

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение нефтеперерабатывающего завода

Обучающийся

Сальмаев Рашит Салаватович

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доц. А. Г. Сорокин

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

Аннотация

«Цель работы – разработка проекта системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода на примере предприятия ООО» [7] «НС-Ойл» (Ульяновская область, пос. Новоспасское), являющейся одной из наиболее динамически развивающихся компаний отечественного нефтеперерабатывающего комплекса.

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» [3], произведён выбор сечений проводов и кабелей, рассчитана и построена картограмма и центр электрических нагрузок, осуществлена разработка схемы внешнего электроснабжения нефтеперерабатывающего 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 микропроцессорных устройств 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 нефтеперерабатывающего завода на примере предприятия ООО «НС-Ойл» (Ульяновская область, пос. Новоспасское), которые позволяют повысить надёжность, безотказность работы, экономичность передачи и распределения электроэнергии, а также условия электробезопасности.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных на выполнение работы.....	7
1.1 Краткая характеристика нефтеперерабатывающего завода	7
1.2 Анализ исходных данных на проектирование	10
2 Проектирование системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода.....	19
2.1 Выбор и обоснование схемы электроснабжения завода.....	19
2.2 Расчёт электрических нагрузок	21
2.3 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП	24
2.4 Выбор и проверка трансформаторов цеховых ТП внутренней системы электроснабжения	34
2.5 Выбор и проверка проводников в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода.....	38
2.6 Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода.....	43
2.7 Выбор и проверка основных электрических аппаратов в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода	55
2.8 Выбор и проверка трансформаторов собственных нужд на ГПП	60
3 Расчёт релейной защиты ГПП нефтеперерабатывающего завода	65
3.1 Расчёт релейной защиты трансформаторов ГПП в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода	65
3.2 Расчёт релейной защиты линий в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода.....	68
Заключение	72
Список используемых источников.....	75

Введение

В работе рассмотрено проектирование системы электроснабжение нефтеперерабатывающего завода на примере предприятия ООО «НС-Ойл» (Ульяновская область, пос. Новоспасское), являющейся одной из наиболее динамически развивающихся компаний отечественного нефтеперерабатывающего комплекса.

Нефтеперерабатывающая промышленность является одной из наиболее доходных отраслей бюджета страны, ежегодно поставляя в него около 20% совокупного валового внутреннего дохода [12].

В условиях санкционной политики, а также ограничением цен на нефтепродукты со стороны западных стран (США и ЕС), остро встаёт вопрос о перевооружении и модернизации нефтеперерабатывающего производства.

В связи с описанными проблемами, приоритетом нефтеперерабатывающей «промышленности в целом, является уменьшение энергозатрат на производственные и собственные нужды, таким образом, повышая эффективность использования ресурсной базы» [2].

Данный процесс напрямую связан с внедрением современных энергосберегающих и эффективных технологий в данном направлении.

«Одним из способов достижения желаемого эффекта является обеспечение качественного проектирования современных систем электроснабжения новых объектов» [15] нефтеперерабатывающей промышленности, 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 нефтеперерабатывающего завода на примере предприятия ООО «НС-Ойл» (Ульяновская область, пос. Новоспасское), который является одной из наиболее динамически

развивающихся компаний отечественного нефтеперерабатывающего комплекса.

Объектом исследования в данной работе является электрическая часть системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода на примере предприятия ООО «НС-Ойл» (Ульяновская область, пос. Новоспасское).

«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» [1], 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 для установки на ГПП и ЦТП;
- 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 нефтеперерабатывающего завода;
- произведён выбор трансформаторов собственных нужд;
- произведён выбор и проверка электрических аппаратов для установки в схеме электроснабжения;
- выбраны микропроцессорные блоки и произведён расчёт уставок основных РЗА силовых трансформаторов, установленных на ГПП объекта исследования.

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 нефтеперерабатывающего завода на примере предприятия ООО «НС-Ойл» (Ульяновская область, пос. Новоспасское), которые позволяют повысить надёжность, безотказность работы, экономичность передачи и распределения электроэнергии, а также условия электробезопасности.

Все принятые в работе решения аргументируются на основании анализа нормативных документов электроэнергетики и проверяются расчётным путём на основе принятых методик.

Анализ исходных данных на выполнение работы

Краткая характеристика нефтеперерабатывающего завода

Рассматриваемый в работе нефтеперерабатывающий завод ООО «НС-Ойл» (Ульяновская область, пос. Новоспасское), является одним из наиболее динамически развивающихся компаний отечественного нефтеперерабатывающего комплекса.

В связи с расширением производства и сопутствующим дефицитом мощностей, руководством ООО «НС-Ойл» принято решение о сооружении нового нефтеперерабатывающего завода, который будет укомплектован современным оборудованием с использованием передового научно-технического прогресса. Данный завод планируется разместить в Ульяновской области в посёлке Новоспасском.

ООО «НС-Ойл» основана в 2017 г. и территориально расположено в Ульяновской области, пос. Новоспасское, на ул. Заводской, 6А. План территориального расположения ООО «НС-Ойл» на карте пос. Новоспасское Ульяновской области, представлен на рисунке 1.

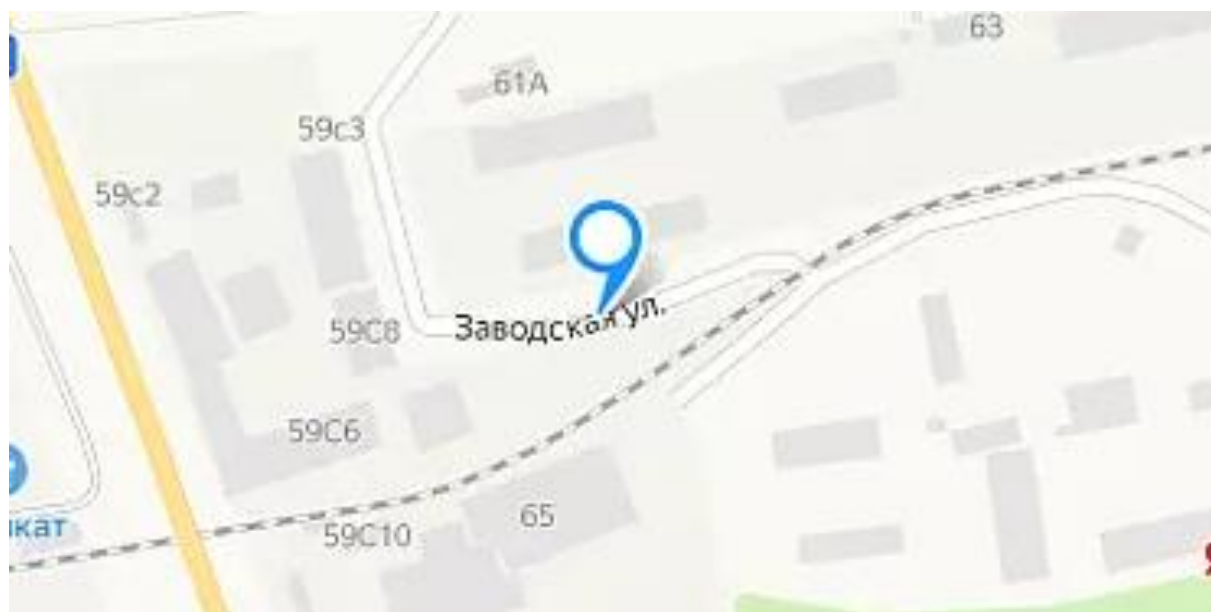


Рисунок 1 – План территориального расположения ООО «НС-Ойл» на карте пос. Новоспасское Ульяновской области

На сегодняшний день ООО «НС-Ойл» является одним из крупнейших нефтеперерабатывающим предприятием Ульяновской области (входит в пятёрку крупнейших предприятий региона по полученной прибыли, а также является первым по выручке в категории «Нефтепродукты» по состоянию на январь 2023 года).

Основным направлением производства на предприятии ООО «НС-Ойл» является переработка сырой нефти с изготовлением различных нефтепродуктов, к которым относятся:

- бензины автомобильные (марки Аи-92, Аи-95, Аи-98);
- дизельное топливо (марки «ДТ Е ГОСТ», а также 2 и 3 классов);
- масла автомобильные (марки МГ-8 и VHVI-4);
- керосин (марка ТС-1);
- прочие сопутствующие продукты.

Уставной капитал ООО «НС-Ойл» составляет около 10 млн. руб.

Динамика выручки рассматриваемой компании ООО «НС-Ойл» по состоянию на 2017-2021 гг., находящаяся в свободном доступе, представлена в работе на рисунке 2.

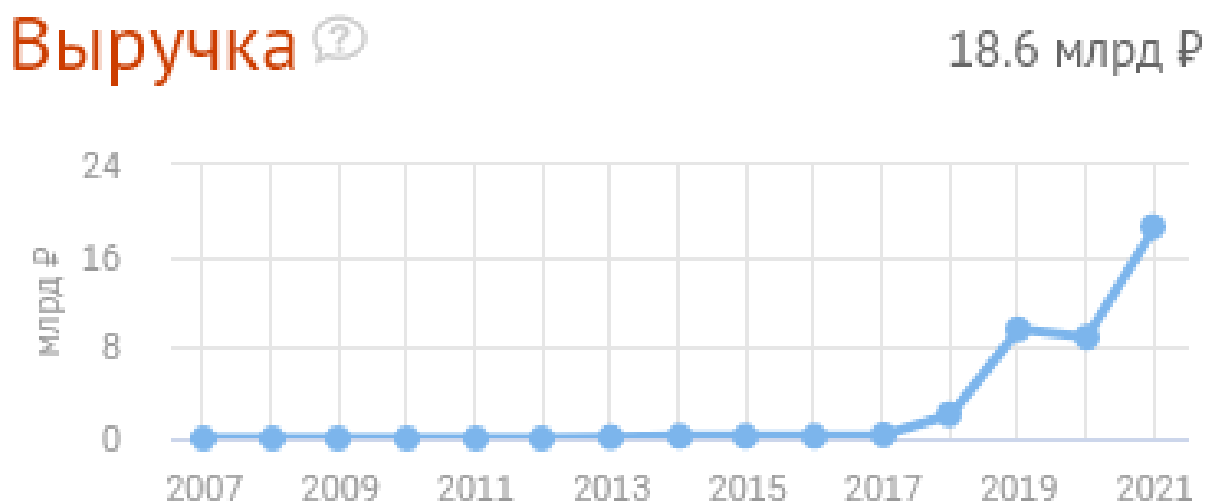


Рисунок 2 – Динамика выручки компании ООО «НС-Ойл» по состоянию на 2017-2021 гг., находящаяся в свободном доступе

Динамика прибыли рассматриваемой компании ООО «НС-Ойл» по состоянию на 2017-2021 гг., находящаяся в свободном доступе, представлена в работе на рисунке 3.

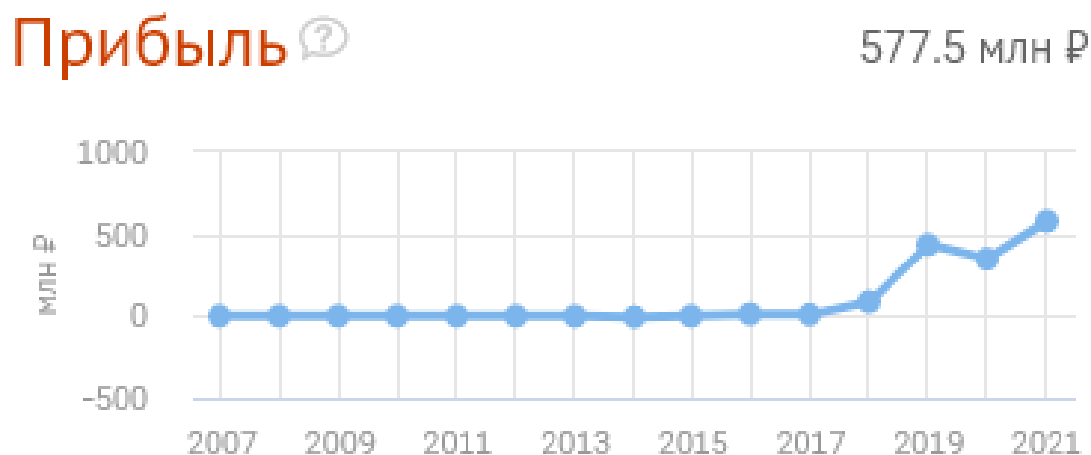


Рисунок 3 – Динамика прибыли компании ООО «НС-Ойл» по состоянию на 2017-2021 гг., находящаяся в свободном доступе

Динамика стоимости активов (рыночная стоимость компании) ООО «НС-Ойл» по состоянию на 2017-2021 гг., находящаяся в свободном доступе, представлена в работе на рисунке 4.



