, которая удовлетворит зарубежных заказчиков и принесёт дополнительную прибыль предприятию. Таким образом, внедрение нового производственного отделения на данном предприятии, рассматриваемого и проектируемого в работе, является актуальной задачей.

Продукция, которая планируется к производству в стенах нового производственного отделения на данном предприятии, не может быть технологически изготовлена в одном общем технологическом корпусе.

«Исходя из технологического процесса производства готовой продукции, к основным производственным цехам и участкам тракторного завода относятся» [8]:

- участок производства тракторной техники – в нём изготавливается тракторная техника различных видов и типов (колёсная, гусеничная, комбинированная, специальная);
- участок производства сельскохозяйственной техники – в его цехах производятся различные сельскохозяйственные машины и оборудование (сеялки, плуги, бороны и прочие аналогичные машины и механизмы);
- участок производства специальной техники – необходим для производства специальной техники, применяемой в различных отраслях и сферах деятельности (погрузчиков, экскаваторов, бульдозеров и прочих аналогичных машин и механизмов).

Также есть совокупность вспомогательных цехов и участков, которые вносят весомый вклад в развитие производства.

«В таблице 1 указана проектная мощность для каждого участка, исходя из совокупности оборудования, которое в них должно быть установлено согласно технологическому процессу производства готовой продукции на объекте проектирования» .

Таблица 1 – Исходные технические данные цехов и участков тракторного завода

Наименование цеха (участка)	Назначение цеха (участка)	Проектная мощность, P_{np} , кВт
Участок производства тракторной техники	Основной производственный	590
Участок производства сельскохозяйственной техники	Основной производственный	1000
Участок производства специальной техники	Основной производственный	390
Компрессорная	Основной вспомогательный	190
Лаборатория контроля качества	Неосновной вспомогательный	660
Участок ремонта и обслуживания оборудования	Неосновной вспомогательный	930
Пункт приёма и обработки первичного сырья	Неосновной вспомогательный	200
Административное здание	Неосновной вспомогательный	150
Торгово-выставочный комплекс	Неосновной вспомогательный	83
Склады	Неосновной вспомогательный	70
Насосная: а) 0,4 кВ б) АД 10 кВ	Основной вспомогательный	40 2×400=800
Итого по объекту проектирования		5103

«Далее в работе необходимо провести детальный анализ исходных технических данных цехов и участков проектируемого нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»» [8].

«Систематизация цехов и участков проектируемого тракторного завода по категориям надёжности и условиям производственной среды представлена в форме таблицы 2» [11].

Таблица 2 – Систематизация цехов и участков проектируемого тракторного завода по категориям надёжности и условиям производственной среды

Наименование объекта	Категория надёжности объекта	Характеристика производственной среды
Участок производства тракторной техники	I категория	Пыльная, сухая
Участок производства сельскохозяйственной техники	I категория	Пыльная, сухая
Участок производства специальной техники	I категория	Пыльная, сухая
Компрессорная	I категория	Жаркая, сухая
Лаборатория контроля качества	II категория	Нормальная
Участок ремонта и обслуживания оборудования	II категория	Пыльная, сухая
Пункт приёма и обработки первичного сырья	II категория	Пыльная, сухая
Административное здание	III категория	Нормальная
Торгово-выставочный комплекс	III категория	Нормальная
Склады	III категория	Нормальная
Насосная	I категория	Влажная

«С учётом приведённых норм и характеристики технологического процесса, а также классификации производственных и вспомогательных цехов и участков проектируемой системы электроснабжения тракторного завода, далее в работе проводится решение поставленных основных задач по разработке проекта системы электроснабжения и оборудования объекта исследования» .

1.3 Требования к проектированию систем электроснабжения предприятия тракторостроения

«Известно, что к системам электроснабжения предприятий тракторостроения применяются следующие основные требования и нормы, обусловленные их природой» [11]:

- обеспечение питания потребителей систем электроснабжения согласно принятым и утверждённым схемам электроснабжения;
- высокое качество поставляемой электроэнергии потребителям, недопущение поступления в сеть электроэнергии с предельно-допустимыми параметрами и недопустимыми отклонениями;

- надёжность электроснабжения потребителей, отсутствие значительных аварийных режимов в системе электроснабжения;
- бесперебойность систем электроснабжения, недопущение значительного перерыва в снабжении потребителей электроэнергией (допустимый перерыв определяется категорией надёжности и детально рассмотрен в работе далее);
- применение защит, блокировок и прочих автоматических сигнализаторов для недопущения аварийного режима на всех звеньях электрической сети систем электроснабжения;
- автоматизация всех участков и звеньев электрической сети систем электроснабжения;
- обеспечение достаточного резервирования в схеме в случае потери электроснабжения, путём применения совокупности схемных решений, автоматики и новейшего быстродействующего коммутационно-защитного оборудования.

Известно, что система электроснабжения предприятий тракторостроения делится на части: внешнюю и внутреннюю.

При этом питание внешней части схемы системы электроснабжения предприятий тракторостроения может осуществляться от следующих источников:

- главная понизительная подстанция (ГПП) – как правило, это подстанции глубокого ввода классами напряжения 330(220,110,35)/35,10(6) кВ, в основе которых находится один или два понижающих трансформатора;
- центральный распределительный пункт (ЦРП) – применяется на тех же классах напряжения, что и ГПП, однако не имеет трансформаторов в своём составе, сооружается при наличии большого числа распределительных линий к цехам предприятия;
- распределительный пункт – сооружается при небольшом количестве распределительных линий к цехам предприятия.

Во внутренней части идёт распределение электроэнергии по цехам (внутризаводская часть системы электроснабжения) и далее по конечным потребителям (внутрицеховая часть системы электроснабжения).

При этом питание внутренней части схемы системы электроснабжения предприятий тракторостроения может осуществляться от следующих источников:

- цеховая понизительная подстанция (ЦТП) – как правило, это подстанции с классами напряжения 6(10)/0,4 кВ, в основе которых находится один или два понижающих трансформатора;
- центральный распределительный пункт (ЦРП) – применяется на тех же классах напряжения, что и ЦРП, однако не имеет трансформаторов в своём составе, сооружается при наличии большого числа распределительных линий к цехам предприятия;
- распределительный пункт (РП) – сооружается при небольшом количестве распределительных линий к цехам предприятия;
- вводное распределительное устройство – служит для приёма и распределения электроэнергии на конкретном объекте или участке предприятия;
- распределительные устройства (РУ) – распределяют полученную электроэнергию от ВРУ к конечным потребителям, для силовой нагрузки применяются силовые распределительные шкафы (СРШ), для осветительной – щитки рабочего (ЩРО) и аварийного (ЩАО) освещения.

В системах электроснабжения предприятий тракторостроения применяются известные принципы резервирования, секционирования, а также надёжного электроснабжения с целью обеспечения надёжного, экономичного, экологичного и бесперебойного электроснабжения.

Все перечисленные принципы распределения электроэнергии в системах электроснабжения классического типа, приведённые выше, представлены на рисунке 4.

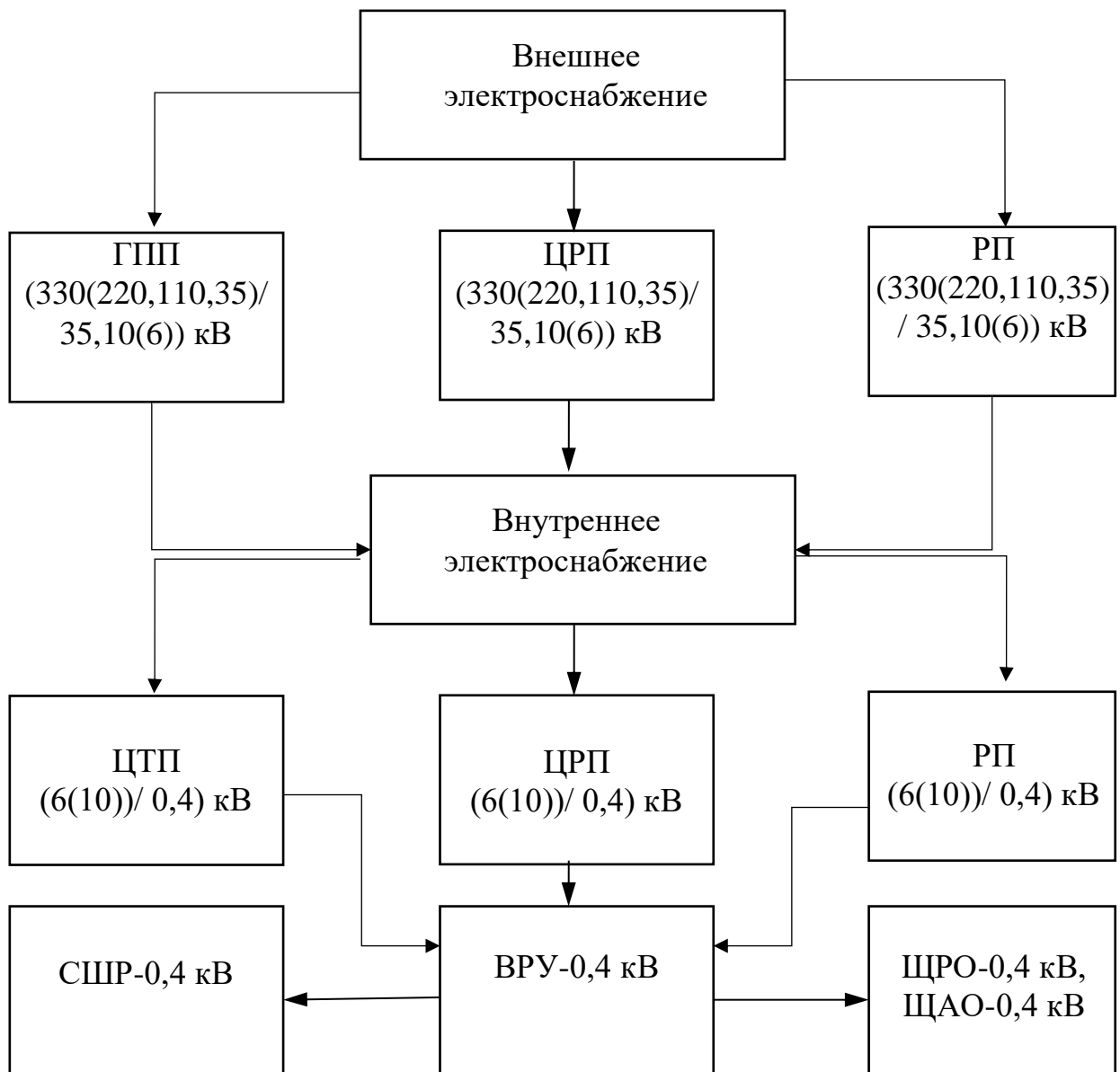


Рисунок 4 – Принципы распределения электроэнергии в системах электроснабжения предприятий тракторостроения

Как можно увидеть из рисунка 4, основными элементами как внешней, так и внутренней систем электроснабжения предприятий тракторостроения, являются трансформаторные подстанции.

