

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 Реконструкция электрической части подстанции 35/6 кВ «Новооганское»

Обучающийся

И.И. Дегтярев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2022

Аннотация

Целью данной работы является «разработка проекта реконструкции электрической понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское».

Выполнен в работе анализ исходных данных, на основании которого осуществлены мероприятия по реконструкции электрической понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское».

В работе приведена исходная техническая характеристика распределительных устройств и входящих в них коммутационных и защитных электрических аппаратов рассматриваемой в работе понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ до проведения реконструкции.

Обоснование данных мероприятий в работе подтверждено на основании проведения расчётов и проверок.

В разделе по охране труда приведены основные мероприятия для безопасного выполнения работ.

Рассчитана молниезащита понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское».

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	5
1.1 Техническая характеристика системы электроснабжения и потребителей подстанции 35/6 кВ «Новоаганское».....	5
1.2 Основные требования к трансформаторным подстанциям систем электроснабжения	9
1.3 Обоснование необходимости проведения реконструкции электрооборудования подстанции.....	13
2 Реконструкция системы электроснабжения подстанции 35/6 кВ «Новоаганское»	16
2.1 Мероприятия по реконструкции подстанции	16
2.2 Расчёт электрических нагрузок	17
2.3 Выбор сечения проводников 35 кВ.....	20
2.4 Выбор сечения проводников 6 кВ.....	22
2.5 Проверка силовых трансформаторов с учётом реконструкции	24
2.6 Расчёт токов короткого замыкания	30
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов	37
3 Технике безопасности при выполнении работ.....	45
3.1 Организация техники безопасности на подстанции.....	45
3.2 Анализ производственных видов опасностей на подстанции.....	46
3.3 Мероприятия по технике безопасности на подстанции.....	48
3.4 Расчёт молниезащиты подстанции.....	55
Заключение	58
Список используемых источников.....	61

Введение

Основной целью работы является реконструкция оборудования распределительных устройств напряжением 35 кВ и 6 кВ на понизительной ТП-35/6 кВ «Новоаганское», осуществляемая путём замены устаревшего и изношенного оборудования электрической части данной подстанции на соответствующие современные инновационные разработки, обладающие повышенной надёжностью, экономичностью, удобствами монтажа, обслуживания и ремонта, а также электробезопасностью.

«Объектом исследования работы является оборудование распределительных устройств электрической части понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ» [12].

«Предметом исследования работы являются электрическая схема, электрические сети и аппараты напряжением 35 кВ и 6 кВ ТП-35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ» [12].

Актуальность работы обусловлена необходимостью модернизации понизительных подстанций энергосистемы всех типов для обеспечения качественного, надёжного, безопасного, а также экономичного электроснабжения потребителей согласно требованиям и нормам нормативных документов [1-4].

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих осуществить качественную модернизацию распределительных устройств напряжением 35 кВ и 6 кВ электрической части понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ при неукоснительном соблюдении требований нормативных документов.

1 Анализ исходных данных

1.1 Техническая характеристика системы электроснабжения и потребителей подстанции 35/6 кВ «Новоаганское»

В работе, согласно заданию, необходимо привести исходную техническую характеристику распределительных устройств и входящих в них коммутационных и защитных электрических аппаратов рассматриваемой в работе понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартовского района ХМАО РФ до проведения реконструкции.

Рассматриваемая в работе ТП-35/6 кВ «Новоаганское» является одной из основных потребительских подстанций Нижневартовского района ХМАО Российской Федерации, обеспечивая питанием потребителей на номинальном напряжении 6 кВ.

В структурной схеме понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское», рассматриваемой в работе, выделяются следующие основные составляющие [9]:

- питающая одноцепная линия напряжением 35 кВ (Л-2а 35 кВ), выполнена с использованием провода марки АС-70/11, питание подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» осуществляется от РП «Сосновый»;

- распределительное устройство 35 кВ – необходимо для приёма и распределения электроэнергии, получаемой от энергосистемы на напряжении 35 кВ, для питания силового трансформатора рассматриваемой понизительной подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское». Конструктивно РУ-35 кВ на подстанции выполняется открытым (ОРУ-35 кВ). В ОРУ-35 кВ установлены: устаревший масляный выключатель марки ВТ-35-630-12,5 У1 со встроенными трансформаторами тока марки ТВ-35 (год выпуска – 1987 г., год ввода в эксплуатацию – 2007 г.) – 1 шт., разъединитель РЛНД-2-35/600 (выпущен в 1975 г., введён в эксплуатацию в 1976 г.) – 1 шт., ограничители

перенапряжения марки ОПН-35/40,5/-10/650(II)-УХЛ1 (введены в эксплуатацию в 2010 г.)– 3 шт.;

– один силовой трансформатор 35/6 кВ марки ТМ-1000/35, обеспечивающих понижение напряжения 35 кВ (высшее напряжение) до напряжения 6 кВ (низшее напряжение) с последующим питанием потребителей указанной подстанции на напряжении 6 кВ. Согласно учётно-контрольной карте подстанции 35/6 кВ «Новоаганское», силовой трансформатор был заменён на новый 30.09.2015 г. В работе необходимо проверить силовой трансформатор подстанции на допустимую перегрузку в нормальном и послеаварийном режимах работы;

– распределительное устройство 6 кВ (РУ-6 кВ) – необходимо для приёма и распределения электроэнергии, получаемой от обмоток низшего напряжения силового трансформатора (6 кВ), для питания потребителей 6 кВ понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское». РУ-6 кВ выполнено комплектным с применением ячеек комплектного распределительного устройства наружного типа (далее – КРУН-6 кВ) с ячейками типа КХП. В КРУН-6 кВ установлены следующие коммутационные и защитные электрические аппараты: устаревшие масляные выключатели марки ВМГ-10/630 (год выпуска – 1981 г., год ввода в эксплуатацию – 2006 г.) – 1 шт.; разъединители марки РВ-10/400 (год выпуска – 1975 г., год ввода в эксплуатацию – 1976 г.) – 4 шт.; разрядники РВО-6-У1 (год выпуска – 1973 г., год ввода в эксплуатацию – 1976 г.) – 3 шт.; трансформаторы тока марки ТПЛ-10 (год выпуска – 1985 г., год ввода в эксплуатацию – 1996 г.) – 2 шт. (схема «неполной звезды, фазы А и С отходящей линии к потребителям); трансформаторы напряжения марки НТМИ-6-66 (год выпуска – 1988 г., год ввода в эксплуатацию – 1996 г.) – 1 шт., предохранители для защиты ТСН марки ПКН-6-31,5 У3 (год ввода в эксплуатацию – 2010 г.) – 3 шт.; предохранители для защиты ТН марки ПКН 001-6 У3 (год ввода в эксплуатацию – 2010 г.) – 3 шт. Также от КРУН-6 кВ получает питание трансформатор собственных нужд (ТСН) марки ТМ-20/6;

– потребители понизительной подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское», рассматриваемой в работе – включает один отходящий фидер (линию) для питания потребителей на напряжении 6 кВ от шин подстанции. К основным потребителям электрической части подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» относятся коммунальные и бытовые потребители, которые являются потребителями III категория надёжности.

Структурная схема понизительной подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» с основными составляющими, перечисленными и охарактеризованными ранее, представлена на рисунке 1.

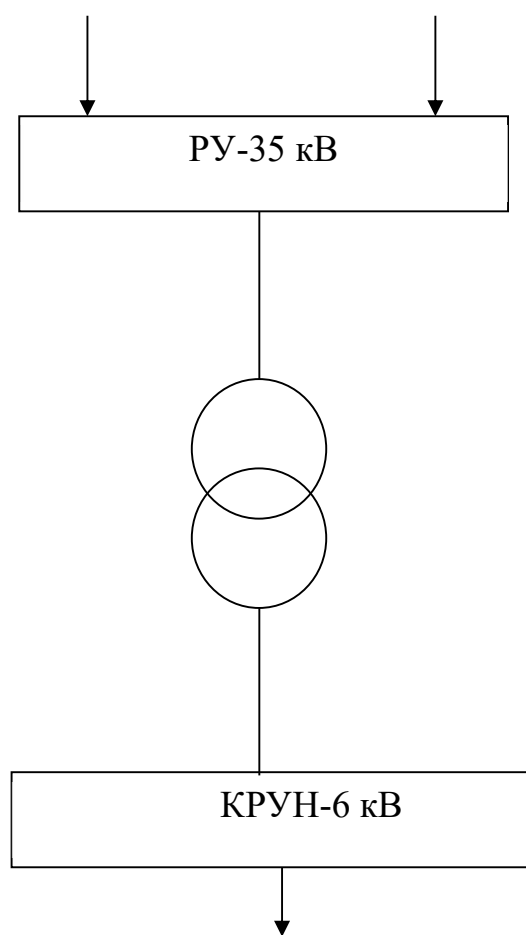


Рисунок 1 – Структурная схема ТП-35/6 кВ «Новоаганское»

Все приведённые выше составляющие структурной схемы понизительной ТП-35/6 кВ «Новоаганское» составляют единое целое и рассматриваются как одна общая система.

Основой для дальнейших расчётов электрических нагрузок подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» являются значения максимальной установленной нагрузки присоединений, данные о которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные о максимальных установленных нагрузках присоединений подстанции 35/6 кВ «Новоаганское»

Номер присоединения (ячейки)	Наименование потребителя	Максимальная установленная нагрузка, $P_{уст}$, кВт
2	Фидер «Посёлок»	800
3	ТН-6 кВ	8
4	ТСН	12
Всего по ТП-35/6 кВ «Новоаганское»		820

Далее в работе, на основании разработанной структурной схемы понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское», проводится описание схемы электрических соединений указанной подстанции.

В схеме электрических соединений рассматриваемой в работе ТП-35/6 кВ «Новоаганское» установлен один силовой трансформатор марки ТМ-1000/35. Этот факт определяет типы схем РУ-35 кВ и РУ-6 кВ.

Для РУ-35 кВ однотрансформаторной ТП-35/6 кВ «Новоаганское» в работе применяется схема электрических соединений с применением одного блока «линия – разъединитель – выключатель» без резервирования [7].

В работе для РУ-35 кВ понизительной подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское», рассматриваемой в работе, предусмотрены коммутационные и защитные аппараты (выключатель, разъединитель), защита от грозовых и внутренних перенапряжений (ограничители перенапряжения), а также обеспечено бесперебойное питание вторичных цепей (измерительные трансформаторы тока, встроенные в выключатели).