Рисунок 4 – Динамика стоимости активов (рыночная стоимость компании) ООО «НС-Ойл» по состоянию на 2017-2021 гг., находящаяся в свободном доступе

Уставной капитал ООО «НС-Ойл» по состоянию на 1 января 2023 года составлял более 10 млрд. руб.

По состоянию на начало 2023 года, совокупная стоимость активов ООО «НС-Ойл» составляла более 100 млрд. руб.

По состоянию на начало 2023 года, согласно данным из открытых источников, на предприятии ООО «НС-Ойл» работало около 300 человек.

Финансовая и организационная отчетность предприятия ООО «НС-Ойл», находящаяся в свободном доступе, позволяет сделать предположение о значительной перспективе развития данного предприятия в условиях современности, при условии расширения рынков, увеличения спроса на производимую продукцию, а также налаживанию и восстановления логистических связей предприятия.

Таким образом, учитывая текущую позитивную и прогрессивную финансовую и техническую ситуации на ООО «НС-Ойл», а также перспективу развития данного предприятия, можно сделать вывод, что строительство нового современного нефтеперерабатывающего завода, позволяющего значительно расширить производственные мощности и увеличить прибыль ООО «НС-Ойл», представляется актуальной задачей. Данный вопрос рассматривается в работе детально.

Анализ исходных данных на проектирование

В работе осуществляется разработка системы электроснабжения одного из объектов нефтеперерабатывающей промышленности – нового современного нефтеперерабатывающего завода.

Ввод в эксплуатацию качественно новых объектов нефтеперерабатывающей промышленности, на которых основной производственный цикл и оборудование были бы современными и сконцентрированными на одной общей территории, технически и экономически выгодными и рентабельными.

Одним из таких предприятий должен стать рассматриваемый в работе нефтеперерабатывающий завод универсального типа, основная задача которого – производство высококачественных продуктов из нефти, а также сопутствующих товаров народного потребления.

На основании перечисленных аспектов можно сделать вывод, что современные предприятия нефтеперерабатывающей промышленности страны, требуют комплексного и квалифицированного подхода к проектированию всех систем обеспечения жизнедеятельности, в особенности систем электроснабжения.

Поэтому разработка качественного проекта системы электроснабжения объекта исследования, является важнейшей задачей работы.

Классификация нефтеперерабатывающих заводов предусматривает два варианта производства готовой продукции, которые осуществляются по двум основным технологическим схемам:

- схема неглубокой переработки нефти (топливный вариант) – основной вариант переработки нефти, при котором основным видом продукции является топливные фракции (бензин, дизельное топливо, керосин и прочие аналогичные продукты);
- схема глубокой переработки нефти (масляный вариант) – расширенный вариант переработки нефти, при котором основным видом продукции является топливные фракции (бензин, дизельное топливо, керосин и прочие аналогичные продукты), а побочным – гудрон, масла, мазут и битум. Такая схема более затратная, но более полная, при которой практически не остаётся отходов.

Оба варианта активно используются на нефтеперерабатывающих заводах в Российской Федерации.

«Технологическая схема неглубокой переработки нефти (топливный вариант) представлена на рисунке 5» [2].

В состав современного нефтеперерабатывающего завода входят производственные и непроизводственные участки, цеха и подразделения.

Технологическая схема с указанием основных производственных и технологических узлов и подразделений проектируемого в работе нефтеперерабатывающего завода, схематически представлена в работе на рисунке 7 [12].

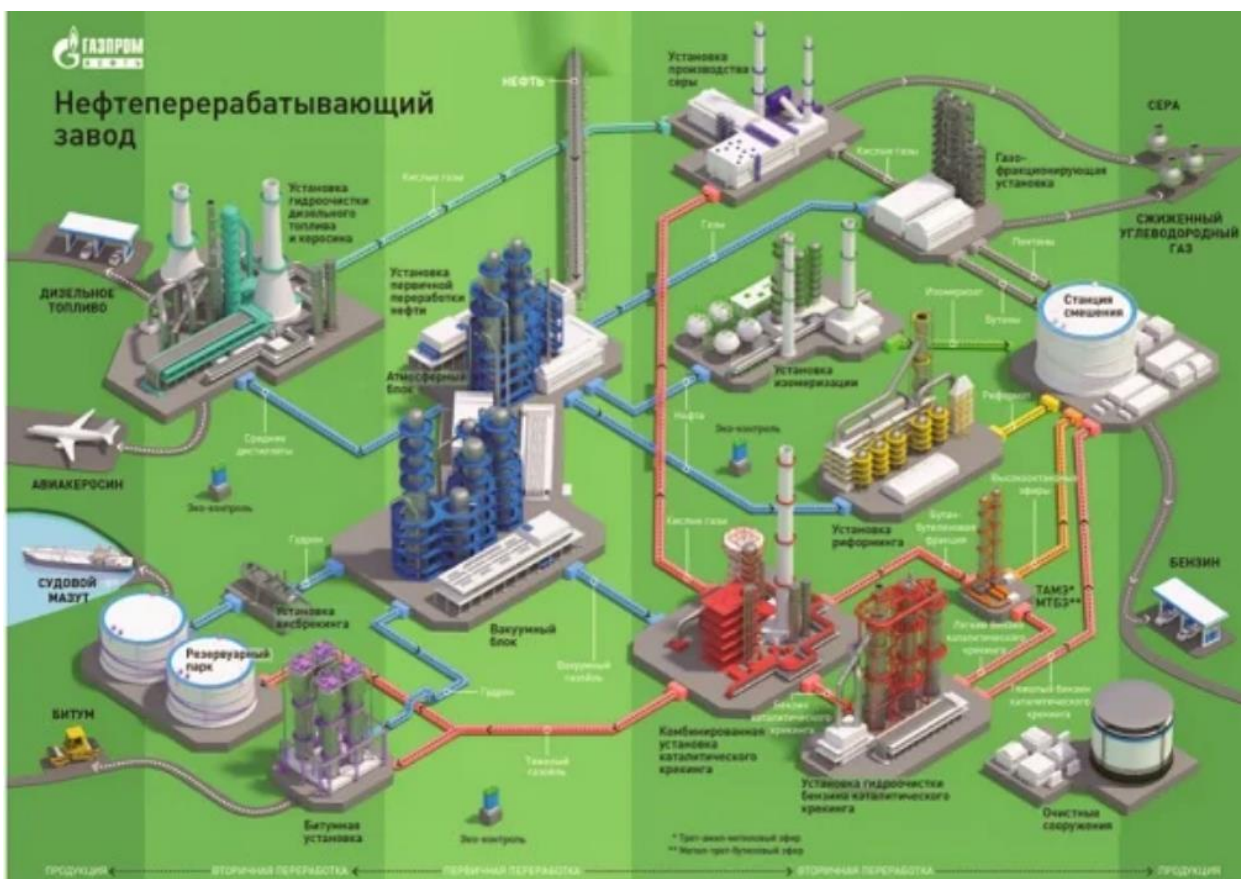


Рисунок 7 – Технологическая схема с указанием основных производственных и технологических узлов и подразделений проектируемого нефтеперерабатывающего завода

Таким образом, в результате проведенного анализа технологической схемы проектируемого в работе нефтеперерабатывающего завода, установлено, что к основным технологическим подразделениям относятся:

- участок подготовки нефти;
- участок первичной переработки нефти;
- участок ректификации;

- участок крекинга;
- участок готовой продукции.

В современной системе классификации цехов и участков, принято выделять производственные и непроизводственные системные элементы в структуре любого производственного цикла.

Непроизводственные системные элементы играют менее важную роль в технологическом процессе производства, но они важны для общего производственного цикла.

К основным непроизводственным элементам и структурным подразделениям проектируемого в работе нефтеперерабатывающего завода, относятся следующие службы, узлы и коммуникации, обеспечивающие технологический процесс или общий технологический цикл производства:

- технические службы обеспечения основного производства (насосная, котельная, компрессорная, лаборатория контроля качества, транспортный участок, ремонтно-эксплуатационный комплекс, инструментальный участок);
- службы подготовки основного производства (участок приёма первичного сырья, участки первичной обработки, заготовительный участок);
- складские комплексы и помещения различного назначения;
- административные и хозяйственные здания и постройки (заводоуправление, торгово-выставочный комплекс, медицинский пункт, проходная и столовая).

Все перечисленные выше основные непроизводственные элементы и структурные подразделения проектируемого в работе нефтеперерабатывающего завода, рекомендуется объединять в укрупнённые блоки, таким образом, усовершенствуя технологический процесс и снижая производственные потери, а также перерасход и потери электроэнергии в сети предприятия.

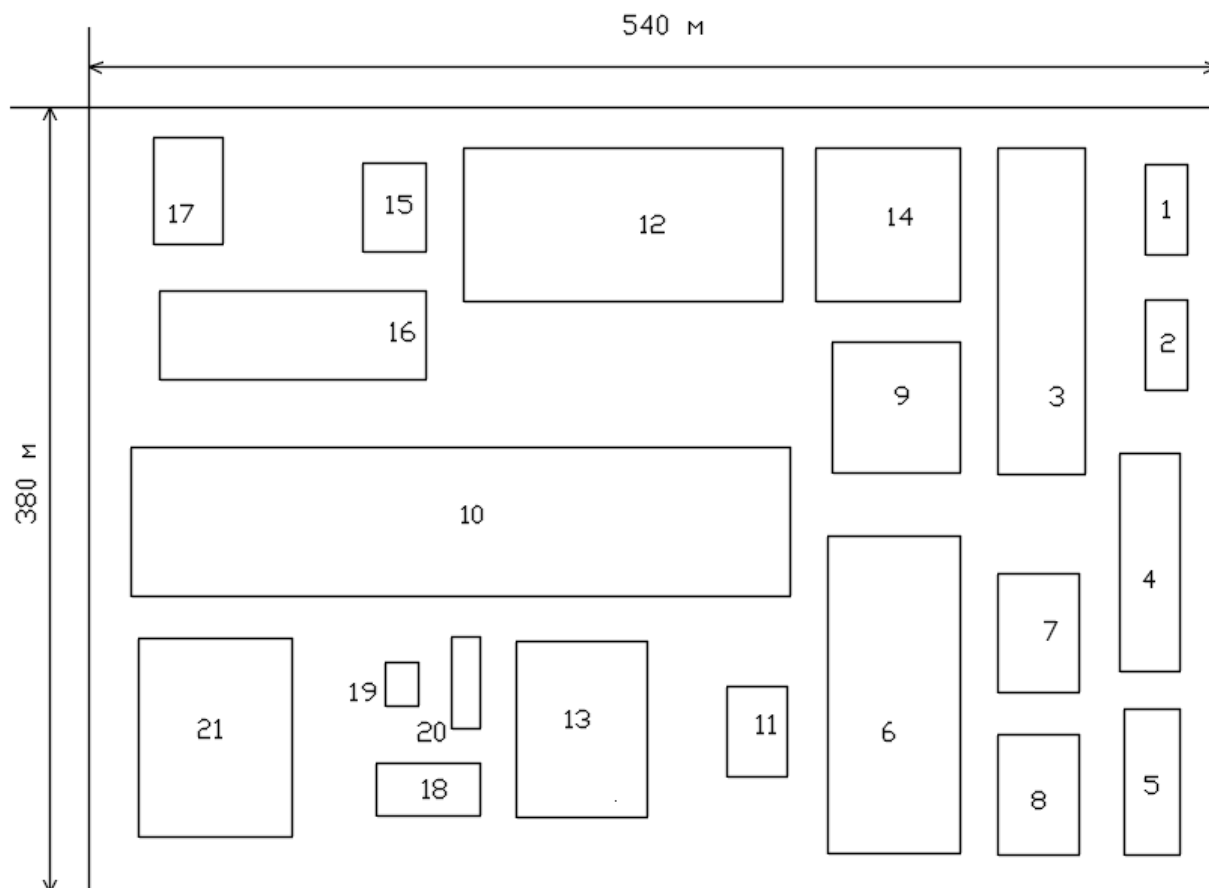
При этом, на проектируемом нефтеперерабатывающем заводе, также имеются по два высоковольтных электродвигателя компрессорной и насосной, которые нельзя объединить с нагрузкой напряжением ниже 1 кВ любого из основных групп подразделений, поэтому компрессорная и насосная с данными высоковольтными двигателями рассматривается как отдельное подразделение.

