

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 станкостроительного завода

Обучающийся

В.С. Дрокин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В. С. Романов

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

Тольятти 2023

Аннотация

Цель работы – разработка проекта системы электроснабжения станкостроительного завода на примере предприятия АО «Северный пресс» (г. Санкт-Петербург), являющегося одним из флагманов отечественного станкостроения.

Для решения поставленных задач, в работе осуществлена разработка и обоснование следующих мероприятий: приведена краткая характеристика электрического хозяйства предприятия, произведён расчет электрических нагрузок, выбор числа и мощности трансформаторов, выбраны установки для компенсации реактивной мощности, произведён выбор сечений проводов и кабелей, рассчитана и построена картограмма и центр электрических нагрузок, осуществлена разработка схемы внешнего электроснабжения станкостроительного завода, произведён выбор трансформаторов собственных нужд, а также выбор и проверка электрических аппаратов для установки в схеме электроснабжения.

В процессе работы проведены экспериментальные исследования работы различных видов МП РЗА, все исследуемые устройства имеют незначительные дополнительные функции и основной набор основных видов защит.

Результатом работы является обоснование технических решений для внедрения в систему электроснабжения станкостроительного завода на примере предприятия АО «Северный пресс» (г. Санкт-Петербург), которые позволяют повысить надёжность, безотказность работы, экономичность передачи и распределения электроэнергии, а также условия электробезопасности.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	6
1.1 Краткая характеристика станкостроительного завода.....	6
1.2 Анализ исходных данных на проектирование.....	7
2 Проектирование системы электроснабжения станкостроительного завода	12
2.1 Обоснование схемных решений.....	12
2.2 Расчёт электрических нагрузок.....	14
2.3 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП.....	18
2.4 Выбор и проверка трансформаторов цеховых ТП внутренней системы электроснабжения.....	22
2.5 Компенсация реактивной мощности.....	23
2.6 Выбор и проверка проводников питающей воздушной линии 35 кВ ...	26
2.7 Выбор и проверка проводников распределительных кабельных линий 10 кВ.....	32
2.8 Расчёт картограммы силовых нагрузок.....	36
2.9 Выбор и проверка трансформаторов собственных нужд на ГПП.....	38
3 Расчёт токов короткого замыкания.....	42
4 Выбор и проверка электрических аппаратов.....	51
5 Расчёт релейной защиты системы электроснабжения станкостроительного завода.....	59
5.1 Расчёт релейной защиты трансформаторов ГПП.....	59
5.2 Расчёт релейной защиты вводных и секционных присоединений.....	63
Заключение.....	67
Список используемых источников.....	70

Введение

В работе рассмотрено проектирование системы электроснабжения станкостроительного завода. Известно, что развитие отечественного станкостроения, относящегося к машиностроительной промышленности, тесно связано с внедрением современных технологий в данном направлении.

В машиностроительной промышленности за последние десятилетия произошёл значительный технологический прорыв: появились новые современные энергосберегающие технологии, которые были реализованы в технологическом процессе и оборудовании, за счёт чего была увеличена прибыль и снижены затраты на энергоресурсы, ремонты и обслуживание оборудования. В связи с энергетическим кризисом и дефицитом ресурсов, приоритетом машиностроительной промышленности в целом, является уменьшение энергозатрат на производственные и собственные нужды, таким образом, повышая эффективность использования ресурсной базы.

В конечном итоге, это также приводит к повышению экономических показателей, в частности, к снижению стоимости производимой продукции и, как результат, повышению конкурентоспособности и ликвидности капиталовложений.

Одним из способов достижения желаемого эффекта является обеспечение качественного проектирования современных систем электроснабжения новых объектов машиностроения, а также модернизация и реконструкция систем электроснабжения существующих предприятий, что обуславливает актуальность и практическую ценность данной работы.

Цель работы и основная задача проводимых исследований – разработка качественного проекта системы электроснабжения станкостроительного завода на примере предприятия АО «Северный пресс» (г. Санкт-Петербург), являющегося одним из флагманов отечественного станкостроения.

Объектом исследования в данной работе является электрическая часть системы электроснабжения станкостроительного завода на примере

предприятия АО «Северный пресс» (г. Санкт-Петербург).

Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема электроснабжения объекта исследования, а также её составные части – питающая и распределительная сеть (силовые трансформаторы ГПП и цеховых ТП, электрические сети высокого и низкого напряжения, аппаратура распределительных устройств, устройства релейной защиты и автоматики).

Для решения поставленных задач, в работе осуществлена разработка и обоснование следующих мероприятий:

- приведена краткая характеристика электрического хозяйства предприятия,
- произведён расчет электрических нагрузок,
- осуществлён выбор числа и мощности трансформаторов,
- выбраны установки для компенсации реактивной мощности,
- произведён выбор сечений проводов и кабелей,
- рассчитана и построена картограмма и центр электрических нагрузок,
- осуществлена разработка схемы внешнего электроснабжения станкостроительного завода,
- произведён выбор трансформаторов собственных нужд,
- произведён выбор и проверка электрических аппаратов для установки в схеме электроснабжения.

Кроме того, в процессе работы проведены экспериментальные исследования работы различных видов МП РЗА, все исследуемые устройства имеют незначительные дополнительные функции и основной набор основных видов защит. Результатом работы является обоснование технических решений для внедрения в систему электроснабжения станкостроительного завода на примере предприятия АО «Северный пресс» (г. Санкт-Петербург), которые позволяют повысить надёжность, безотказность работы, экономичность передачи и распределения электроэнергии, а также условия электробезопасности.

Анализ исходных данных

Краткая характеристика станкостроительного завода

Рассматриваемый в работе станкостроительный завод АО «Северный пресс» (г. Санкт-Петербург), является одним из флагманов отечественного станкостроения.

АО «Северный пресс» территориально расположено в Ленинградской области, г. Санкт-Петербург, на ул. Таллинской, 7.

На сегодняшний день АО «Северный пресс» является одним из крупнейших станкостроительных предприятий страны.

Основным направлением производства на предприятии является изготовление и модернизация различного вида станков (токарных, фрезерных, шлифовальных и прочих).

Предприятие входит структуру АО «Концерн «Гранит-Электрон», в составе которого в 2018 году вошло в состав АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение».

Таким образом, на данном заводе также выпускается и сопутствующая продукция.

Завод состоит из трех основных участков: термопластавтоматов, каркасного и электроэлементов.

Участок термопластавтоматов позволяет изготавливать детали из термопластичных пластмасс на литьевых машинах (термопластавтоматах) с объемом впрыска от 2 см³ до 250 см³ методом литья под давлением. Перерабатываемые материалы: полистеролы, полиамианы, полипропилены, пластикаты, полиамиды. Сушка влагосодержащих пластмасс в установках инфракрасной сушки с постоянным перемешиванием.

Каркасный участок выполняет сварочные работы из любых металлов толщиной до 20 мм и длиной до 2-х метров, аргоно-дуговой сваркой и на полуавтомате в среде CO₂, любой сложности и конфигурации.

Участок электроэлементов позволяет изготавливать элементарную техническую базу для станков с ЧПУ (схемы управления, переключатели, выключатели, прочую электротехническую аппаратуру, применяемую для оборудования станков).

Помимо этого, на данном участке изготавливаются силовые, звуковые и импульсные трансформаторы мощностью от 2 Вт до 1 кВт.

При этом, по желанию заказчика, трансформаторы могут быть пропитаны лаками ФЛ-92 или МЛ-98, эпоксидными пропиточными компаундами (ЭПК), залиты заливочными компаундами (ЭЗК), покрашены эмалью ЭП-91, отмаркированы, укомплектованы крепежом.

Выводы трансформаторов могут быть, по желанию заказчика, как гибкими, так и в виде жестких лепестков.

Также изготавливаются прочие моточные изделия: катушки индуктивности, дроссели, соленоиды, нестандартные О-образные сердечники. Силовые трансформаторы изготавливаются на рабочие частоты 50 Гц, 400 Гц, 1000 Гц, 5000 Гц. Наконечники кабельные, латунные луженые, лепестки, прокладки резиновые и чашки металлические для трансформаторов, также входят в перечень производимой продукции.

Уставной капитал АО «Северный пресс» по состоянию на 1 января 2023 года составлял более 10 млрд. руб.

По состоянию на начало 2023 года, стоимость активов АО «Северный пресс» составляла более 200 млрд. руб. По состоянию на начало 2023 года, согласно данным из открытых источников, на предприятии АО «Северный пресс» работало около 200 человек.

Финансовая и организационная отчетность предприятия АО «Северный пресс», находящийся 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 налаживанию и восстановления логистических связей предприятия.

Анализ исходных данных на проектирование

Как было указано ранее, компания АО «Северный пресс» специализируется на производстве изделий и продукции станкостроения машиностроительной промышленности, а также прочих сопутствующих изделий и продукции.

В последнее время, в связи со значительным расширением производства при увеличении спроса на производимую продукцию, в структуре АО «Северный пресс» было принято выделить дополнительные частные компании, каждая из которых будет занята исключительно своим видом деятельности в сложной структуре производственного цикла.

К таким дочерним компаниям в структуре предприятия АО «Северный пресс» относятся:

- ООО «РеалСити» - основное производство комплектующих и сборка станков основных типов;
- ХБФ «Агафе» - транспортировка оборудования, изделий, организация работы с клиентами, логистика;
- ООО «Офисный центр» - организация продаж и маркетинга, работа с клиентами;
- ЗАО «Рестайл» - модернизация станков, включая станки с ЧПУ;
- ООО «Балтстройсервис» - строительство и ремонт помещений, сооружений, площадей и прочие строительные работы;
- ЗАО «Салют» - электрооборудование станков с ЧПУ, монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования;
- ЗАО «Аватар» - автоматика, сигнализация станков с ЧПУ;
- ЗАО «Актон» - производство комплектующих и сборка станков с ЧПУ;
- ООО «Балтийский технопарк» - техническая компания, занимающаяся грузоперевозками различного типа и направления, а также предоставляющая технику для различного вида работ;

- ЗАО «Континент» - работа с иностранными клиентами;
- ЗАО НПЦ «Акварин» - научно-производственный центр;
- ООО «АКВА-М» - дизайнерское оформление продукции и товаров всех видов.

Также на территории АО «Северный пресс» есть мастерские и прочие хозяйственно-технические помещения, обеспечивающие процесс производства.

Электроснабжение завода осуществляется от существующей подстанции ПС-110/35/10 кВ (ПС-184).

ПС-110/35/10 кВ находится на расстоянии 3260 м от станкостроительного завода.

Она питает главную понизительную подстанцию (ГПП) станкостроительного завода.

От РУ-10 кВ ГПП электрическая энергия распределяется на цеховые понизительные подстанции.

В РУ-10кВ ГПП расположено следующее основное оборудование, которое устарело и требует модернизации:

- сборные камеры одностороннего обслуживания типа КСО-212;
- масляные выключателями типа ВМГ-10 с приводом ПП-67;
- устройства релейной защиты электромеханического типа;
- трансформаторы тока типа ТПЛ-10;
- линейные разъединители РВФЗ-10;
- трансформаторы тока нулевой последовательности ТЗРЛ.

Согласно [10], степень надежности электроснабжения, рассматриваемого предприятия относятся к второй категории [2], также на предприятии имеются электропотребители, которые относятся к первой категории электроснабжения.

Для обеспечения питанием потребителей первой категории при потере напряжения, к цеховой ТП-1 подключены две дизельгенераторные установки.

На цеховых ТП-1, ТП-3, ТП-4 для компенсации реактивной мощности

установлены автоматические компенсирующие устройства.

В результате анализа системы электроснабжения выявлено, что на предприятии установлены две двухтрансформаторные и две трехтрансформаторные подстанции, оборудование РУ-10 кВ ГПП морально устарело и требует модернизации.

Поэтому в рамках работы необходимо принять обоснованные решения по модернизации оборудования системы электроснабжения объекта, с обоснованием принятых решений.

Выводы по разделу.

В работе было приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» (г. Санкт-Петербург), который является одним из флагманов отечественного станкостроения.

Обусловлена актуальность выбора темы, с последующим анализом технических данных нагрузки потребителей.

Приведён комплекс основных задач, который требуется решить в работе для достижения поставленной цели.

