

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 КТП-58 10/0,4 производственного комплекса
№1 ООО «Газпром добыча Астрахань»

Обучающийся

Д. Е. Рындин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С. В. Шлыков

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

Тольятти 2022

Аннотация

Работа посвящена реконструкции электрической части КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» в «связи с износом устаревшего электрооборудования, а также несоответствия схемы электрических соединений установленным нормам и требованиям основных нормативных документов. Осуществлён анализ характеристик схемы электрических соединений и оборудования распределительных устройств» [8], на основе чего установлены проблемы и предложены пути их решения.

На основе расчётных значений электрических нагрузок потребителей и «результатов расчётов токов короткого замыкания, с учётом схемы электрических соединений подстанции, а также» [6] результатов анализа современных разработок и инновационных решений в сфере оборудования подстанций, на подстанции проведены «выбор и проверка силовых трансформаторов, проводников, а также новых современных электрических и коммутационных аппаратов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, обладающих повышенными показателями надёжности» [8], безопасности и экономичности. Расчётным путём установлено, что выбранное современное оборудование распределительных удовлетворяет классов напряжения 10 кВ и 0,4 кВ, соответствует условиям всех проверок и может быть установлено на данной понизительной подстанции КТП-58.

Также внедрены необходимые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции, заключающиеся во вводе в эксплуатацию второго силового трансформатора на объекте и, как результат, изменения схемы главных соединений подстанции КТП-58. Рассчитаны экономические показатели предложенной реконструкции КТП-58.

Предложенные в работе практические мероприятия по модернизация устаревшего электрооборудования и реконструкции схемы электрических соединений подстанции КТП-58, позволят значительно повысить показатели надёжности, безопасности и экономичности объекта исследования.

Содержание

Введение	4
1 Исходная характеристика подстанции	7
1.1 Исходная характеристика схемы и оборудования подстанции	7
1.2 Нормы и требования к понижающим подстанциям промышленных предприятий.....	12
1.3 Выбор и обоснование практических мероприятий по реконструкции трансформаторной подстанции	16
2 Техническое обоснование мероприятий по реконструкции	20
2.1 Реконструкция структурной схемы подстанции	20
2.2 Определение расчётных электрических нагрузок	22
2.3 Выбор компенсирующих устройств на подстанции.....	27
2.4 Выбор силовых трансформаторов подстанции	29
2.5 Выбор сечения проводников на подстанции	32
2.6 Определение токов короткого замыкания на подстанции	35
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов	42
2.8 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии	49
3 Расчёт экономических показателей проведённой реконструкции	53
3.1 Расчёт капитальных затрат	53
3.2 Расчёт эксплуатационных затрат.....	57
Заключение	61
Список используемых источников.....	64

Введение

Экономическая эффективность использования электроэнергии в современном мире значительно возросла. Сегодня невозможно представить жизнь общества без электроэнергии.

При этом, рассматривая весь цикл передачи и потребления электроэнергии, можно отметить то, что одним из основных элементов при передаче электроэнергии к потребителям в системах электроснабжения всех типов, являются понижающие трансформаторные подстанции.

Из всех типов подстанций, современные понизительные трансформаторные подстанции переменного тока сегодня наиболее широко распространены в системах электроснабжения.

«Основной целью работы является реконструкция КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» Астраханской области РФ, осуществляемая, с одной стороны, путём реконструкции устаревшего и изношенного оборудования распределительных устройств напряжением 10 кВ и 0,4 кВ данной подстанции на соответствующие современные инновационные разработки, обладающие повышенной надёжностью, экономичностью, удобствами монтажа, обслуживания и ремонта, электробезопасностью, а с другой стороны – приведением схемы главных электрических соединений» [8] к требуемому нормативному виду согласно положений основных нормативных документов отрасли, путём установки дополнительного (второго) силового трансформатора для питания потребителей I и II категории надёжности и, как следствие, реконструкции схемы электрических соединений распределительных устройств подстанции [7].

Объектом исследования в данной работе является электрическая часть КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» Астраханской области РФ [7].

«Предметом исследования в работе выступает электрическая

принципиальная схема (схема главных электрических соединений), а также электрические сети и аппараты распределительных устройств напряжением 10 кВ и 0,4 кВ» [7].

«Актуальность данной работы обусловлена необходимостью реконструкции понизительных подстанций энергосистемы всех типов» [8], которая обусловлена несоответствием схемы главных электрических соединений подстанций, применяемых для питания потребителей I и II категории надёжности, а также модернизации оборудования подстанций всех типов классов напряжения в связи с износом электрооборудования [1].

В работе применяются следующие методы исследований: анализ нормативных документов и учебной технической литературы, индуктивный и дедуктивный методы анализа, методы расчёта электрических цепей, методы сравнения, аналитический метод.

На основе проведённого анализа схемы электрических соединений и характеристик потребителей электрической части подстанции КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», осуществляется выбор и проверка нового оборудования напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, нуждающегося в замене, а также аргументированное расчётное обоснование выбора оборудования, которое не требует замены.

При этом аргументированный выбор нового оборудования в работе основан на анализе современных разработок и моделей электрических аппаратов ведущих мировых и отечественных производителей.

Последующая требуемая проверка всего оборудования подстанции КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» основывается на результатах расчёта электрических нагрузок и токах короткого замыкания в максимальном режиме работы.

Также в работе внедрены необходимые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции, заключающиеся во вводе второго силового трансформатора на объекте и, как результат, изменения (реконструкции) схемы главных соединений подстанции.

Дополнительно выбрана система АСКУЭ для обеспечения контроля и учёта потребляемой электроэнергии на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», а также проведён расчёт экономических показателей предложенных практических мероприятий по реконструкции объекта исследования.

Расчётным путём установлено, что выбранное современное оборудование распределительных удовлетворяет классов напряжения 10 кВ и 0,4 кВ, а также системы для контроля и управления электроэнергией на объекте исследования, соответствует условиям всех проверок и может быть установлено на данной понизительной подстанции КТП-58.

Также внедрены необходимые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции, заключающиеся во вводе в эксплуатацию второго силового трансформатора на объекте и, как результат, изменения схемы главных соединений подстанции КТП-58.

Рассчитаны экономические показатели предложенной реконструкции КТП-58.

Предложенные в работе практические мероприятия по модернизация устаревшего электрооборудования и реконструкции схемы электрических соединений подстанции КТП-58, позволят значительно повысить показатели надёжности, безопасности и экономичности объекта исследования.

Проведённая модернизация электрооборудования и реконструкция схемы электрических соединений подстанции позволяет значительно повысить показатели надёжности и экономичности объекта исследования.

Работа состоит из трёх разделов и выполняется согласно требованиям методических указаний с использованием принятых расчётных методик и нормативных положений основных документов.

Все принятые решения подтверждаются на основании полученных результатов расчётов с применением аналитического метода анализа.

1 Исходная характеристика подстанции

1.1 Исходная характеристика схемы и оборудования подстанции

Проводится анализ исходных данных электрической части понизительной подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» до проведения реконструкции (ТП-10/0,4 кВ Астраханской области РФ).

Рассматриваемая в работе понизительная подстанция переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» является одной из потребительских подстанций указанного промышленного предприятия и территориально расположена в Астраханской области РФ, обеспечивая качественной электроэнергией своих промышленных потребителей на номинальном напряжении 0,4 кВ.

Понизительная подстанция переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» по месту расположения в схеме электроснабжения производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» является тупиковой распределительной понижающей подстанцией и играет важное значение в системе электроснабжения предприятия.

Рассматриваемая в работе понизительная подстанция КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» находится на полном балансе данного предприятия, поэтому полностью обслуживается и ремонтируется работниками данного учреждения.

Подстанция КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» является однострансформаторной комплектной подстанцией тупикового типа без резервирования на сторонах 10 кВ (ВН) и 0,4 кВ (НН).

Конструктивно КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» выполнена в виде комплектной трансформаторной подстанции наружной установки киоскового типа.

Питание подстанции КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» осуществляется одной кабельной линией электропередачи 10 кВ от подстанции «Аксарайская».

Такая схема экономичная, однако пригодна только для обеспечения электроснабжения потребителей III категории надёжности исходя из требований [10].

Рассматриваемая в работе понизительная подстанция переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» до внедрения мероприятий и рекомендаций по реконструкции, состояла из следующих элементов (графический лист 1).

Все основные элементы структурной схемы понизительной подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» перечислены в работе далее.

Первым элементом является «распределительное устройство высшего напряжения 10 кВ (далее – РУ 10 кВ) – конструктивно выполнено комплектным наружной установки по радиальной однолучевой схеме электроснабжения» [15] без наличия резервирования [11].

В схеме РУ-10 кВ понизительной подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» для питания сборных шин 10 кВ, применяется схема без наличия резервирования на стороне 10 кВ подстанции, что также соответствует условиям для питания III категории потребителей согласно нормам и требованиям [10].

На отходящих линиях в РУ-10 кВ понизительной подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» установлены следующие основные защитные и коммутационные аппараты (графический лист 1):

- выключатель нагрузки марки ВН-16 – 1 единица (год изготовления – 1975, введён в эксплуатацию на подстанции в 1977 году);
- предохранители ПКТ-101-10 (однофазные) – 3 единицы (год изготовления – 1976, введены в эксплуатацию на подстанции в 1977 году).

Питание РУ-10 кВ понизительной подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» от ЦРП-2 (10 кВ) осуществляется одной кабельной линией, на которой применяется силовой кабель марки АСБ-10 (3х120).

Следующим элементом в рассматриваемой в работе понизительной подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» является один «силовой трансформатор 10/0,4 кВ, обеспечивающий понижение напряжения с 10 кВ до 0,4 кВ с последующим его распределением в РУ-0,4 кВ» [15] и, далее, конечным потребителям (оборудованию предприятия).

На подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» установлен один силовой трансформатор марки ТМ-630/10 (изготовлен в 1976, год ввода введён в эксплуатацию на подстанции – 1977).

Данный трансформатор на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» неоднократно и своевременно проходил капитальные ремонты и подвергался модернизации обмоток 10 кВ и 0,4 кВ.

Далее рассматривается распределительное устройство номинальным напряжением 0,4 кВ (далее – РУ-0,4 кВ) – конструктивно выполнено комплектным наружной установки с применением ячеек стационарного типа (год производства – 1976, введены в эксплуатацию на подстанции в 1977 году).

РУ-0,4 кВ является распределительным устройством низшего напряжения рассматриваемой КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» [7].

В схеме РУ-0,4 кВ КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» предусмотрена одна рабочая несекционированная система сборных шин без резервирования (однолучевая несекционированная схема без резервирования).

На отходящих линиях в РУ-0,4 кВ понизительной подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» установлены следующие защитные и коммутационные аппараты (основное оборудование):

- автоматические выключатели марки АЗ160 – 40 единиц (год изготовления – 1976, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 1977), установлены на вводе в РУ-0,4 кВ (1 единица), на отходящих питающих линиях (3 единицы, из них: 2 единицы – к щиткам освещения – ЩРО и ЩАО по радиальной схеме, 1 единица – к силовым шкафам СРШ по магистральной схеме), для защиты одиночных потребителей в СРШ – 37 единиц;

- пускатели магнитные марки ПМЛ различных типономиналов (год изготовления и ввода в эксплуатацию на подстанции – 1978) – для пуска отдельных потребителей – 33 единицы.

От сборных шин РУ-0,4 кВ КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» получают питание потребители предприятия по магистральной схеме электроснабжения двумя силовыми кабелями марки АВВГ (4х50), расположенными в одной питающей кабельной линии.

Основными потребителями КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», являются технологические механизмы, устройства и узлы предприятия. Все основные потребители КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» распределены по силовым распределительным щитам (СРШ), согласно основному технологическому процессу передачи электроэнергии потребителям объекта. Всего предусмотрено пять СРШ, от которых по

радиальной схеме электроснабжения получают питание РЩ (далее – распределительные щитки) потребителей предприятия.

Все они работают на трёхфазном переменном напряжении 0,22/0,38 кВ промышленной частоты 50 Гц.

Высоковольтные потребители и транзитные потребители в системе электроснабжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» отсутствуют.

Исходя из количества и фактических нагрузок, в таблице 1 работы приводятся исходные данные потребителей КТП-10/0,4 кВ, питающей указанное предприятие, с указанием исходной установленной фактической нагрузки, согласно условиям технического задания, на проведение реконструкции питающей КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань».

Таблица 1 – Характеристика технологического оборудования (потребителей) КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань»

Наименование ЦР потребителей	Совокупные параметры и характеристики оборудования (потребителей) СРШ		
	$P_{ном}$, кВт	η , %	$\cos\varphi$
РЩ №1	5,5	0,87	0,91
РЩ №2	11	0,88	0,9
РЩ №3	11	0,88	0,9
РЩ №4	11	0,88	0,9
РЩ №5	5,5	0,87	0,91
РЩ №6	5,5	0,87	0,91
РЩ №7	11	0,88	0,9
РЩ №8	7,5	0,87	0,88
РЩ №9	11	0,88	0,9
РЩ №10	8	0,92	1,0
РЩ №11	11	0,88	0,9
РЩ №12	18,5	0,92	0,92
РЩ №13	2,2	0,83	0,87
РЩ №14	11	0,88	0,9
РЩ №15	11	0,88	0,9
РЩ №16	3	0,84	0,88
РЩ №17	22	0,96	1,0
РЩ №18	11	0,88	0,9

На основании исходных данных нагрузок СРШ1-СРШ18, приведённых в таблице 1 работы, проводится обоснование реконструкции схемы электрических соединений КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань».

Оперативный ток на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» – переменный, напряжением 220 В. Защита силового трансформатора Т1 расположена на РУ-10 кВ в шкафу защиты трансформатора ШЗТ-Т1 расположенного рядом с Т1, защита ввода 0,4 кВ расположена в релейном отсеке ввода 0,4 кВ Т1.

Основываясь на приведённой исходной технической характеристике ТП-10/0,4 кВ Астраханской области РФ, «далее в работе проводится анализ, систематизация и последующее решение поставленных основных задач» [15].

«Схема электрических соединений подстанции КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» до проведения реконструкции приведена на графическом листе 1» [15].

1.2 Нормы и требования к понижающим подстанциям промышленных предприятий

«Известно, что характерными особенностями современных понижающих подстанций энергосистем и промышленных предприятий являются» [7]:

- «в виду того, что на подстанциях используются двухобмоточные (трёхобмоточные) понижающие трансформаторы, следовательно, на подстанциях будут присутствовать два распределительные устройства (РУ) следующих номинальных напряжений: высшего (ВН) и низшего (НН)» [7]. В случае трёхобмоточного трансформатора, также к ним добавляется ещё и устройство среднего напряжения (СН);
- на подстанциях «должны присутствовать значительные нагрузки потребителей подстанции, потому что силовые трансформаторы

подавляющего большинства понизительных подстанций переменного тока не выпускаются на малые мощности, а в случае их подключения на указанные нагрузки данные трансформаторы будут недогружены, что приведёт к значительным потерям электроэнергии в трансформаторах и в целом во всей электрической сети» [7];

– «как правило, на подавляющем большинстве понижающих подстанциях современного типа устанавливаются два силовых трансформатора, что обусловлено, помимо наличия больших нагрузок, категорией надёжности потребителей (как правило, преобладают потребители I и II категориями надёжности, а также имеются потребители III категории)» [7].

Основные нормы и требования, которые предъявляются проектированию трансформаторных подстанций систем электроснабжения промышленных предприятий, заключаются в неукоснительном соблюдении следующих требований [1,10,11]:

- надёжности отдельных элементов, узлов и всей системы электроснабжения в целом;
- экономичности передаче электроэнергии на всех звеньях цепи;
- безопасности обслуживающего персонала при выполнении работ на подстанции;
- возможность модернизации и расширения распределительных устройств подстанции;
- удобство монтажа, ремонта и эксплуатации оборудования подстанции;
- применение передовых технологий в сфере разработки оборудования подстанций, а также схемных решений;
- применение негабаритных конструкций;
- обеспечение постоянного и качественного оперативного контроля параметров и характеристик оборудования подстанции;
- применение качественного и достаточного аппарата автоматизации

всех процессов на подстанции;

- соблюдение и контроль параметров электроэнергии, передаваемой потребителям подстанции на всех уровнях;
- возможность локализации узлов с лимитами энергопотребления и/или значительными потерями электроэнергии;
- контроль перетоков мощности на всех уровнях в узлах и ветвях схемы подстанции;
- обеспечение ограничения ненормальных режимов на подстанции.

Далее кратко приводится основная характеристика наиболее важных требований, перечисленных выше.

«Любая понизительная подстанция энергосистемы и промышленных предприятий 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)» [7].

Более двух трансформаторов встречаются на понизительных подстанциях промышленных предприятий крайне редко [15]. В этом случае они должны быть обоснованы технико-экономическим расчётом [12].

«Известно, что в системах электроснабжения трансформаторных подстанций промышленных предприятий должна быть обеспечена надёжные условия для коммутации и защиты как отдельных звеньев цепи, так и всей подстанции в целом» [7].

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

Все электрические аппараты должны быть выбраны по расчётной нагрузке с учётом резервирования и проверены по максимальным токам короткого замыкания на предмет электромеханической совместимости и прочности в аварийных режимах [15].

«К системам электроснабжения понижающих трансформаторных подстанций и промышленных предприятий всех типов и классов напряжения предъявляются требования по надёжности, качеству и экономичности электроснабжения» [10].

«Качество поставляемой электроэнергии имеет одно из основных значений на подстанциях промышленных предприятий» [4].

«Нормы и критерии электроэнергии находятся в довольно жёстких числовых рамках, что позволяет эффективно контролировать данный цикл в целом» [7].

«Экономичность заключается в уменьшении расходов путём внедрения перспективных схемных решений, долгосрочной модернизации, уменьшения затрат на монтаж, эксплуатацию и ремонт оборудования, минимизация амортизационных отчислений, а также снижение капитальных вложений в проект за счёт применения современных перспективных решений» [7].

«Приведённые выше требования нормативных документов, которые предъявляются к схемам и системам электроснабжения понижающих трансформаторных подстанций и промышленных предприятий в целом, обязательные к применению в энергосистемах современного типа» [7].

«В частности, эти требования также необходимо использовать в данной работе» [7].

Определяющим фактором в данном случае является, с одной стороны, надёжность схемы, а с другой – её экономичность.

«Неукоснительное выполнение основных требований и аспектов к схемам и оборудованию трансформаторных подстанций и промышленных предприятий приводит к реализации технически грамотного проекта, обеспечивающего высокую эффективность внедрения принятых решений и экономическую целесообразность внедрения основных мероприятий требуемой реконструкции электрической части» [7] КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», являющейся объектом исследования в работе.

1.3 Выбор и обоснование практических мероприятий по реконструкции трансформаторной подстанции

Исходя из результатов проведённого анализа состояния оборудования РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ подстанции, основываясь на положениях нормативных документов, в данной работе предложены следующие практические рекомендации по реконструкция электрической части КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», включающие в себя такие основные этапы, а именно:

- модернизацию устаревших электрических аппаратов в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ, которая реализуется путём замены их на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками;
- реконструкцию схемы электрических соединений подстанции на стороне 10 кВ, предусматривающей установку второго трансформатора на подстанции, так как в связи с категорийностью основных потребителей подстанции, большинство из которых относится к I и II категории надёжности, в схеме необходим второй источник питания в виде силового трансформатора, а также реконструкция схемы электрических соединений РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ, обусловленных данным фактом. Данные аспекты соответствуют требованиям [1,10], которые предъявляются к электрическим схемам для питания объектов I и II категорий надёжности.