Основные технические характеристики производственных и непроизводственных подразделений проектируемого в работе нефтеперерабатывающего завода, представлены в работе в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики подразделений нефтеперерабатывающего завода

Номер по плану	Наименование	Тип подразделения/ категория надёжности	P_m , кВт
1	Хранилище нефти	Непроизводственное/III	240
2	Склад готовой продукции	Непроизводственное/III	280
3	Участок ректификации	Производственное/I	2932
4	Участок готовой продукции	Производственное/I	1500
5	Участок подготовки нефти	Производственное/I	1198
6	Насосная (0,4 кВ)	Непроизводственное/I	1245
	Насосная (10 кВ)		2780
7	Железнодорожный узел	Непроизводственное/II	870
8	Погрузочно – разгрузочный узел	Непроизводственное/II	825
9	Участок крекинга	Производственное/I	1880
10	Участок первичной переработки нефти	Производственное/I	8075
11	Лаборатория контроля качества	Непроизводственное/II	1980
12	Компрессорная (0,4 кВ)	Непроизводственное/I	1512
	Компрессорная (10 кВ)		3920
13	Участок ремонта и обслуживания	Непроизводственное/II	2390
14	Котельная	Непроизводственное/II	2155
15	Автопарк	Непроизводственное/III	640
16	Фильтрационная	Непроизводственное/II	685
17	Склад битума	Непроизводственное/III	170
18	Административно-техническое здание	Непроизводственное/III	235
19	Медпункт, столовая, проходная	Непроизводственное/III	75
20	Склад гудрона	Непроизводственное/III	95
21	Вакуумный участок	Непроизводственное/II	500
Всего по предприятию		-	36182

«Генеральный план расположения подразделений на территории нефтеперерабатывающего завода, представлен на рисунке 8» [4].



«Рисунок 8 – Генеральный план расположения подразделений на территории проектируемого нефтеперерабатывающего завода» [4]

«Также в работе используются следующие основные исходные данные согласно заданию на проектирование» [9]:

- проектируемое предприятие нефтеперерабатывающей промышленности (новый нефтеперерабатывающий завод универсального типа), по категории надёжности районных потребителей, относится ко II категории;
- питание проектируемого нефтеперерабатывающего завода от энергетической системы предполагается осуществить от узловой районной подстанции с классами напряжения 110/35/6 кВ, на которой находятся два силовых трансформатора, расстояние до данной питающей ПС составляет 20 км;
- возможны два варианта питания проектируемой системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода: от шин 35 кВ

- (распределительное питание отходящими линиями от ОРУ-35 кВ районной подстанции) или от шин 110 кВ (транзитное питание от ввода 110 кВ ОРУ-110 кВ районной подстанции);
- прокладка воздушной линии электропередачи от питающей районной ПС-110/35/10 кВ энергосистемы возможна как на напряжении 110 кВ, так и на напряжении 35 кВ;
 - все потребители цехов получают питание от источников на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ, за исключением двух насосных установок с высоковольтными двигателями 10 кВ, находящимися в насосной, и двух компрессоров с приводными двигателями высокого напряжения 10 кВ.

Выводы по разделу.

«В работе было приведено описание и анализ технологического процесса и производственного цикла, а также основных и вспомогательных цехов и участков, проектируемой системы электроснабжения» [11] нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл» (Ульяновская область, пос. Новоспасское).

Финансовая и организационная отчётность предприятия ООО «НС-Ойл», находящаяся в свободном доступе, позволяет сделать предположение о значительной перспективе развития данного предприятия в условиях современности, при условии расширения рынков, увеличения спроса на производимую продукцию, а также налаживанию и восстановления логистических связей предприятия.

Таким образом, учитывая текущую позитивную и прогрессивную финансовую и техническую ситуации на ООО «НС-Ойл», а также перспективу развития данного предприятия, можно сделать вывод, что строительство нового современного нефтеперерабатывающего завода, позволяющего значительно расширить производственные мощности и увеличить прибыль ООО «НС-Ойл», представляется актуальной задачей.

Следовательно, в работе показано, что разработка качественного проекта вводимой в эксплуатацию системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл», с внедрением основных групп мероприятий по проектированию, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

«Поставленные задачи по проектированию системы электроснабжения нового нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл», решаются в работе далее с применением перспективных технических решений и современных расчётных методик» [8].

Все полученные выводы должны быть обоснованы результатами расчётов.

Проектирование системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода

Выбор и обоснование схемы электроснабжения завода

«В системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода преобладают потребители II-й категории, поэтому электроснабжение объекта осуществляется по двухцепной ЛЭП с установкой на ГПП двух трансформаторов» [4]. 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 нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл». На основании проведённого анализа, составляется структурная схема ГПП внешней системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл» (рисунок 9) [1].

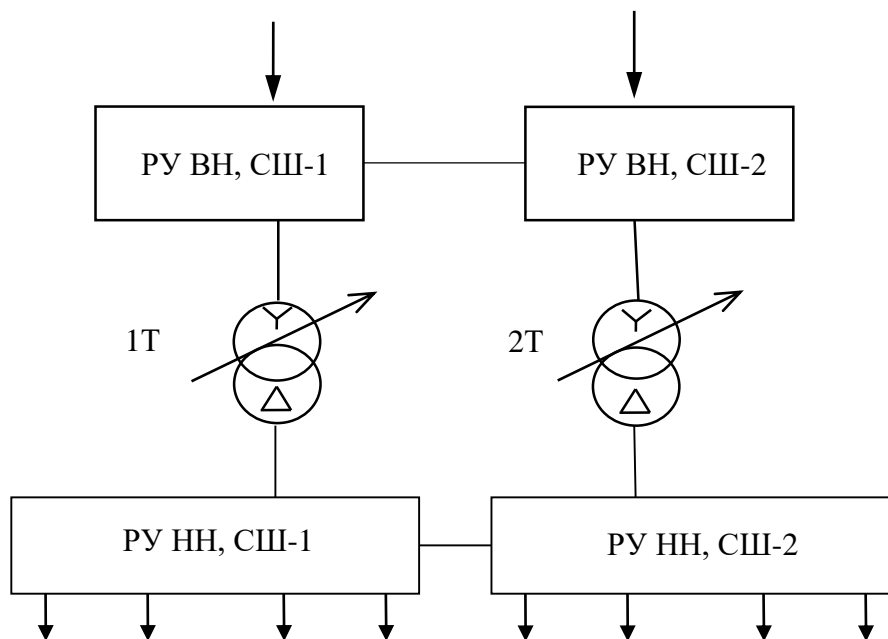


Рисунок 9 – Структурная схема ГПП системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл»

Выбор номинального высшего напряжения структурной схемы внешнего электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл», осуществляется в работе далее при на основе технико-экономического обоснования при выборе трансформаторов ГПП.

Для низшего напряжения структурной схемы внешнего электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл», 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 нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл», получают питание цеховые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ.

Количество трансформаторных цеховых подстанций 10/0,4 кВ выбирается в работе далее.

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».

«Как было установлено ранее, электроснабжение объекта может осуществляется от» [15] РУ-110 кВ (транзитная линия без захода на питающую районную подстанцию) или РУ-35 кВ (отходящее питание) районной ПС 110/35/10 кВ.

В результате анализа исходных технических данных, принимается к установке в качестве источника питания главная понизительная подстанция (ГПП).

Все выбранные схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл» отвечают требованиям нормативных документов и принимаются к использованию на объекте проектирования. Общая схема электроснабжения объекта проектирования, составленная с учётом выбранных схем отдельных её составляющих, показана в работе на графическом листе 2.

Расчёт электрических нагрузок

«Для достижения поставленной цели необходимо провести расчёт электрических нагрузок» [6] нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл», 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.

Расчёт выполняется 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 нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл» 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 – «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:

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

Расчёт силовой нагрузки системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода проводится с учётом высоковольтных двигателей компрессорной и насосной. Для них предусматривается отдельное питание по радиальной схеме от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ. Также отдельно

считается силовая и осветительная нагрузка, сводясь, в конечном итоге, к результатам суммарных электрических нагрузок объектов завода. Таким образом, в форме таблицы 2, представлены суммарные результаты расчёта нагрузок групп подразделений системы электроснабжения НПЗ.

«Таблица 2 – Результаты расчёта суммарных расчётных электрических нагрузок проектируемой системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода» [17]

Наименование цеха	Силовая нагрузка			Осветительная нагрузка			Суммарная расчетная нагрузка		
	$P_{силь}$, кВт	$Q_{силь}$, кВар	$P_{силь}$, кВт	$P_{осв}$, кВт	$Q_{осв}$, кВар	$S_{осв}$, кВА	P_c , кВт	Q_c , кВар	S_c , кВА
Хранилище нефти	85	72	120	10,1	5,5	11,2	96,1	72,5	120,4
Склад готовой продукции	101	84	140	10,1	5,5	11,2	112,1	84,5	140,4
Участок ректификации	1026,2	1046,7	1465,9	59,3	28,5	65,8	1085,5	1075,2	1527,9
Участок готовой продукции	750	660	999	27,8	13,3	30,8	777,8	673,3	1028,7
Участок подготовки нефти	599	527,1	797,9	18,1	8,7	20,1	617,1	535,8	817,2
Насосная (0,4 кВ)	622,5	547,8	829,2	74,1	35,6	82,2	2086,6	1806,6	2760
Насосная (10 кВ)	1390	1223,2	1851,6						
Железнодорожный узел	435	382,8	579,5	20,4	9,8	22,6	455,4	392,6	555,2
Погрузочно – разгрузочный узел	412,5	363	549,5	21,5	10,3	23,8	434	373,3	572,5
Участок крекинга	940	827,2	1252,1	20,7	9,9	23,0	960,7	837,1	1274,2
Участок первичной переработки нефти	4037,5	3553	5378,2	370,5	177,8	411,0	4408	3730,8	5774,9
Лаборатория контроля качества	990	742,5	1237,5	11,1	5,3	12,3	1001,1	747,8	1249,6
Компрессорная (0,4 кВ)	756	665,3	1007	89,8	43,1	99,6	2805,8	2433,2	3713,9
Компрессорная (10 кВ)	1960	1724,8	2610,8						
Участок ремонта и обслуживания	836,5	853,2	1194,9	37,3	17,9	41,4	873,8	871,1	1233,8
Котельная				42	20,2	46,6	1335	990	1662
Автопарк	224	197,1	298,4	3,3	1,6	3,7	227,3	198,7	301,9
Фильтрационная	239,8	211	319,4	10,7	5,1	11,9	250,5	216,1	330,8
Склад битума	68	51	85	13,3	6,4	14,8	81,3	57,4	99,5
Административно-техническое здание	117,5	88,1	146,9	11,1	5,3	12,3	128,6	93,4	158,9
Медпункт, столовая, проходная	37,5	28,1	46,9	1,6	0,8	1,8	39,1	28,9	48,6
Склад гудрона	47,5	22,8	52,7	4,3	2	4,7	51,8	24,8	57,4
Вакуумный участок	250	187,5	312,5	6,8	3,2	7,5	256,8	190,7	319,9
Всего по заводу							18084,4	15433,8	23775

На основе полученных расчётных значений электрических нагрузок, далее в работе проводятся мероприятия по выбору основного оборудования в проектируемой системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл».

Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП

Ранее в работе было обосновано применение класса низшего напряжения 10 кВ для питающей ГПП системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл».

В данном разделе проводится обоснование и выбор высшего класса напряжения для применения на питающей ГПП системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл», с последующим выбором марки силовых трансформаторов на ГПП.

Как было указано ранее, на главной понизительной подстанции ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл», в связи с наличием значительной группы потребителей, относящихся к 1 и 2 категории надёжности, рекомендовано установить два силовых трансформатора.

Согласно заданию на выполнение работы, электроснабжение нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл» может осуществляться от ПС 110/35/10кВ.

Для определения рационального значения номинального напряжения в системе внешнего напряжения, в схеме электроснабжения проектируемого нефтеперерабатывающего завода, используется известная формула Илларионова [15]:

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500/P}}, \quad (8)$$

где L – «длина питающей линии, км;

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

Для высшего напряжения ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл» [1] по условию (8):

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/20 + 2500/36,182}} = 103,1 \text{ кВ.}$$

Таким образом, исходя из номинальных напряжений, применяемых в электрической сети Российской Федерации, принимается ближайшее большее стандартное значение номинального напряжения внешней системы электроснабжения проектируемого нефтеперерабатывающего завода, равного значению 110 кВ [3].