Проведено описание существующей системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» с указанием проблем, которые имеют место и требуют решения в работе (в частности, модернизации оборудования питающей сети предприятия, в частности – главной понизительной подстанции объекта проектирования).

Установлено, что для достижения основной цели, в работе необходимо решить следующие поставленные задачи:

- провести детальную проверку и обоснование решений по проектированию внешней и внутренней системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс»;
- модернизировать оборудование питающей сети внешней части системы электроснабжения предприятия (в частности – главной

понижительной подстанции объекта проектирования), для чего выбрать и проверить новые кабельные линии, электрические аппараты и устройства релейной защиты и автоматики для установки во всей системе электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс». Такая модернизация является частичной и не предусматривает внесение изменений в существующую схему электроснабжения.

Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», с внедрением основных групп мероприятий по проектированию и разработке надёжной и экономичной схемы с учётом модернизации оборудования, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

Поставленные основные задачи решаются в работе далее с применением перспективных технических решений и современных расчётных методик.

Все полученные выводы должны быть обоснованы результатами расчётов.

Проектирование системы электроснабжения станкостроительного завода

Обоснование схемных решений

В системе электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» преобладают потребители II-й категории по надежности электроснабжения, поэтому электроснабжение завода осуществляется по двухцепной ЛЭП с установкой на ГПП двух трансформаторов.

Согласно [5], выбирается схема двух блоков трансформатор – линия, которые для большей гибкости соединены неавтоматической перемычкой из двух разъединителей.

В нормальном режиме один из разъединителей перемычки должен быть разомкнут, обеспечивая, таким образом, включение в работу оперативного резерва.

Основным достоинством схемы является простота, экономичность и надежность.

В цепях силовых трансформаторов ГПП устанавливаются выключатели и разъединители.

Таким образом, для схемы внешнего электроснабжения ГПП, принимается схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

Данная схема ВН ГПП выполнена с резервированием при двух силовых трансформаторах, при этом сама ГПП-тупиковая.

Указанная схема подходит по всем критериям и параметрам для установки на стороне ВН ГПП станкостроительного завода АО «Северный пресс».

На основании проведенного анализа, составляется структурная схема ГПП внешней системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» (рисунок 1) [1].

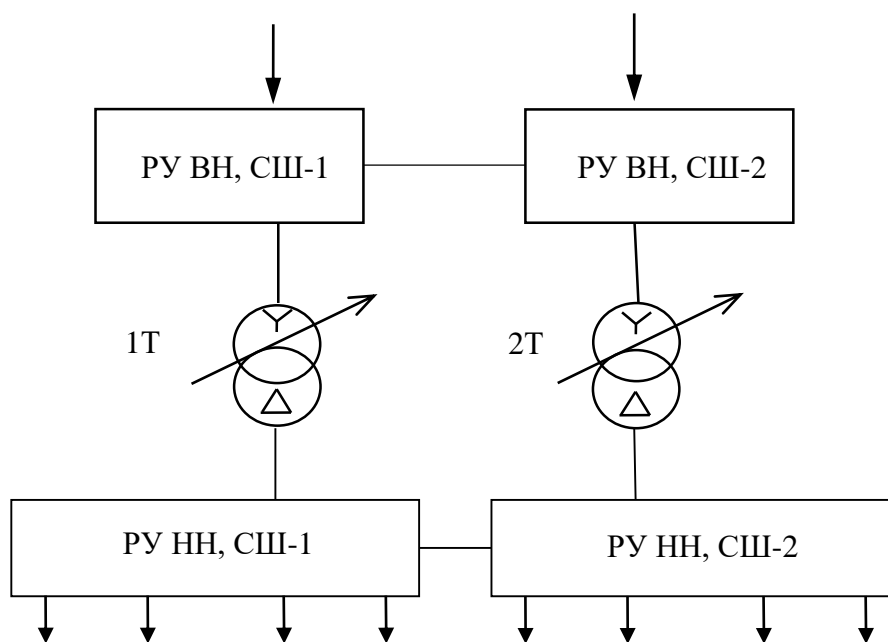


Рисунок 1 – Структурная схема ГПП системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс»

Выбор номинального высшего напряжения структурной схемы внешнего электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», осуществляется в работе далее при на основе технико-экономического обоснования при выборе трансформаторов ГПП.

Для низшего напряжения структурной схемы внешнего электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», принимается номинальное напряжение 10 кВ.

Для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин» [4,20]. Секционный выключатель в нормальном режиме работы схемы РУ-10 кВ отключён, режим работы – раздельный.

От шин РУ-10 кВ ГПП схемы внешнего электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», получают питание цеховые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ.

Всего в исходной схеме предусмотрено четыре цеховых подстанции 10/0,4 кВ (ЦТП-10/0,4 кВ): две – двухтрансформаторные, две – трёхтрансформаторные.

Для их питания от РУ-10 кВ ГПП, исходя из заявленной категории надёжности потребителей, применения наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)» [4,20].

Такая схема наиболее проста в исполнении и обладает наиболее высокой надёжностью, простотой монтажа, отстройки уставок РЗА и подходит для питания ответственных потребителей.

Для применения на двухтрансформаторных ЦТП-10/0,4 кВ, 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 станкостроительного завода АО «Северный пресс» отвечают требованиям нормативных документов и принимаются к использованию на объекте проектирования.

Расчёт электрических нагрузок

Далее в работе, для достижения поставленной цели, необходимо провести расчёт электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», 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. Наиболее оптимальным методом при расчёте значений электрических нагрузок, является метод коэффициента спроса, который учитывает, насколько загружены производственные мощности предприятия в зависимости от его группы принадлежности [8]. Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения станкостроительного завода является установленная номинальная нагрузка

потребителей, $P_{уст}$, которая принимается равной расчётной активной нагрузке с учётом коэффициента спроса, показывающий, насколько рационально используется электроэнергия в системе электроснабжения объекта [8].

По известному числу и мощности электроприёмников на заданном напряжении, определяется значения активной нагрузки потребителей электрической части системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» в максимальном режиме работы системы (по фактическим данным нагрузок объекта):

$$P_P = n \cdot P_{НОМ} \cdot K_C, \quad (1)$$

где n – количество однотипных электроприёмников, шт.;

P_n – «значение суммарной номинальной активной нагрузки, кВт» [8];

K_c – «справочное значение коэффициента спроса» [8].

Полная нагрузка электроприемников:

$$S_P = \frac{P_P}{\cos \varphi}. \quad (2)$$

Реактивная составляющая нагрузки электроприёмников:

$$Q_P = \sqrt{S_P^2 - P_P^2}. \quad (3)$$

Активные и реактивные составляющие группы электроприёмников:

$$P_{P,\Sigma} = \sum P_P. \quad (4)$$

$$Q_{P,\Sigma} = \sum Q_P. \quad (5)$$

Полная суммарная нагрузка группы электроприёмников:

$$S_{P,\Sigma} = \sqrt{P_{P,\Sigma}^2 + Q_{P,\Sigma}^2} \quad (6)$$

Групповой коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P_P}{S_P} \quad (7)$$

Результаты расчёта электрических нагрузок цеховых ТП1-ТП4 системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» представлены, соответственно, в таблицах 1-4.

Таблица 1 – Результаты расчета электрических нагрузок ТП-1

Наименование потребителя	$P_{НОМ},$ кВт	K_C	$tg\varphi$	$P_P, \text{кВт}$	$Q_P,$ квар	$S_P, \text{кВА}$
1 секция шин						
ООО «РеалСити», к.27	150	0,75	1,02	112,50	114,75	160,70
ООО «РеалСити», склад	40	0,30	1,12	12,00	13,44	18,02
ООО «Офисный центр», к.12	150	0,75	1,02	112,50	114,75	160,70
ООО «РеалСити», к.17	150	0,75	1,02	112,50	114,75	160,70
СМП	250	0,50	0,88	125,00	110,00	166,51
Гальванический участок	250	0,50	0,62	125,00	77,50	147,08
Котельная ЧПУ-3	250	0,60	0,75	150,00	112,50	187,50
Всего по 1 секции шин	1240	-	-	749,50	657,69	997,15
2 секция шин						
ХБФ «Агафе»	50	0,75	1,02	37,50	38,25	53,57
ООО "Офисный центр" к.12	50	0,75	1,02	37,50	38,25	53,57
ООО «РеалСити», к.27	100	0,75	1,02	75,00	76,50	107,13
ЗАО «Рестайл», к.26	300	0,75	1,02	225,00	229,50	321,40
ЗАО «Рестайл», к.3, 4, 14	250	0,75	1,02	187,50	191,25	267,83
Цех 31	150	0,35	1,02	52,50	53,55	74,99
Центр МЭТ	200	0,50	0,88	100,00	88,00	133,21
Всего по 2 секции шин	1100	-	-	715,00	715,30	1011,37
3 секция шин						
Центр МЭТ	250	0,50	0,88	125,00	110,00	166,51
ООО «Офисный центр», к.12	100	0,75	1,02	75,00	76,50	107,13
ЗАО «Рестайл», к.14	300	0,75	1,02	225,00	229,50	321,40
Гальванический участок	250	0,50	0,62	125,00	77,50	147,08
Заготовительный участок	200	0,30	1,17	60,00	70,20	92,35
Токарный участок	150	0,40	1,33	60,00	79,80	99,84
Прессовочный участок	200	0,40	0,88	80,00	70,40	106,57
Всего по 3 секции шин	1450	-	-	720,00	713,90	1013,93

Таблица 2 – Результаты расчета электрических нагрузок ТП-2

Наименование потребителя	$P_{НОМ},$ кВт	K_C	$tg\varphi$	$P_P,$ кВт	$Q_P,$ квар	$S_P,$ кВА
1 секция шин						
ЩСН ввод №1	50	0,50	1,02	25,00	25,50	35,71
Корпус 28	250	0,35	1,02	87,50	89,25	124,99
ЗАО «Рестайл», к.3, 4	400	0,45	1,02	180,00	183,60	257,12
ГРЩ	250	0,40	1,02	100,00	102,00	142,84
ООО «Балтстройсервис», к. 7	120	0,75	1,02	90,00	91,80	128,56
Всего по 1 секции шин	1070	-	-	482,50	492,15	689,22
2 секция шин						
Корпус 1	150	0,35	1,02	52,50	53,55	74,99
ЗАО «Рестайл», к. 14	200	0,50	1,02	100,00	102,00	142,84
ООО «Балтстройсервис», к. 7	120	0,30	1,02	36,00	36,72	51,42
Котельная к. 1	150	0,60	0,75	90,00	67,50	112,50
Корпус 1 ГРЩ	200	0,40	1,02	80,00	81,60	114,27
ЩСН ввод №2	50	0,50	1,02	25,00	25,50	35,71
Корпус 15	75	0,35	1,02	26,25	26,78	37,50
Теплоцентр	50	0,50	1,02	25,00	25,50	35,71
ЗАО «Салют»	100	0,40	0,75	40,00	30,00	50,00
ЗАО «Аватар»	100	0,40	0,75	40,00	30,00	50,00
Всего по 2 секции шин	1195	-	-	514,75	470,15	697,14

Таблица 3 – Результаты расчета электрических нагрузок ТП-3

Наименование потребителя	$P_{НОМ},$ кВт	K_C	$tg\varphi$	$P_P,$ кВт	$Q_P,$ квар	$S_P,$ кВА
1 секция шин						
ЩСН ввод №1	35	0,50	1,02	17,50	17,85	25,00
ЗАО «Актон», щитовая, к. №2	250	0,60	1,02	150,00	153,00	214,26
Волновой участок	400	0,75	0,88	300,00	264,00	399,62
Сварочный участок	150	0,35	0,88	52,50	46,20	69,93
Механический участок	250	0,30	1,33	75,00	99,75	124,80
Котельная	200	0,60	0,75	120,00	90,00	150,00
Компрессорная	200	0,60	1,02	120,00	122,40	171,41
Всего по 1 секции шин	1485,00	-	-	835,00	793,2	1151,69
2 секция шин						
3-ий стендовый участок	250	0,35	0,88	87,50	77,00	116,56
Участок 91	250	0,35	0,88	87,50	77,00	116,56
ЗАО «Рестайл», к.29	400	0,70	1,02	280,00	285,60	399,96
ЩСН ввод №2	35	0,50	1,02	17,50	17,85	25,00
Механический участок	250	0,30	1,33	75,00	99,75	124,80
Термический участок	250	0,50	1,13	125,00	141,25	188,62
Приточно-вытяжная вентиляция	100	0,30	1,33	30,00	39,90	49,92
Всего по 2 секции шин	1535,00	-	-	802,50	838,35	1160,53
3 секция шин						
ООО «Балтийский технопарк», к. 8, 9	900	0,50	1,02	450,00	459,00	642,79
ООО «Р1»	250	0,75	1,02	187,50	191,25	267,83
Механический участок	250	0,30	1,33	75,00	99,75	124,80