Для передачи электроэнергии на значительные расстояния, с учётом весьма значительных мощностей и потерь электроэнергии, на выходе из электростанций находятся повышающие трансформаторы, после которых посредством линий электропередач высокого и сверхвысокого напряжения, согласно традиционной схеме, получает питание сеть понижающие питающих

подстанций (1150-110 кВ), которые, в свою очередь, далее питают потребительские подстанции на номинальных напряжениях 110-0,4 кВ.

Очевидно, что основными составляющими современных понижающих трансформаторных подстанций является совокупность силовых трансформаторов и распределительных устройств.

Именно благодаря их слаженной работе обеспечиваются условия надёжности, электробезопасности, быстродействия и селективности (избирательности).

Фактически, такими показателями обладают современные разработки электрических аппаратов, активно внедряющихся в последнее время для применения в распределительных устройствах трансформаторных подстанций энергосистемы всех типов и классов напряжения.

Таким образом, установлено, что применение современных электрических аппаратов в распределительных устройствах трансформаторных подстанций систем электроснабжения предприятий тракторостроения создаёт необходимые условия для обеспечения нормальной и надёжной работоспособности не только самой подстанции, но и всей электрической сети и, как результат, всей энергосистемы в целом.

Поэтому качественное проектирование и реализация схем электрических соединений современных трансформаторных подстанций систем электроснабжения предприятий тракторостроения является актуальным заданием современной электроэнергетики.

Известно, что к современным трансформаторным понизительным подстанциям систем электроснабжения предприятий тракторостроения предъявляются жёсткие требования по следующим техническим критериям, а именно:

- условия надёжности питания потребителей соответствующих категорий согласно [7];
- принцип бесперебойности передачи электроэнергии потребителям соответствующих категорий надёжности согласно принятых схем

нормальных режимов;

- нормы электробезопасности при выполнении электромонтажных, ремонтных работ и работ по обслуживанию и осмотру всего оборудования подстанций;
- применение резервирования на всех ответственных участках распределительной, питающей сети и потребителей подстанции, отказ от системы «холодного» резерва (оборудование не находится в работе в нормальной схеме подстанции);
- применение секционирования на всех звеньях электрической сети в распределительных устройствах подстанции (как правило, применяется секционирование систем сборных шин распределительных устройств);
- применение стандартных разработанных схем распределительных устройств и подстанций, в которые изменения должны быть обоснованы только расчётным технико-экономическим путём;
- обеспечения коммутационной способности оборудования распределительных устройств подстанции (путём установки коммутационной аппаратуры в распределительных устройствах подстанций);
- обеспечение динамической устойчивости системы (проверяется соответствующими расчётами и моделированием всей системы, в которую входит подстанция);
- обеспечение транзита и резерва мощностей для питания других объектов (применяется для узловых и транзитных подстанций);
- соблюдение баланса мощностей во всех режимах, включая баланс по реактивной мощности, применение компенсирующих устройств реактивной мощности (при необходимости);
- обеспечение защиты всех важнейших узлов и ветвей цепи подстанции, а также важнейшего оборудования (например, трансформаторов), для чего применяются аппараты защиты с

- установленными на их приводах устройствами релейной защиты;
- использование термически устойчивого оборудования, способного выдерживать длительные сквозные токи короткого замыкания;
- автоматизация силового, контрольного, измерительного оборудования путём внедрения средств и устройств автоматики в схемы нормальных режимов подстанций;
- применение современных средств автоматизации на всех уровнях и звеньях подстанций: телеизмерений, автоматизированных систем учёта и контроля электроэнергии, автоматизированных систем управления режимами, систем управления электроснабжением подстанций;
- ремонтнопригодность всего оборудования схемы нормальных соединений подстанции;
- «живучесть» основных узлов, систем и оборудования трансформаторных подстанций;
- возможность дальнейшего расширения, модернизации и реконструкции схемы главных соединений распределительных устройств подстанций;
- применение блочных конструкций;
- использование современного оборудования распределительных устройств подстанций (приоритет отдаётся устройствам с элегазовой и вакуумной изоляцией);
- минимальные стоимости эксплуатации и ремонта при максимальном технико-экономическом эффекте.

Принципы резервирования потребителей систем электроснабжения предприятий тракторостроения в зависимости от категории надёжности основаны на обеспечении каждого потребителя минимально необходимым числом источников питания. Известно, что для потребителей 1 и 2 категории надёжности их должно быть два, для третьей категории надёжности достаточно применение одного источника [11].

При этом особая группа первой категории предусматривает наличие резервирования с использованием третьего источника. Данные принципы являются основными при выборе источника и схемы питания.

При этом также регламентируется время перерыва в электроснабжении: для особой и первой категории оно должно быть не больше, чем время не автоматическое включение резерва, для второй категории – не более, чем включение резервного питания (допускается ручное неавтоматическое включение), а для третьей категории перерыв в электроснабжении должен составлять не более суток [7].

Принцип резервирования в схеме питания потребителей соответствующей категории надёжности систем электроснабжения предприятий тракторостроения должен быть внедрён в принципиальной однолинейной схеме электроснабжения на объекте исследования согласно [10].

Также для выбора электрооборудования распределительных устройств трансформаторных подстанций и распределительных пунктов систем электроснабжения предприятий тракторостроения рекомендовано использовать фактические показания максимальной нагрузки с целью уменьшения погрешности расчётов.

Кроме того, к установке в распределительных устройствах трансформаторных подстанций и распределительных пунктов систем электроснабжения в последние годы рекомендованы новейшие разработки коммутационной и защитной аппаратуры, имеющие повышенные показатели надёжности, экономичности, запаса ресурса и безопасности.

Также при разработке схемных решений при проектировании систем электроснабжения следует учесть критерии по электробезопасности. Поэтому в населённых пунктах, в таких случаях, используются только изолированные проводники (кабельные линии, провода СИП и другие аналогичные разработки проводникового материала).

Все приведённые требования должны быть учтены при дальнейшей разработке рекомендаций по проектированию схемы электрических соединений нормального режима системы электроснабжения данного объекта, относящегося к категории предприятий тракторостроения.

Вывод по разделу.

«Приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения» [15] нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», «с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по условиям производственной среды» [15].

Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности.

2 Проектирование системы электроснабжения тракторного завода

2.1 Выбор номинальных напряжений

Далее в работе проводится выбор рациональных номинальных напряжений схемы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор».

Рассматриваются номинальные классы напряжения для применения во внешней и внутренней схемах электроснабжения объекта проектирования.

«В системе электроснабжения тракторного завода преобладают потребители II-й категории по надежности электроснабжения, поэтому внешнее электроснабжение данного объекта осуществляется по двухцепной ЛЭП с установкой на источнике питания системы электроснабжения объекта двух силовых трансформаторов» [2].

«В качестве источника внешнего электроснабжения объекта проектирования рассматриваются три основных варианта» [12]:

- «питание от центрального распределительного пункта (далее – ЦРП)» [1];
- «питание от распределительного пункта (далее – РП)» [1];
- «питание от главной понизительной подстанции (далее – ГПП)» [1].

На основе результатов анализа, выбирается для питания завода главная понизительная подстанция.

Для выбора напряжения внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», в работе используется формула Илларионова, учитывающая длину питающей линии и передаваемую мощность» [12]:

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500/P}}, \quad (1)$$

где L – «длина питающей линии, км» [10];

P - «передаваемая мощность в сети, МВт» [12].

«По условию (1) для ГПП внешней СЭС проектируемого нового производственного отделения тракторного завода» [1]:

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/6 + 2500/5,1}} = 46,2 \text{ кВ.}$$

Исходя из номинальных напряжений, применяемых в электрической сети Российской Федерации, принимается ближайшее стандартное значение номинального напряжения внешней системы электроснабжения проектируемого ОАО «Липецкий трактор», равного значению 35 кВ [3].

При выборе напряжения внутренней системы и схемы электроснабжения проектируемого тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», исходя из той же шкалы номинальных напряжений, и учитывая рекомендации [7], принимается номинальное напряжение 10 кВ, которое эффективнее напряжения 6 кВ. Таким образом, на ГПП объекта проектирования будут применяться классы напряжения 35/10 кВ.

2.2 Выбор схемы электроснабжения тракторного завода

В результате проведения технического анализа, расчётным путём было установлено, что для проектируемой системы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», наиболее рационально подходит высшее напряжение, равное 35 кВ, а для внутренней системы объекта проектирования – напряжение 10 кВ.

Также было установлено, что основным и единственным источником питания во внешней системе электроснабжения проектируемого тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», является двухтрансформаторная ГПП.

На основании полученных результатов, составляется структурная схема

ГПП внешней системы электроснабжения проектируемого тракторного завода ОАО «Липецкий трактор» (рисунок 1) [1].

Таким образом, исходя из полученных технических сведений, с учётом структурной схемы, приведённой на рисунке 5, необходимо в работе провести обоснование и выбрать рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор»:

- схему РУ-35 кВ питающей ГПП;
- схему РУ-10 кВ питающей ГПП;
- схему распределительной сети 10кВ;
- схему трансформаторных цеховых ТП.

Поэтапное решение данных вопросов проводится в работе далее на основе анализа литературных источников [20].