Для РУ-6 кВ ТП-35/6 кВ «Новоаганское» применяется схема «Одна несекционированная система сборных шин» без резервирования, которая подходит для применения на подстанции с одним силовым трансформатором [7].

Для защиты и коммутации в РУ-6 кВ понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» применяются высоковольтный выключатель (для защиты и коммутации единственной линии, отходящей к потребителям – фидер «Посёлок»), а также разъединители и разрядники. Кроме того, в схеме РУ-6 кВ подстанции предусмотрена защита от перенапряжений (разрядники), а также обеспечено бесперебойное питание вторичных цепей (измерительные трансформаторы тока и напряжения).

В схеме РУ-6 кВ понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» предусмотрены 4 присоединения:

- присоединение №2 – отходящая линия к потребителям (фидер «Посёлок»);
- присоединение №3 – ввод 6 кВ от силового трансформатора – трансформатор напряжения (ТН);
- присоединение №4 – трансформатор собственных нужд (ТСН).

Рассмотренные структурная и принципиальная схемы ТП-35/6 кВ «Новоаганское» соответствуют основным требованиям нормативных документов [1-6] и может применяться для питания потребителей III категорий надёжности, к которым относятся потребители фидера «Посёлок», а также для резервирования потребителей II категорий надёжности (при необходимости).

Схема главных электрических соединений подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» до проведения реконструкции представлена на графическом листе 1.

На данном листе показаны все основные конструктивные элементы объекта исследования.

1.2 Основные требования к трансформаторным подстанциям систем электроснабжения

Известно, что обеспечение требуемых качеств электроэнергии, а также

надежности и экономичности при передаче электроэнергии потребителям в энергосистеме, являются основными задачами в современных системах электроснабжения [1-4].

Также известно, что в современных системах электроснабжения отечественной электроэнергетики, важнейшими элементами являются понижающие трансформаторные подстанции, которые, получая электроэнергию из энергосистемы, понижают и непосредственно распределяют её между потребителями, таким образом являясь связующим звеном между источниками и потребителями электроэнергии в замкнутом цикле её передачи и распределения по классической схеме [5].

Поэтому в случае сбоев и аварий на понижающих трансформаторных подстанциях энергосистемы, равно как и несоответствия поставляемой потребителям электроэнергии по нормам и качеству, все участники технологического процесса будут нести весомые технические и экономические убытки [6].

Такой подход категорически недопустим требованиями нормативных документов, которые предписывают обеспечить бесперебойным питанием электроэнергией потребителей, основываясь на их категории надёжности и назначении [1-6].

Следовательно, к понижающим трансформаторным подстанциям предъявляются жёсткие требования как в плане надёжности, так и по экономичности, а также безопасности работ и экологической безопасности согласно [1-6].

Известно, что трансформаторные подстанции (ТП) делятся на повышающие и понижающие [7].

В классической электроэнергетике повышающие трансформаторные подстанции устанавливаются на границе «электростанция – энергосистема» и служат для повышения генераторного напряжения до уровня 350-1150 кВ с целью его передачи на большие расстояния с минимальными потерями электроэнергии [6].

Все остальные трансформаторные подстанции, распределяя электроэнергию между соответствующими потребителями, образуют сеть понижающих подстанций [6].

Любая понизительная подстанция энергосистемы представляет собой совокупность силовых трансформаторов (как правило – один или два) и распределительных устройств, которых, как правило, столько, сколько классов напряжения присутствует на понизительной подстанции (как правило, не менее двух).

В распределительных устройствах высшего (РУ ВН) и низшего (РУ НН) напряжений всех типов трансформаторных подстанций должны быть обязательно установлены коммутационные и защитные электрические аппараты, аппараты защиты от атмосферных (внешних) и коммутационных (внутренних) перенапряжений, а также устройства заземления и молниезащиты.

Связь между элементами на понижающих подстанциях осуществляется с помощью сетей разного назначения и устройства [2] и [3].

К сетям относятся воздушные, кабельные линии различных классов напряжения, а также шинопроводы. Каждый тип сетей имеет свои преимущества и недостатки, поэтому применяется в каждой конкретной ситуации на основании, как правило, технических и экономических критериев выбора.

Известно, что системам электроснабжения понижающих трансформаторных подстанций всех типов и классов напряжения предъявляются требования по надёжности, качеству и экономичности электроснабжения [1-5].

«Электрические подстанции энергосистем проектируются и питаются по типичным электрическим схемам с учётом категорий надёжности потребителей» [8].

«При этом в электрических схемах учитывается категория надёжности потребителей, которые питает данная подстанция» [8].

«При этом для питания потребителей I и II категорий надёжности требуется два независимых источника питания, а для питания потребителей III категории достаточно иметь один источник» [8].

«Поэтому при проектировании систем электроснабжения современных трансформаторных подстанций на всех звеньях цепи очень важно учесть все указанные нормы» [8].

«Также на всех ступенях схемы должна быть обеспечена надёжная защита и коммутация электрической сети, для чего необходимо выбрать электрические аппараты, в полной мере соответствующие выбранной схеме и техническим условиям, и проверить всё выбранное оборудование на термическую и электродинамическую стойкость» [8].

Для этой цели используют как отключающую коммутационную аппаратуру, так и отдельные устройства релейной защиты и автоматики, выполняющие роль «сигнализатора» повреждений.

Качество поставляемой электроэнергии имеет одно из основных значений на подстанциях [4].

Нормы и критерии электроэнергии находятся в довольно жёстких числовых рамках, что позволяет эффективно контролировать данный цикл в целом.

«Кроме того, одним из основных аспектов при разработке схем электрических сетей современных трансформаторных подстанций является непосредственная экономичность системы электроснабжения» [8].

Подводя итог, можно сказать, что приведённые выше требования нормативных документов, которые предъявляются к схемам и системам электроснабжения понижающих трансформаторных подстанций в целом, обязательные к применению в энергосистемах современного типа.

В частности, эти требования также необходимо использовать в данной работе.

Неукоснительное выполнение основных требований и аспектов к схемам и оборудованию трансформаторных подстанций приводит к

реализации технически грамотного проекта, обеспечивающего высокую эффективность внедрения принятых решений и экономическую целесообразность внедрения основных мероприятий по требуемой модернизации оборудования электрической части понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское».

1.3 Обоснование необходимости проведения реконструкции электрооборудования подстанции

В результате проведения анализа установлено, что в РУ-35 кВ и РУ-6 кВ рассматриваемой в работе понизительной подстанции переменного тока 35/6 кВ «Новоаганское» находятся некоторые устаревшие и выработавшие свой ресурс электрические аппараты, которые необходимо заменить на новые современные аппараты соответствующих марок.

К таким аппаратам в РУ-35 кВ на рассматриваемой подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» относятся:

- выключатели высокого напряжения;
- разъединители.

В РУ-6 кВ ТП-35/6 кВ «Новоаганское» планируется заменить на новые следующие аппараты:

- выключатели высокого напряжения;
- разъединители;
- разрядники (замена на ограничители перенапряжения).

Данные аппараты подлежат замене на новые, современные марки (соответственно типу оборудования).

«Замена их на инновационные современные марки оборудования значительно повысит надёжность схемы, уменьшит затраты на обслуживание и ремонт, сократит межремонтный период до минимума, позволит повысить показатели энергоэффективности как самой понизительной подстанции, так и потребителей, которые получают от неё питание» [14].

Кроме того, данные конструктивные мероприятия относительно реконструкции оборудования подстанции переменного тока ТП-35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ, повысят «надёжность системы электроснабжения понизительной подстанции, оптимизируют показатели энергосистемы, режим её работы, а также потребительских подстанций и приёмников, получающих питание от указанной понизительной подстанции» [8].

В схеме электрических соединений подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ дополнительно необходима установка разъединителя напряжением 35 кВ за выключателем для безопасного выполнения работ согласно [4], так как это противоречит требованиям правил техники безопасности при выполнении работ, потому что разъединитель создаёт видимый разрыв в цепи, без которого невозможно выполнить комплекс мероприятий по безопасным работам.

Данный аспект обуславливает реконструкцию схемы электрических соединений подстанции, делая её безопасной с точки зрения выполнения работ в её электроустановках.

По этой причине установка дополнительного разъединителя в схеме электрических соединений крайне необходима.

Остальные аппараты, установленные на ТП-35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ, срок ввода в эксплуатацию которых не превышает 10-15 лет и техническое состояние которых нормальное (предыдущие реконструкции оборудования были проведены в 2010 г. и 2015 г.), в работе необходимо проверить на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах согласно требованию нормативных документов [1-6].

В виду этого, а также учитывая современное состояние и развитие электроэнергетики, данные электрические аппараты и оборудование подстанции переменного тока ТП-35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ не нуждается в реконструкции.

Однако его следует проверить в работе по условиям и критериям выбора аппаратов [12].

Основываясь на краткой исходной характеристике потребителей подстанции переменного тока ТП-35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ, приведённой в таблице 1, а также на исходной схеме главных электрических соединений подстанции, далее в работе проводится решение поставленных основных задач.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения первого раздела, приведён исходный анализ объекта исследования и его технических характеристик.

Детально рассмотрено оборудование подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ.

Установлено, что объектом исследования является оборудование распределительных устройств и схема электрических соединений понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ.

Обоснована частичная замена оборудования на подстанции, которое на данный момент является устаревшим и изношенным.

Кроме того, обоснована необходимость установки в схеме электрических соединений дополнительного разъединителя 35 кВ с целью обеспечения более безопасного проведения работ на подстанции.

На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, обоснована необходимость и целесообразность реконструкции понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ.

Указанная реконструкция понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартковского района ХМАО РФ в работе осуществляется с учетом требований и указаний нормативных документов с использованием рекомендованной литературы, а также применением типовых схем и рабочих проектов.

2 Реконструкция системы электроснабжения подстанции 35/6 кВ «Новоаганское»

2.1 Мероприятия по реконструкции подстанции

Как было указано ранее, некоторое оборудование напряжением 35 кВ и 6 кВ (выключатели и разъединители, а также разрядники на стороне 6 кВ) рассматриваемой в работе подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» нуждается в реконструкции, а остальное оборудование понизительной подстанции классов напряжения 35 кВ и 6 кВ – в проверке.

В схеме электрических соединений подстанции предусматривается установка разъединителя напряжением 35 кВ за выключателем для безопасного выполнения работ согласно [22].