Далее проводится краткое описание каждого из перечисленных этапов реконструкции электрической части КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань».

«В результате проведения анализа было установлено, что в силовой части РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ, рассматриваемой в работе понизительной подстанции переменного напряжения, находятся некоторые морально и технически устаревшие и выработавшие свой ресурс электрические аппараты,

которые необходимо заменить на новые современные аппараты соответствующих марок и модификаций» [7].

«Установлено, что к таким аппаратам в РУ-10 кВ на рассматриваемой подстанции относятся выключатели» [9] нагрузки и предохранители, которые являются морально и физически устаревшими марками оборудования.

В РУ-0,4 кВ подстанции требуют замены устаревшие автоматические воздушные выключатели (автоматы).

Данные электрические аппараты РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ выработали свой коммутационный и защитный технический ресурс и, поэтому, крайне ненадёжные.

Также в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений подстанции, планируется установка новых (дополнительных) аппаратов на второй ввод в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ КТП-58 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань».

Остальные аппараты, установленные на КТП-58 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» класса напряжения 10/0,4 кВ Астраханской области РФ, «техническое состояние которых нормальное, в работе необходимо проверить на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах согласно требованию нормативных документов [6].

Внедрение принятых рекомендаций по модернизации оборудования силовой части КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» позволит значительно повысить надёжность, экономичность, электробезопасность и экологичность на объекте исследования, при этом значительно снизив затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание и ремонт данного оборудования.

Кроме того, как было указано ранее, в схеме электрических соединений подстанции КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» класса напряжения 10/0,4 кВ Астраханской области РФ необходимо провести реконструкцию схемы электрических соединений подстанции на стороне 10 кВ, предусматривающей установку второго

трансформатора на подстанции, а также реконструкция схемы электрических соединений РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ, обусловленных данным фактом.

При этом сопутствующие мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ будут состоять в замене их питающей схемы с магистральной на радиальную, которая более характерна для питания потребителей I и II категории надёжности [10].

Такая реконструкция обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

Основываясь на краткой исходной характеристике потребителей подстанции переменного тока КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» класса напряжения 10/0,4 кВ Астраханской «области РФ, приведённой в таблице 1, а также на исходной схеме главных электрических соединений подстанции, далее в работе проводится решение поставленных основных задач.

Предложенные мероприятия по приведённым этапам реконструкции подстанции детально рассматриваются в работе далее» [9].

Выводы по разделу 1.

«В результате выполнения раздела, на основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, обоснована необходимость и целесообразность мероприятий по» [9] проведению реконструкции КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» Астраханской области РФ».

В результате проведённого детального анализа в работе установлено, что данная реконструкция электрической части КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» в работе включает в себя два основных этапа.

На первом этапе проводится модернизация устаревших электрических аппаратов в РУ-10 кВ (выключателей нагрузки и предохранителей) и РУ-0,4

кВ (автоматов), осуществляемая путём их замены на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками.

Второй этап включает непосредственную реконструкцию схемы электрических соединений подстанции на стороне 10 кВ, предусматривающей ввод в эксплуатацию второго силового трансформатора, и, как следствие, реконструкцию схем РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ подстанции, что соответствует требованиям [10], предъявляемым к электрическим схемам подстанций для питания объектов I и II категорий надёжности.

Предложенные мероприятия по реконструкции КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» Астраханской «области РФ в работе осуществляется применением перспективных технических решений и современных расчётных методик» [9].

Указанные практические мероприятия по реконструкции КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» детально проверяются в работе далее на основе соответствующих расчётов и проверок.

2 Техническое обоснование мероприятий по реконструкции

2.1 Реконструкция структурной схемы подстанции

Далее в работе необходимо внести изменения в структурную схему подстанции вследствие её реконструкции.

Как было указано ранее, в результате проведения анализа исходной схемы электрических соединений объекта исследования установлено, что в работе реконструкция предполагает внедрения двух основных направлений, а именно:

- реконструкция схемы электрических соединений подстанции (мероприятия описаны ранее). В частности, предполагается в первую очередь внедрение второго ввода на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань»;
- модернизация оборудования распределительных устройств и сетей подстанции с применением новейших разработок, способных повысить параметры и характеристики объекта исследования.

Важнейшим мероприятием по реконструкции подстанции является внедрение второго ввода на объекте по условиям надёжности и экономичности.

Как известно, применение второго ввода на понизительной подстанции радикально вносит изменения в схемы электрических соединений объекта исследования.

Данный аспект в обязательном порядке должен быть отражён в структурной схеме объекта.

При этом «структурная схема понижающей тупиковой трансформаторной подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» с основными составляющими, перечисленными и охарактеризованными выше,

а также с наличием второго ввода в результате реконструкции, представлена в данной работе на рисунке 1» [9] .

«Все приведённые выше составляющие структурной схемы, для понижающей тупиковой трансформаторной подстанции переменного напряжения» [9] КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», «составляют единое целое и рассматриваются как одна общая система» [13].

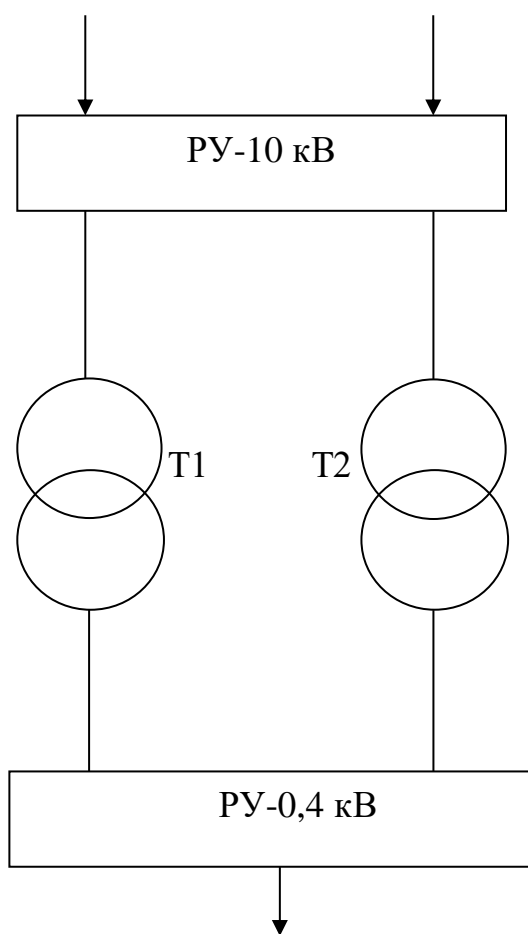


Рисунок 1 – «Структурная схема понижающей тупиковой трансформаторной подстанции переменного напряжения» [13] КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» после реконструкции

«На основании исходных данных, а также изменённой структурной схемы подстанции переменного напряжения ПС-110/10 кВ КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», далее в работе проводится выбор и обоснование схемы электрических соединений

подстанции и решение основных задач работы» [13], включающих модернизацию оборудования на объекте исследования.

Для следующего этапа, включающего расчёт электрических нагрузок подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», в работе далее используются данные, представленные в таблице 1 ранее в работе.

2.2 Определение расчётных электрических нагрузок

Далее в работе проводится расчёт электрических нагрузок подстанции, целью которого является определение расчётных электрических нагрузок всех потребителей, а также суммарной расчётной нагрузки подстанции.

Расчёты проводятся на примере одного объекта, все остальные типичные результаты расчётов сводятся в таблицы.

Проводится расчёт электрических нагрузок для всех СРШ1-СРШ18 КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань».

Далее, на основе полученных результатов, рассчитывается нагрузка отдельно по всем СРШ1-СРШ5 объекта проектирования.

«Активная и реактивная нагрузки КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань»» [10]:

$$P_{см} = P_{ном} \cdot k_u, кВт, \quad (1)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot tg\varphi, квар, \quad (2)$$

$$k_u = \frac{P_{см}}{P_{ном}}. \quad (3)$$

«Эффективное количество ЭП» [10]

$$n_3 = \frac{(\sum P_{ном})^2}{P_{ном}^2}. \quad (4)$$

«Расчетная активная нагрузка группы ЭП» [10]

$$P_p = P_{см} \cdot k_p, \text{кВт}. \quad (5)$$

«Согласно» [10]

$$\cos \varphi_{ср.взв} = \frac{\sum P_{ном} \cdot \cos \varphi}{\sum P_{ном}}. \quad (6)$$

«Расчетная нагрузка ТП-10/0,4 кВ подстанции» [10]:

$$Q_p = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ср.взв} \cdot k_{pp}, \text{квар}, \quad (7)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{кВА}, \quad (8)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{А}. \quad (9)$$

«Пиковый ток» [10]:

$$I_{пик} = I_{н.п.} + (I_p - k_u \cdot I_n), \text{А}. \quad (10)$$

Значения пикового тока рассчитываются только для группы взаимосвязанных электродвигателей, если они отсутствуют в схеме, данный расчёт не проводится [4].