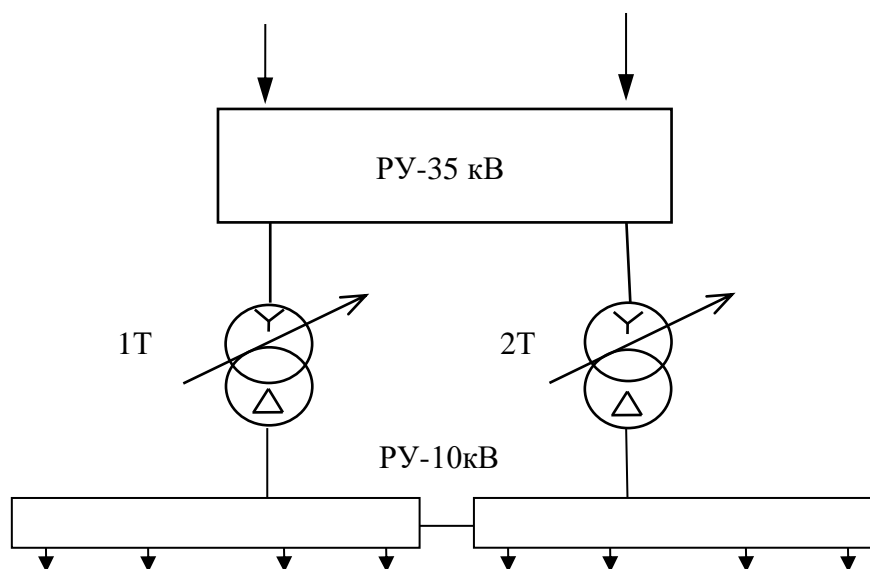


Рисунок 5 – Структурная схема ГПП - 35/10 кВ системы электроснабжения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор»

Выбор указанных схем электрических соединений системы электроснабжения объекта проектирования, проводится в форме таблиц на основании требований [4]. Результаты сравнительного анализа при выборе схемы главных электрических соединений РУ-35 кВ питающей ГПП объекта проектирования, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты сравнительного анализа при выборе схемы главных электрических соединений РУ-35 кВ питающей ГПП

Тип схемы	Условия применения	Вывод
«Блок с разъединителем (линия-трансформатор)»	Схема ВН ГПП без резервирования при одном силовом трансформаторе	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме
«Блок (линия-трансформатор) с выключателем»	Схема ВН ГПП без резервирования при одном силовом трансформаторе	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме
«Два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий»	Схема ВН ГПП с резервированием при двух силовых трансформаторах, ГПП-тупиковая	Подходит по всем критериям и параметрам
«Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной переключкой со стороны линий»	Схема ВН ГПП с резервированием при двух силовых трансформаторах, ГПП-ответвительная, узловая	Подходит по техническим критериям, однако по экономическому критерию является затратной

Значит, исходя из результатов проведённого сравнительного анализа (таблица 3), для применения в РУ-35 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий» [19]. Результаты сравнительного анализа при выборе схемы главных электрических соединений РУ-10 кВ питающей ГПП, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты сравнительного анализа при выборе схемы главных электрических соединений РУ-10 кВ питающей ГПП

Тип схемы	Условия применения	Вывод
«Одна несекционированная система шин»	Схема НН ГПП без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности
«Одна секционированная система шин»	Схема НН ГПП с резервированием при двух силовых трансформаторах, в РУ-10 кВ не более 20 присоединений	Подходит по всем критериям и параметрам, присоединений в РУ-10 кВ – менее 20
«Две секционированных системы шин»	Схема НН ГПП с резервированием при двух силовых трансформаторах, в РУ-10 кВ более 20 присоединений	Подходит по техническим критериям, однако по экономическому критерию является избыточно затратной, присоединений в РУ-10 кВ – менее 20

Таким образом, исходя из результатов проведённого сравнительного анализа (таблица 3), в работе для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин» [4].

Секционный выключатель в нормальном режиме работы схемы РУ-10 кВ отключён, режим работы – раздельный. Данный режим работы выбран, исходя из рекомендаций [10].

Результаты сравнительного анализа при выборе схемы распределительной сети 10кВ (выполняется КЛ от РУ-10 кВ ГПП до РУ-10 кВ цеховых ТП проектируемого завода), представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты сравнительного анализа при выборе схемы распределительной сети 10кВ

Тип схемы	Условия применения	Вывод
«Радиальная схема без резервирования на секции шин источника питания»	Схема распределительной сети без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности
«Магистральная схема без резервирования на секции шин источника питания»	Схема распределительной сети без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности
«Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания»	Схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности	Подходит по всем критериям и параметрам
«Магистральная схема с резервированием на секции шин источника питания»	Схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности	Сложность выполнения схемы, сложность выбора и согласования уставок РЗА, меньшая надёжность, чем у радиальной схемы с резервированием

Таким образом, исходя из результатов проведённого сравнительного анализа (таблица 5), для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)» [20].

Такая схема наиболее проста в исполнении и обладает наиболее высокой надёжностью, простотой монтажа, отстройки уставок РЗиА и подходит для питания ответственных потребителей. Результаты сравнительного анализа при выборе схемы трансформаторных цеховых ТП (для питания потребителей 1 и 2 категории надёжности применяется схема с двумя трансформаторами на ЦТП, для питания потребителей 3 категории – с одним трансформатором на ЦТП), представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты сравнительного анализа при выборе схемы трансформаторных цеховых ТП

Тип схемы	Условия применения	Вывод
«Радиальная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ»	Схема распределительной сети без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности, для питания однострановых ЦТП
«Магистральная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ»	Схема распределительной сети без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Сложность выполнения схемы, сложность выбора и согласования уставок РЗиА, меньшая надёжность, чем у радиальной схемы
«Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ»	Схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности	Подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности, для питания двухтрансформаторных ЦТП
«Магистральная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ»	Схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности	Сложность выполнения схемы, сложность выбора и согласования уставок РЗиА, меньшая надёжность, чем у радиальной схемы с резервированием

Значит, исходя из результатов проведённого сравнительного анализа (таблица 6), для применения на однострансформаторных ЦТП, питающих потребители 3 категории надёжности, принимается «Радиальная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ», а для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Все выбранные схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор» отвечают требованиям нормативных документов и принимаются на объекте проектирования к использованию.

2.3 Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения тракторного завода

Далее в работе, для достижения поставленной цели, необходимо произвести расчёт электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», результаты которых далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования распределительных устройств электрической части ГПП и цеховых ТП объекта проектирования.

«Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения тракторного завода является установленная номинальная нагрузка потребителей, $P_{уст}$, которая принимается равной расчётной активной нагрузке» [8] с учётом коэффициента спроса, показывающий, насколько рационально используется электроэнергия в системе электроснабжения объекта.

По известному числу и мощности потребителей на заданном напряжении, определяется значения активной нагрузки потребителей электрической части системы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор» в максимальном режиме работы системы (по фактическим данным нагрузок объекта):

$$P_p = K_c P_n, \quad (2)$$

где P_n – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) проектируемого тракторного завода, кВт» [8];
 K_c – «справочное значение коэффициента спроса цеха(участка) проектируемого тракторного завода» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого нового производственного отделения тракторного завода, квар» [6]:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3)$$

где $\operatorname{tg}\varphi$ – «значение коэффициента реактивной мощности, о.е.» [8].
«Принимается в зависимости от степени компенсации реактивной нагрузки по справочным данным. Соответствует стандартному значению $\cos\varphi$ » [16].

«В работе, помимо силовой расчётной нагрузки объекта, также необходимо провести расчёты осветительной нагрузки нового производственного отделения тракторного завода, исходя из площади, которая подлежит освещению» [8].

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников, кВт» [1]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{n.o}, \quad (4)$$

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

соответствующего цеха (участка) проектируемого тракторного завода» [4];

« $P_{н.о}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого тракторного завода, кВт» [1].

«При этом» [1]:

$$P_{н.о} = P_{уд.о} F, \quad (5)$$

где $P_{уд.о}$ – «нормируемая удельная мощность освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого тракторного завода, кВт/м²» [4];

F – «площадь соответствующего цеха (участка) проектируемого тракторного завода согласно генплану, м²» [1].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников нового производственного отделения проектируемого тракторного завода» [1]:

$$S_{р.} = \sqrt{(P_{н.} + P_{н.о})^2 + Q_{р.}^2}. \quad (6)$$

«Полная расчётная нагрузка нового производственного отделения проектируемого тракторного завода» [13]:

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

«Потери активной и реактивной мощности на ЦТП» [6]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02 S_{р.н}, \text{ кВт}; \quad (8)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1S_{p.n}, \text{ квар.} \quad (9)$$

Потери активной мощности в трансформаторах ГПП системы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода:

$$\Delta P_{Т.ГПП} = 0,02S_{p.Σ}, \text{ кВт;} \quad (10)$$

$$\Delta Q_{Т.ГПП} = 0,1S_{p.Σ}, \text{ квар.} \quad (11)$$

«Результаты расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения тракторного завода сведены в таблицу 7» [2].

Таблица 7 – Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей нового производственного отделения системы электроснабжения тракторного завода

Наименование цеха (участка)	Осветительная нагрузка					Суммарная расчётная нагрузка		
	F , м ²	$P_{уд.о.}$, Вт/м ²	$P_{н.о.}$, кВт	$K_{с.о}$	$P_{р.о.}$, кВт	$P_{р.+P_{р.о.}}$, кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Потребители 0,38/0,22 кВ								
Участок производства тракторной техники	20000	20	400	0,95	380	793	363,44	872,3
Участок производства сельскохозяйственной техники	20000	20	400	0,95	380	1180	704	1374,1
Участок производства специальной техники	2200	20	44	0,95	41,8	169,78	163,3	235,6
Компрессорная	1200	18	21,6	0,95	20,52	172,52	94,24	196,6
Лаборатория контроля качества	2500	17	42,5	0,95	40,38	238,38	174,24	295,3
Участок ремонта и обслуживания оборудования	3500	17	45	0,95	42,75	275,25	174,38	325,8
Пункт приёма и обработки сырья	4000	17	68	0,95	64,6	144,6	60	166,64
Административное здание	5000	18	90	0,95	85,5	160,5	76,5	177,8
Горгово-выставочный комплекс	4000	18	72	0,95	39,9	89,7	37,35	89,7
Склады	6400	16	102,4	0,95	97,28	153,28	18,48	154,4
Насосная	4000	18	72	0,95	39,9	71,9	19,84	74,6
Итого 0,4 кВ	-	-	-	-	1423,6	4647,88	2668,07	5359,2
Потребители 10 кВ								
Насосная	-	-	-	-	-	680	326,4	754,3
Итого 10 кВ	-	-	-	-	-	680	326,4	754,3

«Кроме того, при расчёте нагрузки всей системы электроснабжения проектируемого тракторного завода, необходимо учесть перспективную нагрузку (запас мощности), который планируется оставить в случае дальнейшего расширения производства» [16].