Учитывая полученные значения показателей и технических данных, полученных в результате расчёта нагрузки потребителей системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл», проводится расчётная проверка мощности новых трансформаторов на ГПП предприятия.

Известно, что в системе внешнего электроснабжения предприятий необходимо предусмотреть компенсацию реактивной мощности, результаты которой влияют на выбор мощности силовых трансформаторов.

Входная реактивная мощность, которая компенсируется на шинах подстанции ГПП-110/10 кВ в проектируемой системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, определяется так:

$$Q_{\text{эл}} = \alpha \cdot P_{\text{сум.}}, \quad (9)$$

где α - «коэффициент эквивалентности» [13].

$$Q_{\text{эл}(U=110\text{кВ})} = 0,25 \cdot 18380,9 = 4595,2 \text{ кВар.}$$

С учётом компенсации реактивной мощности, значение полной расчётной мощности на шинах ГПП-110/10 кВ в проектируемой системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода:

$$S_{м.зпт} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma 1}^2} \cdot K_{рм}, \quad (10)$$

где « $K_{рм}$ —коэффициент разновременности максимума нагрузки» [15].

$$S_{м.зпт} = \sqrt{18380,9^2 + 4595,2^2} \cdot 0,95 \approx 18000 \text{ кВА}.$$

Данное значение расчётной мощности на шинах ГПП-110/10 кВ после КРМ, используется в расчётах далее.

Расчётная мощность силового трансформатора для установки на понизительной подстанции определяется по известной формуле [12]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{м.зпт}}{N \cdot K_3}, \quad (11)$$

где $S_{м.ГПП}$ – максимальное значение полной расчетной нагрузки трансформаторной подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, с учётом КРМ.

По условию (11) для силовых трансформаторов, установленных на ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, с учётом КРМ:

$$S_{ном.т(U=110 \text{ кВ})} \geq \frac{18000}{2 \cdot 0,8} = 11250 \text{ кВА}.$$

При выборе проводится сравнение номинальной мощности выбранного силового трансформатора и полученного значения расчётной мощности

трансформатора ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода:

$$S_{\text{ном.т.}} \geq S_{\text{ном.т.р.}}, \text{MBA}, \quad (12)$$

Предварительные условия проверки силовых трансформаторов, установленных на ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, по условию (12) выполняются:

$$S_{\text{ном.т.}} = 16000 \text{ кВА} \geq S_{\text{ном.т.р.}} = 11250 \text{ кВА}.$$

Значит, исходя из результатов предварительной проверки, для установки на ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, принимаются силовые трансформаторы марки ТДН-16000/110.

Далее в работе проводится проверка силовых трансформаторов на перегрузочную способность как в нормальном, так и в максимальном (послеаварийном) режиме работы [8].

Для проверки трансформаторов марки ТДН-16000/110, установленных на подстанции ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода на загрузочную способность, в работе используется типичный упрощенный суточный трёхступенчатый график нагрузок активной нагрузки потребителей нефтеперерабатывающей промышленности, представленный на рисунке 10 [9].

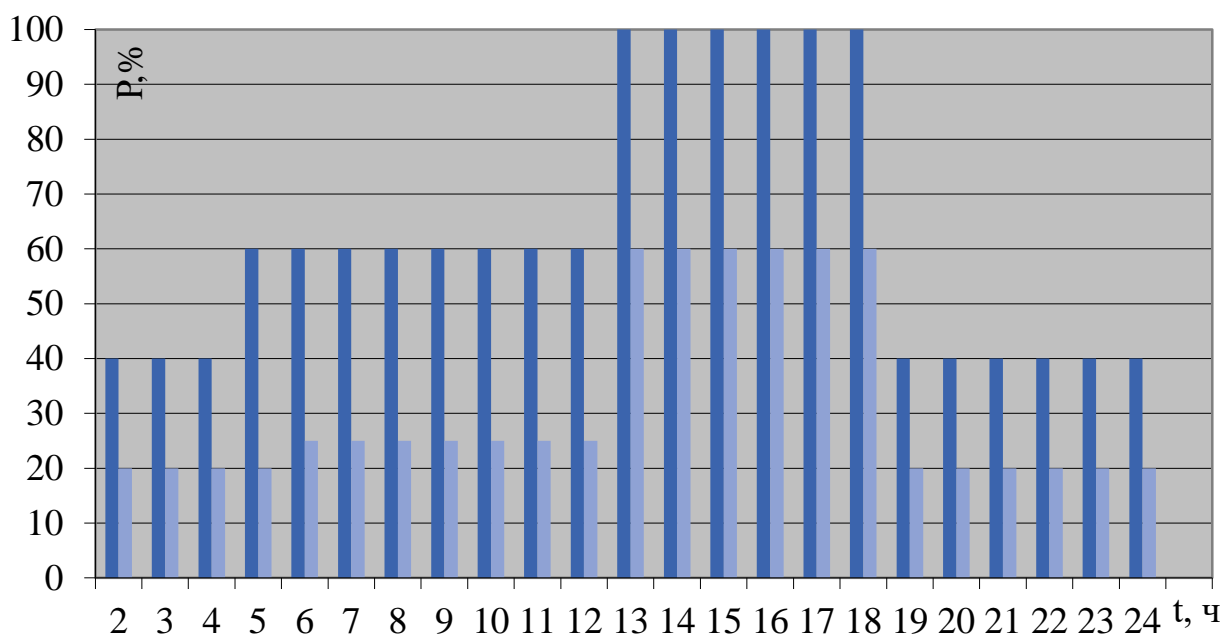


Рисунок 10 – Типичный график нагрузок нефтеперерабатывающих предприятий для лета (светло-синий цвет) и зимы (тёмно-синий цвет)

Как видно из типичного графика нагрузки (рисунок 10), нагрузка зимних месяцев существенно больше, чем нагрузка летних месяцев.

Поэтому далее в работе все расчёты по проверке силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ проводятся для зимних месяцев типичного графика нагрузки.

Типичный упрощенный суточный график нагрузок потребителей нефтеперерабатывающей промышленности с указанием ступеней, исходя из условий технологического процесса, представлен в работе на рисунке 11.

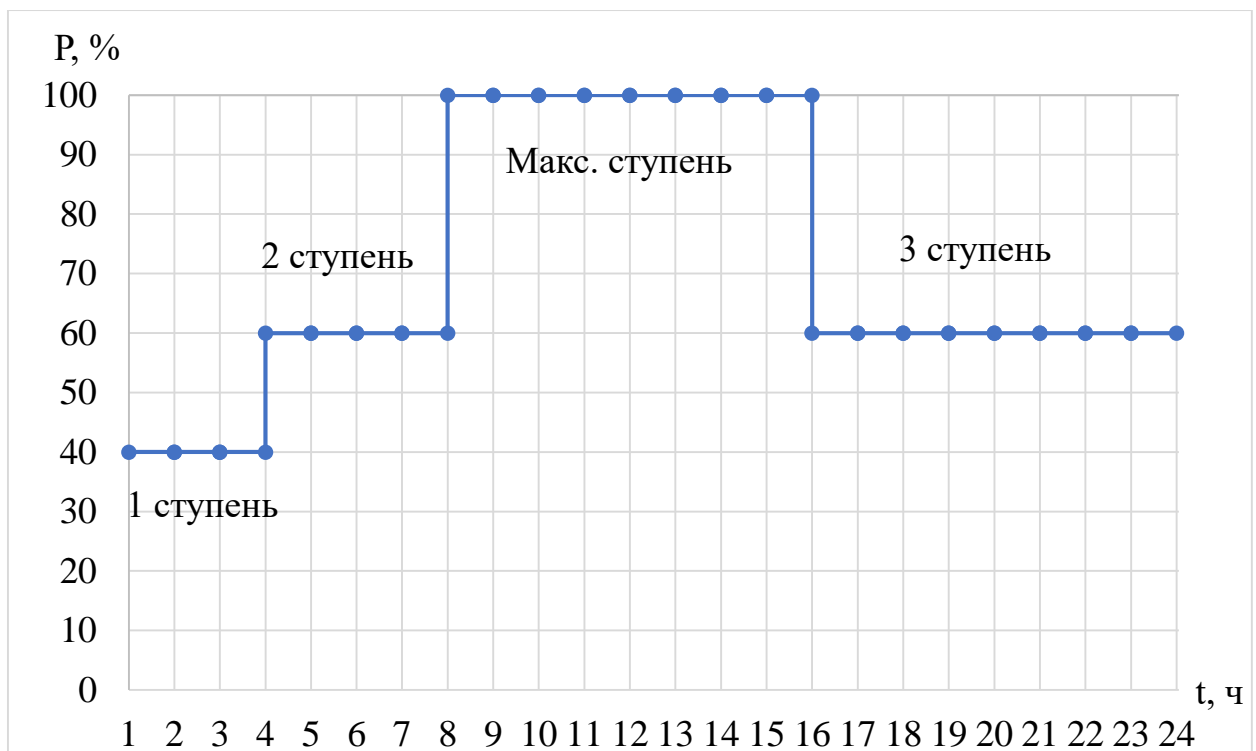


Рисунок 11 – Типичный упрощенный суточный график нагрузок потребителей нефтеперерабатывающей промышленности с указанием ступеней, исходя из условий технологического процесса

Как известно, на суточных графиках нагрузки есть участки, соответствующие допустимым нагрузкам и перегрузкам.

Условия проверки силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода на перегрузочную способность, согласно суточному графику нагрузок [12]:

$$K_2 \leq K_{2\text{доп}}, \quad (13)$$

где K_2 – расчетный коэффициент аварийной перегрузки суточного графика нагрузки трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода;

$K_{2\text{доп}}$ – коэффициент допустимой аварийной перегрузки суточного графика нагрузки трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода.

В конечном итоге, с учётом допустимых коэффициентов и мощности (расчётной и номинальной) трансформаторов, установленных на ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода:

$$S_{\max} \leq S_{\text{ном.Т}} \cdot K_{2\text{доп}}. \quad (14)$$

Исходный суточный график нагрузки силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода задан для значений активной нагрузки (рисунок 11).

При этом:

$$S_{\max} = \frac{P_{\max}}{\cos \varphi}, \text{ МВА}. \quad (15)$$

Принимается условное равенство нагрузки НПЗ.

Исходя из этого допущения, на один силовой трансформатор ГПП приходится половина суммарной расчётной нагрузки всей системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода (с учётом КРМ):

$$P_{\max} = \frac{P_{\text{ПС}}}{n}, \text{ МВт}, \quad (16)$$

где n – количество рабочих силовых трансформаторов на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода.

Таким образом, на один силовой трансформатор, установленный на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, приходится, по условию (15):

$$P_{\max} = \frac{18,084}{2} = 9,042 \text{ МВт}.$$

Для трансформатора ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, максимальное значение полной мощности с учётом КРМ, по типичному суточному графику нагрузки по (14):

$$S_{\max} = \frac{9,042}{0,92} = 9,83 \text{ МВА.}$$

Для всех остальных ступеней суточного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, используется следующая пропорция по (14):

$$9,83 \text{ МВА} = 100 \% .$$

$$S_{i.cm} = x \% .$$

Исходя из соотношения пропорции, определяется пропорциональная нагрузка ступеней типичного суточного графика нагрузок ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода.

Для первой ступени суточного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода по (14):

$$S_{1.cm} = \frac{9,83 \cdot 30}{100} \approx 2,95 \text{ МВА.}$$

Для второй и третьей ступеней нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода по условию (14):

$$S_{2,3.cm} = \frac{9,83 \cdot 60}{100} \approx 5,90 \text{ МВА.}$$

Осуществляется преобразование типичного суточного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, в эквивалентный график нагрузки.

Для этой цели определяются коэффициенты нормальной нагрузки и допустимой перегрузки силового трансформатора, установленного на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода.

Значение коэффициента начальной нагрузки K_1 эквивалентного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, определяется так:

$$K_1 = \frac{1}{S_{ном}} \sqrt{\frac{S_1^2 \Delta t_1 + S_2^2 \Delta t_2 + \dots + S_m^2 \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}}, o.e. \quad (17)$$

По условию (17) для силового трансформатора ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода:

$$K_1 = \frac{1}{16} \sqrt{\frac{2,95^2 \cdot 4 + 5,9^2 \cdot 4 + 5,9^2 \cdot 8}{16}} \approx 0,33.$$

Таким образом, систематическая нагрузка силового трансформатора, установленного на ГПП-110/10 кВ, составит 33 % (5,28 МВА).