Результаты предварительного проектирования питающей сети объекта представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты предварительного проектирования питающей сети объекта

№ СРШ	Наименование СРШ	$P_{ном},$ кВт
СРШ 1	РЩ №2	11
	РЩ №16	3
	РЩ №17	22
	РЩ №3	11
СРШ 2	РЩ №4	11
	РЩ №10	8
	РЩ №7	11
	РЩ №13	2,2
	РЩ №1	5,5
СРШ 3	РЩ №5	5,5
	РЩ №6	5,5
	РЩ №8	7,5
СРШ 4	РЩ №9	11
	РЩ №11	11
	РЩ №12	18
СРШ 5	РЩ №14	11
	РЩ №15	11
	РЩ №18	11

Проводится расчёт нагрузки на примере ЩР потребителей КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», питающихся от СРШ-1 по условиям (1) – (10):

$$P_{см} = 10 \cdot 2 \cdot 0,14 = 2,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{см} = 2,8 \cdot 1,73 = 4,85 \text{ квар},$$

$$P_p = 31,24 \cdot 1,23 = 38,43 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 31,24 \cdot 1,75 = 60,31 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{38,43^2 + 60,31^2} = 71,51 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{71,51}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 108,65 \text{ А},$$

$$I_{нук} = 286,5 + (108,65 - 0,2 \cdot 95,5) = 376,05 \text{ А}.$$

«Расчетная нагрузка освещения» [12]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{ном.o} K_{пр.а}, \text{ кВт}, \quad (11)$$

$$P_{ном.o} = P_{уд.o} F_{ц}, \text{ кВт}, \quad (12)$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o, \text{ квар}. \quad (13)$$

Осветительная нагрузка КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» согласно (11) – (13).

Для расчётной активной силовой и осветительной нагрузки объекта исследования:

$$P_{ном.o} = 500 \cdot \frac{15}{1000} = 7,5 \text{ кВт},$$

$$P_{p.o} = 7,5 \cdot 1,05 \cdot 0,95 = 7,4 \text{ кВт}.$$

Для расчётной реактивной и полной силовой и осветительной нагрузки объекта исследования:

$$Q_{p.o} = 7,5 \cdot 0,43 = 3,2 \text{ квар},$$

$$S_{p.o} = \sqrt{7,4^2 + 3,2^2} = 8,1 \text{ кВА}.$$

Для расчётного тока нагрузки объекта исследования:

$$I_{p.o} = \frac{8,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 12,5 \text{ А}.$$

Результаты расчётов электрических нагрузок КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» представлены в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов электрических нагрузок СРШ при реконструкции КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань»

Потребитель	Кол-во, шт	$P_{сум}$, кВт	$n_э$	K_p	Значение нагрузки				
					P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВт·А	I_p , А	I_n , А
СРШ1									
РЩ №2	2	22	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №16	1	3	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №17	3	66	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №3	2	22	-	-	-	-	-	-	-
Всего по СРШ1	8	113	7,33	1,23	38,43	60,31	71,51	108,7	376,1
СРШ2									
РЩ №4	1	11	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №10	2	16	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №7	3	33	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №13	1	2,2	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №1	1	5,5	-	-	-	-	-	-	-
Всего по СРШ2	8	67,7	7,08	1,28	23,64	24,45	34,1	51,7	192,7
СРШ3									
РЩ №5	2	11	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №6	4	22	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №8	2	15	-	-	-	-	-	-	-
Всего по СРШ3	8	48	7,84	1,78	11,96	12,80	17,52	26,6	135,5
СРШ4									
РЩ №9	2	22	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №11	2	22	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №12	3	54	-	-	-	-	-	-	-
Всего по СРШ4	7	98	6,44	1,13	55,14	42,1	69,4	105,4	246,5
СРШ5									
РЩ №14	3	54	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №15	2	22	-	-	-	-	-	-	-
РЩ №18	2	22	-	-	-	-	-	-	-
Всего по СРШ5	6	66	5,95	1,28	23,3	23,7	33,3	50,5	191,7
ЩРО	-	-	-	-	7,4	3,2	8,1	12,5	-
ЩАО	-	-	-	-	0,7	0,3	0,8	1,3	-
Всего по ТП-10/0,4 Астраханской области РФ	-	-	-	-	152,51	163,3	223,5	339,6	831,9

«Результаты, полученные при расчёте электрических нагрузок ТП-10/0,4 кВ Астраханской области РФ, используются в работе далее» [14] для выбора и проверки трансформаторов, проводников и аппаратов.

При этом в работе используются как значения расчётных нагрузок секций сборных шин подстанции, так и значения расчётных нагрузок присоединений потребителей, а также результаты расчётов нагрузок всей реконструируемой ТП-10/0,4 кВ Астраханской области РФ.

2.3 Выбор компенсирующих устройств на подстанции

Согласно методике [11], после предварительного расчёта нагрузок подстанции, в «рассматриваемой системе электроснабжения, если это необходимо, нужно установить компенсирующие устройства (далее – КУ) в узлах КТП-58 10/0,4 на предприятии» [14].

«Таким образом, на объекте исследования будет компенсирована реактивная мощность во всей системе электроснабжения как потребителей, так и СРШ» [14] на КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань».

Такая компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения называется централизованной и наиболее широко распространена среди способов КРМ.

На питающей КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» «(с учётом нагрузки сторонних потребителей), следует провести расчёт с возможной установкой компенсирующих устройств на шинах низкого напряжения (на обеих секциях сборных шин 0,4 кВ)» [14].

«Расчётная реактивную мощность компенсирующего устройства 0,4 кВ для установки на шинах РУ-0,4 кВ» КТП-58 10/0,4 кВ предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань [14]:

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_p (tg\varphi - tg\varphi_k), \text{ квар}, \quad (14)$$

$$Q_{к.р.} = 0,9 \cdot 152,51(1,328 - 0,39) = 128,72 \text{ квар.}$$

Так как на КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате внедрения практических мероприятий по реконструкции устанавливается два силовых трансформатора, следовательно, число устройств для компенсации реактивной мощности должно быть парным, поэтому выбирается для установки две комплектных конденсаторных установки типа УК БН-0,38-50-50УЗ.

При этом суммарная мощность выбранных КУ на всей КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» составляет $2 \cdot 50 = 100$ квар» [6].

«Таким образом» [11]

$$tg\varphi_{к} = tg\varphi - \frac{Q_{к.см.}}{\alpha \cdot P_p}, \text{ квар,} \quad (15)$$

$$tg\varphi_{к} = 1,328 - \frac{100 + 28,75}{0,9 \cdot 152,51} = 0,33.$$

«После определения фактического значения коэффициента мощности производится пересчёт значений нагрузок ТП-10/0,4 кВ с учётом выбранных КУ» [8]

$$P_p = 152,51 \text{ кВт,}$$

$$Q_p = 163,31 - 100 = 63,31 \text{ квар,}$$

$$S_p = \sqrt{152,51^2 + 63,31^2} = 165,2 \text{ кВА.}$$

«Полученные уточнённые значения расчётных электрических нагрузок в результате установки компенсирующих устройств на шинах 0,4 кВ понизительной ТП-10/0,4 кВ используются в работе далее» [8].

2.4 Выбор силовых трансформаторов подстанции

Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» до проведения реконструкции был установлен трансформатор 1Т – ТМ-630/10.

После внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений подстанции обоснована установка двух силовых трансформаторов, номинальную мощность которых необходимо выбрать далее.

Как известно, «требуемая установленная номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора для его установки в результате проведения реконструкции на подстанции» [13] переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», определяется с учётом возможного и перспективного питания сторонней нагрузки по условию [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_p + P_{\text{ст.}}}{N\beta_T}, \quad (16)$$

где $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» [17];

$S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность трансформатора, установленного на подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань»;

P_p – суммарная активная нагрузка потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения КТП-

58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань»;

$P_{см.}$ – «суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань».

По условию выбора (16), с учётом отсутствия в схеме подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» сторонних потребителей:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = \frac{165,2}{2 \cdot 0,7} = 117,9 \text{ кВА.}$$

«В работе выбран для установки на КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» силовой трансформатор ТМГ-160/10» [12].

Данный тип трансформатора выполняется без наличия расширительного бака и герметичен, таким образом он зарекомендовал себя значительно лучше, чем аналогичные трансформаторы марок ТМ и ТМЗ.

Он имеет две обмотки и выбран для применения в условиях умеренного климата.

Силовой трансформатор марки ТМ-630/10 кВ, который был установлен на подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» после реконструкции использовать в схеме технически нежелательно, так как его загрузка будет очень низкая и потери холостого хода, а также величина реактивной мощности в системе электроснабжения значительно возрастут.

«Проверка выбранного типа силового трансформатора в нормальном режиме» [12]

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,7. \quad (17)$$

«Проверка выбранного типа силового трансформатора в максимальном режиме» [12]

$$K_3^{н.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (18)$$

Проверка выбранных трансформаторов на подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» «в нормальном режиме выполняется» [14]

$$K_3^n = \frac{165,2}{160 \cdot 2} = 0,52 \leq 0,7.$$

Проверка трансформаторов подстанции переменного напряжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» в ПАВ режиме выполняется

$$K_3^{н.ав} = \frac{165,2}{160 \cdot (2-1)} = 1,03 \leq 1,4.$$

Все условия проверок для силовых трансформаторов выполнены.

Поэтому они могут быть рекомендованы к установке на объекте исследования.

Конструктивное выполнение КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» представлен в работе на графическом листе 3.

2.5 Выбор сечения проводников на подстанции

«Выбору подлежат следующие проводники напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ» [16]:

- «питающая сеть 10 кВ» [16];
- «питающая сеть 0,38/0,22 кВ – кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ от шин 0,4 кВ» [16] КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» до СРШ-0,4 кВ потребителей;
- «распределительная сеть 0,38/0,22 кВ – от секций сборных шин напряжением 0,4 кВ СРШ-0,4 кВ потребителей до всех» [16] конечных РЩ потребителей объекта.

Далее в работе «проводится определение и выбор сечений кабельной линии напряжением 10 кВ (для питания КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань»)» [1].

Расчётный «рабочий ток линии» [7]

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (19)$$

«Максимальный расчётный ток линии» [11]:

$$I_{p.маx} = 1,4 I_{p.маx} \cdot \quad (20)$$

«Условие проверки» [11]:

$$I_{доп} \geq I_{p.маx}, \quad (21)$$

где « $I_{доп}$ – длительно – допустимый ток силового кабеля стандартного сечения, А» [1];

« $I_{p.маx}$ – максимальный ток участка (линии) с учётом перегрузок и резервирования, А» [1].