Продолжение таблицы 3

Наименование потребителя	$P_{НОМ}$, кВт	K_C	$tg\varphi$	P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
Стендовый участок	250	0,35	0,88	87,50	77,00	116,56
Сварочный участок	150	0,35	0,88	52,50	46,20	69,93
Всего по 3 секции шин	1800,00	-	-	828,50	873,20	1203,70

Таблица 4 – Результаты расчета электрических нагрузок ТП-4

Наименование потребителя	$P_{НОМ}$, кВт	K_C	$tg\varphi$	P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
1 секция шин						
ВРУ к.13	150	0,35	0,88	52,50	46,20	69,93
ЗАО «Континент», к.13	250	0,35	0,88	87,50	77,00	116,56
ЩСН ввод №2	10	0,70	1,02	7,00	7,14	10,00
Корпус 11	250	0,50	1,02	125,00	127,50	178,55
ЗАО НПЦ «Аквамарин», к.19	600	0,30	0,88	180,00	158,40	239,77
ЗАО «Континент» к.11	200	0,50	1,13	100,00	113,00	150,89
ЗАО НПЦ «Аквамарин», к.22	10	0,30	0,88	3,00	2,64	4,00
ЗАО НПЦ «Аквамарин», к.18	100	0,30	0,88	30,00	26,40	39,96
ЗАО НПЦ «Аквамарин», к.10	350	0,30	0,88	105,00	92,40	139,87
АКУ	-	-	-	-	-800,00	-
Всего по 1 секции шин	1920,00	-	-	690,00	650,68	948,41
2 секция шин						
ЗАО НПЦ «Аквамарин», к.19	150	0,35	1,02	52,50	53,55	74,99
Корпус 11	200	0,35	1,02	70,00	71,40	99,99
ЩСН ввод №1	10	0,70	1,02	7,00	7,14	10,00
ООО «АКВА-М»	200	0,35	0,88	70,00	61,60	93,24
Корпус 19	300	0,35	0,88	105,00	92,40	139,87
ЗАО «Континент», к. 11	300	0,40	1,13	120,00	135,60	181,07
ЗАО «Континент», к. 13	200	0,40	1,13	80,00	90,40	120,72
ЗАО НПЦ «Аквамарин», к.10	700	0,30	0,88	210,00	184,80	279,73
АКУ	-	-	-	-	-800,00	-
Всего по 2 секции шин	2060,00	-	-	694,50	696,89	983,29

На основе полученных расчётных значений электрических нагрузок, далее в работе проводятся мероприятия по выбору основного оборудования в проектируемой системе электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс».

Расчёты согласуются с полученными данными нагрузок по каждой из ЦТП завода.

Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП

Ранее в работе было обосновано применение класса низшего напряжения 10 кВ для питающей ГПП системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс».

В данном разделе проводится обоснование и выбор высшего класса напряжения для применения на питающей ГПП системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», с последующим выбором марки силовых трансформаторов на ГПП.

Как было указано ранее, на главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ системе электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», в связи с наличием значительной группы потребителей, относящихся к 1 и 2 категории надёжности, рекомендовано установить два силовых трансформатора. Электроснабжение станкостроительного завода АО «Северный пресс» может осуществляться от ПС 110/35/10кВ.

Для определения экономической целесообразности величины внешнего напряжения воспользуемся формулой Илларионова:

$$U_{\text{рац.}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l} + \frac{2500}{P_{\text{оц}}}}, \text{ кВ}, \quad (8)$$

где $P_{\text{оц}}$ - мощность одной цепи.

l - расстояние от источника питания.

Для высшего напряжения ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс»:

$$U_{\text{рац.}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{3,26} + \frac{2500}{7,006/2}}} = 33,94 \text{ кВ}.$$

Таким образом, установлено, что в качестве высшего напряжения для питания ГПП станкостроительного завода, целесообразно принять номинальное напряжение 35 кВ.

Учитывая полученные значения показателей и технических данных, полученных в результате расчёта нагрузки потребителей системе электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», проводится расчётная проверка мощности новых трансформаторов на ГПП предприятия.

С учётом систематических нагрузок, а также вероятности послеаварийных перегрузок в системе электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», расчётная мощность трансформатора на питающей заводской ГПП-35/10 кВ определяется из соотношения [10]:

$$S_{ном.} = \frac{S_{р.}}{n \cdot k_3}, \text{ кВА}, \quad (9)$$

где k_3 – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов на подстанциях;

n – количество трансформаторов, шт. [11].

Исходя из условия (9), расчётная мощность трансформатора для применения на ГПП в системе электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс»:

$$S_{ном.} = \frac{7277,11}{2 \cdot 0,70} = 5197,94 \text{ кВА}.$$

Исходя из номинального ряда мощностей для силовых трансформаторов, для установки на ГПП-35/10 кВ в системе

электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», предварительно выбираются два силовых трансформатора ТМН-6300/35 с высшим напряжением 35 кВ и низшим напряжением 10 кВ [14].

Известно, что силовой трансформатор на подстанции в нормальном режиме должен работать с коэффициентом загрузки, не превышающим значение 0,7.

Это условие выражается так [15]:

$$K_{3.H} = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,65. \quad (10)$$

Таким образом, коэффициент загрузки трансформатора подстанции ГПП в системе электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» в нормальном режиме не превышает предельно установленные значения:

$$K_{3.H} = \frac{7277,11}{2 \cdot 6300} = 0,58 \leq 0,65.$$

Осуществляется проверка этого же трансформатора ГПП-35/10 кВ в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ в случае выхода в аварийный режим второй питающей линии или второго трансформатора ГПП, по каким-либо причинам [11].

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]:

$$K_{3.A} = \frac{S_P}{S_{ном}} \leq 1,35. \quad (11)$$

Коэффициент загрузки трансформатора ГПП-35/10 кВ в системе электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» в послеаварийном режиме также удовлетворяет условию:

$$K_{3.A} = \frac{7277,11}{6300} = 1,16 \leq 1,35.$$

Таким образом, в работе расчётным путём установлено, что для питания внешней системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», на ГПП-35/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/35).

Выбор и проверка трансформаторов цеховых ТП внутренней системы электроснабжения

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций (ЦТП-10/0,4 кВ) внутренней СЭС АО «Северный пресс», с учётом схемы электрических соединений объекта проектирования, а также подключения нагрузки в питающей сети 10 кВ и распределительной сети 0,38/0,22 кВ.

Число трансформаторов выбирается в зависимости от категории надёжности электроснабжения потребителей.

Для электроснабжения потребителей II категории надёжности должно быть предусмотрено два независимых источника питания, т. е. на питающей подстанции должно быть установлено два силовых трансформатора.

Согласно правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей, допускается перегрузка маслонаполненных трансформаторов на 30% в течении 120 минут, на 45% в течение 80 минут, на 65% в течение 45 минут [2].

Мощность силовых трансформаторов должна быть выбрана с учетом

максимальной расчётной нагрузки предприятия при рабочем режиме с учетом нагрузки при обеспечении аварийного резерва.

Минимальная мощность трансформатора для установки на ЦТП-10/0,4 кВ станкостроительного завода АО «Северный пресс» определяется по формуле:

$$S_{тр-ра} = \frac{P_p}{N \cdot k_{загр}}, \quad (12)$$

где $k_{загр}$ – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов на цеховых подстанциях 6(10)/0,4 кВ.

Результаты выбора силовых трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ (по секциям сборных шин, которые они питают) внутренней СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс», представлены в работе в форме таблицы 5.

Таблица 5 – Выбор силовых трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс»

Наименование объекта	$U_{тр.ном},$ кВ	$K_{з.норм}$	$P_{нагр},$ кВт	$S_{т.мин},$ кВА	$S_{т.ном},$ кВА	Тип трансформатора
ТП-1 1с.ш.	10/0,4	0,80	749,50	936,88	1000	ТМГ-1000/10
ТП-1 2с.ш.	10/0,4	0,80	715,00	893,75	1000	ТМГ-1000/10
ТП-1 3с.ш.	10/0,4	0,80	720,00	937,50	1000	ТМГ-1000/10
ТП-2 1с.ш.	10/0,4	0,70	482,50	689,29	1000	ТМГ-1000/10
ТП-2 2с.ш.	10/0,4	0,70	514,75	735,35	1000	ТМГ-1000/10
ТП-3 1с.ш.	10/0,4	0,85	835,00	982,35	1000	ТМГ-1000/10
ТП-3 2с.ш.	10/0,4	0,85	802,50	826,47	1000	ТМГ-1000/10
ТП-3 3с.ш.	10/0,4	0,85	828,50	982,94	1000	ТМГ-1000/10
ТП-4 1с.ш.	10/0,4	0,70	690,00	985,71	1000	ТМГ-1000/10
ТП-4 2с.ш.	10/0,4	0,70	694,50	920,72	1000	ТМГ-1000/10

Таким образом, расчётным путём установлено, что на всех ЦТП-10/0,4 кВ целесообразно установить силовые трансформаторы марки ТМГ-1000/10.

Характеристики выбранных силовых трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ станкостроительного завода используются при расчётах далее.

Компенсация реактивной мощности

После выбора мощности трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ, необходимо произвести компенсацию реактивной мощности, целесообразно определять мощность конденсаторных батарей отдельно для каждой секции шин.

$$Q_{БК} = Q_{p.шн} - \sqrt{(k_z \cdot S_{ном.тр.})^2 - P_{p.шн}^2}. \quad (13)$$

Для 1 СШ ТП-1:

$$Q_{БК} = 793,2 - \sqrt{(0,8 \cdot 1000)^2 - (749,50)^2} = 513,47 \text{ кВар}$$

Таким образом, установлено, что компенсация реактивной составляющей 1 СШ ТП-1 не требуется. Выбор устройств компенсации реактивной мощности остальных цеховых ТП-10/0,4 кВ, сведен в таблицу 6.

Таблица 6 – Выбор устройств компенсации реактивной мощности на ЦТП-10/0,4 кВ

Номер ТП	$S_{ном}, \text{кВА}$	$K_{Зном}$	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$Q_{БК}, \text{квар}$	Кол-во и марка НБК	Фактическая мощность, квар
ТП-1 1СШ	1000	0,80	749,50	657,69	377,96	УКРМ-0,4-420-30 У3	420
ТП-1 2СШ	1000	0,80	715,00	715,30	356,45	УКРМ-0,4-420-30 У3	420
ТП-1 3СШ	1000	0,80	720,00	713,90	365,19	УКРМ-0,4-420-30 У3	420
ТП-2 1СШ	1000	0,70	482,50	492,15	-14,99	-	-
ТП-2 2СШ	1000	0,70	514,75	470,15	-4,23	-	-
ТП-3 1СШ	1000	0,85	835,00	793,20	634,22	УКРМ-0,4-825-82,5 У3	825
ТП-3 2СШ	1000	0,85	802,50	838,35	558,18	УКРМ-0,4-825-82,5 У3	825

Продолжение таблицы 6

ТП-3 3СШ	1000	0,85	828,50	873,20	683,23	УКРМ-0,4-825-82,5 У3	825
ТП-4 1СШ	1000	0,70	690,00	650,68	532,78	УКРМ-0,4-675-67,5 У3	675
ТП-4 2СШ	1000	0,70	694,50	696,08	608,50	УКРМ-0,4-675-67,5 У3	675

Коэффициент загрузки силовых трансформаторов ЦТП после КРМ:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном.т}}. \quad (14)$$

Потери мощности в силовых трансформаторах ЦТП-10/0,4 кВ можно определить по формулам, приведённым ниже.