«Согласно исходным данным, перспективная активная нагрузка объекта проектирования равна $P_n = 1500$ кВт, следовательно» [9]:

– «по условию (1) для перспективной активной нагрузки» [9]:

$$P_{p.n} = 0,9 \cdot 1500 = 1350 \text{ кВт},$$

– «по условию (2) для перспективной реактивной нагрузки» [9]:

$$Q_{p.n} = 1350 \cdot 0,54 = 729 \text{ квар}.$$

«Численное значение полной расчётной нагрузки S_p с учётом всех расчётных нагрузок проектируемого нового производственного отделения тракторного завода, а также с учётом перспективной нагрузки, соответствует сумме нагрузок объекта напряжением 0,4 кВ и 10 кВ» [18]:

$$S_p = \sqrt{(P_{p,0,4} + P_{p,10} + P_{p,n})^2 + (Q_{p,0,4} + Q_{p,10} + Q_{p,n})^2}. \quad (12)$$

«Таким образом» [13]:

$$S_p = \sqrt{(4647,88 + 680 + 1350)^2 + (2668,07 + 326,4 + 729)^2} = 8541,4 \text{ кВА}.$$

«Для проектируемой схемы внутреннего электроснабжения нового производственного отделения питающей сети цеховых ТП-10/0,4 кВ, значение потерь ЭЭ в трансформаторах» [13]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02 \cdot 8541,4 = 170,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1 \cdot 8541,4 = 854,1 \text{ квар.}$$

«На этапе проектирования, величина реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП схемы внутреннего электроснабжения объекта по условию» [19]:

$$Q_{КУ} = P_M(\operatorname{tg}\varphi_O - \operatorname{tg}\varphi_M). \quad (13)$$

Для условий схемы ЭС объекта с расчётными значениями нагрузок:

$$Q_{КУ} = 8024,65(0,4 - 0,36) \approx 321 \text{ квар.}$$

«Исходя из расчётных значений, выбраны две конденсаторные установки марки УКРМ-10,5-160-50 мощностью компенсации 160 квар» [15].

«Суммарная расчетная реактивная нагрузка с учётом КУ» [19]:

$$Q_{p\Sigma} = (Q_{p.n} + Q_{p.в}) \cdot K_{pm} + Q_{ТЦ} - Q_{КУ}, \text{ квар}, \quad (14)$$

где « K_{pm} – коэффициент одновременности максимумов нагрузки» [12].

Для условий схемы ЭС объекта с расчётными значениями нагрузок:

$$Q_{p\Sigma} = (2925,7 + 326,4) \cdot 0,95 + 854,1 - 320 \approx 3622,6 \text{ квар.}$$

«Суммарная расчетная активная нагрузка проектируемого нового производственного отделения тракторного завода» с учётом КРМ» [12]:

$$P_{p\Sigma} = (P_{p.n} + P_{p.в}) \cdot K_{pm} + P_{ТЦ} + P_{p.o}, \text{ кВт}, \quad (15)$$

Для условий схемы ЭС объекта с расчётными значениями нагрузок, с учётом компенсации реактивных токов:

$$P_{p\Sigma} = (6601,04 + 680 + 708,7) \cdot 0,95 + 170,8 + 1423,58 \approx 9184,6 \text{ кВт.}$$

«Суммарная расчетная полная нагрузка тракторного завода с учётом КРМ» [12]:

$$S_{p,\Sigma} = \sqrt{(P_{p,\Sigma})^2 + (Q_{p,\Sigma})^2}, \quad (16)$$

«Для ЭС нового производственного отделения завода» [7]:

$$S_{p,\Sigma} = \sqrt{9184,6^2 + 3622,6^2} \approx 9873,2 \text{ кВА.}$$

«Величина потерь в трансформаторах ГПП» [11]:

$$\Delta P_{T,ГПП} = 0,02 \cdot 9873,2 = 197,5 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_{TЦ} = 0,1 \cdot 9873,2 = 987,3 \text{ квар.}$$

«Полная расчётная нагрузка ГПП проектируемого нового производственного отделения тракторного завода с учётом потерь ЭЭ» [12]:

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{p,\Sigma} + \Delta P_{T,ГПП})^2 + (Q_{p,\Sigma} + \Delta Q_{T,ГПП})^2}, \text{ кВА.} \quad (17)$$

Значит:

$$S_{p.} = \sqrt{(9184,6 + 197,5)^2 + (3622,6 + 987,3)^2} = 10453,5 \text{ кВА.}$$

На основе полученных расчётных значений электрических нагрузок, проводятся мероприятия по выбору оборудования в проектируемой системе электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор».

2.4 Выбор и проверка мощности силовых трансформаторов ГПП

Как указано ранее, на главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ ОАО «Липецкий трактор», в связи с наличием значительной группы потребителей, относящихся к 1 и 2 категории надёжности, рекомендовано установить два силовых трансформатора.

Учитывая полученные значения показателей и технических данных, полученных в результате расчёта нагрузки потребителей тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», проводится расчётная проверка мощности новых трансформаторов на ГПП предприятия. С учётом систематических нагрузок, а также вероятности послеаварийных перегрузок в системе электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», расчётная мощность трансформатора на питающей заводской ГПП-35/10 кВ определяется из соотношения [10]:

$$S_{ном.} \geq \frac{S_p}{N \cdot k_{загр}}, \quad (18)$$

где « $k_{загр}$ – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов на подстанциях» [10];

« n – количество трансформаторов, шт.» [10].

«Исходя из условия (18)» [4]:

$$S_{ном} \geq \frac{10453,5}{2 \cdot 0,65} = 8041,5 \text{ кВА.}$$

«Выбираются два силовых трансформатора ТМН-10000/35» [14]. Трансформатор должен работать с коэффициентом загрузки, не превышающим значение 0,7. Это условие выражается так [15]:

$$K_3 = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,65. \quad (19)$$

Таким образом, коэффициент загрузки трансформатора подстанции ГПП нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» в нормальном режиме не превышает предельно установленные значения:

$$K_3 = \frac{10453,5}{2 \cdot 10000} = 0,52 \leq 0,65.$$

В послеаварийном режиме коэффициент загрузки трансформатора не должен быть выше значения 1,35, с учётом нагрузки всей ГПП, которая будет приходиться на один трансформатор, оставшийся в работе [11]:

$$1,35 \cdot S_{ном} \geq S_P. \quad (20)$$

Коэффициент загрузки трансформатора ГПП-35/10 кВ нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» в послеаварийном режиме также удовлетворяет условию:

$$1,35 \cdot 10000 = 13500 \text{ кВА} \geq 10453,5 \text{ кВА}.$$

Таким образом, в работе расчётным путём установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», «целесообразно установить два трансформатора ТМН-10000/35» [14].

2.5 Расчёт токов коротких замыканий

В работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ГПП-35/10 кВ «проектируемой внешней системы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах ГПП и цеховых ТП.

Кроме того, по минимальным значениям тока КЗ на шинах всех РУ проектируемой внешней системы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор» будут проверены уставки релейной защиты на надёжность срабатывания.

Расчёт токов короткого замыкания проводится по следующему алгоритму, который приведён в работе согласно [12].

Первый этап включает составление расчётной схемы сети, в которой отмечаются расчётные точки короткого замыкания.

На втором этапе осуществляется составления схемы замещения сети, исходя из исходной расчётной схемы. В данной схеме показываются расчётные точки короткого замыкания, а все элементы, которые входят в цепь короткого замыкания. При этом все элементы представляются в виде соответствующих сопротивлений (активных и индуктивных).

Третий этап предполагает преобразование исходной схемы замещения к элементарному виду, необходимому для расчёта токов короткого замыкания. На этом этапе определяются суммарные сопротивления к каждой точке цепи КЗ. На заключительном этапе определяются искомые токи КЗ и ударные токи во всех требуемых точках.

Для расчета токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», составляется схема замещения (рисунок 6) [14].

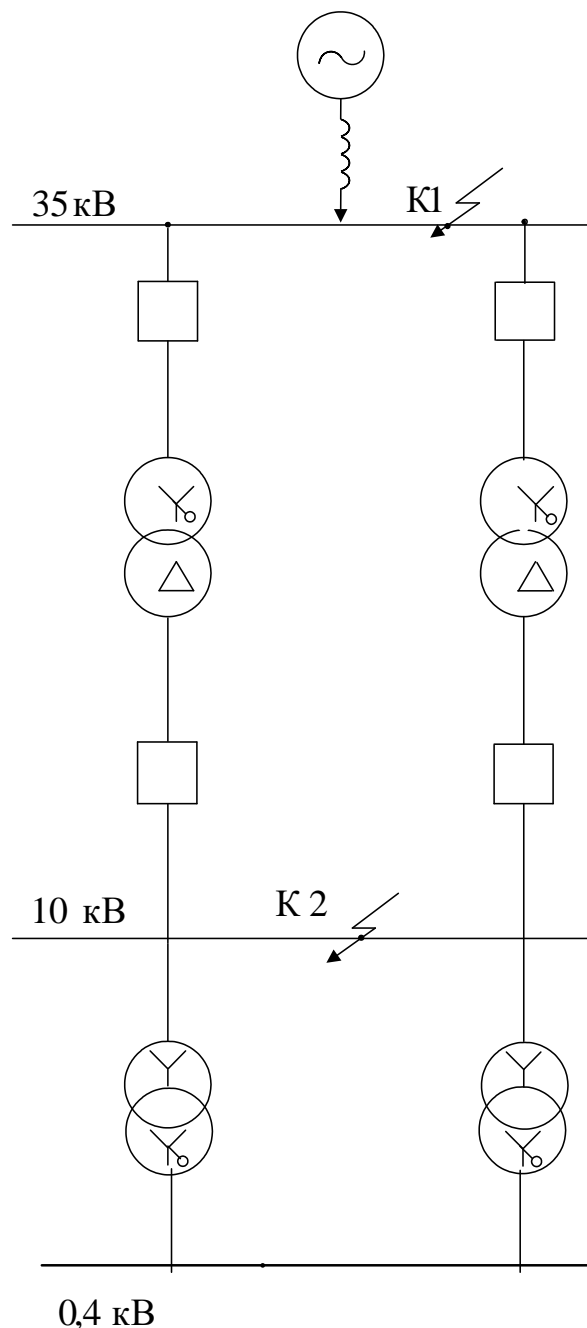


Рисунок 6 – Расчетная схема для расчета токов КЗ на шинах 35 кВ и 10 кВ внешней СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением.