«Проводники напряжением выше 1 кВ выбираются по экономической плотности тока» [1]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\text{э}}}. \quad (22)$$

«Выбор кабельных линий для питания ТП-10/0,4 кВ от шин РП-10 кВ» [18]

$$I_{\text{р.}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9,2 \text{ А},$$

$$F_{\text{э.}} = \frac{9,2}{1,6} = 5,8 \text{ мм}^2.$$

«Однако по условиям механической прочности в работе принимается ближайшее минимальное стандартное сечение $F=16 \text{ мм}^2$ с допустимым током $I_{\text{доп}}=90 \text{ А}$ » [12]. Поэтому это сечение питающего кабеля КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» предварительно принимается в работе.

«Максимальный расчётный ток» [11]

$$I_{\text{р. max}} = 1,4 \cdot 9,2 = 12,9 \text{ А}.$$

«Проверка сечения кабеля 10 кВ на допустимый нагрев» [16]:

$$90 \text{ А} \geq 12,9 \text{ А}.$$

«Далее в работе проводится выбор кабельных линий питающей и распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ по допустимому нагреву (таблица 4)» [16].

Таблица 4 – Результаты выбора сечения кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ

Потребитель	Марка КЛ	$I_{доп}$, А
СРШ1	АВБбШвнг (5×35)	130,0
СРШ2	АВБбШвнг (5×25)	105,0
СРШ3	АВБбШвнг (5×25)	105,0
СРШ4	АВБбШвнг (5×35)	130,0
СРШ5	АВБбШвнг (5×25)	105,0
ЩРО	АВБбШвнг (5×4)	19,0
ЩАО	АВБбШвнг (5×2,5)	14,0

Для СРШ1 реконструируемой КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань»

$$I_{доп.} \geq 10,49 / 1 = 10,49 \text{ А,}$$

$$I_{доп.} \geq 1 \cdot 12,5 = 12,5 \text{ А.}$$

«Выбор кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения ТП-10/0,4 кВ представлен в таблице 5» [7].

Таблица 5 – Выбор кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения ТП-10/0,4 кВ

Потребитель	Параметры выбранной кабельной линии	
	Марка КЛ	$I_{доп}$, А
РЩ №1	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЩ №2	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЩ №3	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЩ №4	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЩ №5	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЩ №6	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЩ №7	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЩ №8	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЩ №9	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЩ №10	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЩ №11	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЩ №12	ВВГнг-LS 5×4	32,0
РЩ №13	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЩ №14	ВВГнг-LS 5×4	32,0
РЩ №15	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЩ №16	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЩ №17	ВВГнг-LS 5×6	42,0
РЩ №18	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0

Продолжение таблицы 5

Потребитель	Параметры выбранной кабельной линии	
	Марка КЛ	$I_{доп}, А$
РЩ №16	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЩ №17	ВВГнг-LS 5×6	42,0
РЩ №18	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0

«Кабельные линии как питающей, так и распределительной сетей» [16], отвечают всем требованиям проверок.

По этой причине все кабельные линии как питающей, так и распределительной сети напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, принимаются для их установки на реконструируемой КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань».

Все выбранные проводники как питающей (10 кВ), так и распределительной (0,4 кВ) сетей подстанции, удовлетворяют условиям выбора и проверки, поэтому могут быть применены на данном объекте в результате реконструкции.

Результаты выбора линий питающей (10 кВ) и распределительной (0,4 кВ) сетей подстанции показаны в графической части работы на листе 2.

2.6 Определение токов короткого замыкания на подстанции

«Расчёт токов КЗ необходим для проверки новых аппаратов, которые устанавливаются на подстанции в результате проведения реконструкции согласно принятых ранее решений» [2].

«Поэтому, так как номинальных ступеней напряжения в схеме объекта исследования две, на них проводится расчёт токов КЗ» [15] в максимальном режиме работы системы (режим трёхфазного КЗ).

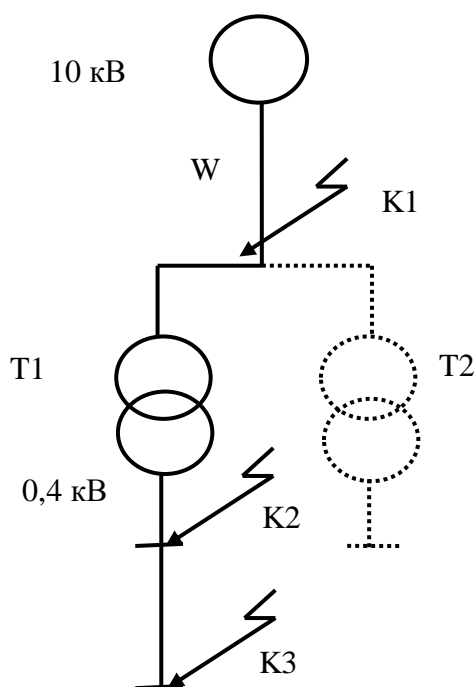
Так как на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате проведения её реконструкции установлены два одинаковых по номиналу и мощности силовых

трансформатора, следовательно, результаты расчёта токов КЗ в сети 0,4 кВ за ними будут также одинаковыми.

При этом в работе проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы, в котором на подстанции остаётся один силовой трансформатор, который выдерживает нагрузку всех потребителей подстанции, что проверено в работе ранее.

Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ» [15] в максимальном режиме на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» представлена в работе на рисунке 2.

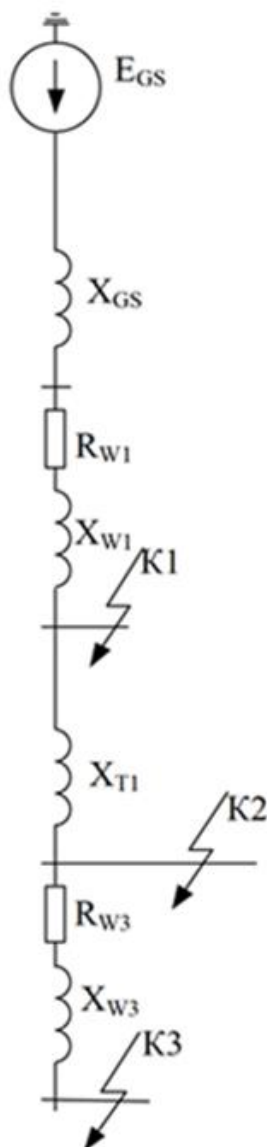
В данной схеме введены следующие допущения и позиции: Т2 – отключён, питание Т1 – по одной линии 10 кВ).



«Рисунок 2 – Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ» [15] в максимальном режиме на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» (Т2 – отключён, питание Т1 – по одной линии 10 кВ)

«Исходя из расчётной схемы, составляется исходная схема замещения для расчёта значений максимальных и ударных токов трёхфазного короткого

замыкания, на которую наносятся все рассчитанные параметры (рисунок 3)» [19].



«Рисунок 3 – Однолинейная упрощённая схема замещения сети для расчёта» [19] токов КЗ в максимальном режиме на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань»

В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 10 кВ.

Мощность энергосистемы принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» [16].

При необходимости, «результаты расчётов токов КЗ, полученные на неосновной ступени (0,4 кВ), приводятся к основной ступени напряжения путём умножения результата на коэффициент трансформации силового трансформатора подстанции)» [19].

«Далее в работе принимаются базисные условия)» [19] при расчёте в именованных единицах.

Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань»:

$$S_{\sigma} = 160 \text{ кВА} = 0,16 \text{ МВА}.$$

Базисное напряжение схемы КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» определяется так [6]:

$$U_{\sigma} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ}. \quad (23)$$

По условию (23):

$$U_{\sigma.1} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ},$$

$$U_{\sigma.2} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{ кВ}.$$

Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» [8]:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}. \quad (24)$$

По условию (24):

$$I_{\sigma 1} = \frac{0,16}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,015 \text{ кА},$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{0,16}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,23 \text{ кА}.$$

«Значение индуктивного сопротивления КЛ» КТП-58 10/0,4
 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» [16]:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{y\partial.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}, \quad (25)$$

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,16}{10,5^2} = 0,005 \text{ о.е.},$$

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,16}{0,4^2} = 0,0135 \text{ о.е.}$$

Известно, что при расчёте токов КЗ в сетях 6(10)/0,4 кВ необходимо учитывать активные сопротивления всех элементов схемы замещения [8].

«Значение активного сопротивления КЛ» [8]

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{y\partial.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}, \quad (26)$$

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,16}{10,5^2} = 0,006 \text{ о.е.},$$

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,16}{0,4^2} = 0,093 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [16]

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3.}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{H.T}}, \quad (27)$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,16}{0,16} = 0,0525 \text{ о.е.}$$

Максимальное значение токов трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» определяется по известному выражению [16]

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}. \quad (28)$$

«Полное сопротивление цепи КЗ до расчётных точек и ток КЗ» [16]

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}, \quad (29)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,005 + 0,005)^2 + 0,006^2} = 0,012 \text{ о.е.},$$

$$I_{\kappa1}^{(3)} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,015 = 1,25 \text{ кА},$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}, \quad (30)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525)^2 + 0,006^2} = 0,062 \text{ о.е.},$$

$$I_{\kappa2}^{(3)} = \frac{1}{0,062} \cdot 0,23 = 3,71 \text{ кА},$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}, \quad (31)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525 + 0,0135)^2 + (0,006 + 0,093)^2} = 0,125 \text{ о.е.},$$

$$I_{\kappa3}^{(3)} = \frac{1}{0,125} \cdot 0,23 = 1,84 \text{ кА},$$

«Ударный ток при максимальном значении трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы») [16] КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» [16]:

$$I_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (32)$$

Численное значение ударного тока при максимальных значениях трёхфазных токов КЗ в расчётных точках схемы КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань»

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,25 = 2,47 \text{ кА},$$

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 3,71 = 5,25 \text{ кА},$$

$$i_{уд.к3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,84 = 2,6 \text{ кА}.$$

Минимальное значение токов двухфазного КЗ в расчётных точках схемы КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» определяется по известному выражению [16]

$$I_{к}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к}^{(3)}. \quad (33)$$

Численное значение минимальных токов двухфазного КЗ в расчётных точках схемы КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань»:

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,25 = 1,08 \text{ кА},$$

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,71 = 3,21 \text{ кА},$$

$$I_{к3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,84 = 1,59 \text{ кА}.$$

«Все полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания (трёхфазного, двухфазного), а также ударных токов, выполненных в расчётных точках КЗ схемы понизительной подстанции» [19] КТП-58 10/0,4

производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» Астраханской области РФ, приведены в форме таблицы 6.