Потери активной мощности в трансформаторах ЦТП-10/0,4 кВ:

$$\Delta P = \Delta P_k \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_x. \quad (15)$$

Потери реактивной мощности в трансформаторах ЦТП-10/0,4 кВ:

$$\Delta Q = \frac{S_{ном.т}}{100} \cdot (U_k \cdot K_3^2 + I_x). \quad (16)$$

Результаты расчета потерь мощности и коэффициентов загрузки трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчета потерь мощности и коэффициентов загрузки трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ

Наименование объекта	Тип трансформатора	K_3	$K_{з.п/а}$	ΔP	ΔQ	S_Σ
ТП-1 1с.ш.	ТМГ-1000	0,79	0,79	8,28	46,00	46,74
ТП-1 2с.ш.	ТМГ-1000	0,77	0,77	8,06	44,91	45,63
ТП-1 3с.ш.	ТМГ-1000	0,78	0,78	8,13	45,26	45,99
ТП-2 1с.ш.	ТМГ-1000	0,69	1,38	6,73	38,13	38,72
ТП-2 2с.ш.	ТМГ-1000	0,70	1,40	6,85	38,73	39,33

Продолжение таблицы 7

Наименование объекта	Тип трансформатора	K_3	$K_{3.П/А}$	ΔP	ΔQ	S_{Σ}
ТП-3 1с.ш.	ТМГ-1000	0,84	0,84	9,14	50,40	51,23
ТП-3 2с.ш.	ТМГ-1000	0,80	0,80	8,56	47,43	48,20
ТП-3 3с.ш.	ТМГ-1000	0,83	0,83	9,04	49,88	50,69
ТП-4 1с.ш.	ТМГ-1000	0,69	1,38	6,75	38,22	38,81
ТП-4 2с.ш.	ТМГ-1000	0,69	1,38	6,81	38,55	39,15

Коэффициент загрузки трансформаторов не превышает максимально допустимое значение, потери мощности – допустимы, следовательно, выбранные типы трансформаторов удовлетворяют всем требованиям.

Выбор и проверка проводников питающей воздушной линии 35 кВ

Далее в работе необходимо провести выбор и проверочный расчёт проводников СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс».

В работе в системе электроснабжения АО «Северный пресс», выбору подлежат проводники воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ (питающие воздушные линии от подстанции энергосистемы ПС-110/35/10 кВ к силовым трансформаторам ГПП) и 10 кВ (отходящие кабельные линии от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ к цеховым ТП-10/0,4 кВ). Все проводники в системе внешнего электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» – 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 станкостроительного завода АО «Северный пресс», осуществляется по известному условию экономической плотности тока [11]:

$$S_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (17)$$

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

При двух цепях питающей воздушной линии 35 кВ (ВЛ-35 кВ), расчетное значение рабочего тока нормального режима для каждой цепи определяется так [19]:

$$I_{расч.} = \frac{n_{тр} \cdot S_{тр.ГПП}}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}, A, \quad (18)$$

где $S_{тр.ГПП}$ – номинальная мощность силового трансформатора ГПП-35/10 кВ станкостроительного завода, который питает данная ВЛ-35 кВ, кВА.

Расчетное значение рабочего тока послеаварийного режима с учётом того, что вся мощность будет передана по одной цепи ВЛ-35 кВ [19]:

$$I_{расч.н / ав} = \frac{n_{тр} \cdot S_{тр.ГПП}}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}, A. \quad (19)$$

После выбора проводников воздушных и кабельных линий СЭС АО «Северный пресс», необходимо провести их проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах работы.

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс» в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{дон} \geq I_{расч.}, \quad (20)$$

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

Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс» в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{доп} \geq I_{расч.н/ав}, \quad (21)$$

где $I_{расч.н/ав}$ – максимальный расчётный 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:

$$S_{ст} \geq S_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (22)$$

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 станкостроительного завода АО «Северный пресс».

Питание ГПП-35/10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс» от источника питания, осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи с применением провода марки АС.

В работе, для большей надёжности функционирования воздушных линий, с учетом климата Ленинградской области, для установки на новой питающей ВЛ-35 кВ, выбирается уникальный по своей конструкции компактный провод марки «HVCRC» [7].

Такой провод отличается от своих аналогов повышенной прочностью и пропускной способностью, а также высокой степенью устойчивости к гололедообразованию [7].

Кроме того, применение проводов HVCRC на воздушных линиях электропередачи, позволяет уменьшить тепловыделение практически в два раза, за счёт конфигурации провода и значительно меньших удельных сопротивлений.

Таким образом, установлено, что применением инновационных проводов марки HVCRC на ВЛ-35 кВ для питания внешней системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», является обоснованным.

Внешний вид и конструкция основных модификаций инновационных композитных проводов марки HVCRC для применения на высоковольтных линиях напряжением 35-550 кВ, представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид и конструкция основных модификаций инновационных композитных проводов марки HVCRC для применения на высоковольтных линиях напряжением 35-550 кВ

Ток нормального режима для питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс»:

$$I_{расч.} = \frac{2 \cdot 6300}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 104,05 \text{ А.}$$

Ток послеаварийного режима для питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС АО «Северный пресс»:

$$I_{расч.п / ав} = \frac{2 \cdot 6300}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 208,09 \text{ А.}$$

Расчётное сечение питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС АО «Северный пресс» по условию экономической плотности тока:

$$S_э = \frac{104,05}{1,0} = 104,5 \text{ мм}^2.$$

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

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», выбирается для питающих ВЛ-35 кВ провод марки НVCRC - 148 с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 450 \text{ А}$.

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

$$450 \text{ А} \geq 104,05 \text{ А.}$$

Условия проверки выполняются.

Проверка предварительно выбранного провода марки HVCRC - 148 для воздушной линии 35 кВ по максимальному рабочему току ПАВ режима:

$$450 A \geq 208,09 A.$$

Условие проверки выполняется.

Значит, в данной работе, исходя из перечисленных условий, с учётом климатических данных, а также таблиц и диаграмм, приведённых в разделе 3 [10], минимальные сечения проводов воздушных линий 35 кВ находятся на уровне не менее 35 мм².

Проверка предварительно выбранного провода марки HVCRC - 148 для питающей воздушной линии 35 кВ по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам выполняется:

$$148 \text{ мм}^2 \geq 35 \text{ мм}^2.$$

По условию возникновения короны проверяются воздушные линии напряжением от 110 кВ и выше [17].

Условия проверок выполняются, следовательно, данный провод марки HVCRC - 148 полностью удовлетворяет всем условиям выбора и проверки, и подходит в качестве провода для питающей линии 35 кВ к трансформаторам главной понизительной подстанции проектируемой системы электроснабжения станкостроительного завода.

Окончательно для применения на питающей двухцепной ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ станкостроительного завода, в работе выбран современный провод марки HVCRC - 148 с сечением токоведущей жилы – 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 450 A$.

2.7 Выбор и проверка проводников распределительных кабельных линий 10 кВ

Далее в работе необходимо провести выбор и проверочный расчёт проводников распределительных кабельных линий 10 кВ (отходящие кабельные линии от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ к цеховым ТП-10/0,4 кВ). Их выбор проводится по экономической плотности тока аналогично выбранному ранее сечению провода питающей ВЛ-35 кВ СЭС станкостроительного завода.

В работе распределительная сеть напряжением 10 кВ выполняется силовыми кабелями современного типа, с изоляцией со сшитого полиэтилена, марки АСШв-10(3×50), при прокладке в траншеях.

Расстояние между кабелями при прокладке в траншее принимается равным 200 мм.

При этом резервирование линий 10 кВ, отходящих к потребителям, также должны быть учтены при расчёте.

Данное резервирование осуществляется через секционный выключатель в РУ-10 кВ подстанции [21].

Также скрытые кабельные линии, в отличие от воздушных, не подлежат проверке по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам.

Расчетное значение тока можно определить по величине активной или полной расчетной мощности:

$$I_{РАСЧ} = \frac{P_P}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, A. \quad (23)$$

Выбор сечения провода или кабеля по нагреву:

$$I_{РАСЧ} \leq I_{ДОП}. \quad (24)$$

Для данного значения K_{nn} и $t_M = 1$ ч коэффициент допустимой перегрузки в послеаварийном режиме $K_{ав} = 1,5$.

Проверка по условию длительного нагрева в послеаварийном режиме сводится к проверке выполнения условия:

$$K_{ав} \cdot I_{доп} \geq I_{p.ав} \quad (25)$$

Кабели прокладываются в траншеях, расстояние между кабелями примем равным 200 мм. Проверка кабелей на падение напряжения в кабельных линиях проводится по формуле:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P \cdot \frac{r_0 \cdot l}{N} + Q \cdot \frac{x_0 \cdot l}{N}}{U^2} \quad (26)$$

Допустимое отклонение напряжения на конце кабеля – 5%. Результаты расчетов токов и выбора сечений кабельных линий станкостроительного завода АО «Северный пресс», сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Выбор сечений кабелей распределительной сети 10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс»

Наименование потребителя	$U_{НОМ}$ кВ	L , км	$S_{РАСЧ}$ кВА	$I_{РАСЧ}$ А	$I_{АВ}$ А	$J_{ЭК}$ А/мм ²	$F_{ЭК}$ мм ²	Марка	$I_{ДОП}$	$I_{ДОП.АВ}$
ТП-1 1с.ш.	10	0,040	792,56	45,81	92,49	1,2	38,18	АСШВ-10(3х50)	85,54	111,20
ТП-1 2с.ш.	10	0,035	781,43	45,17	92,49	1,2	37,64	АСШВ-10(3х50)	85,54	111,20
ТП-1 3с.ш.	10	0,030	813,04	47,00	92,49	1,2	39,16	АСШВ-10(3х50)	85,54	111,20
ТП-2 1с.ш.	10	0,030	689,22	39,84	80,49	1,2	33,20	АСШВ-10(3х50)	85,54	111,20
ТП-2 2с.ш.	10	0,035	703,24	40,65	80,49	1,2	33,87	АСШВ-10(3х50)	85,54	111,20
ТП-3 1с.ш.	10	0,040	835,00	48,27	92,49	1,2	40,22	АСШВ-10(3х50)	85,54	111,20
ТП-3 2с.ш.	10	0,028	702,50	40,61	92,49	1,2	33,84	АСШВ-10(3х50)	85,54	111,20

Продолжение таблицы 8

Наименование потребителя	$U_{НОМ}$ кВ	L , км	$S_{РАСЧ}$ кВА	$I_{РАСЧ}$ А	$I_{АВ}$ А	$J_{ЭК}$ А/мм ²	$F_{ЭК}$ мм ²	Марка	$I_{ДОП}$	$I_{ДОП.АВ}$
ТП-3 3с.ш.	10	0,045	855,64	49,46	92,49	1,2	41,22	АСШВ-10(3х50)	85,54	111,20
ТП-4 1с.ш.	10	0,162	690,00	39,88	81,18	1,2	33,24	АСШВ-10(3х50)	85,54	111,20
ТП-4 2с.ш.	10	0,171	714,50	41,30	81,18	1,2	34,42	АСШВ-10(3х50)	85,54	111,20

Результаты проверки выбранных кабелей распределительной сети 10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс» на допустимое падение напряжения, сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты проверки выбранных кабелей распределительной сети 10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс» на допустимое падение напряжения

Наименование потребителя	Марка	$U_{НОМ}$ кВ	L , км	$P_{РАСЧ}$ кВт	$Q_{РАСЧ}$ кВА	R_0 Ом/км	X_0 Ом/км	ΔU
ТП-1 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,130	749,50	257,69	0,620	0,090	0,60
ТП-1 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,130	715,00	315,30	0,620	0,090	0,51
ТП-1 3с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,130	750,00	313,90	0,620	0,090	0,61
ТП-2 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,780	482,50	492,15	0,620	0,090	3,64
ТП-2 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,780	514,75	479,15	0,620	0,090	3,68
ТП-3 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,720	835,00	442,93	0,620	0,090	3,68
ТП-3 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,720	702,50	374,62	0,620	0,090	3,05
ТП-3 3с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,720	852,50	473,20	0,620	0,090	3,03
ТП-4 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,850	690,00	364,81	0,620	0,090	4,42
ТП-4 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,850	714,50	382,53	0,620	0,090	4,45

Максимальный расчетный ток потребителей (ток послеаварийного режима) не превышает значений максимально допустимого длительного тока

выбранных сечений проводов и кабелей, как и значения отклонений напряжения в линиях, следовательно, выбранные кабели распределительной сети 10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс», удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Таким образом, в результате проведения расчётов и проверок в работе установлено, что все выбранные в работе проводники (воздушная линия 35 кВ питающей сети внешнего электроснабжения и силовые кабели напряжением 10 кВ распределительной сети внутреннего электроснабжения) проектируемой системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», удовлетворяют всем условиям выбора и проверки, следовательно, могут быть приняты для установки на объекте проектирования.