Также в работе проводится проверка принятых решений по выбору трансформаторов и проводников на данной понизительной подстанции.

Следовательно, «в работе на основе расчёта электрических нагрузок указанных электрических соединений, а также всей понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» в целом, необходимо выбрать и проверить» [4]:

- «силовые трансформаторы подстанции» [4];
- «сечения проводников питающей воздушной линии 35 кВ» [4];
- «электрические аппараты напряжением 35 кВ (для установки в РУ-35 кВ подстанции) и 6 кВ (для установки в РУ-6 кВ подстанции)» [4].

«При этом выбор электрических аппаратов всех классов напряжения на понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» необходимо проводить по современным и передовым каталогам заводов-изготовителей (таким образом в работе проводится реконструкция оборудования подстанции)» [4].

Все решения должны соответствовать требованиям [1-5].

«Однолинейная схема понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское», полученная в результате внедрения указанных мероприятий по реконструкции, показана на графическом листе 2 работы» [4].

2.2 Расчёт электрических нагрузок

«Для проведения выбора сечения проводников, электрических аппаратов и силовых трансформаторов на понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское», необходимо провести расчёт электрических нагрузок, исходя из технических данных потребителей реконструируемой ТП-35/6 кВ, приведённых в таблице 1» [4]:

$$Q_{np} = P_{np} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{номр}, \quad (1)$$

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

где P_{np} , Q_{np} , S_{np} – «значения расчётных активной, реактивной и полной нагрузки, соответственно, кВт, квар, кВА» [4].

Значение активной нагрузки присоединений принимается равным данным по фактическим максимальным значениям активной нагрузки, приведённым в таблице 1.

«Расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей на реконструируемой ТП-35/6 кВ «Новоаганское» проводится на примере второго присоединения (фидер «Посёлок») по условиям (1) и (2)» [4]

$$Q_{np.} = 800 \cdot 0,54 = 432 \text{ квар.}$$

$$S_{np.} = \sqrt{800^2 + 432^2} = 909,2 \text{ кВА.}$$

Аналогично проведён расчёт электрических нагрузок остальных присоединений потребителей 6 кВ понизительной подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» с приведением результатов расчёта в форме таблицы 2.

«Учитывая полученные результаты расчёта электрических нагрузок присоединений потребителей рассматриваемой понизительной подстанции, в

работе в таблице 2 также дополнительно проведён расчёт суммарной нагрузки всех присоединений сборных шин всей реконструируемой» [4] ТП-35/6 кВ «Новоаганское», то есть нагрузки всей данной понизительной подстанции в целом.

Значение расчётной активной нагрузки всех присоединений понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» определяется по формуле 3:

$$P_{ПС} = K_0 \sum_{i=1}^n P_{np}, \quad (3)$$

где K_0 – «значение коэффициента одновременности максимумов нагрузки на шинах 6 кВ в РУ-6 кВ подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» [4].

«Для всей понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» по условию (3)» [4]

$$P_C = 0,9 \cdot (800 + 8 + 12) = 738 \text{ кВт}.$$

Значение расчётной реактивной нагрузки всех присоединений понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» определяется по формуле 4:

$$Q_C = K_0 \sum_{i=1}^n Q_{np}. \quad (4)$$

Для всей понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» по условию (4)

$$Q_{ПС} = 0,9 \cdot (432 + 4,3 + 6,5) = 398,5 \text{ квар.}$$

Значение расчётной полной нагрузки всех присоединений понизительной подстанции 35/6 кВ «Новооганское» определяется по формуле

$$S_{ПС} = \sqrt{P_{ПС}^2 + Q_{ПС}^2}. \quad (5)$$

Для всей понизительной подстанции 35/6 кВ «Новооганское» по условию (5)

$$S_{ПС} = \sqrt{738^2 + 398,5^2} = 838,7 \text{ кВА.}$$

Сводные результаты расчёта электрических нагрузок присоединений потребителей ТП-35/6 кВ «Новооганское» представлены в работе в форме таблицы 2.

В данной таблице учитывается вся совокупная нагрузка не только потребителей отходящей линии, а и вторичных цепей подстанции.

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок присоединений потребителей ТП-35/6 кВ «Новооганское»

Номер присоединения	Наименование потребителя	Р _{пр.} , кВт	Q _{пр.} , квар	S _{пр.} , кВА
2	Фидер «Посёлок»	800	432,0	909,2
3	ТН-6 кВ	8	4,3	9,1
4	ТСН	12	6,5	13,6
Всего по ТП-35/6 кВ «Новооганское» (с учётом K _о = 0,9)		738	398,5	838,7

Результаты, полученные при расчёте электрических нагрузок ТП-35/6 кВ «Новооганское», используются в работе далее.

2.3 Выбор сечения проводников 35 кВ

Питающая воздушная линия (далее – ВЛ) напряжением 35 кВ, выполнена с использованием провода марки АС-70/11.

Питание рассматриваемой в работе ТП-35/6 кВ осуществляется данной ВЛ от РП «Сосновый».

«Известно, что выбор сечений воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) осуществляется по экономической плотности тока по выражению [10] по формуле 6» [4]:

$$F_9 = \frac{I_n}{j_9}, \quad (6)$$

где I_n – «рабочий ток нормального режима, А» [4];

j_9 – «экономически выгодная плотность тока, А/мм² (принимается нормируемое значение по справочным данным [7])» [4].

«Для питающей ВЛЭП напряжением 35 кВ подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» рабочий ток нормального режима» [4], с учётом числа цепей воздушной линии, определяется формуле 7:

$$I_n = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.} \cdot n}, \quad (7)$$

где S_p – расчётная мощность нагрузки всей подстанции 35/6 кВ

«Новоаганское», кВА;

n – количество используемых цепей воздушных линий в соответствующем режиме работы, шт.

Значение расчётного максимального тока послеаварийного режима воздушной линии электропередачи совпадает со значением тока нормального

режима, так как в схеме ТП-35/6 кВ «Новоаганское» резервирование отсутствует (на подстанции находится один силовой трансформатор).

По условию (7)

$$I_n = \frac{838,7}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1} = 13,8 \text{ A.}$$

По условию (6)

$$F_{\text{э.р}} = \frac{13,8}{1,1} = 12,6 \text{ мм}^2.$$

«По условию механической прочности» [4]

$$F_{\text{ст}} \geq F_{\text{мин}} = 35 \text{ мм}^2. \quad (8)$$

«Проверка сечения в нормальном режиме работы» [1]:

$$I_{\text{д}} \geq I_n, \quad (9)$$

где $I_{\text{д}}$ – «значение длительно – допустимого тока выбранного проводника стандартного сечения, А» [7].

Согласно (9)

$$265 \text{ A} > 13,8 \text{ A.}$$

Условие (9) выполняется.

Согласно (8)

$$70 \text{ мм}^2 > 35 \text{ мм}^2.$$

Условие (8) выполняется.

Следовательно, для питающей ВЛ-35 кВ, в работе подтверждается сечение провода марки АС-70/11, которое больше расчётного и минимально допустимого сечения, следовательно, сечение провода питающей ВЛ-35 кВ остаётся без изменения и удовлетворяет условиям всех проверок.

Данная воздушная линия напряжением 35 кВ показана в графической части работы на листе 2.

2.4 Выбор сечения проводников 6 кВ

Согласно исходным данным на выполнение работы, а также схеме электрических соединений ТП-35/6 кВ «Новоаганское», от данной подстанции отходит один фидер «Посёлок», питание которого осуществляется воздушной линией передачи.

Выбор сечения провода воздушной линией передачи к фидеру «Посёлок» осуществляется аналогично выбору сечения питающей ВЛ-35 кВ, проведённого в работе ранее.

По климатическим условиям сечение выбранного проводника должно быть не менее 25 мм² [4].

Такой выбор минимального сечения обусловлен районом по гололёду и ветру согласно [12].

При этом, как и для питающей ВЛ-35 кВ, резервирование для ВЛ фидера «Посёлок» в схеме отсутствует.

Поэтому на перегрузку в послеаварийном режиме работы данная линия не проверяется.

Для ВЛЭП напряжением 6 кВ для питания и электроснабжения отходящего фидера «Посёлок» от подстанции 35/6 кВ «Новоаганское», рабочий ток нормального режима, с учётом числа цепей воздушной линии, определяется по условию (7):

$$I_n = \frac{909,2}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 2} = 43,7 \text{ A.}$$

Для ВЛЭП напряжением 6 кВ для питания и электроснабжения отходящего фидера «Посёлок» от подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» по условию (6)

$$F_{э.р} = \frac{43,7}{1,1} = 39,8 \text{ мм}^2.$$

По условию механической прочности для питания и электроснабжения отходящего фидера «Посёлок» 6 кВ от подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» определяется по формуле 10:

$$F_{ст} \geq F_{мин} = 25 \text{ мм}^2. \quad (10)$$

Исходя из результатов расчёта, для питания и электроснабжения отходящего фидера «Посёлок» от подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» принимается провод марки АС-35/6,2.

Для питания и электроснабжения отходящего фидера «Посёлок» от подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» напряжением 6 кВ проверка сечения в нормальном режиме работы по условию (9)

$$210 \text{ A} > 43,7 \text{ A.}$$

Условие (9) выполняется.

Согласно (10)

$$35 \text{ мм}^2 > 25 \text{ мм}^2.$$

Условие (10) выполняется. Следовательно, для питания и электроснабжения отходящего фидера «Посёлок» от подстанции 35/6 кВ «Новоаганское», в работе принимается сечение провода марки АС-35/6,2, которое удовлетворяет условиям всех проверок.

2.5 Проверка силовых трансформаторов с учётом реконструкции

Выбор мощности силового трансформатора для установки на рассматриваемой в работе подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» проводится по полной расчетной нагрузке подстанции с учётом рассчитанной ранее суммарной нагрузки подстанции [12].

Требуемая установленная номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора для его установки на подстанции 35/6 кВ с учётом того, что на данной подстанции установлен один силовой трансформатор, питающий потребители III категории [12] по формуле 11:

$$S_{ном.т} = 0,9 \cdot S_{ПС}, МВА. \quad (11)$$

где $S_{ПС}$ – полная расчетная нагрузка рассматриваемой в работе трансформаторной подстанции, $S_{ПС} = 838,7$ кВА.