Как правило, в сети напряжением выше 1 кВ решающее значение имеют индуктивные сопротивления элементов. Значениями активных сопротивлений при расчёте токов КЗ в таком случае можно пренебречь [17].

Составляется исходная схема замещения по расчётной схеме электрической сети на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор» (рисунок 7).

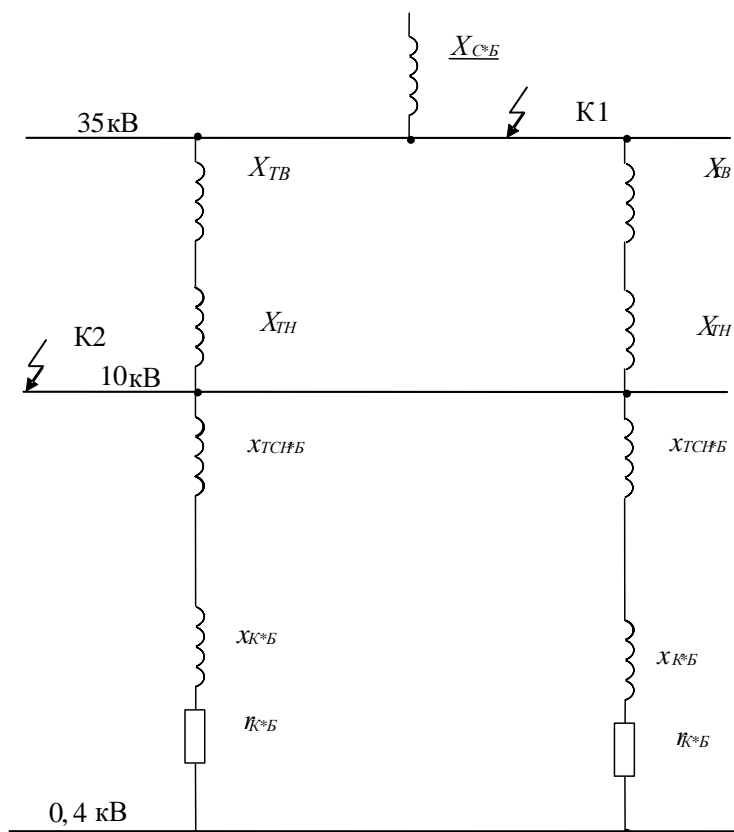


Рисунок 7 – Исходная полная схема замещения электрической сети для расчетов токов КЗ на шинах 35 кВ и 10 кВ внешней СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»

В исходной схеме для расчёта токов КЗ необходимо учесть все основные элементы, которые влияют на результаты расчёта своими индуктивными сопротивлениями, которые необходимо учитывать в данных схемах в первую очередь [12].

Далее проводится расчёт параметров схемы замещения в относительных единицах, с последующим приведением их к именованным.

«Сопротивление энергосистемы» [12]:

$$x_c = \frac{S_{\delta}}{S_k^*}, \text{ o.e.}, \quad (21)$$

где « S_k^* - полная мощность трёхфазного КЗ энергосистемы» [9].

По условию (21):

$$x_c = \frac{100}{470} = 0,213 \text{ o.e.}$$

Далее проводится расчёт индуктивных сопротивлений силового трансформатора ГПП СЭС ОАО «Липецкий трактор» с учётом паспортных данных, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям [12].

Сопротивления к цепи КЗ, для отдельных обмоток силового двухобмоточного трансформатора ГПП СЭС ОАО «Липецкий трактор», определяются по формуле:

$$x_T = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{ном.Т}}}, \quad (22)$$

где « $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА» [18].

$$x_{\text{т.в}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,268 \text{ Ом.}$$

$$x_{\text{т.н}} = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,168 \text{ Ом.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ, при приведении к базисным условиям» [12], в именованных единицах:

$$I''_{k.i} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{cm1} X_{рез\delta*}}, \text{ кА.} \quad (23)$$

Далее, исходя из определённых ранее индуктивных сопротивлений всех основных элементов схемы замещения, определяются результирующие (эквивалентные) сопротивления к каждой точке КЗ.

Результирующее сопротивление к точке К1 в относительных расчётных единицах:

$$X_{рез.К1} = X_C, \text{ о.е.} \quad (24)$$

Определяются результирующие сопротивления до рассматриваемой точки КЗ. Согласно условия (24):

$$X_{рез.К1} = 0,213 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока КЗ в расчётной точке К1» [18], в именованных единицах по (23):

$$I''_{к1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 38,5 \cdot 0,213} = 2,357 \text{ кА.}$$

Результирующее сопротивление к точке К2 в относительных расчётных единицах, при последовательно-параллельном соединении элементов:

$$X_{рез.2} = X_{рез.1} + \frac{(X_{ТВ} + X_{ТН}) \cdot (X_{ТВ} + X_{ТН})}{2 \cdot X_{ТВ} + 2 \cdot X_{ТН}}, \text{ о.е.} \quad (25)$$

Согласно условия (25):

$$X_{рез.2} = 0,213 + \frac{1}{2}0,168 + \frac{1}{2}0,268 = 0,427 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока КЗ в расчётной точке К2» [18], в именованных единицах по (23):

$$I''_{к2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,6 \cdot 0,427} = 20,493 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока в расчётных точках схемы» [12]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I''_{к}, \text{ кА,} \quad (26)$$

где $k_{уд}$ – «ударный коэффициент» [12].

«По условию (26) для расчётных точек схемы К1 и К2, значение ударных токов (начального значения аperiodической составляющей тока КЗ)» [12] в именованных единицах:

– в точке К1:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2,357 = 5,999 \text{ кА.}$$

– в точке К2:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 20,49 = 52,161 \text{ кА.}$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА [11]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K'', \text{ кА.} \quad (27)$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗА, по условию (27):

– в точке К1:

$$I_{no(\min)к1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,357 = 2,040 \text{ кА.}$$

– в точке К2:

$$I_{no(\min)к2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 20,49 = 17,744 \text{ кА.}$$

Полученные в работе результаты расчета токов КЗ на шинах 35 кВ и 10 кВ внешней СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» представлены в таблице 8 [17].

Таблица 8 – Результаты расчёта токов короткого замыкания на шинах 35 кВ и 10 кВ внешней СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»

Параметры точки КЗ	$U_{см}, \text{ кВ}$	$X_{рез} \delta^*$	$I'', \text{ кА}$	$I_y^3, \text{ кА}$	$I_{к}^2, \text{ кА}$
К ₁	115,0	0,213	2,357	5,999	2,04
К ₂	6,6	0,427	20,493	52,161	17,744

Результаты расчёта токов КЗ на шинах 35 кВ и 10 кВ внешней СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор», используются в работе далее, при непосредственном «выборе и проверке проводников, аппаратов и основного оборудования РУ-35 кВ и РУ-10 кВ на ГПП и ЦТП» [12].

2.6 Выбор и проверка трансформаторов цеховых ТП

«Далее в работе необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций внутренней СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор», с учётом схемы электрических соединений объекта проектирования, а также подключения нагрузки в питающей сети 10 кВ и распределительной сети 0,38/0,22 кВ» [12].

«Известно, что номинальная полная «мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ систем электроснабжения промышленных предприятий, определяется по следующему условию» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N\beta_T}, \quad (28)$$

где « $S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность силового трансформатора, кВА» [12];

« $\sum P_p$ – активная нагрузка объектов, питающихся от ЦТП, кВт» [12];

« N – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.» [12].

«Расчёт и выбор мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере ТП-1 внутренней СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» по (28)» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{793}{2 \cdot 0,8} = 495,6 \text{ кВА.}$$

«Для установки на цеховой ТП-1 внутренней СЭС ОАО «Липецкий трактор» приняты два силовых трансформатора марки ТМ-630/10 [12]. На других ЦТП внутренней СЭС ОАО «Липецкий трактор» выбор силовых трансформаторов аналогичен (таблица 9)» [12].

Таблица 9 – Выбор мощности и числа цеховых трансформаторов внутренней СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»

ЦТП	№ цеха	Наименование цеха (участка)	Категория надёжности	P_p , кВт	$S_{ном.т.р.}$, кВА	$n \times S_{ном.т.}$, кВА
ЦТП-1	1	Участок производства тракторной техники	I	793	495,6	2x630
ЦТП-2	2	Участок производства сельскохозяйственной техники	I	1180	842,8	2x1000
ЦТП-3	3	Участок производства специальной техники	I	708,7	591,9	2x630
	5	Лаборатория контроля качества	II	238,38		
	Всего по ТП-3		I, II	947,08		
ЦТП-4	4	Компрессорная	I	172,52	370,2	2x400
	6	Участок ремонта и обслуживания оборудования	II	275,25		
	7	Пункт приёма и обработки первичного сырья	II	144,6		
	Всего по ТП-4		I, II	592,37		
ЦТП-5	11	Насосная	I	71,9	339,6	2x400
	8	Административное здание	III	160,5		
	9	Торгово-выставочный комплекс	III	89,7		
	10	Склады	III	153,28		
	Всего по ТП-5		II, III	475,38		

«Установлено и показано в таблице 9, что коэффициенты загрузки трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» не превышают максимально допустимое значение, следовательно, выбранные типы трансформаторов удовлетворяют требованиям выбора и проверок» [12].