Расчёт картограммы силовых нагрузок

Для определения места расположения ГПП-35/10 кВ, на генплане системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» наносится картограмма электрических нагрузок.

На генплан предприятия произвольно наносятся оси координат и определяются значения x_i и y_i для каждой цеховой ТП-10/0,4 кВ. Так, например, для ЦТП-1 системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс»:

$$\begin{aligned}P_p &= 2214,5 \text{ кВт}; \\x &= 80 \text{ м}; \\y &= 106 \text{ м}.\end{aligned}$$

Радиус окружности для силовой нагрузки системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс»:

$$r = \sqrt{\frac{P_p}{\pi \cdot m}}, \text{ м}, \quad (27)$$

где $P_{p,i}$ – расчетная полная мощность i -того цехового ТП;

m – масштаб для определения площади окружности нагрузки.

$$r = \sqrt{\frac{2214,5}{3,14 \cdot 1}} = 26,56 \text{ м}.$$

Тогда:

$$P_p \cdot x = 2214,5 \cdot 80 = 177160 \text{ Вт} \cdot \text{м}.$$

$$P_p \cdot y = 2214,5 \cdot 106 = 234737 \text{ Вт} \cdot \text{м}.$$

Результаты всех расчетов сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Картограмма и определение центра электрических нагрузок системы электроснабжения станкостроительного завода

Наименование	$P_{pi},$ кВт	$r_i,$ мм	$x_i,$ м	$y_i,$ м	$P \cdot x,$ кВт·м	$P \cdot y,$ кВт·м
ЦТП1	2214,5	26,56	80,0	106,0	177160,0	234737,0
ЦТП2	997,3	17,82	39,0	37,0	38892,8	36898,3
ЦТП3	2390,0	27,59	134,0	36,0	320260,0	86040,0
ЦТП4	1404,5	21,15	147,0	45,0	206461,5	63202,5
Итого по СЭС АО «Северный пресс»	7006,3	-	106,0	60,1	742774,3	420877,8

Координаты центра электрических нагрузок системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» определяется, исходя из условий:

$$x_0 = \frac{\sum(P_{p.i} \cdot x_i)}{\sum P_{p.i}}, \text{ м.} \quad (28)$$

$$y_0 = \frac{\sum(P_{p.i} \cdot y_i)}{\sum P_{p.i}}, \text{ м.} \quad (29)$$

Координаты центра электрических нагрузок системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» в числовом значении:

$$x_0 = \frac{742774,3}{7006,3} = 106 \text{ м.} \quad (30)$$

$$y_0 = \frac{420877,8}{7006,3} = 60,1 \text{ м.} \quad (31)$$

Подстанцию целесообразнее установить в центре электрических нагрузок, но сооружение подстанции в данном месте невозможно, поэтому ГПП переносится в наиболее благоприятное для строительства место.

Картограмма нагрузок системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» приведена на рисунке 3, а также в графической части работы.

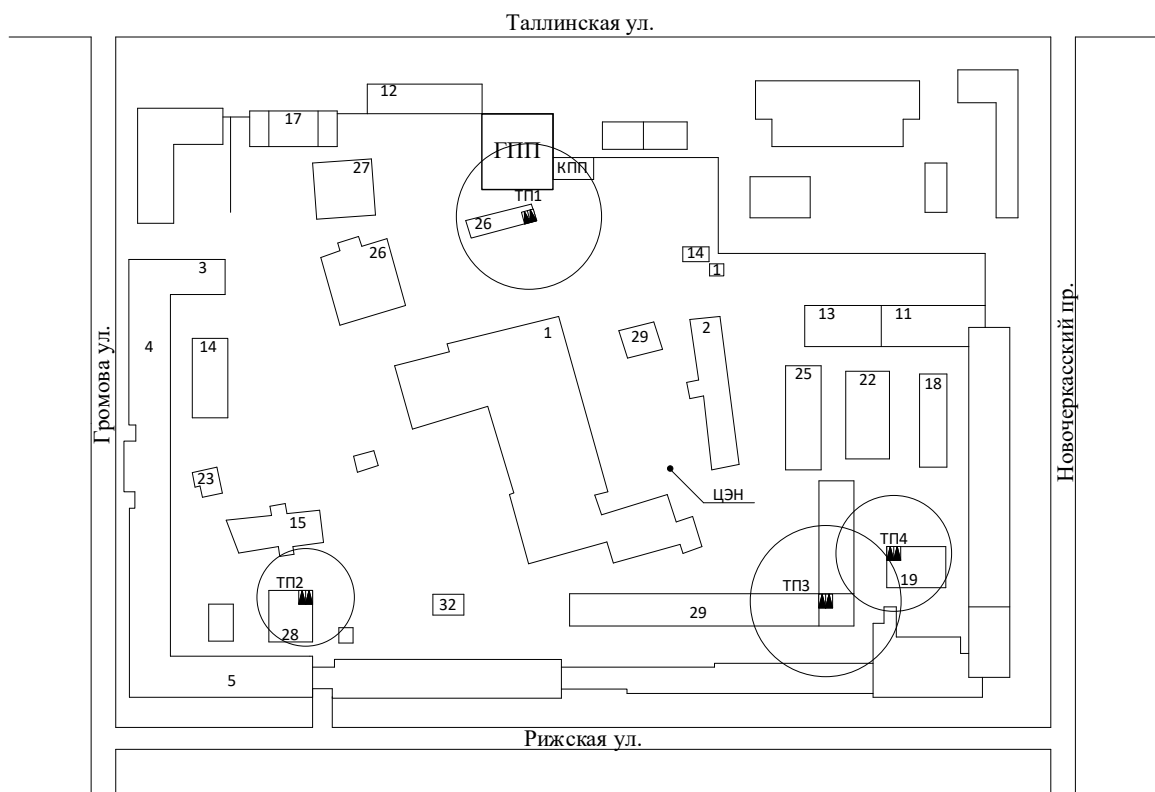


Рисунок 3 – Картограмма электрических нагрузок системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс»

Полученные результаты используются в работе далее.

Выбор и проверка трансформаторов собственных нужд на ГПП

Требуемая мощность для питания собственных нужд (СН) переменного тока определяется путём суммирования присоединенной мощности всех потребителей. Для каждого потребителя СН:

$$P_{расч.} = P_y \cdot K_c \quad (32)$$

$$Q_{расч.} = P_{расч.} \cdot tg\varphi \quad (33)$$

Расчетная мощность собственных нужд определяем по формуле:

$$S_{с.н.рас.} = \sqrt{\sum P_{рас}^2 + \sum Q_{рас}^2} \quad (34)$$

Результаты расчета нагрузки потребителей СН сводятся в таблицу 11.

Таблица 11 – Расчет нагрузки потребителей собственных нужд

Наименование потребителей	Установленная мощность P_y , кВт	Коэффициент спроса K_c	Коэффициент мощности K_m	Расчетная активная мощность потребителей $P_{расч.}$, кВт	Расчетная реактивная мощность потребителей $Q_{расч.}$, квар
Рабочее освещение	21,0	0,7	1,0	14,7	0,0
Аварийное освещение	16,4	1,0	1,0	16,4	0,0
АУОТ-М2-20-220	1,7х2	1,0	1,0	3,4	0,0
Итого	162,5	-	-	34,5	10,3

Нагрузка собственных нужд определяется с помощью выражения:

$$S_{с.н.} = \sqrt{34,5^2 + 0^2} = 34,5 \text{ кВА} \quad (35)$$

Расчетная мощность ТСН для установки на питающей ГПП:

$$S_{ТСН} = \frac{S_p}{k_3 \cdot n} = \frac{34,5}{0,7 \cdot 2} = 24,64 \text{ кВА}$$

К установке на ГПП принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора собственных нужд внутренней установки типа ТМ-25/10У1 работающих параллельно, каждый на свою секцию шин ПСН-0,4кВ, подключенные к вводным выключателям 10 кВ.

Принятые решения используются в работе далее.

Выводы по разделу.

В работе проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по проектированию системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», с модернизацией основного оборудования распределительных устройств и сетей.

Обосновано, что для обеспечения питания внешней системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 35 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ и двумя силовыми трансформаторами.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс»:

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

На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения АО «Северный пресс», на ГПП-35/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых

трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/35).

Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС АО «Северный пресс» (всего предусмотрено четыре ЦТП-10/0,4 кВ).

На каждой ЦТП-10/0,4 кВ, выбраны однотипные трансформаторы марки ТМГ-1000/10.

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения АО «Северный пресс», для питающих ВЛ-35 кВ принята марка инновационного провода НVCRC - 148 с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 450$ А.

Для питания всех ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСШв-10(3×50).

Выбраны трансформаторы собственных нужд марки ТМ-25/10.

Все принятые технические решения в работе подтверждены соответствующими расчётами.

Расчёт токов короткого замыкания

Устанавливаемое электрооборудование, должно быть проверено по устойчивости к токам короткого замыкания КЗ. Если токи короткого замыкания превышают номинальные данные оборудования, то данное оборудование не должно применяться при построении системы электроснабжения предприятия.

В работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ГПП-35/10 кВ «проектируемой внешней системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», 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 станкостроительного завода АО «Северный пресс» будут проверены уставки релейной защиты на надёжность срабатывания.

Для расчета токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», составляется расчётная схема (рисунок 4) [14].

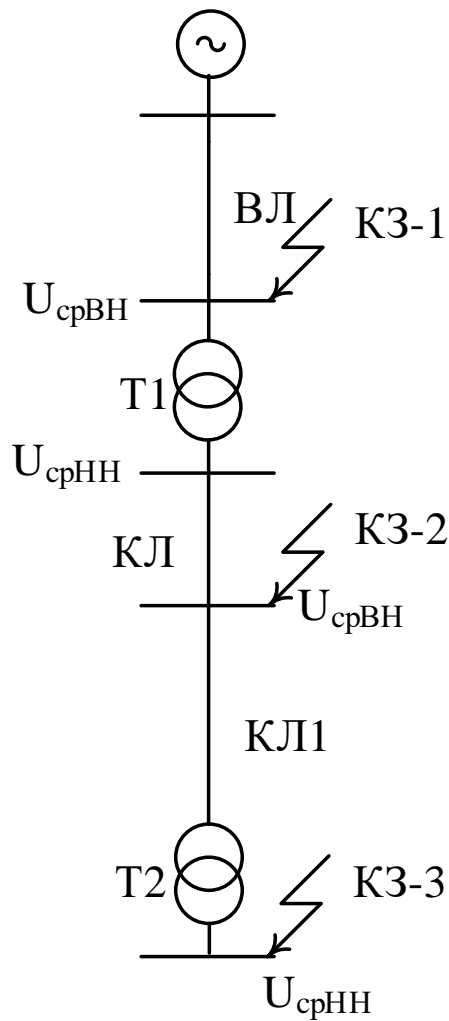


Рисунок 4 – Расчётная схема для расчета токов короткого замыкания на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс»

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением.

По расчётной схеме токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», составляется схема замещения (рисунок 5) [14].