Значение расчётного коэффициента допустимой аварийной перегрузки K'_2 эквивалентного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода определяется, исходя из условия:

$$K'_2 = \frac{1}{S_{ном}} \sqrt{\frac{(S'_1)^2 \Delta h_1 + (S'_2)^2 \Delta h_2 + \dots + (S'_p)^2 \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p}}, o.e. \quad (18)$$

По условию (18) для силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода:

$$K'_2 = \frac{1}{16} \sqrt{\frac{9,83^2 \cdot 8}{8}} \approx 0,61.$$

Таким образом, в режиме максимальных перегрузок, нагрузка выбранного типа трансформатора ГПП-110/10 кВ составит максимальное значение 61% (9,76 МВА). Значит, трансформатор не перегружается.

Все полученные числовые значения эквивалентного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, включая значения расчётных коэффициентов нормальной нагрузки K_1 и допустимой перегрузки K_2 , показаны на рисунке 12.

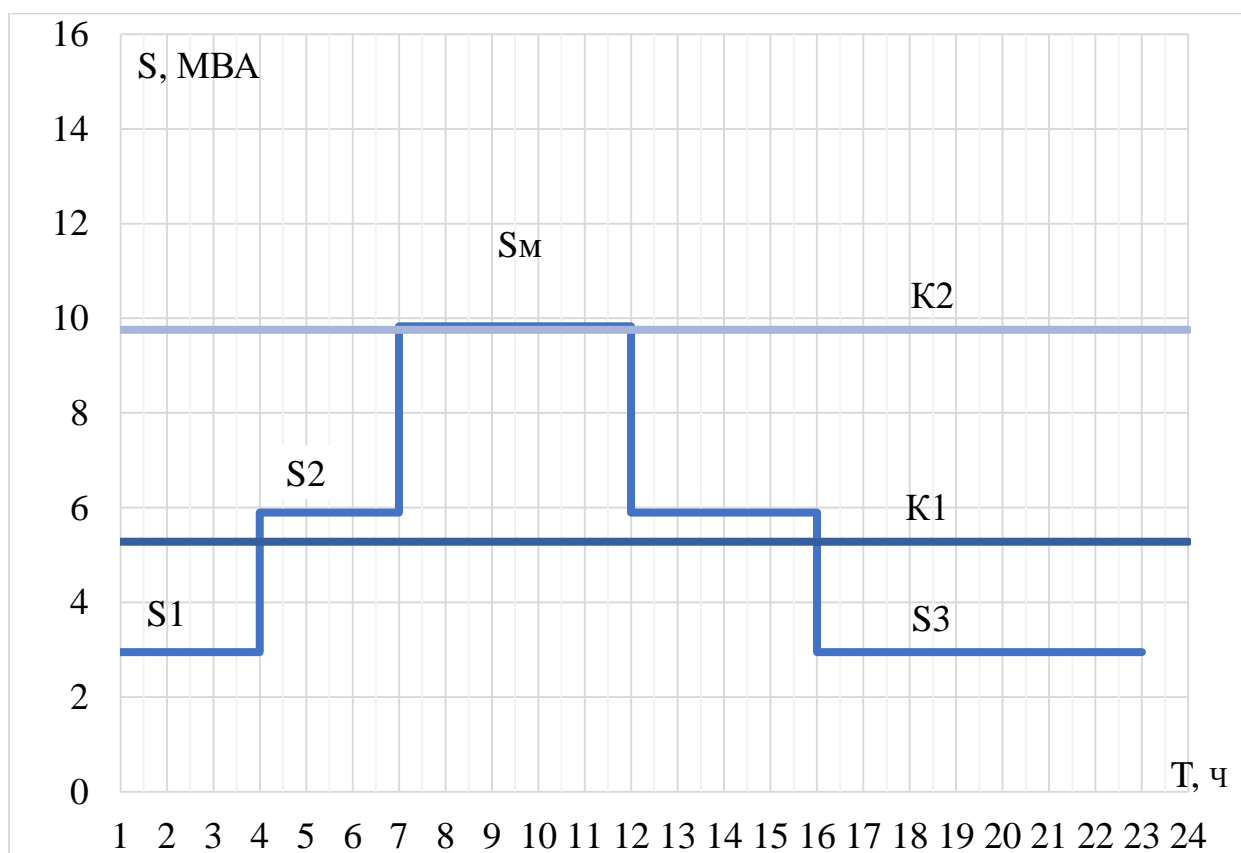


Рисунок 12 – Значения эквивалентного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода

«Для допустимых аварийных перегрузок силового трансформатора при системе охлаждения типа Д, $\theta_{охл} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$, $K_1 = 0,33$, $h = 8 \text{ ч}$ [12] определяется $K_{2\text{дон}} \approx 1,25$, что превышает значение расчётного коэффициента фактической перегрузки» [10] силового трансформатора $K_2 = 0,66$.

Условие проверки соблюдается.

Проверка условия (13) для силовых трансформаторов подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода:

$$S_{\max} = 9,83 \text{ МВА} \leq 16 \cdot 1,25 = 20 \text{ МВА}.$$

Условие проверки соблюдается.

Следовательно, оба однотипных силовых трансформатора марки ТДН-16000/110, рекомендуемые к установке на ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, удовлетворяют условиям всех требуемых проверок, согласно данным суточного графика нагрузки подстанции.

Таким образом, они окончательно принимаются к установке на главной понизительной подстанции 110/10 кВ НПЗ.

Выбор и проверка трансформаторов цеховых ТП внутренней системы электроснабжения

«Минимальная мощность трансформатора для установки на ЦТП-10/0,4 кВ нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл»» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N\beta_T}, \quad (19)$$

«

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

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

е

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

С учётом неравномерности распределения нагрузки на территории предприятия, в работе предлагается:

- выбрать все цеховые ТП-10/0,4 кВ двухтрансформаторными, что значительно упростит подключение всех потребителей и уменьшит количество подстанций и промежуточных звеньев;
- в первую очередь, предусмотреть питание потребителей I и II категорий надёжности от каждой цеховой ТП-10/0,4 кВ двумя линиями от разных трансформаторов, потребители III категории подключать к существующим ТП-10/0,4 кВ с учётом близости и максимальной допустимой нагрузки на трансформаторы подстанций.

С учётом приведённых предложений, в работе принимается к установке девять цеховых ТП-10/0,4 кВ.

«Расчёт и выбор мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере ТП-1 внутренней СЭС нефтеперерабатывающего завода по условию (19)» [8]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1788,7}{2 \cdot 0,7} = 1277,6 \text{ кВА.}$$

«Для установки на цеховой ТП-1 внутренней СЭС нефтеперерабатывающего завода, предварительно приняты два силовых трансформатора марки ТМ-1250/10» [12].

Это – стандартные силовые трансформаторы классического исполнения с естественным масляным охлаждением.

Данный тип трансформаторов широко распространён на понизительных подстанциях.

«Выбор остальных трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ проведён аналогично и результаты приведены в таблице 3» [16].

«Таблица 3 – Выбор числа и мощности трансформаторов на цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС нефтеперерабатывающего завода» [19]

№ ТП	n×S _{ном} , кВА	Номер цеха, по плану	S _{рΣ} , кВА	Категория надёжности
ТП № 1	2×1250	Хранилище нефти	1788,7	III
		Склад готовой продукции		III
		Участок ректификации		I
ТП № 2	2×630	Участок готовой продукции	1028,7	I
ТП № 3	2×1250	Участок подготовки нефти	1944,9	I
		Железнодорожный узел		II
		Погрузочно – разгрузочный узел		II
ТП № 4	2×1000	Котельная	1662	I
ТП № 5	2×1000	Участок крекинга	1274,2	I
ТП № 6	2×1600	Насосная (0,4 кВ)	2760	I
ТП № 7	2×2500	Компрессорная (0,4 кВ)	4446,1	I
		Автопарк		III
		Фильтрационная		III
		Склад битума		III
ТП № 8	2×3200	Участок первичной переработки нефти	5774,9	I
ТП № 9	2×1600	Лаборатория контроля качества	2868,2	II
		Участок ремонта и обслуживания		II
		Административно-техническое здание		III
		Медпункт, столовая, проходная		III
		Склад гудрона		III
		Вакуумный участок		II

При выборе силовых трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ, следует также провести проверку целесообразности компенсации реактивной составляющей мощности в электрической сети, которую питают трансформаторы ЦТП. Проверка начинается с определения целесообразной реактивной мощности через ЦТП и проводится по следующему условию:

$$Q_{\max,m} = \sqrt{\left(N_{\text{опт}} \beta_{\text{норм},m} S_{\text{ном}}\right)^2 - P_{\text{см}}^2}. \quad (20)$$

На всех ЦТП-10/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, устанавливаются компенсирующие батареи конденсаторов с напряжением 0,4 кВ.

Их реактивная мощность:

$$Q_{НБК} = Q_p - Q_{\max,m}. \quad (21)$$

Для трансформаторов, предварительно выбранных на цеховой ТП-1:

$$Q_{\max,m} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 1250)^2 - 1317,9^2} = 1504,4 \text{ квар.}$$

$$Q_{НБК} = 1232,2 - 1504,4 = -172,2 \text{ квар.}$$

Величина реактивной мощности батарей конденсаторов для установки на цеховой ТП-1 меньше нуля, значит, на шинах 0,4 кВ ТП-1 компенсирующие устройства устанавливать не нужно.

На других ЦТП внутренней СЭС нефтеперерабатывающего завода выбор силовых трансформаторов с учётом компенсации реактивной составляющей нагрузки аналогичен (таблица 4).

Таблица 4 – Выбор компенсации реактивной составляющей нагрузки на шинах 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ

ТП	EMBED Equation.DSM T	$S_{\text{ном.тп}}$, кВА	EMBED Equation n кВАр	EMBED Equation. D кВАр М	EMBED Equation. D кВАр М	Типономинал КУ	Количество × мощность КУ, шт × кВАр
ТП1	1317,9	2×1250	1504,4	1232,2			-
ТП2	794,4	2×630		673,3		УКРП-0,4-25-20У3	2×25
ТП3	1533,7	2×1250	1283,7	1301,7			-
ТП4	1359,7	2×1000	986,5	990,0			-
ТП5	977,6	2×1000	1266,7	837,1			
ТП6	2123,6	2×1600	1429,7	1806,6		УКРП-0,4-150-20У3	2×150
ТП7	3414,2	2×2500	2084	2905,4		УКРП-0,4-400-20У3	2×400
ТП8	4469,5	2×3200	2497,6	3730,8		УКРП-0,4-600-20У3	2×600
ТП9	2390,3	2×1600	916,6	1956,7		УКРП-0,4-500-20У3	2×500
Всего							2450

Таким образом, созданы благоприятные условия для компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения НПЗ, что приведёт к повышению эффективности использования энергоресурсов [18].

Выбор и проверка проводников в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода

Известно, что «выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 110 кВ и распределительных кабельных линий 10 кВ)» [5] СЭС нефтеперерабатывающего завода, осуществляется по известному «условию экономической плотности переменного тока» [11]:

$$S_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (22)$$

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

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

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (23)$$

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

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

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (24)$$

Все проводники в системе внешнего электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл» – класса напряжения выше 1 кВ. Поэтому методика выбора для них будет применена также одинаковая.

После выбора проводников воздушных и кабельных линий СЭС нефтеперерабатывающего завода, необходимо провести их проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах работы.

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС нефтеперерабатывающего завода в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.}, \quad (25)$$

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

Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС нефтеперерабатывающего завода в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (26)$$

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

Кроме того, «по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также» [5] коронирующего разряда (для ВЛ-110 кВ).

Выполнение данного условия проверяется по следующему соотношению:

$$S_{\text{ст}} \geq S_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (27)$$

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-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода.

Питание ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода от источника питания, осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи с применением провода марки АС.

В работе, для большей надёжности функционирования воздушных линий, для установки на новой питающей ВЛ-110 кВ, выбирается классический сталеалюминевый провод марки АС [7].

Ток нормального режима для питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода, с учётом того, что на каждую цепь двухцепной линии приходится половина нагрузки и питание осуществляется от силового трансформатора мощностью 16 МВА:

$$I_p = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} \approx 84 \text{ А.}$$

Ток послеаварийного режима для питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода (по одной цепи линии проходит вся нагрузка ГПП):

$$I_{p.\max} = 1,4 \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117,6 \text{ А.}$$

Расчётное сечение питающей ВЛ-110 кВ для обеспечения электроснабжения ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода по условию экономической плотности тока:

$$S_9 = \frac{84}{1,1} = 76,4 \text{ мм}^2.$$

Из ряда стандартных наименьших значений сечения сталеалюминевых проводов марки АС, выбирается ближайшее стандартное сечение – 70 мм².