Результаты расчёта представлены в «КА».

«Таблица 6 – Результаты расчетов токов короткого замыкания в расчётных точках схемы на понизительной подстанции Астраханской области РФ» [19]

Параметр	Числовое значение параметра		
	Точка К1	Точка К2	Точка К3
$I_{\kappa}^{(3)}, \text{кА}$	1,25	1,08	2,47
$I_{\kappa}^{(2)}, \text{кА}$	3,71	3,21	5,25
$i_{y\partial, \kappa}, \text{кА}$	1,84	1,59	2,60

«Полученные результаты расчетов токов короткого замыкания» [19] на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», «используются в работе далее при выборе и проверке оборудования данной подстанции» [19].

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

Одним из этапов предложенных мероприятий по реконструкции рассматриваемой в работе подстанции КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» Астраханской области РФ является модернизация оборудования РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ.

Модернизация «понижительной подстанции 10/0,4 кВ в работе осуществляется с применением перспективных технических решений и современных расчётных методик» [19].

Известно, что внедрение принятых решений по модернизации оборудования подстанции повысит показатели энергоэффективности и является одной из ключевых тенденций управления развитием системы электроснабжения.

Разработанные и внедрённые мероприятия по модернизации оборудования позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

В работе при модернизации оборудования подстанции необходимо учесть критерии, являющиеся определяющими при выборе современного типа оборудования подстанций.

Известно, что современные технические решения по модернизации оборудования подстанций включают применение нового инновационного оборудования, которое характеризуется следующими техническими и экономическими критериями [19,20]:

- высокая надёжность узлов, механизмов и систем оборудования (критерий 1);
- повышенный коммутационный ресурс, минимальный износ главной и дугогасительной контактных систем (критерий 2);
- стабильное отключение больших токов (критерий 3);
- применение современных способов гашения электрической дуги (критерий 4);
- повышенная электробезопасность (критерий 5);
- экологическая безопасность (критерий 6);
- пожаробезопасность (критерий 7);
- взрывобезопасность (критерий 8);
- удобства и минимум затрат времени на монтаж, обслуживание и ремонт (критерий 9);
- минимум финансовых затрат с коротким сроком окупаемости вложений (критерий 10);
- возможность дальнейшей модернизации (критерий 11).

«С учётом данных критериев, выбор конкретных марок данных аппаратов для их непосредственной установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ понизительной подстанции» [19] КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» проводится в работе далее.

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

$$U_{уст} \leq U_n, \quad (34)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (35)$$

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

$$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (36)$$

«Проверка на отключение апериодической составляющей тока» [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (37)$$

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 аппаратов на электродинамическую стойкость [12]:

– «по номинальному току отключения» [5]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (38)$$

– «по отключению ударного тока» [5]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (39)$$

где « $i_{дин.}$ – номинальный ток электродинамической стойкости» [12].

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (40)$$

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

По приведённым выше формулам, далее в работе проводится выбор и проверка нового оборудования для его установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ Астраханской области РФ.

Так как на подстанции в результате проведения реконструкции используются два одинаковых силовых трансформатора по номинальным мощностям и типам, необходимо проводить выбор нового модернизированного оборудования в цепи одного силового трансформатора (как на стороне 10 кВ, так и на стороне 0,4 кВ подстанции).

Следовательно, выбор оборудования для второго трансформатора КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» результаты будут аналогичными.

Помимо выбора новых типов выключателей нагрузки и предохранителей, в работе также необходимо проверить работоспособность остальных аппаратов в схеме по новым условиям реконструкции, которые не подлежат замене, включая выключатель высокого напряжения на питающем ЦРП-2 10 кВ.

К таким аппаратам 10 кВ на подстанции относятся трансформаторы тока, трансформаторы напряжения и ограничители перенапряжения. Этот фактор, учтённый в работе, увеличит точность расчётов и полученных результатов.

Данные о максимальном значении тока внешнего трёхфазного КЗ и ударном токе на шинах 10 кВ КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» принимаются по данным энергосистемы.

Для примера проводится выбор и проверка «выключателя для защиты и коммутации ТП-10/0,4 кВ на стороне 10 кВ, установленном на ЦРП-2 10 кВ» [19]:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сети} = 10 \text{ кВ},$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{расч} = 20,2 \text{ А},$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 6,0 \text{ кА},$$

$$i_{пр.скв} = 20 \text{ кА} > i_{ук1} = 15,27 \text{ кА}.$$

«Окончательно выбирается для установки на питающем ЦРП-2 10 кВ для защиты и коммутации» [19] КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», вакуумный выключатель номинального напряжения 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48.

«Аналогично осуществлены выбор и проверка электрических аппаратов 10 кВ (коммутационных, защитных и регулирующих)» [19] для их установки в РУ-10 кВ КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», а также и на питающем ЦРП-2 10 кВ, с «приведением полученных результатов в работе результатов в форме таблицы 7» [19].

«Таблица 7 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 10 кВ» [19]

Наименование аппарата	Марка (типономинал) аппарата
Выключатель (питающий ЦРП-2 10 кВ)	ВВ/TEL-10-8/630 У2
Предохранитель	ПК-10-20-31,5/У3
Трансформатор тока	ТПОЛМ-10
Трансформатор напряжения	НТМИ-10
Ограничители перенапряжений	ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1
Выключатель нагрузки	ВНПу-10/ 400-10-У3

Далее в работе проводится выбор и проверка аппаратов в сети 0,4 кВ КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань».

В схеме электроснабжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», «автоматы устанавливаются в шкафах РУ-0,4 кВ на ТП-10/0,4 кВ и в шкафах СРШ (ЩРО, ЩАО)» [19].

Автоматы в сети 0,4 кВ КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» выбираются по условиям, приведённым ниже.

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя автомата» [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p, \quad (41)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (42)$$

«Ток электромагнитного расцепителя» [14]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k. \quad (43)$$

«В случае, если автомат выполнен с регулируемым электромагнитным расцепителем, зависящим от тока уставки теплового расцепителя» [19]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р}, \quad (44)$$

где « K – кратность тока уставки ЭМ-расцепителя» [19].

Выбор автоматических выключателей системы электроснабжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» для питающей сети её потребителей осуществлён аналогично (таблица 8).

«Таблица 8 – Результаты выбора автоматов питающей сети 0,38/0,22 кВ КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань»» [12]

Наименование	I_p , А	Марка автомата	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р}$, А	$I_{у.э.р}$, А
Вводной автомат	339,6	ВА57-39	400	400	1200
Секционный автомат	242,6	ВА57-35	250	250	750
СРШ1	108,65	ВА57-35	250	125	375

Продолжение таблицы 8

Наименование	I_p, A	Марка автомата	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р.}, A$	$I_{у.э.р.}, A$
СРШ2	51,57	BA57-35	250	80	240
СРШ3	26,62	BA57-35	250	80	240
СРШ4	105,36	BA57-35	250	125	375
СРШ5	50,53	BA57-35	250	80	240
ЩРО	12,5	BA 47-29/16C	16	16	48
ЩАО	1,3	BA 47-29/6C	6	6	18

Выбор автоматических выключателей системы электроснабжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» для распределительной сети её потребителей осуществлён аналогично (таблица 9).

Таблица 9 – Результаты выбора автоматических выключателей системы электроснабжения КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» для распределительной сети её потребителей

Наименование РЩ	Параметры автомата		
	Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.т.р.}, A$
РЩ №1	BA 47-29/25C	25	12,5
РЩ №2	BA 47-29/25C	25	20
РЩ №3	BA 47-29/25C	25	20
РЩ №4	BA 47-29/25C	25	20
РЩ №5	BA 47-29/25C	25	12,5
РЩ №6	BA 47-29/25C	25	12,5
РЩ №7	BA 47-29/25C	25	20
РЩ №8	BA 47-29/25C	25	16
РЩ №9	BA 47-29/25C	25	20
РЩ №10	BA 47-29/25C	25	12,5
РЩ №11	BA 47-29/25C	25	20
РЩ №12	BA 47-29/40C	40	31,5
РЩ №13	BA 47-29/25C	25	6,3
РЩ №14	BA 47-29/25C	25	20
РЩ №15	BA 47-29/25C	25	20
РЩ №16	BA 47-29/25C	25	6,3
РЩ №17	BA 47-29/40C	40	40
РЩ №18	BA 47-29/25C	25	25

Принятые в работе «автоматы питающей и распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения потребителей ТП-10/0,4 кВ удовлетворяют условиям выбора и проверок» [12].

Все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты, выбранные для установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы.

Они показаны в графической части.

2.8 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии

«Выбор системы учёта и контроля электроэнергии является очень важной составляющей любого проектирования электроустановок, так как обеспечивает непосредственный контроль и учёт электроэнергии, лимиты её потребления, контроль параметров потребляемой продукции (электроэнергии), а также ограничение или полное искоренение краж электроэнергии» [16].

«На КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» учёт и контроль параметров электроэнергии необходимо осуществлять с помощью программно-технических комплексов, которые в последние годы полностью вытеснили устаревшие индукционные и электромагнитные системы, обладая значительными преимуществами перед ними, состоящие и выражающиеся в простоте, надёжности, компактности, работоспособности» [12].