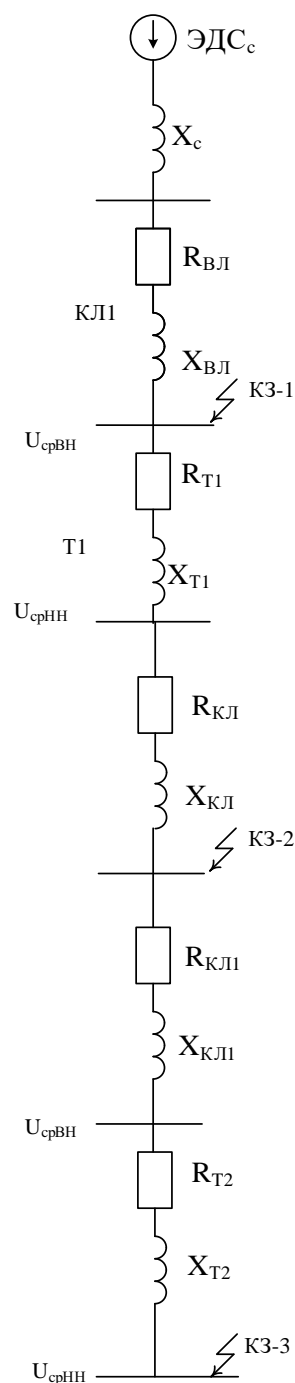


Рисунок 5 – Схема замещения для расчета токов КЗ на шинах 35 кВ и 10 кВ внешней СЭС АО «Северный пресс»

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.

В качестве базисных условий принимается базисная мощность 1000 МВА и напряжение на выводах силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ, равное в максимальном режиме при наибольшем ответвлении устройства РПН, 37 кВ [14].

«Сопротивление энергосистемы» [12]:

$$x_{c*} = \frac{S_B}{S_{K3C}}, \text{ о.е.} \quad (36)$$

где « S_{K3C} – полная мощность трёхфазного КЗ энергосистемы» [9].

По условию (36):

$$x_{c*} = \frac{1000}{3600} = 0,28 \text{ о.е.}$$

Сопротивление воздушной и кабельных линий находятся по формулам:

$$r_{л*} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_B}{U_B^2}, \text{ о.е.} \quad (37)$$

$$x_{л*} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_B}{U_B^2}, \text{ о.е.} \quad (38)$$

Для питающей воздушной линии 35 кВ:

$$r_{л*} = \frac{0,258 \cdot 3,26 \cdot 1000}{37^2} = 0,687 \text{ о.е.}$$

$$x_{л*} = \frac{0,12 \cdot 3,26 \cdot 1000}{37^2} = 0,319 \text{ о.е.}$$

Ток КЗ в точке КЗ-1 находится по формуле:

$$I_{K1} = I_{Пт} = I_{П0} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B \cdot (x_{c*} + x_{л*})}, \text{кА.} \quad (39)$$

$$I_{K1} = I_{Пт} = I_{П0} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37 \cdot \sqrt{0,687^2 + (0,28 + 0,319)^2}} = 17,37 \text{кА.}$$

Ударный ток короткого замыкания находится по формуле:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_K \quad (40)$$

где k_y – ударный коэффициент.

Для точки К1:

$$i_{y\partial(K1)} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 17,37 = 26,94 \text{кА.}$$

Сопротивление трансформатора определяется по выражениям:

$$z_{m*} = \frac{U_{K3} \cdot U_{BH}^2}{100 \cdot S_{н.м}} \cdot \left(\frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}\right) \quad (41)$$

$$r_{m*} = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_{BH}^2}{S_{н.м}^2} \cdot \left(\frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}\right) \quad (42)$$

$$x_{m*} = \sqrt{z_{m*}^2 - r_{m*}^2} \quad (43)$$

Сопротивление трансформатора в максимальном режиме:

$$z_{m*} \text{ макс} = \frac{7,5 \cdot 40,5^2}{100 \cdot 6,3} \cdot \left(\frac{1000}{37^2}\right) = 14,264 \text{ о.е.}$$

$$r_{m*} \text{ макс} = \frac{45 \cdot 40,5^2}{6,3^2 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{1000}{37^2}\right) = 1,358 \text{ о.е.}$$

$$x_{m^*.\text{макс}} = \sqrt{14,264^2 - 1,358^2} = 14,199 \text{ о.е.}$$

Сопротивление трансформатора в минимальном режиме:

$$z_{m^*.\text{мин}} = \frac{7,5 \cdot 31^2}{100 \cdot 6,3} \cdot \left(\frac{1000}{37^2}\right) = 8,357 \text{ о.е.}$$

$$r_{m^*.\text{мин}} = \frac{45 \cdot 31^2}{6,3^2 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{1000}{37^2}\right) = 0,796 \text{ о.е.}$$

$$x_{m^*.\text{мин}} = \sqrt{8,357^2 - 0,796^2} = 8,319 \text{ о.е.}$$

Определение базисного тока на шинах РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{CP2}}, \text{ А.} \quad (44)$$

$$I_B = \frac{1000 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 57803,47 \text{ А.}$$

Определяется эквивалентное сопротивление в точке КЗ-2 в максимальном режиме:

$$z_{\text{эkv.К2.макс}} = \sqrt{(x_{C^*} + x_{L^*} + x_{m^*.\text{мин}})^2 + (r_{L^*} + r_{m^*.\text{мин}})^2}. \quad (45)$$

$$z_{\text{эkv.К2.макс}} = \sqrt{(0,28 + 0,319 + 8,319)^2 + (0,687 + 0,796)^2} = 9,04 \text{ о.е.}$$

Определяется ток короткого замыкания в точке КЗ-2 в максимальном режиме:

$$I_{\text{КЗ.К2.макс}} = \frac{E_C}{z_{\text{эkv.К2.макс}}} I_B, \text{ А.} \quad (46)$$

$$I_{K3.K2.макс} = \frac{1}{9,04} \cdot 57803,47 = 6394,19 \text{ А.}$$

Ток короткого замыкания для минимального режима рассчитывается аналогично. Результаты расчета сведены в таблицу 12.

Сопротивление кабельных линий, питающих цеховые трансформаторы, определяется аналогично результаты расчетов сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Сопротивление кабельных линий, питающих трансформаторы ЦТП-10/0,4 кВ

Наименование потребителя	Марка	L, км	R ₀ Ом/км	X ₀ Ом/км	R Ом/км	X Ом/км
ТП-1 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,130	0,620	0,090	0,081	0,012
ТП-1 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,130	0,620	0,090	0,081	0,012
ТП-1 3с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,130	0,620	0,090	0,081	0,012
ТП-2 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,780	0,620	0,090	0,484	0,070
ТП-2 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,780	0,620	0,090	0,484	0,070
ТП-3 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,720	0,620	0,090	0,446	0,065
ТП-3 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,720	0,620	0,090	0,446	0,065
ТП-3 3с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,720	0,620	0,090	0,446	0,065
ТП-4 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,850	0,620	0,090	0,527	0,077
ТП-4 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,850	0,620	0,090	0,527	0,077

Сопротивления трансформатора ТМ-1000/10 определяются так:

$$z_{TP*} = \frac{U_{K3} \cdot S_B}{100 \cdot S_{н.т}}, \text{ о.е.} \quad (47)$$

$$r_{TP*} = \frac{\Delta P_K \cdot U_0^2}{S_{н.т}^2}, \text{ о.е.} \quad (48)$$

$$x_{TP*} = \sqrt{z_{TP*}^2 - r_{TP*}^2}, \text{ о.е.} \quad (49)$$

Сопротивления трансформатора ТМ-1000/10 равняются:

$$z_{TP*} = \frac{5.5 \cdot 1000}{100 \cdot 1} = 55 \text{ о.е.} \quad (50)$$

$$r_{TP*} = \frac{10,8 \cdot 37^2}{1^2 \cdot 10^3} = 14,785 \text{ о.е.} \quad (51)$$

$$x_{TP*} = \sqrt{55^2 - 14,785^2} = 52,976 \text{ о.е.} \quad (52)$$

Определение базисного тока на стороне низкого напряжения:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{CP2}}, \text{ кА.} \quad (53)$$

$$I_B = \frac{1000 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 10^3} = 1445,09 \text{ кА.}$$

Эквивалентное сопротивление в точке КЗ-3 в максимальном режиме:

$$Z_{\text{эkv.КЗ.макс}} = \sqrt{(x_C^* + x_L^* + x_{m^*.\text{мин}} + x_{\text{кл}^*} + x_{\text{тр}^*})^2 + (r_L^* + r_{m^*.\text{мин}} + r_{\text{кл}^*} + r_{\text{тр}^*})^2} \quad (54)$$

$$Z_{\text{эkv.КЗ.макс}} = \sqrt{(0,28 + 0,319 + 8,319 + 0,012 + 52,976)^2 + (0,687 + 0,796 + 0,081 + 14,785)^2} = 64,028 \text{ о.е.}$$

Ток короткого замыкания в точке КЗ-3 в максимальном режиме:

$$I_{\text{КЗ.КЗ.макс}} = \frac{E_C}{Z_{\text{эkv.КЗ.макс}}} I_B, \text{ кА.} \quad (55)$$

$$I_{\text{КЗ.КЗ.макс}} = \frac{1}{64,028} \cdot 1445,09 = 22,57 \text{ кА.}$$

Остальные результаты расчета искомых токов короткого замыкания сведены в таблицу 13.

Таблица 13 – Расчет токов короткого замыкания в системе электроснабжения завода

Место КЗ	$Z_{\text{экв.макс}}, \text{о.е.}$	$Z_{\text{экв.мин}}, \text{о.е.}$	$I^{(3)}_{\text{макс}}, \text{кА}$	$I^{(3)}_{\text{мин}}, \text{кА}$	k_{γ}	$I_{\text{уд}}, \text{кА}$	$I^{(2)}_{\text{мин}}, \text{кА}$
К1	0,911	-	17,37	-	1,1	26,94	15,03
К2	9,040	14,939	6,39	3,87	1,6	10,22	3,35
К3 (ТП1)	64,028	69,863	22,57	20,68	1,4	31,60	17,89
К3 (ТП2)	64,189	70,018	22,51	20,64	1,4	31,51	17,85
К3 (ТП3)	64,173	70,004	22,52	20,64	1,4	31,53	17,85
К3 (ТП4)	64,207	70,036	22,51	20,63	1,4	31,51	17,84

Полученные результаты будут использованы в работе далее.

Выводы по разделу.

В работе рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном и минимальном режиме работы системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс».

Выбор и проверка электрических аппаратов

Как было указано ранее, одним из важнейших мероприятий по проектированию системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», является выбор нового оборудования для установки в распределительных устройствах высокого напряжения на ГПП-35/10 кВ.

Таким образом, в работе будет проведена практическая модернизация оборудования станкостроительного завода, проводимая без внесения изменений в исходную схему электрических соединений.

РУ-10 кВ всех ЦТП-10/0,4 кВ выполняются по упрощённой схеме и коммутируется с соответствующих ячеек РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ. Такая схеме 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-10);
- ограничители перенапряжения устанавливаются во всех РУ ГПП-35/10 кВ;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения – применяются в ОРУ-35 кВ и КРУН-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.

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

- по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (56)$$

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

- по максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (57)$$

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]:

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (58)$$

где « $I_{пт}$ – 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]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\pi\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (59)$$

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]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (60)$$

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]:

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (61)$$

где « $i_{нр.с}$ – 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]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (62)$$

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 протекания тока термической устойчивости, с» [18].

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

$$B_{\kappa} = I_{\kappa}^2 (t_{\text{отк}} + T_a). \quad (63)$$

Исходя из расположения в схеме ГПП-35/10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс», 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 распределительную 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 станкостроительного завода АО «Северный пресс» 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 ВВН-СЭЩ-П-35 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 станкостроительного

завода АО «Северный пресс», проводится по приведённым выше условиям (таблица 14).

Таблица 14 – Результаты выбора и проверки выключателей высокого напряжения для установки на ГПП-35/10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс»

Присоединение	Марка 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	$\frac{i_{откл.ном}}{i_{kt}}$, кА	$\frac{I_{нр-с}}{I''}$, кА	$\frac{i_{нр-с}}{i_y^{(3)}}$, кА	$\frac{I_t^2 \cdot t}{B_k}$, кА·с
Вводной выключатель 35 кВ	ВВН-СЭЦ-П-35 УХЛ1	$\frac{35}{35}$	$\frac{1000}{208,09}$	$\frac{40}{17,37}$	$\frac{40}{26,94}$	$\frac{40}{17,37}$	$\frac{50}{26,94}$	$\frac{1200}{460,8}$
Вводной и секционный выключатели 10 кВ	ВВ/TEL-10-25/1600 У2	$\frac{10}{10}$	$\frac{1600}{1346}$	$\frac{25}{22,51}$	$\frac{40}{31,51}$	$\frac{25}{22,51}$	$\frac{64}{31,51}$	$\frac{1875}{520,6}$
Линейные выключатели 10 кВ	ВВ/TEL-10-12,5/630 У2	$\frac{10}{10}$	$\frac{630}{168}$	$\frac{25}{22,51}$	$\frac{40}{31,51}$	$\frac{25}{22,51}$	$\frac{64}{31,51}$	$\frac{1875}{520,6}$

Далее проводится выбор разъединителей для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс». Разъединитель – это аппарат для обеспечения видимого разрыва с целью безопасного проведения работ в электроустановках.