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, выбирается для питающих ВЛ-110 кВ провод марки АС-70/11с сечением токоведущей жилы 95 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 265 \text{ А}$.

Проверка предварительно выбранного провода марки АС-70/11 для воздушной линии 110 кВ по току нормального режима:

$$265 \text{ А} \geq 84 \text{ А}.$$

Условия проверки выполняются.

Проверка предварительно выбранного провода марки АС-70/11 для воздушной линии 110 кВ по максимальному рабочему току ПАВ режима:

$$265 \text{ А} \geq 117,6 \text{ А}.$$

Условие проверки выполняется.

«Проверка предварительно выбранного провода марки АС-70/11 для воздушной линии 110 кВ по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам выполняется» [18]:

$$70 \text{ мм}^2 = 70 \text{ мм}^2.$$

Окончательно для применения на питающей ВЛ-110 кВ, в работе выбран современный провод марки АС-70/11с сечением токоведущей жилы – 70 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 265 \text{ А}$.

Проверка кабелей на допустимое падение напряжения:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P \cdot \frac{r_0 \cdot l}{n} + Q \cdot \frac{x_0 \cdot l}{n}}{U^2}, \quad (28)$$

где r_0, x_0 – удельные сопротивления КЛ, Ом/км [13].

Допустимое отклонение напряжения на конце кабеля – 5%.

Выбор остальных КЛ-10 кВ проведён аналогично (таблица 5).

«Таблица 5 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ» [10]

№ ТП (линии)	n , шт.	I_p, A	$I_{p.max.}, A$	$F_{\Sigma}, \text{мм}^2$	Марка кабеля	$I_{доп}, A$	$\Delta U, \%$
Питающие линии к ЦТП-10/0,4 кВ							
ГПП-ЦТП-1	2	52,1	104,2	37,2	АСБ-10 (3×50)	140	2,4
ГПП-ЦТП-2	2	30,1	60,2	21,5	АСБ-10 (3×25)	90	1,8
ГПП-ЦТП-3	2	58,1	116,2	41,5	АСБ-10 (3×50)	140	1,1
ГПП-ЦТП-4	2	48,6	97,2	34,7	АСБ-10 (3×35)	115	1,9
ГПП-ЦТП-5	2	37,2	74,4	26,6	АСБ-10 (3×35)	115	2,2
ГПП-ЦТП-6	2	80,5	161,0	57,5	АСБ-10 (3×70)	165	1,8
ГПП-ЦТП-7	2	129,4	258,8	92,4	АСБ-10 (3×95)	205	3,4
ГПП-ЦТП-8	2	168,0	336,0	120,0	АСБ-10 (3×120)	240	1,0
ГПП-ЦТП-9	2	89,2	178,4	63,7	АСБ-10 (3×70)	165	1,8
Питающие линии к АД-10 кВ							
ГПП-Насосная (АД-10 кВ)	2	53,5	107,0	38,2	АСБ-10 (3×50)	140	2,1
ГПП-Компрессорная (АД-10 кВ)	2	75,4	150,8	53,9	АСБ-10 (3×70)	165	1,9

Выбор ошиновки для применения в ОРУ-110 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП СЭС нефтеперерабатывающего завода осуществляется по значению максимального рабочего тока с последующей проверкой по минимально-допустимому сечению согласно механической, термической и динамической прочности.

В работе применяется для ОРУ-110 кВ гибкая ошиновка с применением ранее выбранного провода питающей ВЛ-110 кВ марки АС-70/11.

Для закрытого типа РУ-10 кВ применяется жёсткая ошиновка, выполненная современными изолированными коробчатыми шинами

прямоугольного типа марки Аи. Известно, что применение таких сборных шин обеспечивает повышенные условия безопасности

Результаты выбора и проверки ошиновки для установки в соответствующих РУ ГПП-110/10 кВ нефтеперерабатывающего завода представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора и проверки ошиновки для применения в ОРУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП СЭС нефтеперерабатывающего завода

Наименование РУ ГПП	Тип ошиновки	Марка ошиновки	Суммарное сечение проводника, мм ²	$I_{доп}$, А	ΔU , %	Проверка сечения, $q_n \geq q_{min}$, мм ²
ОРУ – 110 кВ	Гибкая	АС – 70/11	70,0	265	1,1	$70 \geq 117,6$
ЗРУ – 10 кВ	Жёсткая	Аи-80×10	800,0	1500	0,8	$1500 \geq 1294,8$

Все выбранные проводники 110 кВ и 10 кВ для применения в СЭС нефтеперерабатывающего завода, удовлетворяют условиям выбора и нормативных требуемых проверок [18].

Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода

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-110/10 кВ проектируемой внешней системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл», по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах ГПП-110/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Кроме того, по минимальным значениям тока КЗ на шинах всех РУ проектируемой внешней системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл» будут проверены уставки релейной защиты на надёжность срабатывания.

Также для расчета токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода в максимальном режиме работы системы, составляется схема замещения (рисунок 14) [14].

В исходной схеме представлены все три класса напряжения, которые применяются в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода: 110 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ.

Они преобразуются с помощью следующих трансформаторов, показанных на схеме (рисунок 13):

- Т1 – трансформатор ГПП-110/10 кВ;
- Т2 – трансформаторы ЦТП-10/0,4 кВ (принимается для примера трансформатор, установленный на ЦТП-1 мощностью 2500 кВА).

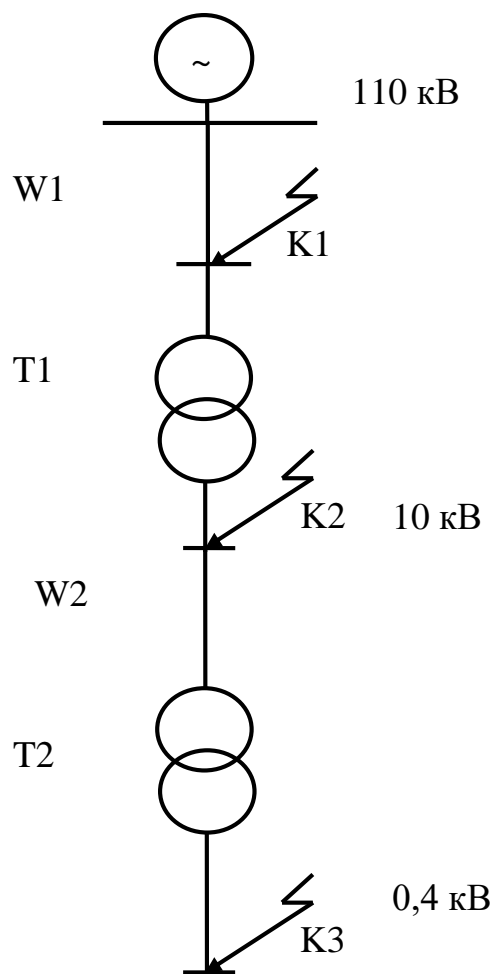


Рисунок 13 – Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением.

В сети выше 1 кВ, значение тока КЗ нужно рассчитать на выводах силового трансформатора ГПП (напряжения, соответственно, 110 кВ и 10 кВ), в сети 0,4 кВ – на выводах силового трансформатора ЦТП-10/0,4 кВ с высокой стороны.

Как правило, в сети напряжением выше 1 кВ решающее значение имеют индуктивные сопротивления элементов.

Значениями активных сопротивлений при расчёте токов КЗ в таком случае можно пренебречь [17]. Составляется исходная схема замещения по расчётной схеме электрической сети (рисунок 14).

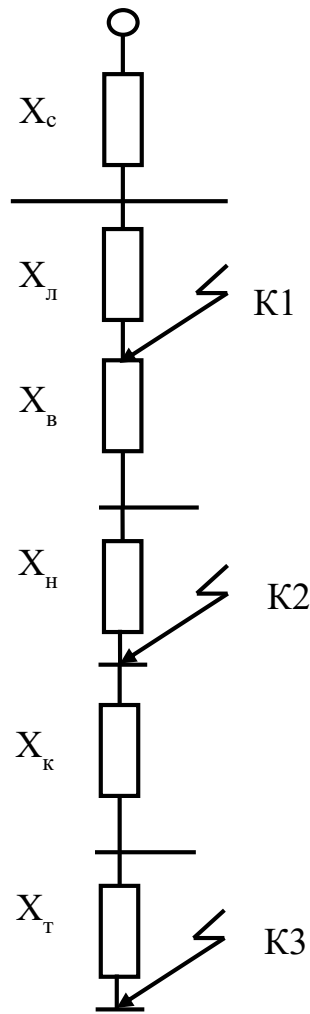


Рисунок 14 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода

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].

В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 110 кВ.

Вторая ступень 10 кВ и третья ступень 0,4 кВ, будут неосновными ступенями напряжения.

Базисная мощность принимается равной номинальной мощности силового трансформатора системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, оставшегося в работе в послеаварийном режиме (при этом второй трансформатор подстанции отключён, что

отображено в расчётной схеме и схеме замещения, а также учтено при расчётах далее) [12]:

$$S_{\sigma} = 16000 \text{ кВА} = 16 \text{ МВА}.$$

Базисные напряжения для двух ступеней трансформации схемы (110 кВ и 10 кВ) системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, принимаются равными напряжениям на шинах ГПП в максимальном режиме работы.

Они определены ниже с учётом данного факта.

Базисное напряжение для ступени напряжения 110 кВ (основная ступень):

$$U_{\sigma 1} = 115 \text{ кВ}.$$

Базисное напряжение для ступени напряжения 10 кВ (неосновная ступень):

$$U_{\sigma 2} = 10,5 \text{ кВ}.$$

Базисное напряжение для ступени напряжения 0,38/0,22 кВ (неосновная ступень):

$$U_{\sigma 3} = 0,4 \text{ кВ}.$$

Базисный ток на ступенях системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода рассчитывается по известной формуле:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}. \quad (29)$$

Базисный ток для всех ступеней трансформации схемы (110 кВ, 10 и 0,4 кВ) системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода определён ниже по условию (29).

Базисный ток для ступени напряжения 110 кВ (основная ступень):

$$I_{\sigma 1} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,08 \text{ кА}.$$

Базисный ток для ступени напряжения 10 кВ (неосновная ступень):

$$I_{\sigma 2} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,88 \text{ кА}.$$

Базисный ток для ступени напряжения 0,38 кВ (неосновная ступень):

$$I_{\sigma 3} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 23,1 \text{ кА}.$$

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

Сопротивление энергетической системы в работе определяется по формуле:

$$x_c = \frac{S_{\sigma}''}{S_k^*}, \text{ о.е.}, \quad (30)$$

«где S_k'' - полная мощность трёхфазного КЗ на шинах энергосистемы»

[2].

По условию (30):

$$x_{c*} = \frac{16}{500} = 0,032 \text{ о.е.}$$

«Сопротивление питающей ВЛ-110 кВ системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода с учётом её длины, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям» [10]:

$$x_{l*} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, \text{ о.е.}, \quad (31)$$

где « x_0 - удельное индуктивное сопротивление ВЛ, Ом/км» [10];

« L - суммарная длина ВЛ, км» [15].