«Именно поэтому принимается к внедрению в проектируемой системе электроснабжения объекта исследования «автоматизированная система контроля и управления электроэнергией (далее – АСКУЭ)» [20], выполненная на базе современного электронного счётчика электроэнергии марки Меркурий-234 ARTM-03 P.B.G 3x230/400В 5(10) А класса точности 0,5s/1,0,

который используется в работе и выбран для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ в шкафу учёта, что является современным инновационным решением согласно» [20].

АСКУЭ выполнено по классической схеме со всеми ступенями и уровнями, присущих ей.

«Питание АСКУЭ осуществляют трансформаторы тока, через которые в сеть и на выводы АСКУЭ поступает нормированный допустимый рабочий ток системы» [12].

«Сигнал со счётчиков потребителя через каналы связи передаются в центр сбора и обработки данных энергоснабжающей компании, где сигнал принимается, обрабатывается и заносится в соответствующую электронную ячейку на сервере» [12].

«Далее идёт сравнение полученных данных с предыдущими показаниями, а также их непосредственный контроль и обработка» [12].

«Эту процедуру в системе АСКУЭ выполняет информационно – вычислительный комплекс» [12].

«В конечном итоге, после приёма, обработки и систематизации информации со счётчиков АСКУЭ, она добавляется в специальную ячейку или записывается в виде файла для долгосрочного хранения и дальнейшего использования» [12].

«Выбранная система АСКУЭ для применения в системе электроснабжения объекта исследования характеризуется надёжностью, экономичностью, точностью, экологичностью и безопасностью, а также удобством эксплуатации» [20].

Выводы по разделу 2.

В разделе, исходя из задания и принятых решений по реконструкции электрической части объекта исследования, внедрены и проверены расчётным путём принятые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации оборудования понизительной подстанции КТП-

58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» Астраханской области РФ.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач:

- расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей подстанции в целом с учётом реконструкции схемы электрических соединений;
- выбор силовых трансформаторов с учётом реконструкции схемы подстанции;
- выбор и проверка проводников на подстанции;
- определение токов короткого замыкания на подстанции;
- выбор и проверка электрических аппаратов.

Внедрены практические мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции, в основе которых лежат установка второго силового трансформатора. Помимо этого, также внедрены следующие мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции:

- реконструкция схемы электрических соединений РУ-10 кВ, заключающаяся в обеспечении резервирования и внедрении радиальной схемы для питания каждого трансформатора подстанции (при необходимости). При этом в схеме РУ-10 кВ после установки второго трансформатора обеспечен отдельный режим работы каждого фидера (блока «линия – трансформатор»), что отвечает нормам и требованиям [10];
- реконструкция схемы электрических соединений РУ-0,4 кВ с применением отдельного питания и двух секций сборных шин (каждая секция шин будет питаться от своего трансформатора без связи с соседней секцией в нормальном режиме). При этом резервирование в схеме РУ-0,4 кВ, согласно требованиям [10], осуществлено с помощью секционного выключателя, который должен обеспечивать питание секции сборных шин, оставшейся без напряжения, от второй секции.

Основываясь на результатах анализа современных инновационных разработок оборудования, на основе рекомендуемых критериев выбора, на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» внедрены мероприятия по модернизации оборудования:

- выбрано и проверено новое оборудование «для установки в РУ-10 кВ подстанции, а именно: выключатель высокого напряжения на питающем ЦРП-2 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 с трансформаторами тока типа ТПОЛМ-10; непосредственно в РУ-10 кВ подстанции установлены новые предохранители марки ПК103-6-40-31,5/У3, а также выключатели нагрузки типа ВНПу-10/400-10-У3» [12];
- выбрано и проверено новое оборудование для установки в РУ-0,4 кВ подстанции: автоматы марки ВА различных типономиналов и модификаций.

Также в работе, на основе расчёта электрических нагрузок установлено, что в результате модернизации подстанции, необходимо установить два силовых трансформатора марки ТМГ-160/10, которые выдержат перегрузку в послеаварийном режиме работы.

Выбраны и проверены сечения кабельных линий электропередачи на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», включая питающую линию 10 кВ и отходящие линии 0,4 кВ питающей и распределительной сети объекта.

В результате были выбраны для питающей кабельной линии ТП-10/0,4 кВ «кабели марки АСБ-10 (3×16), а для питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели марки ВВГнг-LS разных сечений» [12].

Расчётным путём показано, что внедрённые практические мероприятия по реконструкции КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» Астраханской области РФ позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

3 Расчёт экономических показателей проведённой реконструкции

3.1 Расчёт капитальных затрат

Исходя из принятых решений в работе, капитальные вложения в систему электроснабжения КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань», с учётом разбиения оборудования на типичные типы и группы по назначению, определяются [20]:

$$K = K_{ТП} + K_C + K_A, \quad (45)$$

где « $K_{ТП}$ - капиталовложения в питающую ТП-10/0,4 кВ (включая силовые трансформаторы, ККУ, шкафы РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ, а также АСКУЭ, устанавливаемую на ТП-10/0,4 кВ)» [3];

« K_C - капиталовложения в сети (включая кабельные линии напряжением 10 кВ и 0,4 кВ)» [3];

« K_A - капиталовложения в электрические аппараты 10 кВ и 0,4 кВ (включая распределительные шкафы и ячейки)» [3].

«Капиталовложения по каждому из видов определяется с учётом стоимости единицы, количества единиц, а также расходов на монтаж и наладку (25-35% от стоимости оборудования) и накладных расходов (10-15% от стоимости оборудования)» [3].

«Капиталовложения в питающую ТП-10/0,4 кВ с двумя силовыми трансформаторами и шкафами РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ, а также АСКУЭ системы электроснабжения КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» определяются» [20]:

$$K_{ТП} = C_{осн.} \cdot n + M_n + H_p, \quad (46)$$

«где n - количество единиц оборудования, шт.» [3];

« $C_{осн.}$ - стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.» [3];

M_n - «расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.» [3];

H_p - «накладные расходы, тыс. руб.» [3]

«Принимается» [3]:

$$M_n = 0,3C_{осн}, H_p = 0,1C_{осн}. \quad (47)$$

Результаты расчёта стоимости оборудования питающей КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате внедрения мероприятий по реконструкции объекта, с учётом выбранных в работе двух силовых трансформаторов марки ТМГ-160/10, шкафов РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ, а также ККУ и АСКУЭ, сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Стоимость оборудования питающей КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате внедрения мероприятий по реконструкции объекта

Тип электрооборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Силовой трансформатор ТМГ-160/10	2	180,0	360,0
Шкаф РУ-10 кВ (без оборудования)	2	25,0	50,0
Шкаф РУ-0,4 кВ (без оборудования)	12	10,0	120,0
Установки ККУ УК БН-0,38-50-50УЗ	2	28,0	56,0
АСКУЭ «Меркурий – 220-М2М»	1	48,0	48,0
Итого:	7	-	634,0

Капиталовложения в питающую КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате внедрения мероприятий по реконструкции объекта

$$K_{ТП} = 634 + 0,3 \cdot 634 + 0,1 \cdot 634 = 887,6 \text{ тыс.руб.}$$

Капиталовложения в электрические сети (кабельные линии напряжением 10 кВ и 0,4 кВ) КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате внедрения мероприятий по реконструкции объекта, определяются так [20]

$$K_C = l_C \cdot C_C + M_n + H_p, \quad (48)$$

где l_C - длина сети, км;

C_C - стоимость 1 км сети, тыс. руб.

«Расчеты стоимости электрических сетей» [3] в результате внедрения мероприятий по реконструкции системы электроснабжения КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» сводятся в таблицу 11.

Таблица 11 – Стоимость электрических сетей в результате внедрения мероприятий по реконструкции системы электроснабжения КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань»

Марка кабеля	Кол-во, км	Стоимость, за км, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Питающая сеть 10 кВ			
АСБ-10 (3×16)	1,0	110,0	110,0
Питающая сеть 0,38/0,22 кВ			
АВБбШвнг 5×2,5	0,2	124,0	24,8
АВБбШвнг 5×4	0,2	198,0	39,6
АВБбШвнг 5×25	1,4	414,0	579,6
АВБбШвнг 5×35	1,1	462,0	508,2
Распределительная сеть 0,38/0,22 кВ			
ВВГнг-LS (5×1,5)	0,8	96,0	76,8
ВВГнг-LS (5×2,5)	1,6	116,0	185,6
ВВГнг-LS (5×4)	0,6	181,0	108,6
ВВГнг-LS (5×6)	0,4	202,0	80,8
ВВГнг-LS (5×10)	0,3	254,0	76,2
Итого:	6,6	-	1680,2

«Капиталовложения в электрические сети КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате реконструкции» [3]:

$$K_C = 1680,2 + 0,3 \cdot 1680,2 + 0,1 \cdot 1680,2 = 2352,46 \text{ тыс. руб.}$$

«Капиталовложения в электрические аппараты (включая распределительные шкафы и ячейки» [3] распределительной сети) КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате проведения реконструкции, определяются так [3]:

$$K_A = C_{осн.} \cdot n + M_n + H_p, \quad (49)$$

где « n - количество единиц оборудования, шт.» [3];

« $C_{осн.}$ - стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.» [3];

« M_n - расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.» [3];

« H_p - накладные расходы, тыс. руб.» [3]

«Расчеты стоимости электрических аппаратов системы электроснабжения КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» сведены в таблицу 12» [3].