По условию (11)

$$S_{ном.т} = 0,9 \cdot 838,7 = 754,8 \text{ кВА}.$$

Предварительно принимается к установке на понизительной подстанции переменного тока 35/6 кВ «Новоаганское» один силовой трёхфазный трансформатор марки ТМ–1000/35, который совпадает с трансформатором, установленным на данной подстанции в реальных условиях до проведения реконструкции.

Техническая характеристика выбранного силового трансформатора марки ТМ–1000/35 приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Техническая характеристика силового трансформатора марки ТМ-1000/35

$S_{ном},$ кВА	Номинальное напряжение, кВ		$U_k,$ %	$P_k,$ кВт	$P_x,$ кВт	$I_x,$ %
	ВН	НН				
1000	35	6,3	6,62	11,164	1,944	1,2

«Проводится проверка силовых трансформаторов марки ТМ-1000/35 на перегрузочную способность как в нормальном, так и в максимальном (послеаварийном) режиме работы» [13].

При этом в работе используется упрощенный суточный график нагрузок потребителей подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское», представленный на рисунке 2.

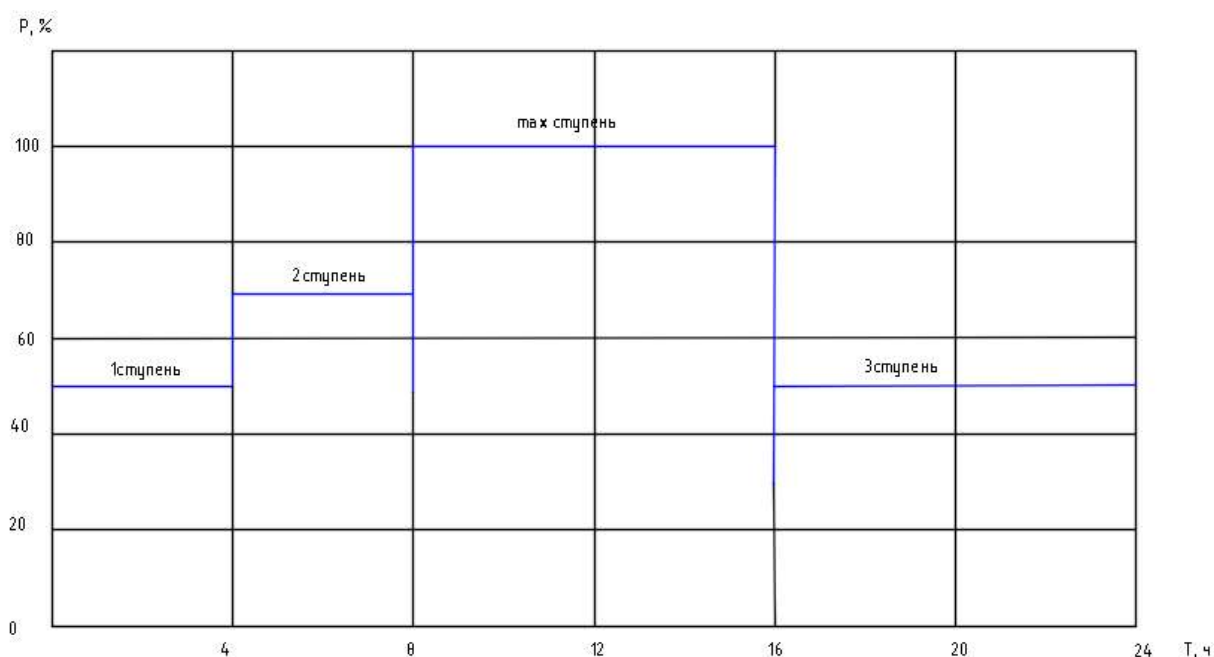


Рисунок 2 – Упрощенный суточный график нагрузок потребителей ТП-35/6 кВ «Новоаганское»

Выбранный силовой трансформатор марки ТМ-1000/35 на ТП-35/6 кВ «Новоаганское» проверяется на аварийную перегрузку таким образом [10] по формуле 12:

$$K_2 \leq K_{2\text{доп}}, \quad (12)$$

где « K_2 – расчетный коэффициент аварийной перегрузки» [12];

« $K_{2\text{доп}}$ – коэффициент допустимой аварийной перегрузки» [12].

При этом должно выполняться следующее условие [10] по формуле 13:

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{ном.Т}} \cdot K_{2\text{доп}}. \quad (13)$$

Для решения поставленных задач на упрощённом «суточном графике заданы нагрузки потребителей в виде максимальных значений активной мощности P_{max} , которая соответствует 100 % максимальной ступени для суточного графика» [12] (рисунок 2).

Согласно полученным результатам расчёта электрических нагрузок, значение $P_{\text{max}} = 738$ кВт.

«С использованием заданного значения коэффициента мощности потребителей график активной мощности преобразуется в график полной мощности по выражению» [12] формулы 14:

$$S_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{\cos \varphi}, \text{ MVA}. \quad (14)$$

$$S_{\text{max}} = \frac{738}{0,93} \approx 793,5 \text{ кВА}.$$

Далее рассчитывается «полная мощность для всех остальных ступеней, представленных на суточном графике» [23], решается пропорция

$$793,5 \text{ кВА} - 100 \%$$

$$S_{1\text{ступени}} = S_{3\text{ступени}} - 50 \%$$

Отсюда для первой и третьей ступеней суточного графика нагрузки подстанции

$$S_{1\text{ступени}} = S_{3\text{ступени}} = \frac{793,5 \cdot 50}{100} \approx 396,8 \text{ кВА.}$$

Аналогично рассчитываются остальные ступени данного суточного графика подстанции:

$$S_{2\text{ступени}} = \frac{793,5 \cdot 70}{100} \approx 555,5 \text{ кВА.}$$

Проводится проверка трансформаторов по графику нагрузки подстанции, для чего проводится преобразование исходного графика нагрузки в эквивалентный график.

Значение начальной нагрузки K_1 эквивалентного графика нагрузки

$$K_1 = \frac{1}{S_{\text{ном}}} \sqrt{\frac{S_1^2 \Delta t_1 + S_2^2 \Delta t_2 + \dots + S_m^2 \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}}, \text{ о.е.} \quad (15)$$

По условию (15)

$$K_1 = \frac{1}{1000} \sqrt{\frac{396,8^2 \cdot 4 + 555,5^2 \cdot 4 + 555,5^2 \cdot 8}{16}} \approx 0,52.$$

Предварительное значение нагрузки K_2' эквивалентного графика по формуле 16:

$$K'_2 = \frac{1}{S_{ном}} \sqrt{\frac{(S'_1)^2 \Delta h_1 + (S'_2)^2 \Delta h_2 + \dots + (S'_p)^2 \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p}}, \text{ o.e.} \quad (16)$$

По условию (16)

$$K'_2 = \frac{1}{1000} \sqrt{\frac{793,5^2 \cdot 8}{8}} \approx 0,79.$$

Исходя из значений полученных коэффициентов графика нагрузки, также должно выполняться следующее условие

$$K'_2 \geq 0,9 \cdot K_{max}. \quad (17)$$

Условие (17) выполняется

$$K'_2 = 0,9 \geq 0,9 \cdot \frac{793,5}{1000} = 0,71.$$

Следовательно, принимается для дальнейших расчётов

$$K_2 = K'_2 = 0,79.$$

Все полученные в работе значения откладываются на преобразованном графике рисунка 3.

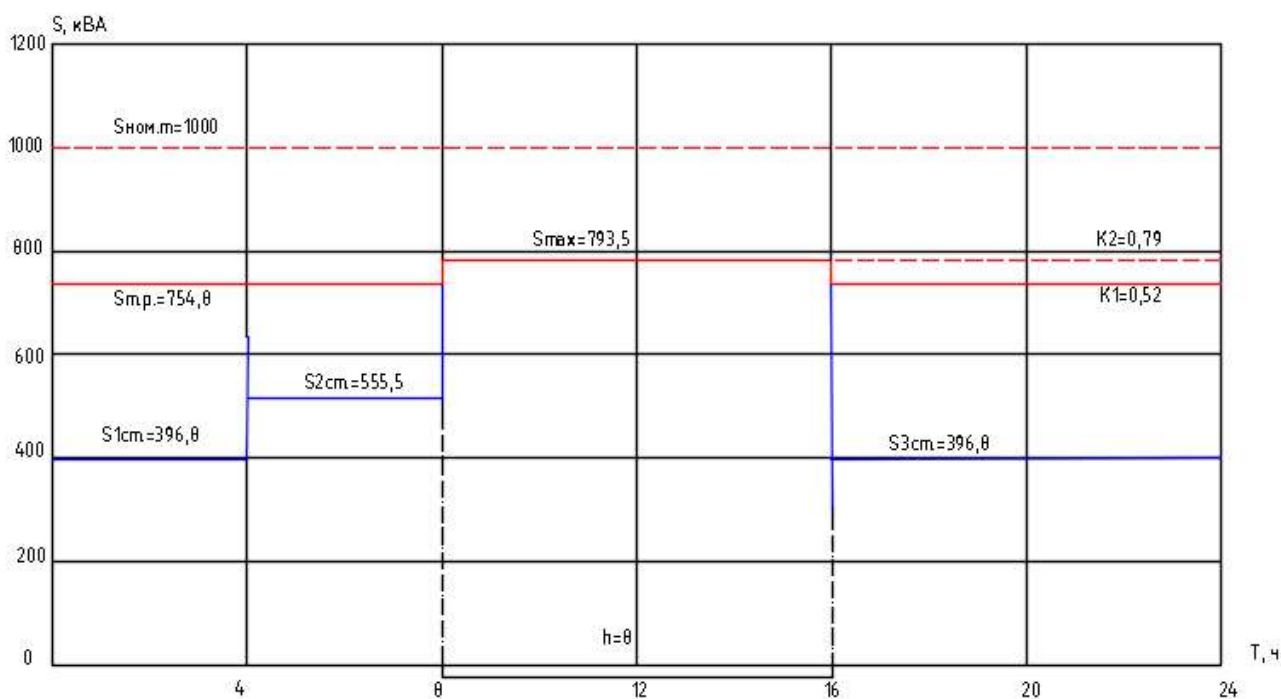


Рисунок 3 – Преобразованный исходный суточный график нагрузки ТП-35/6 кВ «Новоаганское» в эквивалентный двухступенчатый график

Для допустимых аварийных перегрузок силового трансформатора при системе охлаждения типа М и полученных результатах расчётных коэффициентов и времени перегрузки, по [11] определяется $K_{2\text{доп}}=1,35$, что значительно превышает коэффициент фактической перегрузки $K_2=0,79$.