В работе для установки в сети 35 кВ на ГПП-35/10 кВ СЭС АО «Северный пресс» 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 станкостроительного завода АО «Северный пресс», представлены в таблице 15 [15].

Таблица 15 – Результаты выбора и проверки разъединителей для установки в ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс»

Наименование присоединения	Тип разъединителя/ привода	$\frac{U_H}{U_{уст}}$ кВ	$\frac{I_H}{I_{р.макс}}$ 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	35	1000	63	80	1200
	<u>РДЗ-2-35/1000НУХЛ1</u> ПРГ-01 2БУХЛ1	35	208,09	17,37	26,94	460,8

В ячейках КРУН-10 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс» разъединители не устанавливаются, их заменяют втычные контакты.

Для установки в РУ ГПП-35/10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс» 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 АО «Северный пресс».

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.

Результаты выбора и проверки новых трансформаторов напряжения для установки в РУ всех классов напряжения на ГПП-35/10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс», представлены в работе в форме таблицы 16.

Таблица 16 – Результаты выбора новых трансформаторов напряжения для установки в РУ на ГПП-35/10 кВ СЭС АО «Северный пресс»

Тип ТН	Кол-во ТН	Мощность на один ТН, ВА	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \Sigma}$, ВА
НТМИ-10-66	2	36,8/2	1	$\frac{10}{10}$	$\frac{200,0}{12,0}$

Результаты выбора и проверки новых трансформаторов тока для установки в РУ всех классов напряжения на ГПП-35/10 кВ СЭС АО «Северный пресс», представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты выбора новых трансформаторов тока для установки в РУ ГПП-35/10 кВ СЭС АО «Северный пресс»

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	$\frac{35}{35}$	$\frac{300}{208,09}$	-	-
ВЛ-35 кВ	ТГФМ-35-У3	0,5/Р/Р	$\frac{35}{35}$	$\frac{300}{208,09}$	-	-
Шины 10 кВ	ТОЛ-10-У3	10Р/10Р	$\frac{10}{10}$	$\frac{1500}{1346}$	$\frac{75}{31,51}$	$\frac{7056}{520,6}$
Отходящие линии 10 кВ	ТОЛ-10-У3	0,5/Р	$\frac{10}{10}$	$\frac{200}{168}$	$\frac{75}{31,51}$	$\frac{7056}{520,6}$

Всё новое выбранное основное оборудование распределительных устройств ГПП-35/10 кВ СЭС станкостроительного завода АО «Северный пресс» удовлетворяет всем требуемым условиям и принимается для установки на объекте.

Выводы по разделу.

В работе проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование выбора электрических аппаратов системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», с модернизацией основного оборудования распределительных устройств и сетей.

В результате проведения практического расчёта и проверок, выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ системы электроснабжения станкостроительного завода:

- в ОРУ-35 кВ – выключатели высокого напряжения ВВН-СЭЩ-П-35 УХЛ1, разъединители РДЗ – 35/1000 У1 с одним и двумя заземляющими ножами-контактами, ограничители перенапряжения ОПН-У/TEL 35/40,5 УХЛ1, трансформаторы тока ТГФМ-35-У3;
- в РУ-10 кВ: выключатели высокого напряжения вводные и секционный ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48, выключатели линейные ВВ/TEL-10-20-630-У2-48, ограничители перенапряжения ОПН-РС/TEL 6/7,6 УХЛ1, трансформаторы напряжения НТМИ-10-66 и трансформаторы тока ТОЛ-10-У3.

Все выбранные и проверенные аппараты показаны в графической части работы.

Расчёт релейной защиты системы электроснабжения станкостроительного завода

.1 Расчёт релейной защиты трансформаторов ГПП

Производится расчет защит понижающего трансформатора ГПП-35/10 кВ на микропроцессорной базе.

Определяется номинальный ток трансформатора ГПП-35/10 кВ на стороне ВН (35 кВ):

$$I_{\text{НОМ.ВН}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ.ВН}}}, A. \quad (64)$$
$$I_{\text{НОМ.ВН}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 35} = 98,42 A.$$

Определяется номинальный ток трансформатора ГПП-35/10 кВ на стороне НН (10 кВ):

$$I_{\text{НОМ.НН}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ.НН}}}, A. \quad (65)$$
$$I_{\text{НОМ.НН}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 346,8 A.$$

Принимаются к установке трансформаторы тока с коэффициентами трансформации 150/5 со стороны ВН и 600/5 со стороны НН трансформатора.

Схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока со стороны ВН и НН принимается полная звезда, на основании методических рекомендаций по выбору уставок [16].

Вторичный ток в плечах защиты:

$$I_{2ном.ВН} = \frac{98,42}{150/5} \cdot 1 = 3,28 \text{ А.}$$

$$I_{2ном.НН} = \frac{346,8}{600/5} \cdot 1 = 2,89 \text{ А.}$$

К установке принимается терминал защиты трансформатора типа Мисом Р633.

Выбор уставок дифференциальной защиты трансформаторов ГПП-35/10 кВ на базе терминала Мисом Р633 представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Выбор уставок дифференциальной защиты трансформаторов ГПП-35/10 кВ на базе терминала Мисом Р633

Характеристика параметров	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение для обмоток
Расчетный ток небаланса в относительных единицах, соответствующий началу торможения.	$I_{*НБ \text{ НАЧ.}} = \left(\begin{array}{l} K_{ОДН} \cdot K_{АП} \cdot \varepsilon_* + \\ + \Delta U_{*РПН} + \Delta U_{*ПБВ} \end{array} \right) \cdot I_{*НОМ}$ <p>где $\varepsilon_* = 6,5\% / 100 = 0,065$ $f_{*ВЫР} = 5\% = 0,05$ $K_{ОДН} = 1$ $\Delta U_{*РПН} = 16\% / 100 = 0,16$ $I_{*НОМ} = \frac{I_{НОМ}}{I_{БА3}} = 98,42 / 98,42 = 1$</p>	$(1 \cdot 1 \cdot 0,065 + 0,16 + 0,05 + 0,05) \cdot 1 = 0,325$
Расчет минимального тока срабатывания Id>	$Id \geq K_{ОТС} \cdot I_{*НБ \text{ НАЧ.}}$	$2 \cdot 0,325 = 0,65$ от (0,1 ÷ 2,5)
Принятый Id>	$Id \geq 0,5 I_{БА3}$	$0,5 \cdot 98,42 = 49,21$
Ток начало торможения.	$I_{Rm1} = 0,5 \cdot Id >$	$0,5 \cdot 0,65 = 0,325$
Ток небаланса при малых токах КЗ	$I_{*НБ} \geq \left(\begin{array}{l} K_{ОДН} \cdot K_{АП} \cdot \varepsilon_* + \\ + \Delta U_{*РПН} + \Delta U_{*ПБВ} \end{array} \right) \cdot 2 I_{*Б}$ $I_{*Б} = \frac{I_{БА3}}{I_{БА3}}$	$(1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,16 + 0,05 + 0,05) \cdot 2 = 0,72$
Ток торможения при малых токах	$I_{Rm2} = 2 \cdot I_{*Б}$ $I_{*Б} = \frac{I_{БА3}}{I_{БА3}}$	2

Продолжение таблицы 18

Характеристика параметров	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение для обмоток
Коэффициент торможения второго участка (первой наклонной характеристики).	$m_1 \geq \frac{K_{ОТС} \cdot I_{*НБ} - Id >}{0,5 \cdot \sum I_R - I_{Rm1}}$ $m_1 \geq \frac{I_{ДИФ}}{I_{ТОРМ}}$	$\frac{2 \cdot 0,72 - 0,65}{0,5 \cdot (2 + 2) - 0,325} = 0,4716$
Принятый m1	m1 (0.2÷1.5)	0,4
Ток небаланса при больших внешних токах К.З (второй наклонной характеристики).	$I_{*НБ} \geq (K_{ОДН} \cdot K_{АП} \cdot \varepsilon_* + \Delta U_{*РПН}) \cdot I_{*К}$ $I_{*К} = \frac{I_{К}^{(3)} \max}{I_{БАЗ}} = \frac{1813}{98,42} = 18,42$	(1·2·0,1+0,16+0,05+0,05)·18,42=8,47
Коэффициент торможения третьего участка (второй наклонной характеристики).	$m_2 \geq \frac{K_{ОТС} \cdot I_{*НБ} - I_{d.m2}}{0,5 \cdot \sum I_R - I_{Rm2}}$ $m_2 \geq \frac{I_{ДИФ}}{I_{ТОРМ}}$	$\frac{2 \cdot 8,47 - 1,2}{18,42 - 2} = 0,959$
Принятый коэффициент торможения второго участка.	m2 (0.4÷1,5)	1
Уравнения характеристики срабатывания участков		
I	$Id >$	0,5·98,42=49,21
II	$m1 \cdot I_{Rm1(2)} + Id > \cdot (1 - 0.5m1)$	0,4·0,5·0,65+0,65·(1-0,5·0,4)=0,5 0,4·2+0,5·(1-0,5·0,4)=0,65
III	$m2 \cdot I_{Rm3} + Id > \cdot (1 - 0.5m1) + I_{Rm2} \cdot (m1 - m2)$	1·4,8392+0,65(1-0,5·0,4)+2·(0,4-1)=4,8392+0,13-1,2 =3,7692

При 2-х фазном КЗ на выводах 35кВ:

$$K_{ч} = \frac{I_{к}^{(2)} \min / I_{БАЗ}}{Id, m2 > + m2 \cdot (0,5 \cdot \sum I_R - I_{Rm2})} \geq 2. \quad (66)$$

$$K_{ч} = \frac{6610 / 316,66}{0,65 + 1 \cdot (0,5 \cdot 10,52 - 2)} = 5,34 \geq 2.$$

При 2-х фазном КЗ на стороне 10кВ:

$$K_{ч} = \frac{I_{к}^{(2)}_{\text{мин}} / I_{\text{БАЗ}}}{I_{d, m1} > +m1 \cdot (0,5 \cdot \sum I_R - I_{Rm1})} \geq 2. \quad (67)$$

$$K_{ч} = \frac{740 / 316,66}{0,5 + 0,4 \cdot (0,5 \cdot 2,104 - 0,325)} = 2,96 \geq 2.$$

Условия проверки основных защит трансформаторов ГПП-35/10 кВ выполняются.

Расчет резервных защит понижающего трансформатора ГПП-35/10 представлен в форме таблицы 19.

Таблица 19 – Расчет резервных защит понижающего трансформатора ГПП-35/10

Защита	Расчетная формула	МП
МТЗ ВН тра	$I \gg K_{отс} \cdot (0,7 \cdot K_{сзн} + I_{НОМ} + 0,7 \cdot I_{НОМ})$	$1,15 \cdot (0,7 \cdot 1,3 \cdot 98,42 + 0,7 \cdot 98,42) = 182,22$
	$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_{тт} \cdot K_B}$	$I_{ср} = \frac{182,22}{0,95 \cdot 30} = 6,39 A$
	Принятая уставка реле	Тип реле: МІСОМ Р437 $I_{ср} = 6,4 A; t = 1,7 c$
	$K_{ч.осн} = \frac{I_{к}^{(2)} \min(K2)}{I_{сз}}$	$K_{ч.осн} = \frac{3350}{30 \cdot 6,4} = 17,44 > 1,5$
	$K_{ч.рез} = \frac{I_{к}^{(2)} \min(K3)}{I_{сз}}$	$K_{ч.рез} = \frac{17890 \cdot 0,4}{30 \cdot 6,4 \cdot 37} = 1,01 < 1,2$
МТЗ НН тра	$I \gg 0,7 \cdot K_{сзн} \cdot I_{НОМ} + 0,7 \cdot I_{НОМ}$	$0,7 \cdot 1,2 \cdot 346,8 + 0,7 \cdot 346,8 = 534,07$
	$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_{тт} \cdot K_B}$	$I_{ср} = \frac{534,07}{0,95 \cdot 120} = 4,68 A$
	Принятая уставка реле	Тип реле: МІСОМ Р437 $I_{ср} = 4,7 A; t = 1,4 c$
	$K_{ч.} = \frac{I_{к}^{(2)} \min(K2)}{I_{сз}}$	$K_{ч.осн} = \frac{3350}{120 \cdot 4,7} = 5,94 > 1,5$

Продолжение таблицы 19

Защита	Расчетная формула	МП
Защита от перегрузок	$I = \frac{K_{отс} \cdot I_{ном}}{K_B}$	$\frac{1,05 \cdot 346,8}{0,95} = 383,31$
	$I_{cp} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_{тт} \cdot K_B}$	$I_{cp} = \frac{383,31}{0,95 \cdot 120} = 3,63A$
	Принятая уставка реле	Тип реле: МІСОМ Р437 $I_{cp} = 3,7A; t=9 \text{ сек.}$

Полученные результаты соответствуют требованиям нормативных документов.