Таблица 12 – Стоимость электрических аппаратов системы электроснабжения КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань»

Марка оборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Выключатель высокого напряжения ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 (питающий ЦРП-2 10 кВ)	1	560,0	560,0
Трансформатор тока ТПОЛМ-10	6	16,0	96,0
Трансформатор напряжения НТМИ-10	2	45,0	90,0
Выключатель нагрузки ВНПу-10/ 400-10-УЗ	2	46,0	92,0
Предохранитель плавкий ПК-10-20-31,5/УЗ	6	4,0	24,0
Ограничитель перенапряжений ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1	6	10,0	60,0
Автоматы ВА (усреднённая стоимость)	49	2,5	122,5
Шкафы РП (без оборудования)	5	15,0	75,0
Шкафы ЩАО, ЩРО (без оборудования)	2	8,0	16,0
Шкафы СРШ (без оборудования)	37	5,0	185,0
Итого:	-	-	1320,5

Капиталовложения в электрические аппараты КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате проведения реконструкции:

$$K_A = 1320,5 + 0,3 \cdot 1320,5 + 0,1 \cdot 1320,5 = 1848,7 \text{ тыс.руб.}$$

Определение суммы общих капитальных вложений в систему электроснабжения КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате проведения реконструкции:

$$K = 887,6 + 2352,46 + 1848,7 = 5088,76 \text{ тыс.руб.}$$

3.2 Расчёт эксплуатационных затрат

«В общем виде расчетная формула эксплуатационных издержек (затрат) для системы электроснабжения КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате проведения реконструкции имеет вид» [20]:

$$\begin{aligned} \text{ЭЗ} = & \text{ЗП} + \text{СВ} + A_{\text{отП}} + A_{\text{оС}} + A_{\text{оА}} + \\ & + P_{\text{ТО(П)}} + P_{\text{ТО(С)}} + P_{\text{ТО(А)}} + \text{Пр}, \end{aligned} \quad (50)$$

где «ЗП – заработная плата, тыс. руб.» [3];

«СВ – страховые взносы, тыс. руб.» [3];

«А – амортизационные отчисления, тыс. руб.» [3];

«Р – затраты на ремонт и техническое обслуживание, тыс. руб.» [3].

Заработная плата за год [20]

$$\text{ЗП} = M_0 \cdot N \cdot K_{\text{дон}} \cdot T, \quad (51)$$

где « M_0 – средний месячный оклад по предприятию по состоянию на август 2022 г.» [3];

N – «количество оперативно – технических работников» [3];
 K_{don} – «коэффициент, учитывающий дополнительную оплату труда» [3];
 T – «число месяцев в году» [3].

$$ЗП = 39,431 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 12 = 3548,79 \text{ тыс.руб.}$$

«Страховые взносы» [3]

$$СВ = 0,309 \cdot ЗП, \quad (52)$$

$$СВ = 0,309 \cdot 3548,79 = 1096,58 \text{ тыс.руб.}$$

Амортизационные отчисления на КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате проведения реконструкции, определяются, исходя из величины капитальных вложений по каждому виду так [20]:

$$A_o = K \cdot \frac{a}{100}, \quad (53)$$

где a - годовая норма амортизационных отчислений, % [20].

$$A_{oП} = 887,6 \cdot 0,1 = 88,76 \text{ тыс.руб.},$$

$$A_{oС.} = 2352,46 \cdot 0,1 \approx 235,25 \text{ тыс.руб.},$$

$$A_{oA.} = 1848,76 \cdot 0,1 = 184,88 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные амортизационные отчисления на КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате проведения реконструкции:

$$A_o = 88,76 + 235,25 + 184,88 = 508,89 \text{ тыс.руб.}$$

«Затраты на ремонт и техническое обслуживание КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате проведения реконструкции» [20]:

$$P_{TO} = K \cdot \frac{r}{100}, \quad (54)$$

где « r - годовая норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание оборудования и сетей, %» [20].

$$P_{TO(П)} = 887,6 \cdot 0,025 = 22,19 \text{ тыс.руб.},$$

$$P_{TO(С)} = 2352,46 \cdot 0,025 = 58,81 \text{ тыс.руб.},$$

$$P_{TO(А)} = 1848,7 \cdot 0,025 = 46,22 \text{ тыс.руб.}$$

«Суммарные расходы на ремонт и техническое обслуживание» [3] КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате проведения реконструкции:

$$P_{TO} = 22,19 + 58,81 + 46,22 = 127,22 \text{ тыс.руб.}$$

Прочие расходы: [20]

$$Pr = 0,01 \cdot \sum K, \quad (55)$$

$$Pr = 0,01 \cdot 5088,76 = 50,89 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные годовые эксплуатационные издержки (расходы) на КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате проведения реконструкции:

$$\text{ЭЗ} = 3548,79 + 1096,58 + 508,89 + 127,22 + 50,89 = 5332,37 \text{ тыс.руб.}$$

Выводы по разделу 3.

«В результате выполнения третьего раздела работы, рассчитаны технико-экономические» [3] показатели проведённой реконструкции ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань».

Определены суммарные капитальные затраты (суммарные вложения в проект) на КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате проведения реконструкции, а также заработная плата обслуживающего персонала, страховые взносы, суммарные амортизационные отчисления, отчисления на ремонт и обслуживание, годовые эксплуатационные издержки.

Полученные результаты затрат на КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» в результате проведения реконструкции могут быть приняты к сведению при практической реализации проекта.

Заключение

«В результате выполнения работы проведена реконструкция трансформаторной понижающей подстанции ТП-10/0,4 кВ Астраханской области РФ» [3].

На основе анализа схемы электрических соединений и оборудования подстанции, разработаны рекомендации по реконструкция электрической части КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», включающие в себя следующие основные этапы:

- модернизацию устаревших электрических аппаратов в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ, которая реализуется путём замены их на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками;
- реконструкцию схемы электрических соединений подстанции на стороне 10 кВ, предусматривающей установку второго трансформатора на подстанции, так как в связи с категорийностью основных потребителей подстанции, большинство из которых относится к I и II категории надёжности, в схеме необходим второй источник питания в виде силового трансформатора, а также реконструкция схемы электрических соединений РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ, обусловленных данным фактом. Данные аспекты соответствуют требованиям, которые предъявляются к электрическим схемам для питания объектов I и II категорий надёжности.

Помимо этого, также внедрены следующие мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции:

- реконструкция схемы электрических соединений РУ-10 кВ, заключающаяся в обеспечении резервирования и внедрении радиальной схемы для питания каждого трансформатора подстанции (при необходимости). При этом в схеме РУ-10 кВ после установки второго трансформатора обеспечен отдельный режим работы каждого фидера

(блока «линия – трансформатор»), что отвечает нормам и требованиям [10];

– реконструкция схемы электрических соединений РУ-0,4 кВ с применением раздельного питания и двух секций сборных шин (каждая секция шин будет питаться от своего трансформатора без связи с соседней секцией в нормальном режиме). При этом резервирование в схеме РУ-0,4 кВ, согласно требованиям [10], осуществлено с помощью секционного выключателя, который должен обеспечивать питание секции сборных шин, оставшейся без напряжения, от второй секции.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач:

- расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей подстанции в целом с учётом реконструкции схемы электрических соединений;
- выбор силовых трансформаторов с учётом реконструкции схемы подстанции;
- выбор и проверка проводников на подстанции;
- определение токов короткого замыкания на подстанции;
- выбор и проверка электрических аппаратов.

Внедрены практические мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции, в основе которых лежат установка второго силового трансформатора.

Основываясь на результатах анализа современных инновационных разработок оборудования, на основе рекомендуемых критериев выбора, на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» внедрены мероприятия по модернизации оборудования:

- выбрано и проверено новое оборудование «для установки в РУ-10 кВ подстанции, а именно: выключатель высокого напряжения на питающем ЦРП-2 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 с трансформаторами тока типа ТПОЛМ-10; непосредственно в РУ-10 кВ подстанции установлены

новые предохранители марки ПК103-6-40-31,5/УЗ, а также выключатели нагрузки типа ВНПу-10/400-10-УЗ» [12];

– выбрано и проверено новое оборудование для установки в РУ-0,4 кВ подстанции: автоматы марки ВА различных типоминалов и модификаций.

Также в работе, на основе расчёта электрических нагрузок установлено, что в результате модернизации подстанции, необходимо установить два силовых трансформатора марки ТМГ-160/10, которые выдержат перегрузку в послеаварийном режимах работы.

Выбраны и проверены сечения кабельных линий электропередачи на КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань», включая питающую линию 10 кВ и отходящие линии 0,4 кВ питающей и распределительной сети объекта. В результате были выбраны для питающей кабельной линии ТП-10/0,4 кВ выбраны «кабели марки АСБ-10 (3×16), а для питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели марки ВВГнг-LS разных сечений» [12].

Расчитаны технико-экономические показатели проведённой реконструкции ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань». Определены суммарные капитальные затраты на проведение реконструкции, заработная плата обслуживающего персонала, страховые взносы, суммарные амортизационные отчисления, отчисления на ремонт и обслуживание, годовые эксплуатационные издержки.

Расчётным путём показано, что внедрённые практические мероприятия по реконструкции КТП-58 10/0,4 производственного комплекса №1 ООО «Газпром добыча Астрахань» Астраханской области РФ позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом. Полученные результаты проведённой реконструкции КТП-58 10/0,4 предприятия ООО «Газпром добыча Астрахань» могут быть приняты к сведению при практической реализации проекта.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. М.: Форум, НИЦ ИНФРА. 2016. 416 с.
2. Виноградова А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Интернет Инжиниринг, 2017. 672 с.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
5. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. М.: Колос, 2016. 184 с.
6. 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», 2016. 208 с.
7. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2017. 224 с.
8. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2016. 608 с.
9. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
10. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.

11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 315 с.
12. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
13. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2016. 448 с.
14. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 464 с.
15. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
16. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
17. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.010-2008.pdf> (дата обращения: 22.08.2022).
18. 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».
19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.
20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. М.: Министерство энергетики, 2020. 142 с.