2.7 Выбор и проверка проводников

«Далее в работе необходимо провести проверочный расчёт проводников СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»» [15].

«В работе в системе электроснабжения ОАО «Липецкий трактор», выбору подлежат проводники воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ (питающие воздушные линии от энергосистемы к силовым трансформаторам ГПП) и 10 кВ (отходящие кабельные линии от РУ-10 кВ ГПП к цеховым ТП-10/0,4 кВ)» [12].

Все проводники в системе внешнего электроснабжения ОАО «Липецкий трактор» – класса напряжения выше 1 кВ. Поэтому методика выбора для них будет применена также одинаковая.

Известно, что «выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 35 кВ и распределительных кабельных линий 10 кВ)» [5] СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор», осуществляется по экономической плотности тока [11]:

$$S_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (29)$$

где j_3 – «экономическая плотность тока, А/мм²» [10].

«При этом расчетное значение рабочего тока нормального режима» [19]:

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (30)$$

где « S_p – расчётная полная нагрузка линии, кВА» [19].

«Расчетное значение рабочего тока послеаварийного режима» [19]:

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (31)$$

После выбора проводников воздушных и кабельных линий СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор», необходимо провести их проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах работы.

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (32)$$

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

Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (33)$$

где $I_{p.\text{max}}$ – максимальный ток послеаварийного режима работы линии с учётом условий резервирования в схеме, А.

Кроме того, «по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также» [5] коронирующего разряда (для ВЛ-35 кВ).

Выполнение данного условия проверяется по следующему соотношению:

$$S_{\text{ст}} \geq S_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (34)$$

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится выбор и проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор».

Питание ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» от источника питания, осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи с применением провода марки ВЛ. В работе, для большей надёжности функционирования воздушных линий, с

учетом климатических условий, для установки на новой питающей ВЛ-35 кВ, выбирается уникальный по своей конструкции компактный провод марки «AERO-Z» (АЭРО-Зет) [7].

Такой провод отличается от своих аналогов повышенной прочностью и пропускной способностью, а также высокой степенью устойчивости к гололедообразованию [7]. Внешний вид и конструкция основных модификаций инновационных проводов марки AERO-Z для применения на высоковольтных линиях напряжением 35-330 кВ представлены на рисунке 8.



Рисунок 8 – Внешний вид и конструкция основных модификаций инновационных проводов марки AERO-Z для применения на высоковольтных линиях напряжением 35-330 кВ

Ток нормального режима для питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»:

$$I_p = \frac{10453,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} \approx 86,2 \text{ А.}$$

Ток послеаварийного режима для питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»:

$$I_{p.\max} = \frac{10453,5}{\sqrt{3} \cdot 35} = 172,4 \text{ А.}$$

Расчётное сечение питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» по условию экономической плотности тока:

$$S_9 = \frac{86,2}{1,1} = 78,3 \text{ мм}^2.$$

Из ряда стандартных наименьших значений сечения новых проводов марки АЕРО-Z, выбирается ближайшее стандартное сечение – 148 мм².

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор», выбирается для питающих ВЛ-35 кВ провод марки АЕРО-Z - 148 с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 425 \text{ А}$.

Проверка предварительно выбранного провода марки АЕРО-Z - 148 для воздушной линии 35 кВ по току нормального режима:

$$425 \text{ А} \geq 86,2 \text{ А.}$$

Условия проверки выполняются. Проверка предварительно выбранного провода марки АЕРО-Z - 148 для воздушной линии 35 кВ по максимальному рабочему току ПАВ режима выполняется (условие (38)):

$$425 \text{ А} \geq 172,4 \text{ А.}$$

Проверка по условию (39) выполняется:

$$148 \text{ мм}^2 \geq 70 \text{ мм}^2.$$

Окончательно для применения на питающей ВЛ-35 кВ, в работе выбран современный провод марки АЕРО-Z - 148 с сечением токоведущей жилы – 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{доп} = 425$ А.

«Выбор КЛ напряжением 10 кВ, питающих ТП-10/0,4 кВ, представлен в форме таблицы 10.

Таблица 10 – Результаты выбора КЛ - 10 кВ системы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода

№ ТП (линии)	n, шт.	$I_p, \text{А}$	$I_{p,max}, \text{А}$	$F_{э}, \text{мм}^2$	Марка силового кабеля	$I_{доп}, \text{А}$	$\Delta U, \%$
ТП-1	2	25,2	50,4	18,0	АСБл-10 (3×16)	75	2,4
ТП-2	2	39,7	79,4	28,3	АСБл-10 (3×25)	90	1,8
ТП-3	2	32,3	64,6	23,0	АСБл-10 (3×25)	90	1,1
ТП-4	2	19,9	39,8	14,2	АСБл-10 (3×16)	75	1,9
ТП-5	2	14,3	28,6	10,2	АСБл-10 (3×16)	75	2,6
Насосная (АД 10 кВ)	2	21,8	43,6	15,6	АСБл-10 (3×16)	75	2,1

Проводники питающей ВЛ-35 кВ и отходящих КЛ-10 кВ отвечают условиям всех проверок.

Также в работе не менее важным является выбор ошиновки на ГПП-35/10 кВ. Шинные конструкции являются важнейшими элементами присоединений потребителей и играют важную роль в передаче и распределении электроэнергии.

Выбор ошиновки для применения в ОРУ-35 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП СЭС тракторного завода осуществляется по значению максимального рабочего тока. При этом проверка выбранной ошиновки проводится по току КЗ в зависимости от паспортной характеристики данных шин.

Результаты выбора и проверки ошиновки в РУ ГПП нового производственного отделения тракторного завода представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора и проверки ошиновки для применения в ОРУ-35 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП СЭС нового производственного отделения тракторного завода

Наименование РУ ГПП	Тип/марка ошиновки	Длительный режим		Проверка по режиму КЗ
		$I_n \geq I_{p,max}$, А	Сечение q_n , мм ²	$q_n \geq q_{min}$, мм ²
ОРУ – 35кВ	Гибкая/АС – 300/66	680 > 172,4	300	300 > 53
ЗРУ – 10кВ	Жёсткая/А80×10	1480 > 809,2	800	800 > 226

Все выбранные проводники 35 кВ и 10 кВ для применения в СЭС тракторного завода, удовлетворяют условиям выбора и нормативных требуемых проверок [18].

2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов

Как указано ранее, одним из важнейших мероприятий по проектированию системы электроснабжения нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор», является выбор нового оборудования для установки в РУ высокого напряжения на ГПП-35/10 кВ.

При этом РУ-10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ выполняется по упрощённой схеме и коммутируется с соответствующих ячеек РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ. Такая схема удобная, надёжная и практичная.

Все выбранные аппараты проверяются на соответствие условиям цепи в максимальном режиме по значениям максимального рабочего тока и тока трёхфазного КЗ.

Выбору и проверке в работе подлежат такие аппараты системы электроснабжения:

- высоковольтные выключатели – устанавливаются во всех распределительных устройствах питающей ГПП-35/10 кВ (35 кВ, 10 кВ);

- разъединители – применяются только в ОРУ-35 кВ на ГПП-35/10 кВ (в РУ-10 кВ заменяются втычными контактами ячеек типа КРУН);
- ограничители перенапряжения устанавливаются во всех РУ ГПП-35/10 кВ;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения – применяются в ОРУ-35 кВ и КРУ-10 кВ ГПП по мере необходимости (зависит от схемы и мощности вторичных цепей).

Известно, что выключатели высокого напряжения – это основные аппараты для защиты и коммутации электрической сети и единственные аппараты на подстанции, которыми можно отключать сеть под нагрузкой, а также они отключают сеть при возникновении ненормальных режимов (в частности, токов КЗ).

Поэтому к выключателям предъявляются повышенные требования по коммутационной способности, а также по стойкости к сквозным токам КЗ и ударным токам [23].

Известно, что выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий двух основных условий [18]:

- по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (35)$$

где $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя);

- по максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (36)$$

где $I_{раб.макс}$, I_n – соответственно максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя (параметр завода-изготовителя).

Проверка выключателя предполагает выполнение следующих обязательных условий [18]:

– «проверка выключателя на симметричный ток отключения» [18]:

$$I_{n\tau} \leq I_{откн.н} \quad (37)$$

где « $I_{n\tau}$ – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов» [18];

« $I_{откн.н}$ – номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА (параметр завода-изготовителя)» [18];

– «проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ» [7]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{n\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (38)$$

где « $i_{a\tau}$ – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [7];

« β_n – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [7];

« τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [7]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (39)$$

где « $t_{з.мин}$ – минимальное время действия релейной защиты, с» [7];

« $t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя, с» [7];

– «на электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ» [18]:

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (40)$$

где « $i_{пр.с}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [18];
« i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [18];

– «проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (41)$$

где « B_k – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$ » [18];

« I_T – предельный ток термической устойчивости, $A^2 \cdot c$ » [18];

« t_T – длительность тока термической устойчивости, c » [18].

«При этом тепловой импульс» [18] с учётом токов КЗ и отключения цепи:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (42)$$

Исходя из расположения в схеме главной понижающей подстанции 35/10 кВ СЭС ОАО «Липецкий трактор», высоковольтные выключатели напряжением 35 кВ и 10 кВ подразделяются на следующие типы:

- высоковольтные выключатели ввода (вводные высоковольтные выключатели) – служат для приёма электроэнергии от энергосистемы с последующей её передачей на два силовых трансформатора подстанции (сеть 35 кВ), а также приёма и передачи электроэнергии от силового трансформатора на напряжении 10 кВ, в сеть РУ-10 кВ (сеть 10 кВ);
- высоковольтный выключатель секционного соединения (секционный выключатель) – необходим для обеспечения резервирования в схеме РУ-10 кВ на ГПП-35/10 кВ, автоматически включая питание оборудования от второй системы сборных шин 10 кВ;

- высоковольтные выключатели отходящих линий (линейные выключатели) – необходимы для обеспечения защиты и коммутации отходящих линий 10 кВ.