Расчёт релейной защиты вводных и секционных присоединений

Для обеспечения защиты вводных и секционного выключателей, к установке принимается терминал релейной защиты типа Seram 1000+ S82 с трансформаторами тока ТОЛ-10 с коэффициентом трансформации 600/5. Трансформаторы тока соединяются в полную звезду.

Максимальный рабочий ток секционного выключателя:

$$I_{\text{макс.раб}} = k_{сзн} \cdot I_{\text{ном.тр}}, A. \quad (68)$$

$$I_{\text{макс.раб}} = 1,3 \cdot 346,8 = 450,84A.$$

Определяется ток срабатывания МТЗ СВ от максимального тока нагрузки и снижения напряжения до $0,6U_{\text{ном}}$ по формуле:

$$I_{CЗ} = \frac{k_{отс}}{k_{\epsilon}} \cdot 0,7 \cdot I_{\text{ном}}, A. \quad (69)$$

$$I_{CЗ} = \frac{1,1}{0,935} \cdot 0,7 \cdot 346,8 = 285,6A.$$

Действие защиты выполняется на отключение с выдержкой времени 0,8с.

Проверяется чувствительность защиты выбранной уставки:

$$K_{ч.осн} = \frac{I_{КЗ.мин.К2}^2}{I_{ср}} > 1,5. \quad (70)$$

$$K_{ч.осн} = \frac{3350}{290} = 11,55 > 1,5.$$

$$K_{ч.рез} = \frac{I_{КЗ.мин.К3}^2}{I_{ср}} > 1,2. \quad (71)$$

$$K_{ч.рез} = \frac{17890 \cdot 0,4}{290 \cdot 10,5} = 2,35 > 1,2.$$

Чувствительность защиты обеспечивается.

Предусматривается ускорение МТЗ при включении выключателя на КЗ с действием на отключение выключателя с выдержкой времени 0,2 с.

В качестве основной защиты предусматриваем логическую защиту шин с действием на отключение с выдержкой времени 0,2 сек. и блокировкой при срабатывании МТЗ отходящих линий и пуском по снижению напряжения.

Максимальный рабочий ток вводного выключателя:

$$I_{\text{макс.раб}} = 0,7 \cdot I_{\text{ном.тр}} + 0,7 \cdot k_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{ном.тр}}, \text{ A.} \quad (72)$$

$$I_{\text{макс.раб}} = 0,7 \cdot 346,8 + 0,7 \cdot 1,3 \cdot 346,8 = 558,35 \text{ A.}$$

Определяется ток срабатывания МТЗ ВВ от максимального тока нагрузки и снижения напряжения до $0,6U_{\text{ном}}$ по формуле:

$$I_{\text{СЗ}} = \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{ном}}, \text{ A.} \quad (73)$$

$$I_{C3} = \frac{1,1}{0,935} \cdot 346,8 = 408 A.$$

Действие защиты выполняем на отключение с выдержкой времени 1,1 с.

Проверяется чувствительность защиты выбранной уставки:

$$K_{ч.осн} = \frac{I_{K3.мин.К2}^2}{I_{cp}^2} > 1,5. \quad (74)$$

$$K_{ч.осн} = \frac{3350}{410} = 8,17 > 1,5.$$

$$K_{ч.рез} = \frac{I_{K3.мин.К3}^2}{I_{cp}^2} > 1,2. \quad (75)$$

$$K_{ч.рез} = \frac{17890 \cdot 0,4}{410 \cdot 10,5} = 1,66 > 1,2.$$

Предусматривается ускорение МТЗ при включении выключателя на короткое замыкание с действием на отключение выключателя с выдержкой времени 0,2 с.

В качестве основной защиты предусматривается логическая защита шин с действием на отключение с выдержкой времени 0,2 с и блокировкой при срабатываниях МТЗ отходящих линиях, МТЗ секционного выключателя и пуском по снижению напряжения.

В качестве пускового органа АВР используется защита минимального напряжения при снижении напряжения на секции шин до $0,5U_{ном.}$ с выдержкой времени 0,5 с, также предусматривается блокировка пуска ЗМН при пуске МТЗ по току.

Времятоковая характеристика аппаратов защиты, на которых устанавливаются выбранные РЗА системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», представлена в работе на рисунке 6.

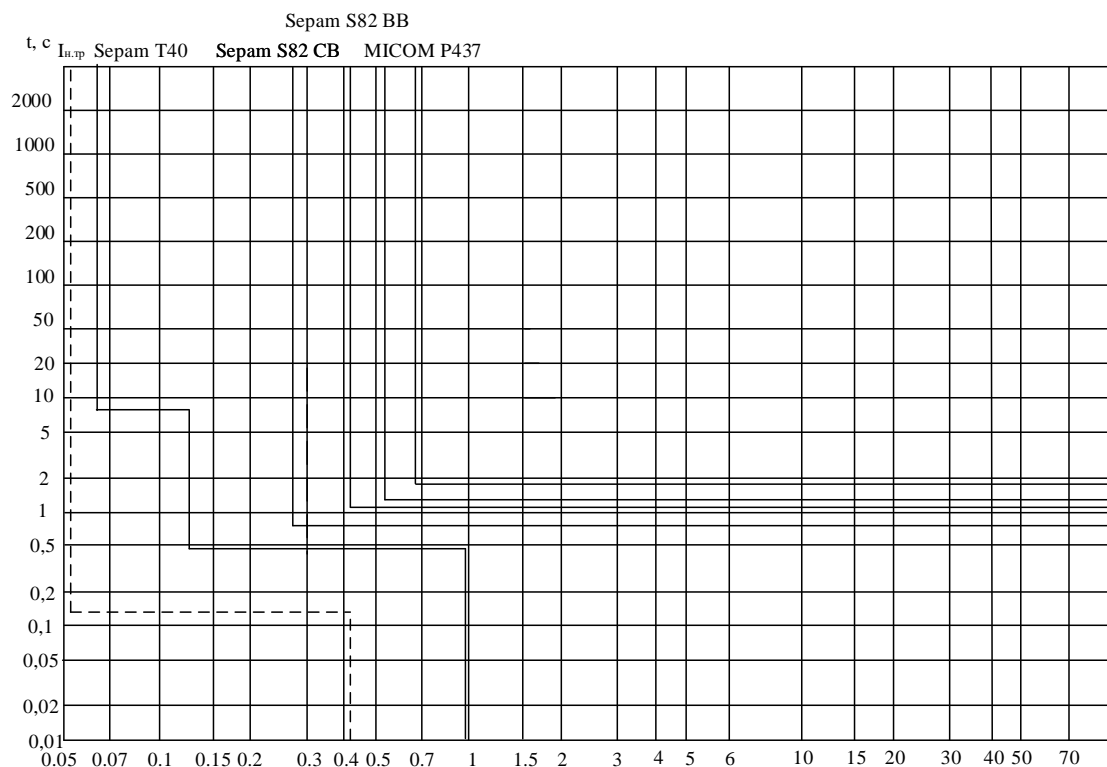


Рисунок 6 – Времятоковая характеристика аппаратов защиты, на которых устанавливаются выбранные РЗА системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс»

Полученные результаты соответствуют требованиям нормативных документов.

Выводы по разделу.

В разделе проведён расчёт и проверка выбранных уставок токовых защит силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ, а также секционного и вводных выключателей.

Все выбранные РЗА выполнены на базе терминалов релейной защиты типа Sepam и MICOM.

Заключение

В результате выполнения работы, проведена разработка проекта системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс». Приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» (г. Санкт-Петербург), который является одним из флагманов отечественного станкостроения.

Обусловлена актуальность выбора темы, с последующим анализом технических данных нагрузки потребителей. Приведён комплекс основных задач, который требуется решить в работе для достижения поставленной цели.

Проведено описание существующей системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс» с указанием проблем, которые имеют место и требуют решения в работе (в частности, модернизации оборудования питающей сети предприятия, в частности – главной понизительной подстанции объекта проектирования).

Установлено, что для достижения основной цели, в работе необходимо решить следующие поставленные задачи:

- провести детальную проверку и обоснование решений по проектированию внешней и внутренней системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс»;
- модернизировать оборудование питающей сети внешней части системы электроснабжения предприятия (в частности – главной понизительной подстанции объекта проектирования), для чего выбрать и проверить новые кабельные линии, электрические аппараты и устройства релейной защиты и автоматики для установки во всей системе электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс». Такая модернизация является частичной и не предусматривает внесение изменений в существующую схему электроснабжения.

Проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по проектированию системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», с модернизацией основного оборудования распределительных устройств и сетей.

Обосновано, что для обеспечения питания внешней системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс», в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 35 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ и двумя силовыми трансформаторами.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс»:

- для применения в РУ-35 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;
- для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на двухтрансформаторных и трёхтрансформаторных ЦТП, 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 и минимальном режиме работы системы электроснабжения станкостроительного завода АО «Северный пресс».

На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения АО «Северный пресс», на

ГПП-35/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/35). Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС АО «Северный пресс» (всего предусмотрено четыре ЦТП-10/0,4 кВ). На каждой ЦТП-10/0,4 кВ, выбраны однотипные трансформаторы марки ТМГ-1000/10.

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения АО «Северный пресс», для питающих ВЛ-35 кВ принята марка инновационного провода HVCRC - 148 с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 450$ А. Для питания всех ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСШв-10(3×50).

Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ системы электроснабжения станкостроительного завода:

- в ОРУ-35 кВ – выключатели высокого напряжения ВВН-СЭЩ-П-35 УХЛ1, разъединители РДЗ – 35/1000 У1 с одним и двумя заземляющими ножами-контактами, ограничители перенапряжения ОПН-У/TEL 35/40,5 УХЛ1, трансформаторы тока ТГФМ-35-У3;
- в РУ-10 кВ: выключатели высокого напряжения вводные и секционный ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48, выключатели линейные ВВ/TEL-10-20-630-У2-48, ограничители перенапряжения ОПН-РС/TEL 6/7,6 УХЛ1, трансформаторы напряжения НТМИ-10-66 и трансформаторы тока ТОЛ-10-У3.

Выбраны трансформаторы собственных нужд марки ТМ-25/10 и уставки РЗиА на базе терминалов релейной защиты типа Seram и MICOM. Все принятые технические решения в работе подтверждены соответствующими расчётами. Таким образом, на основании проведённых расчётов и полученных результатов, установлено, что спроектированная система электроснабжения АО «Северный пресс» отвечает всем критериям по надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности.

Список используемых источников

1. АО «Северный пресс». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.granit-electron.ru/concern/subsidiaries/ao-severnyy-press/> (дата обращения: 22.02.2023).
2. 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: 22.02.2023).
3. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 21.02.2023).
4. Иванов А.А. Модернизация промышленных предприятий на базе современных систем автоматизации и управления. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 384 с.
5. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
6. Неизолированные провода воздушных линий электропередачи: проблема выбора (аналитический обзор). [Электронный ресурс]: URL: <https://mobile.ruscable.ru/article/1326/> (дата обращения: 22.02.2023).
7. 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.
8. Организация АО «Северный пресс». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.list-org.com/company/38027> (дата обращения: 22.02.2023).
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. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 384 с.
17. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2018. 368 с.
18. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 136 с.
20. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2018. 596 с.