Для дальнейших расчётов в работе принимается фактический коэффициент фактической аварийной перегрузки, равный $K_2=0,79$.

С учётом этого, далее необходимо проверить соблюдение в работе выполнения условия (13)

$$S_{\text{max}} = 793,5 \text{ кВА} \geq 1000 \cdot 0,79 = 790 \text{ кВА}.$$

Условие проверки (2.8) соблюдается.

Следовательно, силовой трансформатор марки ТМ-1000/35, установленный на ТП-35/6 кВ «Новоаганское», удовлетворяет всем условиям

выбора и проверки и выдержит допустимую перегрузку на данной подстанции в нормальном и послеаварийном режимах.

2.6 Расчёт токов короткого замыкания

«Расчёт токов короткого замыкания (далее – КЗ) на подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» проводится с конечными целями» [8]:

– «проверки электрических аппаратов и проводников на термическую и электродинамическую стойкости к токам короткого замыкания. Для этой цели проводятся расчёты максимального трёхфазного тока, а также значения ударного тока КЗ в расчётных точках» [8];

– «выбора и проверки на чувствительность уставок релейной защиты и автоматики. Для этой цели проводятся расчёты максимального трёхфазного тока, а также значения двухфазного (минимального) тока КЗ в расчётных точках» [8].

Исходная схема для расчёта токов КЗ представлена на рисунке 4.

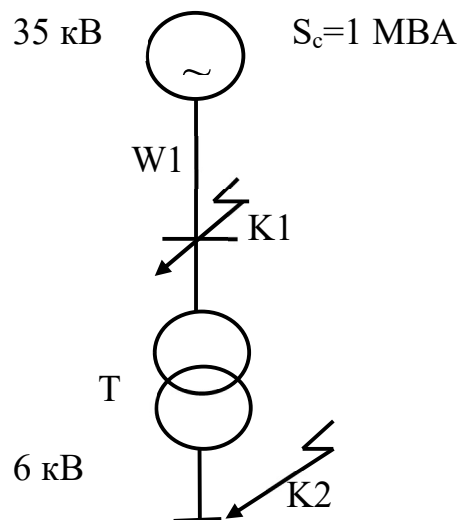


Рисунок 4 – Исходная схема для расчёта токов КЗ

Принимаются базисные напряжение, мощность и ток.

Также на данном этапе работы определяется основная и неосновная ступени.

В качестве основной ступени принимается ступень напряжением 35 кВ, а неосновной – ступень напряжением 6 кВ.

Базисная мощность принимается равной номинальной мощности силового трансформатора подстанции 35/6 кВ «Новоаганское»:

$$S_{\sigma} = S_{ном.т} = 1 \text{ МВА.}$$

Базисное напряжение определяется формуле 18 [8]:

$$U_{\sigma.} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (18)$$

По условию (18)

$$U_{\sigma.1} = 1,05 \cdot 35 = 36,75 \text{ кВ.}$$

$$U_{\sigma.2} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{ кВ.}$$

«Базисный ток» [8]

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}. \quad (19)$$

По условию (19)

$$I_{\sigma 1} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 36,75} = 0,016 \text{ кА.}$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,09 \text{ кА.}$$

«Схема замещения для расчёта токов короткого замыкания представлена на рисунке 5» [8].

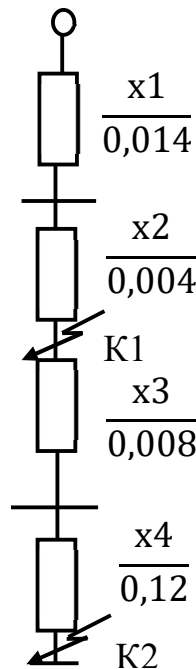


Рисунок 5 – Схема замещения сети подстанции для расчёта токов КЗ

«Сопротивление энергосистемы» [8]:

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\sigma c}}. \quad (20)$$

При этом [8] по формуле 21:

$$X_c = \frac{E_c}{I_{\kappa}''} I_{\sigma}, \quad (21)$$

где E_c - сверхпереходная ЭДС энергосистемы, $E_c=1$;

I_{κ}'' – значение тока трёхфазного КЗ на шинах источника питания в максимальном режиме (по данным энергосистемы).

$$X_c = \frac{1}{1,171} \cdot 0,016 = 0,014 \text{ о.е.}$$

Тогда

$$X_1 = 0,014 \cdot \frac{1}{1} = 0,014 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление питающей воздушной линии 35 кВ» [8]:

$$X_{wl} = X_2 = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp.cm}^2}, \quad (22)$$

где X_0 – «удельное сопротивление ВЛ, Ом/км» [8];

L – «суммарная длина ВЛ, км» [8].

Значит

$$X_{wl} = X_2 = 0,4 \cdot 12 \cdot \frac{1}{36,75^2} \approx 0,004 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление обмотки ВН трансформатора» [8]:

$$X_{\sigma} = \frac{0,125 \cdot U_{к\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.м.}}. \quad (23)$$

Тогда

$$X_3 = \frac{0,125 \cdot 6,62 \cdot 1}{100 \cdot 1} = 0,008 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление обмотки НН трансформатора» [8]:

$$X_{н} = \frac{1,75 \cdot U_{к\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.м.}}. \quad (24)$$

Значит

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot 6,62 \cdot 1}{100 \cdot 1} = 0,12 \text{ Ом.}$$

«Далее проводится преобразование исходной схемы замещения с целью расчёта токов КЗ в точках К1 и К2» [8] (рисунок 6).

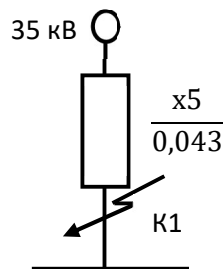


Рисунок 6 – Схема замещения для точки К1

«Результирующее сопротивление до расчётной точки К1» [8]

$$X_5 = X_1 + X_2. \quad (25)$$

$$X_5 = 0,014 + 0,004 = 0,018 \text{ Ом.}$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания (максимальное значение тока)

$$I_{\text{пол}} = \frac{E}{X_5} \cdot I_{\text{б1}}, \quad (26)$$

где E_c - сверхпереходная ЭДС энергосистемы, $E_c=1$.

Значит

$$I_{\text{по}K1} = \frac{1}{0,018} \cdot 0,016 \approx 0,89 \text{ кА.}$$

«Схема замещения для расчета тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2 представлена на рисунке 7» [8].

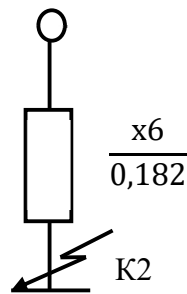


Рисунок 7 – Схема замещения для расчетов тока КЗ в точке К2

Аналогично для точки К2 схемы

$$X_6 = X_3 + X_4 + X_5, \quad (27)$$

$$X_6 = 0,018 + 0,008 + 0,12 = 0,146 \text{ Ом.}$$

Для точки К2

$$I_{\text{по}2} = \frac{E}{X_6} \cdot K_m \cdot I_{\delta 2}, \quad (28)$$

где K_T – «значение коэффициента трансформации трансформатора, о.е.» [8]

Значит

$$I_{\text{по}K2} = \frac{1}{0,146} \cdot \frac{36,75}{6,3} \cdot 0,09 = 3,6 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока в расчётной точке К1» [8]

$$i_{уд1} = \sqrt{2}k_{уд} \cdot I_{по1}. \quad (29)$$

Значит

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 0,89 \approx 2,0 \text{ кА}.$$

«Значение ударного тока в расчётной точке К2» [8]

$$i_{уд2} = \sqrt{2}k_{уд} \cdot I_{по2}. \quad (30)$$

Отсюда

$$i_{уд.К2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 3,6 = 7,12 \text{ кА}.$$

«Значение двухфазного тока короткого замыкания» [8]

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{no}. \quad (31)$$

«Значение двухфазного тока короткого замыкания в расчётной точке К1
понижительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» [8]

$$I_{no(\min)К1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,89 = 0,77 \text{ кА}.$$

«Значение двухфазного тока короткого замыкания в расчётной точке К2
понижительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» [8]

$$I_{no(min)K2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,6 = 3,12 \text{ кА.}$$

«Результаты расчёта токов КЗ в системе электроснабжения подстанции 35/6 кВ «Новоаганское», приведены в таблице 4» [8].

Таблица 4 – Результаты расчетов токов короткого замыкания на понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское»

Расчётный параметр	Точка К1	Точка К2
$I_{по}$, кА	0,89	3,60
$I_{по (min)}$, кА	0,77	3,12
$i_{уд}$, кА	2,00	7,12

Результаты расчетов токов КЗ в системе электроснабжения понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское», которая реконструируется путём замены аппаратов в РУ-35 кВ и РУ-6 кВ, используются в работе далее при непосредственном выборе и проверке электрических аппаратов.

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

В работе для установки на понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» с целью реконструкции электрической части данной подстанции, выбираются следующие и проверяются следующие электрические аппараты:

- в РУ-35 кВ, новые аппараты: выключатели высокого напряжения (со встроенными трансформаторами тока), разъединители; проверяются (не требуют реконструкции): ограничители перенапряжения;
- в РУ-6 кВ, новые аппараты: выключатели высокого напряжения, разъединители, ограничители перенапряжения (вместо разрядников);

проверяются (не требуют реконструкции): «трансформаторы тока и трансформаторы напряжения» [12].

«Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по и формулам» [12] 32 и 33:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (32)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (33)$$

«Кроме того, выбранные аппараты высокого напряжения подлежат следующим проверкам по условиям отключения токов КЗ и ударных токов, а также на термическую и динамическую стойкость по условиям», приведённым ниже [12].

Для «отключающих аппаратов проводится проверка на симметричный ток отключения» [12]:

$$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (34)$$

«В данном случае учитывается симметричный (трёхфазный) ток КЗ» [12].

«Для отключающих аппаратов в данной работе должна быть проведена проверка на возможность отключения апериодической составляющей тока» по [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (35)$$

где $\beta_{ном}$ – «номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе» [12];

$i_{а.ном}$ – «номинальное допустимое значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка электрических аппаратов на электродинамическую стойкость» проводится по двум условиям» [12]:

- «по условию номинального тока отключения» [12]

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (36)$$

- «по величине ударного тока» [6]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (37)$$

где $i_{дин.}$ – «номинальный ток электродинамической стойкости аппарата».