Исходя из этого, необходимо учесть расположение выключателей в схеме, так как параметры сети в различных узлах ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» будут также различными.

Предварительно принимается для установки на объекте проектирования выключатели высокого напряжения новых образцов и модификаций следующих марок:

- в РУ-35 кВ – выключатели марки ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1;
- в РУ-10 кВ – выключатели марки ВВ/TEL - 10-20-1600-У2-48 (вводные) и ВВ/TEL - 10-20-630-У2-48 (линейные).

Выбор и проверка высоковольтных выключателей для установки во всех распределительных устройствах ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор», проводится по приведённым выше условиям (таблица 12).

Таблица 12 – Результаты выбора и проверки выключателей высокого напряжения для установки в РУ ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»

Наименование присоединения	Тип выключателя	Соотношение паспортных и расчетных данных						
		$\frac{U_n}{U_p}$, кВ	$\frac{I_n}{I_{p\max}}$, А	$\frac{I_{откл.ном}}{I''}$, кА	$\frac{i_{откл.ном}}{i_{кт}}$, кА	$\frac{I_{np-c}}{I''}$, кА	$\frac{i_{np-c}}{i_y^{(3)}}$, кА	$\frac{I_t^2 \cdot t}{B_k}$, кА·с
Вводной выключатель 35 кВ	ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1	35	1250	20	38,18	20	50	1200
		35	646	4,372	10,03	4,372	13,63	22,08
Вводной и секционный выключатели 10 кВ	ВВ/TEL-10-25/1600 У2	10	1600	25	47,73	25	64	1875
		10	1346	20,49	39,64	20,49	52,16	463
Линейные выключатели 10 кВ	ВВ/TEL-10-12,5/630 У2	10	1600	25	47,73	25	64	1875
		10	168	20,49	39,64	20,49	52,16	463

Далее проводится выбор разъединителей для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор».

Разъединитель – это аппарат для обеспечения видимого разрыва, который устанавливается в электроустановках с целью безопасного проведения работ.

В работе для установки в сети 35 кВ на ГПП-35/10 кВ СЭС ОАО «Липецкий трактор» выбираются современные разъединители.

Так как разъединители не отключают цепь под нагрузкой, они, в отличие от выключателей высокого напряжения, не проверяются на коммутационную способность при отключении токов КЗ согласно [12].

«Результаты выбора и проверки разъединителей для установки в РУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор», представлены в таблице 13» [15].

Таблица 13 – Результаты выбора и проверки разъединителей для установки в РУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»

Наименование присоединения	Тип разъединителя/ привода	$\frac{U_n}{U_{уст}}$ кВ	$\frac{I_n}{I_{р.макс}}$ А	$\frac{I_{пр.с}}{I}$ кА	$\frac{i_{пр.с}}{i_y}$ кА	$\frac{I_m^2 t_T}{B_k}$ кА ² ·с
ОРУ 35 кВ	<u>РДЗ-1-35/1000НУХЛ1</u> ПРГ-01 2БУХЛ1	<u>35</u>	<u>1000</u>	<u>63</u>	<u>80</u>	<u>1875</u>
	<u>РДЗ-2-35/1000НУХЛ1</u> ПРГ-01 2БУХЛ1	35	646	4,37	13,6	22,1

В ячейках КРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» разъединители не устанавливаются, их заменяют втычные контакты.

Для установки в РУ ГПП-35/10 кВ СЭС ОАО «Липецкий трактор» выбираются ограничители перенапряжения следующих типов и марок:

- для установки в РУ-35 кВ и на ВЛ-35 кВ – ОПН типа ОПН-У/TEL 35/40,5 УХЛ1;

– для установки в РУ-10 кВ и в ячейках отходящих линий 10 кВ – ОПН типа ОПН- РС/TEL 6/7,6 УХЛ1.

Также необходимо выбрать новые трансформаторы тока и напряжения (измерительные трансформаторы) для их непосредственной установки на ГПП-35/10 кВ СЭС ОАО «Липецкий трактор».

Выбор новых измерительных трансформаторов тока и напряжения в работе чрезвычайно важна, так они питают приборы учёта, контроля и управления электроэнергией, а также цепи релейной защиты, автоматики, сигнализации и телеметрии.

При этом измерительные трансформаторы должны соответствовать классу точности и мощности вторичной нагрузки, которую они будут в перспективе питать.

Результаты выбора и проверки новых трансформаторов напряжения для установки в РУ всех классов напряжения на ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор», представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты выбора новых трансформаторов напряжения для установки в РУ на ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»

Тип ТН	Кол-во ТН	Мощность на один ТН, ВА	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \sum}$, ВА
НТМИ-10-66	4	36,8/4	1	$\frac{10}{10}$	$\frac{200,0}{9,3}$

Результаты выбора и проверки новых трансформаторов тока для установки в РУ всех классов напряжения на ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор», представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты выбора новых трансформаторов тока для установки в РУ ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»

Наименование присоединения	Марка ТТ	Исполнение вторичной обмотки	$\frac{U_n}{U_{уст}}$	$\frac{I_{ном}}{I_{р.макс}}$	$\frac{i_{дин}}{i_y}$	$(k_T I_{ном})^2 t_T$
			кВ	А	кА	B_k кА ² ·с
Ввод РУ 35 кВ	ТГФМ-35-У3	0,5/Р/Р	$\frac{35}{35}$	$\frac{800}{647}$	-	-
ВЛ-35 кВ	ТГФМ-35-У3	0,5/Р/Р	$\frac{35}{35}$	$\frac{300}{202}$	-	-
Шины 10 кВ	ТПК-10-У3	10Р/10Р	$\frac{10}{10}$	$\frac{1500}{1346}$	$\frac{118}{52,2}$	$\frac{7056}{463}$
Отходящие линии 10 кВ	ТПК-10-У3	0,5/Р	$\frac{10}{10}$	$\frac{400}{168}$	$\frac{75}{52,2}$	$\frac{2825}{463}$

Всё новое выбранное оборудование распределительных устройств ГПП-35/10 кВ СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» удовлетворяет всем требуемым условиям и принимается для установки на объекте.

Выводы по разделу.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»:

- для применения в распределительном устройстве 35 кВ питающей ГПП – схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в распределительном устройстве 10 кВ питающей ГПП – схема «Одна секционированная система шин»;
- для применения в распределительной сети 10 кВ – «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;

– для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Рассчитаны токи короткого и электрические нагрузки замыкания в максимальном режиме работы системы электроснабжения нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор».

На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор», на ГПП-35/10 кВ объекта проектирования необходимо установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА каждый (марки ТМН-10000/35).

Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» (всего предусмотрено пять ЦТП).

Для питающих ВЛ-35 кВ принята марка инновационного провода АЕРО-Z - 148 с сечением токоведущей жилы 148 мм².

Для питания ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБл-10.

Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор».

3 Выбор устройств релейной защиты ГПП тракторного завода

Далее в работе проводится выбор типов и марок устройств релейной защиты с целью применения на ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор».

Выбор типов и марок устройств релейной защиты для системы электроснабжения нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» зависит от ряда факторов, таких как:

- особенности системы электроснабжения (трехфазная или однофазная системы ЭС);
- номинальные напряжения в сети;
- основные характеристики нагрузки, в том числе ее величина и тип (индуктивная, емкостная или активно-реактивная);
- количество защищаемых присоединений согласно схеме;
- уровень напряжения в нормальном, минимальном и послеаварийном режимах работы системы электроснабжения;
- категория надёжности защищаемых присоединений и потребителей;
- требования к точности и быстрдействию релейной защиты;
- совместимость устройств релейной защиты с другими устройствами в системе электроснабжения.

На основании вышеперечисленных факторов, в работе для применения на объекте проектирования, выбраны выбрана блоки РЗиА марки БЭМП РУ (производитель – АО «Чебоксарский электроаппаратный завод»).

Далее в работе выбираются уставки РЗиА для защиты силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода.

Для применения на подстанции выбрана модификация блока РЗиА марки БЭМП РУ [16], в которую входят основные релейные защиты силовых трансформаторов и линий ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода.

Для данной цели на первом этапе необходимо провести расчёт максимальных рабочих токов, а также выбрать первичный ток трансформатора тока и, с учётом этого, провести расчёт коэффициента трансформации.

Исходя из этого, известно выражение для расчёта максимальный рабочий ток в схеме с резервированием трансформаторов [13]:

$$I_{\text{раб.макс}} = I_{\text{раб.макс(н)}} + I_{\text{раб.макс(д)}}, \quad (43)$$

где $I_{\text{раб.макс(н)}}$, $I_{\text{раб.макс(д)}}$ – соответственно, рабочие максимальные токи основной и дополнительной нагрузки, А.

При этом [14]:

$$I_{\text{раб.макс(н)}} = K_o \cdot K_z I_{\text{max}}, \quad (44)$$

«где I_{max} – максимальный расчётный ток силового трансформатора ГПП-35/10 кВ в нормальном режиме» [16];

« K_o и K_z – соответственно коэффициент одновременности и коэффициент загрузки» [16].

С учётом схемы с резервированием, принимается равенство основной и дополнительной нагрузки для трансформаторов ГПП-35/10 кВ [2]:

$$I_{\text{раб.макс(н)}} = I_{\text{раб.макс(д)}}. \quad (45)$$

Проводится определение максимального рабочего тока силового трансформатора ГПП-35/10 кВ.