Согласно условия (31), индуктивное значение сопротивления для питающей ВЛ-110 кВ:

$$x_{l*} = 0,4 \cdot 20 \cdot \frac{10}{115^2} = 0,006 \text{ о.е.}$$

Аналогично для питающей КЛ-10 кВ (к ЦТП-1):

$$x_{k*} = 0,4 \cdot 1 \cdot \frac{10}{10^2} = 0,04 \text{ о.е.}$$

Далее проводится расчёт индуктивных сопротивлений силового трансформатора ГПП системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода с учётом паспортных данных, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям [12]. Для обмотки ВН (110 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ГПП НПЗ:

$$X_{\sigma} = \frac{0,125 \cdot U_{\text{квн}\%} S_{\sigma}}{100 \cdot S_{\text{н.т.}}} \quad (32)$$

Согласно условия (32):

$$X_{\sigma} = \frac{0,125 \cdot 10,5 \cdot 16}{100 \cdot 16} = 0,01 \text{ о.е.}$$

Для обмотки НН (10 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ГПП нефтеперерабатывающего завода в результате ПАВ режима:

$$X_{\text{н}} = \frac{1,75 \cdot U_{\text{квн}\%} S_{\sigma}}{100 \cdot S_{\text{н.т.}}} \quad (33)$$

Согласно условия (33):

$$X_{\text{н}} = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 16}{100 \cdot 16} = 0,18 \text{ о.е.}$$

Для трансформатора ЦТП-1 (2500 кВА), при приведении к базисным условиям:

$$X_{\text{т}} = \frac{1,75 \cdot 7,5 \cdot 10}{100 \cdot 2,5} = 0,525 \text{ о.е.}$$

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

$$I'' = \frac{E''}{x_{рез}^*} \cdot I_{\sigma}^* \quad (34)$$

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

«Результирующее сопротивление к точке К1 в относительных расчётных единицах» [13]:

$$x_{рез}^* = x_c^* + x_l^*, \text{ о.е.} \quad (35)$$

«Согласно условия (35)» [13]:

$$x_{рез}^* = 0,032 + 0,006 = 0,038 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К1, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (34)» [12]:

$$I''_{к1} = \frac{1}{0,038} \cdot 0,16 = 4,21 \text{ кА.}$$

«Результирующее сопротивление к точке К2 в относительных расчётных единицах» [18]:

$$x_{рез}^* = x_c^* + x_l^* + x_{\sigma}^* + x_H^*, \text{ о.е.} \quad (36)$$

«Согласно условия (36)» [18]:

$$x_{рез} = 0,032 + 0,006 + 0,01 + 0,18 \approx 0,228 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К2, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (34)» [18]:

$$I''_{к2} = \frac{1}{0,228} \cdot 0,88 = 3,86 \text{ кА.}$$

«Результирующее сопротивление к точке К3 в относительных расчётных единицах» [18]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_e + x_n + x_k + x_m, \text{ о.е.} \quad (37)$$

«Согласно условия (37)» [18]:

$$x_{рез} = 0,032 + 0,006 + 0,01 + 0,18 + 0,04 + 0,525 \approx 0,993 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К3 по (34)» [18]:

$$I''_{к3} = \frac{1}{0,993} \cdot 23,1 = 23,24 \text{ кА.}$$

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

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I''_K, \text{ кА,} \quad (38)$$

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

По условию (38) для расчётных точек схемы К1 и К2, значение ударных токов (начального значения апериодической составляющей тока КЗ) в именованных единицах:

– в точке К1:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,21 = 10,72 \text{ кА.}$$

– в точке К2:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 3,86 = 7,64 \text{ кА.}$$

– в точке К3:

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 23,24 = 36,15 \text{ кА.}$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K'', \text{ кА.} \quad (39)$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА, по условию (39):

– в точке К1:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,21 = 3,65 \text{ кА.}$$

– в точке К2:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,86 = 3,34 \text{ кА.}$$

– в точке К2:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 23,24 = 20,13 \text{ кА.}$$

Полученные результаты расчёта токов КЗ на шинах 110 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ в максимальном режиме работы системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Параметр	Расчётная точка КЗ		
	Точка К1	Точка К2	Точка К3
$I_K^{(3)}$, кА	4,21	3,86	23,24
$I_K^{(2)}$, кА	3,65	3,34	20,13
i_{y0} , кА	10,72	7,64	36,15

Полученные в работе результаты расчёта токов КЗ используются для соответствующих проверок современного оборудования ГПП и ЦТП СЭС.

Выбор и проверка основных электрических аппаратов в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода

Одним из важнейших мероприятий по проектированию системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, является выбор нового оборудования для установки в распределительных устройствах высокого напряжения на ГПП-110/10 кВ.

РУ-10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ выполняется по упрощённой схеме и коммутируется с соответствующих ячеек РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ. Такая схема удобная, надёжная и практичная.

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

Выбору и проверке в работе подлежат такие аппараты системы электроснабжения:

- высоковольтные выключатели – устанавливаются во всех распределительных устройствах питающей ГПП-110/10 кВ (110 кВ, 10 кВ);
- разъединители – применяются только в ОРУ-110 кВ на ГПП-110/10 кВ (в РУ-10 кВ они заменяются втычными контактами ячеек типа КРУН);
- ограничители перенапряжения – устанавливаются во всех РУ ГПП-110/10 кВ;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения – применяются в ОРУ-110 кВ и КРУ-10 кВ ГПП по мере необходимости (зависит от схемы и мощности вторичных цепей).

Известно, что выключатели высокого напряжения – это основные аппараты для защиты и коммутации электрической сети и единственные аппараты на подстанции, которыми можно отключать сеть под нагрузкой, а

также они отключают сеть при возникновении ненормальных режимов (в частности, токов КЗ).

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

Известно, что выбор выключателей высокого напряжения, и электрических высоковольтных аппаратов в целом, производится, исходя из следующих условий двух основных условий [18]:

– по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (40)$$

где $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и «номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя)» [14];

– «по максимальному рабочему току» [11]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (41)$$

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]:

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (42)$$

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

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

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (43)$$

где « $i_{ат}$ – 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]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (44)$$

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]:

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (45)$$

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]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (46)$$

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] в системе ЭС с учётом токов КЗ и отключения цепи:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (47)$$

Исходя из расположения в схеме ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода, высоковольтные выключатели напряжением 110 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 110 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-110/10 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-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода будут также различными.

Выбор и проверка высоковольтных выключателей для установки во всех распределительных устройствах ГПП-110/10 кВ СЭС

нефтеперерабатывающего завода, проводится по приведённым выше условиям (таблица 8).

Выключатели 10 кВ выбраны в таблице 9.

Также проводится выбор разъединителей для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода.

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

В работе для установки в сети 110 кВ на ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода 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].

В ячейках КРУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ проектируемой СЭС нефтеперерабатывающего завода разъединители не устанавливаются, их заменяют втычные контакты.

Также необходимо выбрать новые трансформаторы тока и напряжения (измерительные трансформаторы) для их непосредственной установки на ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода.

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.

Известно, что выбор и проверка измерительных трансформаторов осуществляется по номинальному напряжению, максимальному рабочему току и допустимой мощности питания вторичных цепей (установленная вторичная мощность)

Результаты выбора и проверки новых трансформаторов напряжения для установки в ОРУ-10 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода, представлены, соответственно, в таблицах 8 и 9.

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки основного электрооборудования высокого напряжения для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода

Условия выбора	Расчетные данные сети	Выбранные аппараты			
		Разъединитель РГ-110/1000	Выключатель ВРС-110-31,5	Трансформатор тока ТОГФ-110	Трансформатор напряжения НКФ-110
$U_{\text{сном}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{расч}} = 117,6 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$I_{\text{к}} \leq I_{\text{откл}}$	$I_{\text{к}} = 4,21 \text{ кА}$	-	$I_{\text{откл}} = 40 \text{ кА}$	-	-
$i_{\text{у}} \leq i_{\text{дин}}$	$i_{\text{уд}} = 10,72 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 31,5 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 31,5 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} \leq I_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{м}}$	$B_{\text{к}} = 85,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{м}} = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{м}} = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{м}} = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{м}} = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$P_{\text{расч}} \leq P_{\text{ном}}$	$P_{\text{расч}} = 12,0 \text{ кВА}$	-	-	$P_{\text{ном}} = 40 \text{ кВА}$	$P_{\text{ном}} = 64 \text{ кВА}$

Таблица 9 – Результаты выбора и проверки основного электрооборудования высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода

Условия выбора	Расчетные данные сети	Выключатель ВВЭ-М-10-20	Выключатель нагрузки ВНА-10/16000	Трансформатор тока ТПЛ-Э-12
$U_{\text{сном}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{расч}} = 924,8 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А}$
$I_{\text{кп}} \leq I_{\text{пр.с}}$	$I_{\text{кп}} = 3,86 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$
$I_{\text{к}} \leq I_{\text{откл}}$	$I_{\text{к}} = 3,86 \text{ кА}$	$I_{\text{откл}} = 40 \text{ кА}$	-	-
$i_{\text{у}} \leq i_{\text{дин}}$	$i_{\text{у}} = 7,64 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 30 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 50 \text{ кА}$
$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{откл.ном}}$	$I_{\text{пт}} = 2,48 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$
$P_{\text{расч}} \leq P_{\text{ном}}$	$P_{\text{расч}} = 12,0 \text{ кВА}$	-	-	$P_{\text{ном}} = 16 \text{ кВА}$

Всё новое выбранное оборудование распределительных устройств ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода удовлетворяет всем требуемым условиям и принимается для установки на объекте.

Выбор и проверка трансформаторов собственных нужд на ГПП

«Требуемая мощность для питания собственных нужд (СН) переменного тока определяется путём суммированием присоединенной мощности всех потребителей.

«Для каждого потребителя СН» [15]:

$$P_{расч.} = P_y \cdot K_c \quad (48)$$

$$Q_{расч.} = P_{расч.} \cdot tg\varphi \quad (49)$$

«Расчетная мощность собственных нужд определяем по формуле:

$$S_{с.н.рас.} = \sqrt{\sum P_{рас.}^2 + \sum Q_{рас.}^2} \quad (50)$$

Результаты расчета нагрузки СН сведены в таблицу 10» [21].

Таблица 10 – 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	1,7×2	1,0	1,0	3,4	0,0
Итого	162,5	-	1,0	34,5	10,3

«Нагрузка собственных нужд определяется с помощью выражения» [20]:

$$S_{с.н.} = \sqrt{34,5^2 + 0^2} = 34,5 \text{ кВА} \quad (51)$$

Мощность ТСН для установки на питающей ГПП-110/10 кВ СЭС НПЗ (завода):

$$S_{TCH} = \frac{S_p}{k_3 \cdot n}, \text{кВА.} \quad (52)$$

$$S_{TCH} = \frac{34,5}{0,7 \cdot 2} = 24,64 \text{кВА.}$$

К «установке на ГПП принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора собственных нужд внутренней установки типа ТМ-25/10У1 работающих параллельно, каждый на свою секцию шин» [16] подстанции СН-0,4кВ, получающей питание от ТСН, подключенных к вводным выключателям 10 кВ.

Выводы по разделу.

В работе проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по проектированию системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода компании ООО «НС-Ойл».

Обосновано, что для обеспечения питания внешней системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 110 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ с установкой двух силовых трансформаторов.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода:

- для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП, принята наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принята наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;

- для применения в распределительной сети 10 кВ, принята наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принята «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном режиме работы системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода.

На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 16000 кВА каждый (марки ТДН-16000/110).

Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС нефтеперерабатывающего завода (всего предусмотрено девять ЦТП-10/0,4 кВ).

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, для питающих ВЛ-110 кВ, принята марка провода АС-70/11с сечением токоведущей жилы 70 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 265$ А.

Для питания ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБ-10. Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ на ГПП СЭС нефтеперерабатывающего завода: для применения в ОРУ-110 кВ выбрана гибкая ошиновка из проводов марки АС-70/11, для РУ-10 кВ закрытого типа – жёсткая ошиновка марки Аи-80×10.

Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода:

- в ОРУ-110 кВ: разъединители РГ-110/1000, выключатели ВРС-110-31,5, трансформаторы тока ТОГФ-110, трансформаторы напряжения НКФ-110;
- в РУ-10 кВ: выключатели ВВЭ-М-10-20, выключатели нагрузки ВНА-10/16000 (для установки в РУ-10 кВ всех ЦТП-10/0,4 кВ), трансформаторы тока ТПЛ-Э-12.

Все выбранные и проверенные в работе аппараты соответствуют требуемым техническим нормативам и могут быть окончательно рекомендованы для установки в соответствующих распределительных устройствах СЭС нефтеперерабатывающего завода.

Выбраны и проверены на перегрузочную способность трансформаторы собственных нужд марки ТМ-25/10.

Все принятые технические решения в работе подтверждены соответствующими расчётами.

Расчёт релейной защиты ГПП нефтеперерабатывающего завода

Расчёт релейной защиты трансформаторов ГПП в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода

Производится расчет защит понижающего трансформатора ГПП-110/10 кВ СЭС нефтеперерабатывающего завода на микропроцессорной базе.

Определяется номинальный ток трансформатора ГПП-110/10 кВ на стороне ВН (110 кВ):

$$I_{\text{НОМ.ВН}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ.ВН}}}, A. \quad (53)$$

$$I_{\text{НОМ.ВН}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 83,98 \approx 84 A.$$

Определяется номинальный ток трансформатора ГПП-110/10 кВ на стороне НН (10 кВ):

$$I_{\text{НОМ.НН}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ.НН}}}, A. \quad (54)$$

$$I_{\text{НОМ.НН}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 923,76 \approx 923,8 A.$$

Принимаются к установке трансформаторы тока с коэффициентами трансформации 100/5 со стороны ВН и 1000/5 со стороны НН силового трансформатора ГПП-110/10 кВ.