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» согласно [15]

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (38)$$

где I_T – «предельный ток термической стойкости по каталогу» [12];

t_T – «длительность протекания тока термической стойкости, с» [12].

Для установки на стороне 35 кВ рассматриваемой в работе понизительной ТП-35/6 кВ «Новоаганское» с целью реконструкции, выбран новый выключатель высокого напряжения марки ВРНСМ-35-20/1600 УХЛ1 со встроенными измерительными трансформаторами тока (производитель – НТЭАЗ «Электрик»).

Исходя из приведённых выше условий (32) – (38), проводится проверка данного выключателя для установки в условиях РУ-35 кВ рассматриваемой в работе ТП-35/6 кВ «Новоаганское» (таблица 5)

$$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ.}$$

$$1600 \text{ А} > 16,5 \text{ А.}$$

$$20 \text{ кА} > 0,89 \text{ кА.}$$

$$52 \text{ кА} > 2 \text{ кА.}$$

$$I_t^2 t = 1200 \text{ кА}^2 \text{с} > 0,89^2 \cdot 3 \approx 2,4 \text{ кА}^2 \text{с.}$$

$$\sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,25) = 35 \text{ кА}^2 \text{с} > \sqrt{2} \cdot 0,89 \cdot (1 + e^{\frac{-(0,05+0,1)}{0,007}}) = 2,9 \text{ кА}^2 \text{с.}$$

Краткие результаты выбора и проверки выключателя 35 кВ приведены в таблице 5.

Таким образом, данный выключатель подходит для установки в РУ-35 кВ рассматриваемой в работе понизительной подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское», а также удовлетворяет требованиям всех требуемых в работе проверок.

По аналогичной методике проводится выбор и проверка остальных электрических аппаратов подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» с целью её реконструкции. Помимо выключателя высокого напряжения, в работе на стороне 35 кВ реконструируемой подстанции следует также выбрать разъединители и ограничители перенапряжения.

Выбор новых и проверка всех остальных аппаратов напряжением 35 кВ, не требующих реконструкции, проведены аналогично и результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты выбора и проверки электрических аппаратов напряжением 35 кВ

Наименование и марка аппарата	Условие	Расчетные величины	Каталожные данные	Выполнение условия
Выключатели ВРНСМ-35-20/1600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 16,5 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$	$16,5 \text{ А} \leq 1600 \text{ А}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{п.т} = 0,89 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$	$0,89 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$	$2 \text{ кА} \leq 52 \text{ кА}$

Продолжение таблицы 5

Наименование и марка аппарата	Условие	Расчетные величины	Каталожные данные	Выполнение условия
Разъединители РГП.2-35.Ш/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 16,5 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$16,5 \text{ А} \leq 1000 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 16 \text{ кА}$	$2 \text{ кА} \leq 16 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T =$ $= 0,89^2 \cdot 3 =$ $= 2,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 16^2 \cdot 3 =$ $= 768 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$2,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq$ $768 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Ограничители перенапряжения ОПН-П- 35/40,5/10/650- Ш-УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}$
Выключатели ВРНСМ-35- 20/1600 УХЛ1	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T =$ $= 0,89^2 \cdot 3 =$ $= 2,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$2,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq$ $1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Все выбранные электрические аппараты напряжением 35 кВ для установки на ТП-35/6 кВ «Новоаганское» с целью её реконструкции удовлетворяют условиям выбора и проверки.

Также соответствует всем условиям и новый разъединитель в ОРУ 35 кВ, который устанавливается для безопасного проведения работ в схеме подстанции.

Данный разъединитель обеспечивает наличие видимого разрыва, необходимого в схеме электрических соединений подстанции при оперативных переключениях и выводе в ремонт оборудования для условия безопасного проведения работ.

Выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 6 кВ в данной работе проведены аналогично выбору аппаратов напряжением 35 кВ и результаты представлены в таблице 6.

Все выбранные аппараты для установки на подстанции удовлетворяют условиям выбора и проверки.

Таблица 6 – Результаты выбора и проверки аппаратов напряжением 6 кВ

Наименование и марка аппарата	Условие	Расчетные величины	Каталожные данные	Выполнение условия
Выключатель ВВ/TEL-10-20/1000-У2-48	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$10 \text{ кВ} \geq 6 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 96,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$96,2 \text{ А} \leq 1000 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 3,6 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$	$3,6 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 7,12 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА}$	$7,12 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T =$ $= 3,6^2 \cdot 3 =$ $= 38,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$38,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq$ $1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
ТТ марки ТПЛ-10	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$10 \text{ кВ} \geq 6 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 96,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$96,2 \text{ А} \leq 1000 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 7,12 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 80 \text{ кА}$	$7,12 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T =$ $= 3,6^2 \cdot 3 =$ $= 38,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$38,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq$ $1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
ТН марки НТМИ-6-66	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$6 \text{ кВ} = 6 \text{ кВ}$
Предохранитель для защиты ТН ПКН 001-6 У3	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$6 \text{ кВ} = 6 \text{ кВ}$
Предохранитель для защиты ТСН ПКН-6-31,5 У3	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$6 \text{ кВ} = 6 \text{ кВ}$
ОПНп-10/11,5/10/400 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$10 \text{ кВ} \geq 6 \text{ кВ}$
Разъединитель РЛК-10/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$10 \text{ кВ} \geq 6 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 96,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$96,2 \text{ А} \leq 1000 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 7,12 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 16 \text{ кА}$	$7,12 \text{ кА} \leq 16 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T =$ $= 3,6^2 \cdot 3 =$ $= 38,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 16^2 \cdot 3 =$ $= 256 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$38,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq$ $256 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения второго раздела работы, исходя из результатов анализа, на трансформаторной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» внедрены следующие практические мероприятия по реконструкции оборудования РУ-35 кВ подстанции, в результате чего выбраны и проверены:

– для установки на стороне 35 кВ в РУ-35 кВ рассматриваемой в работе понизительной ТП-35/6 кВ «Новоаганское», выбран и проверен новый выключатель высокого напряжения марки ВРНСМ-35-20/1600 УХЛ1 со встроенными трансформаторами тока (производитель – НТЭАЗ «Электрик»), который устанавливается вместо морально и физически устаревшего и изношенного масляного выключателя марки ВТ-35-630-12,5 У1, введённого в эксплуатацию на подстанции в 2007 г., но произведённого ещё в 1987 г. и снятого с производства;

– вместо устаревшего разъединителя марки РЛНД-2-35-600 (ввод в эксплуатацию – в 1976 г.) в РУ-35 кВ рассматриваемой в работе понижающей подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» выбран и проверен современный надёжный разъединитель марки РГП.2-35.Ш/1000 УХЛ1 (производитель – ЗАО «ЗЭТО»).

Внедрены следующие практические мероприятия по реконструкции оборудования РУ-6 кВ подстанции, в результате чего выбраны и проверены:

– выбран и проверен новый выключатель высокого напряжения марки ВВ/TEL-10-20/1000-У2-48 (производитель – ООО «Таврида Электрик»), который устанавливается вместо морально и физически устаревшего и изношенного масляного выключателя марки ВМГ-10/630, введённого в эксплуатацию на подстанции в 2006 г., но произведённого ещё в 1981 г. и снятого с производства;

– вместо устаревших разъединителей марки РВ-10/400 (введены в эксплуатацию в 1976 г.), в РУ-6 кВ рассматриваемой в работе понижающей подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» выбраны и проверены современные

надёжные разъединители марки РЛК-10/1000 УХЛ1 (производитель – ЗАО «ЗЭТО»);

– вместо устаревших разрядников марки РВО-6-У1 (ввод в эксплуатацию осуществлён в 1976 г.), в РУ-6 кВ рассматриваемой в работе понижающей подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» выбраны и проверены современные надёжные ограничители перенапряжения марки ОПНп-10/11,5/10/400 УХЛ1 (производитель – ООО «Таврида Электрик»).

Выбор всего оборудования для реконструкции понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» в работе проведён на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания.

Также в работе, на основе расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания на понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское», проверены:

– силовой трансформатор подстанции (установлено, что ранее установленный силовой трансформатор марки ТМ-1000/35 не нуждаются в замене и выдержит допустимую перегрузку исходя из данных суточного графика нагрузок);

– сечения проводников питающей линии ВЛ-35 кВ подстанции с применением провода марки АС-70/11 (для питания силового трансформатора подстанции на напряжении 35 кВ от энергосистемы);

– сечения проводников распределительной линии ВЛ-6 кВ подстанции с применением провода марки АС-35/6,2 (для питания отходящего фидера «Посёлок»).

3 Технике безопасности при выполнении работ

3.1 Организация техники безопасности на подстанции

Организация техники безопасности на понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» возлагается на предприятие, которое непосредственно обслуживает данную подстанцию.

Таким объектом является Новоаганский РЭС.

Непосредственную ответственность за обеспечение охраны труда на понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское», согласно действующему законодательству, лежит на директоре РЭС [7]. Он, принимая на работу персонал, берёт на себя ответственность за жизнь и здоровье работника.

Также в РЭС для безопасного проведения работ назначаются ответственные соблюдение норм охраны труда, которых назначает своим приказом руководитель предприятия.

Выполнение основных целей по охране труда на предприятии имеет замкнутый цикл.

Непосредственную ответственность за соблюдение охраны труда в подразделениях и службах РЭС несут и руководители этих подразделений: начальники служб, смен, участков, мастера и прочие ответственные работники, которые назначаются приказами по предприятию.

Кроме того, на предприятии есть служба по охране труда, работниками которых проводится разъяснительная и предупредительная работа среди рабочего персонала предприятия: разработка документации, проведения инструктажей, а также дней охраны труда и соответствующих мероприятий по охране труда в зависимости от направлений (электробезопасность, пожарная безопасность и т.д.).

Для всех работников, согласно действующего законодательства [7], установлены минимально допустимые квалификационные группы [7].

В базу знаний этих работников входит владение элементарными электротехническими знаниями электроустановок, на которых они работают,

при четком представлении об опасности электрического тока и приближении к токоведущим частям [7].