На стороне ВН (35 кВ):

$$I_{\text{раб.макс(н)}} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 33 = 23,8 \text{ А.}$$

$$I_{\text{раб.макс}(\partial)} = I_{\text{раб.макс}(\text{н})} = 23,8 \text{ A.}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = 23,8 + 23,8 = 47,6 \text{ A.}$$

На стороне НН (10 кВ):

$$I_{\text{раб.макс}(\text{н})} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 364,2 = 262,2 \text{ A.}$$

$$I_{\text{раб.макс}(\partial)} = I_{\text{раб.макс}(\text{н})} = 262,2 \text{ A.}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = 262,2 + 262,2 = 524,4 \text{ A.}$$

На сторонах ВН и НН трансформаторов ГПП-35/10 кВ принимается соединение ТТ и реле в схему «неполная звезда», имеющая ряд преимуществ по сравнению с другими схемами соединения ТТ и реле (таблица 16).

Таблица 16 – Результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ на ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода

Номинальное напряжение	Элемент (присоединение)	$I_{\text{раб.макс}}$, А	$I_{\text{ТТ1}}$, А	K_{T}
35 кВ	Силовые трансформаторы (сторона ВН)	47,6	50	10
10 кВ	Силовые трансформаторы (сторона НН)	524,4	600	120

Далее в работе, на основании полученные результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ, использующихся для дальнейшего выбора уставок РЗиА силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода, проводится выбор уставок РЗиА трансформаторов подстанции.

В качестве защиты трансформаторов ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода «от межфазных КЗ, используется продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью» [18].

Ток срабатывания защиты определяется путём отстройки от тока небаланса [15]:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot (I_{раб.макс.НН} - I_{раб.макс.ВН}), \quad (46)$$

где $I_{раб.макс.НН}$, $I_{раб.макс.ВН}$ – соответственно максимальный рабочий ток на сторонах НН (10 кВ) и ВН (35 кВ) силового трансформатора ГПП-35/10 кВ, А;
 K_n – коэффициент надёжности [13,14].

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

$$K_u = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.нач.мин}}{I_{с.з}} \geq 1,5. \quad (47)$$

Ток срабатывания продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ГПП-35/10 кВ:

$$I_{с.з} \geq 1,3 \cdot (524,4 - 47,6) = 619,8 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода удовлетворяет требованиям [14]:

$$K_u = \frac{1}{1} \cdot \frac{1070}{619,8} = 1,7 > 1,5.$$

Окончательно принимается для продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ГПП-35/10 кВ $I_{с.з} = 619,8 \text{ А.}$

Проводится выбор уставки защиты от перегрузки трансформаторов ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода.

Известно, что в двухобмоточных силовых трансформаторах защита от перегрузки устанавливается со стороны питания [13], значит, в работе данная защита устанавливается на стороне 35 кВ.

Для микропроцессорных блоков защит, защита от перегрузки отстраивается от максимального рабочего тока на стороне ВН силового трансформатора [14]:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot I_{\text{раб.макс.ВН}}, \quad (48)$$

где K_n – коэффициент надёжности [13,14].

Ток срабатывания защиты от перегрузки трансформаторов ГПП-35/10 кВ:

$$I_{с.з} \geq 1,05 \cdot 47,6 \approx 50 \text{ А.}$$

Защита от перегрузки трансформаторов ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода выполняется с действием на сигнал, так как даже при значительных перегрузках не требуется быстрого отключения трансформатора.

Проводится выбор уставки максимальной токовой защиты (МТЗ) трансформаторов ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода.

В работе МТЗ устанавливается как на стороне ВН (35 кВ), так и на стороне НН (10 кВ) силового трансформатора, обеспечивая, таким образом, резервирование и селективность. Следовательно, в работе на силовом трансформаторе принимается два комплекта МТЗ.

Ток срабатывания МТЗ силового трансформатора должен удовлетворять условиям [19], приведённым ниже.

Первое условие заключается в отстройке от максимального рабочего тока трансформатора [13]:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб.макс}, \quad (49)$$

где $K_{отс}$ - коэффициент отстройки;

$K_{сзн}$ - коэффициент самозапуска.

Второе условие – МТЗ «не должна срабатывать в момент подключения дополнительной нагрузки» [20]:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot (I_{раб.макс(н)} + K_{сзн} \cdot I_{раб.макс(д)}). \quad (50)$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ» [1]:

$$K_{ч} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.мин}^{(к)}}{I_{с.з}} \geq 1,2, \quad (51)$$

«Где $I_{к.мин}^{(к)}$ - минимальный ток при КЗ в конце защищенной линии» [16];

« $K_{сх}^{(3)}$ - коэффициент схемы соединения ТТ и реле» [16];

« $K_{сх}^{(к)}$ - коэффициент схемы соединения ТТ и реле при КЗ» [16];

« $I_{с.з}$ - ток срабатывания защиты» [14].

«Коэффициент чувствительности для рассчитываемой МТЗ силового трансформатора должен быть не менее 1,2» [14].

По приведённым выше условиям, далее в работе проводится расчёт МТЗ на сторонах 35 кВ и 10 кВ силового трансформатора ГПП-35/10 кВ.

Для комплекта МТЗ силового трансформатора ГПП-35/10 кВ на стороне ВН (35 кВ):

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 47,6 = 83,8 \text{ A},$$

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot (23,8 + 1,6 \cdot 23,8) = 68,1 \text{ A}.$$

Принимается для МТЗ трансформатора на стороне ВН, $I_{c.3} = 83,6 \text{ A}$.

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора на стороне ВН удовлетворяет требованиям» [17]:

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{1070}{83,6} = 12,8 > 1,2.$$

Окончательно для МТЗ силового трансформатора принимается на стороне ВН $I_{c.3} = 860 \text{ A}$.

Так как селективность МТЗ обеспечивается подбором времени срабатывания (со стороны источника питания оно будет минимальное), принимается время срабатывания МТЗ силового трансформатора на стороне ВН, равное $t_{c.3} = 0,5 \text{ с}$.

Для комплекта МТЗ силового трансформатора ГПП-35/10 кВ на стороне НН (10 кВ):

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 524,4 = 922,9 \text{ A};$$

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot (262,2 + 1,6 \cdot 262,2) = 749,9 \text{ A}.$$

Принимается для МТЗ трансформатора на стороне НН, $I_{c.3} = 922,9 \text{ A}$.

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора на стороне НН удовлетворяет требованиям» [13]:

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{4000}{922,9} = 4,33 > 1,2.$$

«Окончательно принимается для МТЗ силового трансформатора на стороне НН $I_{c.з} = 922,9$ А, $t_{c.з} = 1,0$ с» [15].

В качестве газовой защиты силовых трансформаторов марки ТМН-10000/35, установленных на ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода, в работе используются усовершенствованные газовые реле типа РГТ-80 (производитель – ООО «ЕССО-Технолоджи», г. Чебоксары), которые зарекомендовали себя с положительной стороны и характеризуются высокой надёжностью и быстродействием [14].

Принцип действия газового реле для защиты силового трансформатора основан на контроле давления газа. Разогретые газы стремятся попасть в расширитель устройства, проходя через корпус реле. В случае слабого нагрева, давление газа будет нарастать постепенно и газовое реле даст предупреждающий сигнал, при этом не отключая силовой трансформатор. В случае интенсивного давления газа, которое свидетельствует о сильном разогреве, что, как правило, бывает связано с внутренним КЗ или явлением «пожара стали» магнитопровода, данное газовое реле отключает силовой трансформатор.

Выводы по разделу.

В разделе проведён выбор современных микропроцессорных блоков РЗиА для применения на ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода.

В результате проведения сравнительного анализа, для применения на подстанции выбрана модификация блока РЗиА марки БЭМП РУ [16], в которую входят основные релейные защиты силовых трансформаторов и линий ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода. Проведён расчёт уставок основных защит трансформаторов ГПП (дифференциальной защиты, защита от перегрузки, максимальной токовой защиты, газовой защиты).

Заключение

В результате выполнения работы проведена разработка проекта системы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор».

Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор», с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор»:

- для применения в РУ-35 кВ питающей ГПП – схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП – схема «Одна секционированная система шин»;
- для применения в распределительной сети 10 кВ – «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном режиме работы системы электроснабжения нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор».

На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор», на ГПП-35/10 кВ

объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора ТМН-10000/35.

Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор» (всего предусмотрено пять ЦТП).

Для питающих ВЛ-35 кВ принята марка инновационного провода АЕРО-Z - 148 с сечением токоведущей жилы 148 мм².

Для питания ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБл-10.

Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП СЭС нового производственного отделения ОАО «Липецкий трактор».

Проведён выбор современных микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики для применения на ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода.

В результате проведения сравнительного анализа, для применения на подстанции выбрана модификация блока РЗиА марки БЭМП РУ [16], в которую входят основные релейные защиты силовых трансформаторов и линий ГПП-35/10 кВ системы внешнего электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода.

Проведён расчёт уставок основных защит трансформаторов ГПП (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты, газовой защиты).

Таким образом, на основании проведённых расчётов установлено, что спроектированная система электроснабжения нового производственного отделения тракторного завода ОАО «Липецкий трактор» отвечает всем требуемым критериям по надёжности, бесперебойности обеспечения электроэнергией, электробезопасности и экономичности.

Список используемых источников

1. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 08.05.2023).
2. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 08.05.2023).
3. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
4. Линии с проводом АЕРО-Z. [Электронный ресурс]: URL: <https://domikelectrica.ru/linii-s-provodom-aero-z-7-preimushhestv/> (дата обращения: 08.05.2023).
5. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
6. ОАО «Липецкий трактор». [Электронный ресурс]: URL: http://www.avtomash.ru/pred/ltz/ltz_istori.htm (дата обращения: 08.05.2023).
7. ОАО «Липецкий трактор». [Электронный ресурс]: URL: <http://www.oao-ltz.ru/> (дата обращения: 08.05.2023).
8. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 08.05.2023).
9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.

10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.
11. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.
12. Рогалев Н.Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. Москва: МЭИ, 2020. 242 с.
13. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.
14. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.
15. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.
16. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
17. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
18. Типовые схемы РУ ПС 35-750 кВ. [Электронный ресурс]: URL: http://powersystem.info/index.php/%D0%A2%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D1%8B_%D0%A0%D0%A3_35-750_%D0%BA%D0%92 (дата обращения: 20.02.2023).
19. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. М.: Лань, 2019. 480 с.
20. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 136 с.