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:

$$I_{2ном.ВН} = \frac{84}{100/5} \cdot 1 = 4,2 \text{ А.}$$

$$I_{2ном.НН} = \frac{923,8}{1000/5} \cdot 1 = 4,6 \text{ А.}$$

К установке принимается терминал защиты трансформатора типа Мисом Р633.

Выбор уставок дифференциальной защиты трансформаторов ГПП-110/10 кВ на базе терминала Мисом Р633 представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Выбор уставок дифференциальной защиты трансформаторов ГПП-110/10 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 (сторона ВН – 110 кВ)	$I_{*НБ НАЧ.} = \left(\frac{K_{ОДН} \cdot K_{АП} \cdot \varepsilon_* + \Delta U_{*РПН} + \Delta U_{*ПБВ}}{N \cdot 1 \cdot 0,065 + 0,16 + 0,05 + 0,05} \right) \cdot I_{*НОМ}$	$(1 \cdot 1 \cdot 0,065 + 0,16 + 0,05 + 0,05) \cdot 1 = 0,325 \text{ кА}$
Ток небаланса при малых токах КЗ (сторона НН – 10 кВ)	$I_{*НБ} \geq \left(\frac{K_{ОДН} \cdot K_{АП} \cdot \varepsilon_* + \Delta U_{*РПН} + \Delta U_{*ПБВ}}{2} \right) \cdot 2I_{*Б}$	$(1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,16 + 0,05 + 0,05) \cdot 2 = 0,72 \text{ кА}$
Ток небаланса при больших внешних токах К.З (второй наклонной характеристики).	$I_{*НБ} \geq (K_{ОДН} \cdot K_{АП} \cdot \varepsilon_* + \Delta U_{*РПН}) \cdot I_{*К}$	$(1 \cdot 2 \cdot 0,1 + 0,16 + 0,05 + 0,05) \cdot 18,42 = 8,47 \text{ кА}$

Проверка принятых уставок дифференциальной защиты трансформаторов ГПП-110/10 кВ на базе терминала Мисом Р633 проводится в сетях 110 кВ и 10 кВ по значению двухфазного КЗ, рассчитанного в работе ранее. При 2-х фазном КЗ на выводах 110 кВ:

$$Kч = \frac{I_{к^{(2)}}_{мин} / I_{БАЗ}}{I_{d,m2} > + m2 \cdot (0,5 \cdot \sum I_R - I_{Rm2})} \geq 2. \quad (55)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{3650 / 325}{0,65 + 1 \cdot (0,5 \cdot 10,52 - 2)} = 5,34 \geq 2.$$

При 2-х фазном КЗ на стороне 10 кВ:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)}_{\text{мин}} / I_{\text{БАЗ}}}{I_{\text{д}, \text{м1}} > +m1 \cdot (0,5 \cdot \sum I_{\text{R}} - I_{\text{Rm1}})} \geq 2. \quad (56)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{3340 / 720}{0,5 + 0,4 \cdot (0,5 \cdot 2,104 - 0,325)} = 3,42 \geq 2.$$

Условия проверки основной дифференциальной защиты трансформаторов ГПП-110/10 кВ по коэффициентам чувствительности, выполняются.

Расчет резервных защит понижающего трансформатора ГПП-110/10 представлен в форме таблицы 12.

Таблица 12 – Расчет резервных защит понижающего трансформатора ГПП-110/10 СЭС завода

Защита	Расчетная формула	Значение параметра
МТЗ ВН трансформатора ГПП-110/10 кВ	$I \geq K_{\text{отс}} \cdot (0,7 \cdot K_{\text{сзп}} + I_{\text{НОМ}} + 0,7 \cdot I_{\text{НОМ}})$	$1,15 \cdot (0,7 \cdot 1,3 \cdot 98,42 + 0,7 \cdot 98,42) = 182,22$
	$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}}}{n_{\text{тт}} \cdot K_{\text{В}}}$	$I_{\text{ср}} = \frac{182,22}{0,95 \cdot 30} = 6,39 \text{ A}$
	Принятая уставка реле	Тип реле: МІСОМ Р437 $I_{\text{ср}} = 6,4 \text{ A}; t = 1,7 \text{ с}$
	$K_{\text{ч.осн}} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)} \min(K2)}{I_{\text{сз}}}$	$K_{\text{ч.осн}} = \frac{3350}{30 \cdot 6,4} = 17,44 > 1,5$
	$K_{\text{ч.рез}} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)} \min(K3)}{I_{\text{сз}}}$	$K_{\text{ч.рез}} = \frac{17890 \cdot 0,4}{30 \cdot 6,4 \cdot 37} = 1,01 < 1,2$

Продолжение таблицы 12

Защита	Расчетная формула	Значение параметра
МТЗ НН трансформатора ГПП-110/10 кВ	$I \geq 0,7 \cdot K_{сзп} \cdot I_{НОМ} + 0,7 \cdot I_{НОМ}$	$0,7 \cdot 1,2 \cdot 346,8 + 0,7 \cdot 346,8 = 534,07$
	$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_{тм} \cdot K_B}$	$I_{ср} = \frac{534,07}{0,95 \cdot 120} = 4,68 A$
	Принятая уставка реле	Тип реле: MICOM P437 $I_{ср} = 4,7 A; t = 1,4 с.$
	$K_{ч.} = \frac{I_{к}^{(2)} \min(K2)}{I_{сз}}$	$K_{ч.осн} = \frac{3350}{120 \cdot 4,7} = 5,94 > 1,5$
Защита от перегрузок	$I = \frac{K_{отс} \cdot I_{н.ом}}{K_B}$	$\frac{1,05 \cdot 346,8}{0,95} = 383,31$
	$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_{тм} \cdot K_B}$	$I_{ср} = \frac{383,31}{0,95 \cdot 120} = 3,63 A$
	Принятая уставка реле	Тип реле: MICOM P437 $I_{ср} = 3,7 A; t = 9 с.$

Все уставки релейной защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ соответствуют требованиям по чувствительности и надёжности.

3.2 Расчёт релейной защиты линий в системе электроснабжения нефтеперерабатывающего завода

Релейная защита вводных, секционных и отходящих линий системы электроснабжение проектируемого нефтеперерабатывающего завода, также выполняется на современных микропроцессорных терминалах.

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 и релейные элементы терминалов защит соединяются в полную звезду.

Максимальный рабочий ток секционного выключателя:

$$I_{\text{макс.раб}} = k_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{ном.тр}}, \text{А.} \quad (57)$$

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

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

$$I_{\text{СЗ}} = \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot 0,7 \cdot I_{\text{ном}}, \text{А.} \quad (58)$$

$$I_{\text{СЗ}} = \frac{1,1}{0,935} \cdot 0,7 \cdot 346,8 = 285,6 \text{А.}$$

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

Проверяется чувствительность защиты выбранной уставки:

$$K_{\text{ч.осн}} = \frac{I_{\text{КЗ.мин.К2}}^2}{I_{\text{сп}}^2} > 1,5. \quad (59)$$

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

$$K_{\text{ч.рез}} = \frac{I_{\text{КЗ.мин.К3}}^2}{I_{\text{сп}}^2} > 1,2. \quad (60)$$

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

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 предусматривается логическая защита 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:

$$I_{\text{макс.раб}} = 0,7 \cdot I_{\text{ном.тр}} + 0,7 \cdot k_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{ном.тр}}, A. \quad (61)$$

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

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

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{ном}}, A. \quad (62)$$

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

Действие данной защиты выполняется на отключение с выдержкой времени 1,1 с.

Проверяется чувствительность защиты выбранной уставки РЗиА блока защиты:

$$K_{\text{ч.осн}} = \frac{I_{\text{КЗ.мин.К2}}^2}{I_{\text{ср}}^2} > 1,5. \quad (63)$$

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

$$K_{\text{ч.рез}} = \frac{I_{\text{КЗ.мин.К3}}^2}{I_{\text{ср}}^2} > 1,2. \quad (64)$$

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

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.

Схема релейной защиты ГПП системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода представлена в графической части работы.

Выводы по разделу.

В разделе проведён расчёт и проверка выбранных уставок токовых защит силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ, а также секционного, вводных и линейных соединений, защита которых установлена на соответствующих выключателях в ГПП системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода.

Все выбранные устройства РЗА выполнены на базе современных микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики типа Seram и MICOM.

Заключение

В результате выполнения работы, проведена разработка проекта системы электроснабжения нового нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл».

приведено описание и анализ технологического процесса и производственного цикла, а также основных и вспомогательных цехов и участков, проектируемой системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл» (Ульяновская область, пос. Новоспасское).

Финансовая и организационная отчётность предприятия ООО «НС-Ойл», находящаяся в свободном доступе, позволяет сделать предположение о значительной перспективе развития данного предприятия в условиях современности, при условии расширения рынков, увеличения спроса на производимую продукцию, а также налаживанию и восстановления логистических связей предприятия.

Таким образом, учитывая текущую позитивную и прогрессивную финансовую и техническую ситуации на ООО «НС-Ойл», а также перспективу развития данного предприятия, можно сделать вывод, что строительство нового современного нефтеперерабатывающего завода, позволяющего значительно расширить производственные мощности и увеличить прибыль ООО «НС-Ойл», представляется актуальной задачей. Показано, что разработка качественного проекта вводимой в эксплуатацию системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода ООО «НС-Ойл», с внедрением основных групп мероприятий по проектированию, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

Обосновано, что для обеспечения питания внешней системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, в работе необходимо

применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 110 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ с установкой двух силовых трансформаторов.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода:

- для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП, принята наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принята наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;
- для применения в распределительной сети 10 кВ, принята наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принята «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном режиме работы системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода.

На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 16000 кВА каждый (марки ТДН-16000/110). Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС нефтеперерабатывающего завода (всего предусмотрено девять ЦТП-10/0,4 кВ).

Для питающей ВЛ-110 кВ, принята марка провода АС-70/11с сечением токоведущей жилы 70 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 265$ А. Для питания ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБ-10. Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ на ГПП СЭС нефтеперерабатывающего завода: для применения в ОРУ-110 кВ выбрана гибкая ошиновка из проводов марки АС-70/11, для РУ-10 кВ закрытого типа – жёсткая ошиновка марки Аи-80×10.

Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода:

- в ОРУ-110 кВ: разъединители РГ-110/1000, выключатели ВРС-110-31,5, трансформаторы тока ТОГФ-110, трансформаторы напряжения НКФ-110;
- в РУ-10 кВ: выключатели ВВЭ-М-10-20, выключатели нагрузки ВНА-10/16000 (для установки в РУ-10 кВ всех ЦТП-10/0,4 кВ), трансформаторы тока ТПЛ-Э-12.

Все выбранные и проверенные в работе аппараты соответствуют требуемым техническим нормативам и могут быть окончательно рекомендованы для установки в соответствующих распределительных устройствах СЭС нефтеперерабатывающего завода. Выбраны и проверены на перегрузочную способность трансформаторы собственных нужд марки ТМ-25/10. Проведён расчёт и проверка выбранных уставок токовых защит силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ, а также секционного, вводных и линейных соединений, защита которых установлена на соответствующих выключателях в ГПП системы электроснабжения нефтеперерабатывающего завода. Все выбранные устройства РЗА выполнены на базе современных микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики типа Seram и MICOM. Все принятые технические решения в работе подтверждены соответствующими расчётами.

Список используемых источников

1. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 22.02.2023).
2. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 21.02.2023).
3. Ермилов А. А. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Эксмо, 2021. 159 с.
4. Иванов А.А. Модернизация промышленных предприятий на базе современных систем автоматизации и управления. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 384 с.
5. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Томск: ТПУ, 2019. 249 с.
6. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
7. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: КноРус, 2019. 236 с.
8. Луковников А.В. Современные перспективные решения на производстве. М.: Колос, 2021. 360 с.
9. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: «Энергия», 2020. 84 с.
10. 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.

11. НС-Ойл, ООО. [Электронный ресурс]: URL: <https://sbis.ru/contragents/7313005345/731301001> (дата обращения: 28.02.2023).
12. ООО «НС-Ойл». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.rusprofile.ru/id/653740> (дата обращения: 28.02.2023).
13. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.
15. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.
16. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.
17. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.
18. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 384 с.
19. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2018. 368 с.
20. Фризен В.Э. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург: Издательство УГУ, 2018. 184 с.
21. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2018. 596 с.