Лицам, ответственным за безопасную организацию работ, следует, в первую очередь, решить такие вопросы:

- разработать и утвердить инструкции по эксплуатации оборудования;
- организовать контроль за учетом и выдачей документации в установленные сроки;
- установить и оформить личные карты учета выдачи документации работникам по установленной форме;
- периодическое опробование, обновление и проверка пригодности должностных инструкций и нормативных положений на предприятии;
- выдавать приказы работодателя об утверждении должностных инструкций и нормативных положений на предприятии;
- завести и поддерживать в надлежащем виде журналы по охране труда (пронумерованные, прошнурованные и скрепленные печатью);
- обеспечение со стороны работодателя надлежащего ухода по всем вопросам охраны труда.

Все производственные вопросы относительно охраны труда на понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» решаются в установленными нормами и правилами основополагающих документов и положений [12].

3.2 Анализ производственных видов опасностей на подстанции

На понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» существуют опасности для работающего персонала, связанные с риском для здоровья и жизни людей.

По этой причине следует провести их краткий анализ.

В силу различных обстоятельств и производственных факторов, существуют следующие виды опасностей:

– производственные опасности, которые заключаются в нарушении режима и технологии производства, а также установленных правил по технике безопасности. Такие виды опасности приводят к различным видам производственных травм вплоть до летального исхода;

– опасность поражения электрическим током – заключается в соблюдении профилактических, организационных и технических мероприятий, позволяющих обезопасить обслуживающий персонал от поражения электрическим током в электроустановках;

– пожарная опасность – заключается в соблюдении профилактических, организационных и технических мероприятий по недопущению возгорания материалов, зданий и сооружений;

– экологическая опасность – состоит в недопущении или устранении вредного и опасного воздействия на окружающую среду.

Анализ воздействия объекта на окружающую среду заключается в проявлении следующих факторов:

– возможность утечки масла в грунт из силовых трансформаторов подстанции;

– возможное попадание на объект животных и их поражение электрическим током и дугой;

– загрязнение грунта отходами тяжёлых металлов при технологическом процессе на объекте;

– загрязнение воздуха выбросами производственной деятельности объекта;

– утечка в грунт септиков и стоков в результате непроизводственной деятельности на объекте.

Аварийные ситуации на понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» могут возникнуть в таких случаях:

– повреждение изоляции оборудования и сетей;

– несрабатывание либо позднее срабатывание устройств релейной защиты;

- грубое нарушение установленных правил и норм технологического процесса;
- неправильные оперативные переключения в цепях электроустановок и сетей объекта;
- ввод в эксплуатацию просроченного и непроверенного оборудования и сетей;
- использование технологического оборудования и сетей не по назначению;
- нарушение правил техники безопасности и пожарной безопасности на объекте;
- прочие производственные и непроизводственные факторы.

Все виды производственных и непроизводственных опасностей на понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» учтены в работе далее при разработке мероприятий по их устранению либо предупреждению.

3.3 Мероприятия по технике безопасности на подстанции

Мероприятия по технике безопасности на понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» разрабатываются, исходя из условий работы подстанции, вида оборудования, режимов работы, типа подстанции, а также питающих и распределительных линий.

Работы в действующих электроустановках выполняются по следующим нормативным документам:

- наряду-допуску;
- распоряжению.

Иных документов не предусмотрено [7].

В первом случае наряд-допуск на выполнение работ выдаётся лицом из оперативно-обслуживающего персонала, который имеет на это право (как правило, в РЭС – это диспетчер).

Право подписать и утвердить наряд-допуск при утверждении имеет лицо из начальствующего персонала (как правило, это – начальник смены, диспетчерской службы или службы).

Наряд-допуск может быть продлён на срок до месяца, но не более того. Продлевать наряд-допуск имеет право то же лицо, которое его выдало, либо аналогичное лицо из инженерно-технического персонала понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское».

В отличие от наряда-допуска, распоряжение на выполнение работ носит краткосрочный характер и не может быть продлено более, чем на одни сутки в любом случае. Поэтому если за время суток работы по распоряжению не выполняются, следовательно, при краткосрочном характере работ, которые планируются выполнять не более суток, выписывается новое распоряжение, а при долгосрочном лучше применять наряд-допуск.

Особое место занимают инструктажи по технике безопасности и охране труда.

В зависимости от назначения и инструктируемых работников, они могут быть следующих видов: первичные инструктажи, инструктажи на рабочем месте, повторные инструктажи.

Из числа первичных инструктажей выделяется вводный инструктаж, который имеет целью осветить общий принцип и порядок работы на предприятии.

Любой инструктаж должен быть доведён под подпись того, кому он предназначен.

Также должна стоять подпись ответственного лица, проводившего данный инструктаж.

Без проведения всех необходимых инструктажей и отсутствия соответствующих подписей в установленных журналах, инструктируемое лицо к работам не допускается [17].

Производственные опасности заключаются в нарушении режима и технологии производства, а также установленных правил по технике безопасности.

Такие виды опасности приводят к различным видам производственных травм вплоть до летального исхода.

Для каждого предприятия в зависимости от специфики и характера работы производственные опасности имеют различный характер.

На объекте исследования производственные опасности заключаются в получении травм различной степени тяжести при выполнении работ по монтажу, ремонту и обслуживанию оборудования, получение ожогов частей тела и слизистых оболочек, падение с высоты при выполнении работ, травмы, обусловленные попаданием частей тела под различные трущиеся и вращающиеся поверхности и т.п.

Профилактическими мероприятиями при производственных видах опасностей являются их недопущение применением организационных и технических мероприятий.

К таким мероприятиям относятся проведение инструктажей, ограждение рабочих и опасных мест, контроль выполнения работы несколькими членами бригады и т.п.

Следующий вид опасности – это опасность поражения электрическим током.

Для объекта исследования в работе в виду его специфики он представляется наиболее важным и вероятным, поэтому данному виду опасности следует уделить особое внимание.

Профилактические мероприятия по недопущению и предупреждению поражения электрическим током заключаются в проведении разъяснительной работы среди персонала, установки защитных средств, изоляции опасных участков электрической сети.

Также к профилактическим мероприятиям относятся установка световой и звуковой сигнализации, а также релейной защиты и автоматики на объектах энергетики.

Организационные мероприятия по недопущению поражения электрическим током заключаются в организации выполнения работ строго по инструкции и нормам охраны труда, назначение ответственных лиц для контроля выполнения работ и норм безопасности, выдачу нарядов и распоряжений для выполнения работ, допуск персонала к работе, организацию работ на рабочем месте, премирование исполнительных работников и наказание злостных нарушителей.

Технические мероприятия по недопущению поражения электрическим током заключаются во внедрении технических мер при строгом соблюдении всех нормативов.

К таким мероприятиям относятся, например, установка запрещающих, предписывающих и информационных плакатов на месте работы, ограждение рабочего места, проведение оперативных переключений, заземление оборудования и т.д.

Особое внимание следует уделить средствам защиты от поражения электрическим током при работе в электроустановках.

К таким средствам относятся перчатки, диэлектрические коврики и подставки, инструменты, защитные маски и очки. Все они должны быть проверены непосредственно перед началом работ. Кроме того, срок их эксплуатации должен быть в норме.

Просроченный рабочий и защитный инструмент ни в коем случае использовать нельзя, так как это является прямой угрозой жизни и здоровью людей.

Кроме того, для уменьшения поражения электрическим током людей, в электроустановках необходимо заземлять и занулять (только в сетях до 1 кВ) оборудование.

Применение переносных заземляющих устройств для безопасного проведения работ целесообразно только после проведения оперативных переключений коммутационных аппаратов и проверки отсутствия напряжения на шинах электроустановок.

Далее следует привести краткий алгоритм порядка выполнения работ в электроустановках при неукоснительном соблюдении мероприятий по охране труда.

Перед началом любых работ в электроустановках персонал обязан пройти инструктаж на рабочем месте, в котором указываются как его обязанности, так и обязанности других членов бригады, а также характер и расположение опасностей.

Далее старший (руководитель работ) даёт команду на подготовку рабочего места.

Рабочее место подготавливают, как правило, опытные работники с соответствующими группами по электробезопасности (в электроустановках до 1 кВ – не ниже третьей, а в электроустановках выше 1 кВ – не ниже четвёртой группы).

После этого проводятся оперативные переключения и отключения, которые согласовываются с диспетчером сетей.

Затем указателями напряжения соответствующих классов проверяют отсутствие напряжения на токоведущих частях оборудования, где будут проводиться работы.

После этого накладывается переносное заземление на токоведущие части либо включаются заземляющие ножи оборудования (если таковые предусмотрены конструкцией).

Затем ограждается рабочее место и вывешиваются плакаты по технике безопасности.

Только после всех перечисленных мероприятий бригада может приступить к выполнению работ.

В процессе выполнения работ при необходимости можно организовать перерыв, для чего бригада полностью выводится с места работ, а двери электроустановок закрываются на ключ.

Допуск посторонних лиц на объект работ при этом категорически запрещён.

«Возникновения пожара на объектах возможно при следующих обстоятельствах» [16]:

- «при коротких замыканиях» [16];
- «при прямых попаданиях молнии» [16];
- «при разрушении и перегрева изоляции с последующим возгорания» [16];
- «при перегреве масла в трансформаторе» [16];
- «при перегреве токоведущих частей от перегрузки при неправильном их выборе» [16].

Пожарная безопасность объекта исследования в работе обеспечивается применением и использованием следующих мероприятий:

- применением негорючих материалов в электроустановках и несгораемых конструкций оборудования, зданий и сооружений;
- наличием средств пожаротушения на объекте (пожарный щит, огнетушители, гидранты и т.п.);
- профилактическими проверками и инспекциями, выявляющих общее состояние пожарной безопасности оборудования;
- работой пожарной дружины на объекте, а также постоянным источником связи с пожарной инспекцией.

С точки зрения пожаробезопасности, наибольшую опасность представляет на объекте силовой трансформатор и прочее маслonaполненное оборудование, в котором существует высокая вероятность пожара и взрыва.

Поэтому данные объекты необходимо контролировать самым тщательным образом как во время обходов (плановых и неплановых), так и во время проверок.

Как показывают статистические исследования [19], также для обеспечения пожарной безопасности очень важное значение играет поддержание территории объекта в чистоте.

Для этого необходимо скашивать сухую траву, утилизировать ветошь, поддерживать чистоту на объекте.

Указанные мероприятия позволят не допустить самовозгорание на объекте в сухую жаркую погоду, а также не допустить распространение пожара на объекте и быстро его локализовать.

Среди опасностей также следует упомянуть и экологическую опасность, актуальность которой всё больше приобретает смысл в последние годы. Загрязнение окружающей среды в свете изменения климата стало злободневной темой.

На объекте наибольшую опасность с экологической точки зрения представляют следующие возможные факторы:

- утечка масла в грунт из маслonaполненного оборудования (в частности, с силовых трансформаторов);
- загрязнение септиками и химикатами окружающей среды;
- загрязнение и запылённость воздуха;
- опасность для флоры и фауны;
- влияние шумов на живые организмы;
- влияние высоких напряжений на биосферу.

Экологический риск от перечисленных факторов должен быть сведён к минимуму путём внедрения качественных мероприятий, к которым относятся такие мероприятия, как-то:

- проведения организационных мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности;
- техническое обеспечение экологической безопасности;
- профилактические меры по обеспечению экологической безопасности;
- законодательное обеспечение экологической безопасности.

Все указанные мероприятия обязательны к применению и внедрению.

3.4 Расчёт молниезащиты подстанции

«Известно, что прямые удары молнии в оборудование понизительных подстанций влекут тяжёлые последствия для оборудования и сетей, так как вследствие возникших значительных атмосферных перенапряжений они могут выйти из строя, иногда без возможности восстановления» [21].

«В результате без питания могут остаться важнейшие потребители подстанций, что недопустимо согласно требованиям» [1-4].

«Поэтому для обеспечения надёжности электроснабжения в работе необходимо провести расчёт молниезащиты ТП-35/6 кВ «Новоаганское»» [11].

«От прямых ударов молний должны защищаться все ответственные электроприемники» [11].

«ОРУ-35 кВ ТП-35/6 кВ «Новоаганское» можно защищать одиночными стержневыми молниеотводами, кроме разрядников, как более ответственные сооружения, тем более, ОРУ-35 кВ питает потребителей третьей категории» [11].

«Линии напряжением до 35 кВ включительно защищать от прямых попаданий молний не рекомендуется по экономическим соображениям» [18].

«Необходимо помнить, что здание, сооружение будет защищено от ударов молний только в том случае, когда они будут находиться в определенной сфере, называемой зоной защиты – пространстве, внутри которого объект защищен от ударов молний» [11].

«На примере защиты от прямых попаданий молний выполним расчет защиты подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское», который сводится к определению параметров молниезащиты, а именно: высоты молниеотвода, радиусов зон защиты на уровне высшей точки объекта и уровне земли» [11].

«Территория подстанции имеет прямоугольную форму с размерами: длина $L=33,6$ м, ширина $S=33,6$ м, наибольшая высота объекта $h_0 = 8,5$ м» [11].

«Территорию ТП-35/6 кВ «Новоаганское» условно разделяется на четыре равные части и на расстоянии 5 м от ограждения, внутри подстанции, устанавливаем молниеотвод» [11].

«Для молниезащиты ТП-35/6 кВ «Новоаганское» принимается четыре стержневых молниеотвода, установленные по периметру понизительной подстанции» [11].

«Определяется радиус защиты на уровне 8,5 м» [11]:

$$r_x = a + y, \quad (39)$$

где $y=1 \dots 2$ м.

$$r_x = 29,8 + 2 = 31,8 \text{ м.}$$

«Высота молниеотвода» [11]:

$$h = \frac{r_x}{1,5} + \frac{h_0}{0,92}, \text{ м.} \quad (40)$$

$$h = \frac{31,8}{1,5} + \frac{8,5}{0,92} = 30,4 \text{ м.}$$

«Активная высота молниеотвода» [11]:

$$h_a = 0,92 \cdot h, \text{ м.} \quad (41)$$

$$h_a = 0,92 \cdot 30,4 = 27,96 \text{ м.}$$

«Радиус зоны защиты на уровне земли» [11]:

$$r_0 = 1,5 \cdot h, \text{ м.} \quad (42)$$

$$r_0 = 1,5 \cdot 30,4 = 45,6 \text{ м.}$$

«Высота молниеотводов в вертикальной плоскости, схема расположения и зона защиты молниеотводов в горизонтальной плоскости на ТП-35/6 кВ «Новоаганское» приведены на графическом листе 6» [11].

Выводы по разделу 3.

«В результате выполнения третьего раздела работы, осуществлена разработка мероприятий по технике безопасности при выполнении работ на электрооборудовании и в электрических сетях ТП-35/6 кВ «Новоаганское».

«Установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность проведения работ» [11].

«Особое внимание уделено обязанностям обслуживающего персонала сети, обеспечивающие электробезопасность и сводящие травматизм до минимума» [11].

«Кроме того, в работе уделено внимание вопросам экологической безопасности, которые очень остро стоят на повестке дня в свете последних изменений климатических условий и катаклизмов в мире» [11].

«Соблюдение данных мероприятий обязательно к выполнению» [11].

«Также в работе рассчитана молниезащита подстанции, обеспечивающая надёжную защиту от прямых ударов молнии в оборудование и установки ТП-35/6 кВ «Новоаганское».

Заключение

В работе проведена реконструкция трансформаторной понизительной подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское».

На основе проведённого анализа установлено, что определённые виды оборудования РУ-35 кВ и РУ-6 кВ ТП-35/6 кВ «Новоаганское» нуждаются в реконструкции вследствие значительного износа, а также являются морально и физически устаревшими, так как установлены на данной подстанции в 70-80 гг. 20 века.

Также установлено, что на стороне 35 кВ подстанции до проведения реконструкции не в полной мере соблюдены правила безопасного выполнения работ, в результате чего в схеме электрических соединений ОРУ-35 кВ ТП-35/6 кВ «Новоаганское» Нижневартовского района ХМАО РФ после выключателя был установлен дополнительный разъединитель 35 кВ.

Исходя из результатов анализа, на трансформаторной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» внедрены следующие практические мероприятия по реконструкции оборудования РУ-35 кВ подстанции, в результате чего выбраны и проверены:

– для установки на стороне 35 кВ в РУ-35 кВ рассматриваемой в работе понизительной ТП-35/6 кВ «Новоаганское», выбран и проверен новый выключатель высокого напряжения марки ВРНСМ-35-20/1600 УХЛ1 со встроенными трансформаторами тока (производитель – НТЭАЗ «Электрик»), который устанавливается вместо морально и физически устаревшего и изношенного масляного выключателя марки ВТ-35-630-12,5 У1, введённого в эксплуатацию на подстанции в 2007 г., но произведённого ещё в 1987 г. и снятого с производства;

– вместо устаревшего разъединителя марки РЛНД-2-35-600 (ввод в эксплуатацию – в 1976 г.) в РУ-35 кВ рассматриваемой в работе понижающей подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» выбран и проверен современный

надёжный разъединитель марки РГП.2-35.Ш/1000 УХЛ1 (производитель – ЗАО «ЗЭТО»).

Внедрены следующие практические мероприятия по реконструкции оборудования РУ-6 кВ подстанции, в результате чего выбраны и проверены:

– выбран и проверен новый выключатель высокого напряжения марки ВВ/TEL-10-20/1000-У2-48 (производитель – ООО «Таврида Электрик»), который устанавливается вместо морально и физически устаревшего и изношенного масляного выключателя марки ВМГ-10/630, введённого в эксплуатацию на подстанции в 2006 г., но произведённого ещё в 1981 г. и снятого с производства;

– вместо устаревших разъединителей марки РВ-10/400 (введены в эксплуатацию в 1976 г.), в РУ-6 кВ рассматриваемой в работе понижающей подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» выбраны и проверены современные надёжные разъединители марки РЛК-10/1000 УХЛ1 (производитель – ЗАО «ЗЭТО»);

– вместо устаревших разрядников марки РВО-6-У1 (ввод в эксплуатацию – в 1976 г.), в РУ-6 кВ рассматриваемой в работе понижающей подстанции ТП-35/6 кВ «Новоаганское» выбраны и проверены современные надёжные ограничители перенапряжения марки ОПНп-10/11,5/10/400 УХЛ1 (производитель – ООО «Таврида Электрик»).

Замена указанных устаревших и изношенных аппаратов в РУ-35 кВ и РУ-6 кВ подстанции 35/6 кВ «Новоаганское» значительно повысит технические и экономические показатели всей подстанции, снизит затраты на ремонт и обслуживание электроустановок, приведёт к улучшению работы оборудования в нормальном и послеаварийном режимах.

В следствие данных указанных аспектов, основная цель работы достигнута.

Также в работе, на основе расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания на понизительной подстанции 35/6 кВ «Новоаганское», проверены:

– силовой трансформатор подстанции (установлено, что ранее установленный силовой трансформатор марки ТМ-1000/35 не нуждается в замене и выдержит допустимую перегрузку исходя из данных суточного графика нагрузок);

– сечения проводников питающей линии ВЛ-35 кВ подстанции с применением провода марки АС-70/11 (для питания силового трансформатора подстанции на напряжении 35 кВ от энергосистемы);

– сечения проводников распределительной линии ВЛ-6 кВ подстанции с применением провода марки АС-35/6,2 (для питания отходящего фидера «Посёлок»).

Результаты работы соответствуют всем требованиям основных документов.

Список используемых источников

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
3. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. М.: Колос, 2018. 184 с.
4. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2018. 208 с.
5. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2019. 224 с.
6. 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, 2017. 608 с.
7. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 282 с.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
11. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального

образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.

12. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 464 с.

13. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

14. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. - 312 с.

15. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 12.02.2022).

16. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

17. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.

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

19. Copley P. Marketing Communications Management: Concepts and Theories, Cases and Practices. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018. 441 p.

20. Hirsch J.E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output that Takes into Account the Effect of Multiple Co-authorship. *Scientometrics*, 2020, vol. 85, no. 3, pp. 741–754. doi: 10.1007/s11192-010-0193-9

21. Lezhnyuk P.D., Petrushenko O.J., Petrushenko J.V. Approximation of implicitly expressed optimality criteria by pozynom and analysis of their sensitivity. Materials digest of the XXXIX international Research and Practice Conference «Physico-mathematical and technical sciences as postindustrial foundation of the

informational society evolution». London, 2018. P. 23–26.

22. Lezhniuk P., Netrobskiy V., Teptia V., Vydmysh V. Hamilton's Principle as the Method of Self-Optimization Electric Systems. *Nauka i Studia. Przemysl.* 2019. №5 (136). P. 63–69. ISSN 1561–6894.

23. Potter E.H. *Branding Canada. Projecting Canada's Soft Power through Public Diplomacy.* Montreal: McGill-Queen's University Press, 2019. 464 p.