

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование систем электроснабжения автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок № 6

Студент

А.В. Бедашевский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, С.В. Шаповалов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Кириллова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Целью работы является проектирование системы электроснабжения магистральной автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский, участок №6.

Объектом исследования является система электроснабжения магистральной автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский, участок №6.

Предметом исследования являются схема электрических соединений разрабатываемой системы электроснабжения, а также элементы рассматриваемой системы электроснабжения: электрические сети и электрические аппараты.

Для реализации цели работы, мы поставили перед собой следующие задачи:

- проанализировать исходные данные по объекту исследования и рассмотреть основные теоретические положения, необходимые для осуществления проектирования;
- спроектировать систему электроснабжения магистральной автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок №6 с конечным выбором схемы электроснабжения, а также электрических сетей и аппаратов;
- разработать мероприятия по технике безопасности и охране труда, а также по экологической безопасности.

В результате выполнения работы разработана система электроснабжения магистральной автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок № 6, в которой неукоснительно соблюдаются нормы качества электроэнергии, передаваемой потребителям, надёжности, экономичности, безопасности и экологичности.

Представленная работа состоит из печатных 64 страниц и 6 чертежей А1.

Abstract

The purpose of the work is to design the power supply system of the main automobile gas-filling compressor station in Beloyarsky district No. 6.

The object of the study is the power supply system of the main automobile gas-filling compressor station in Beloyarsky district No. 6.

The subject of the study is the scheme of electrical connections of the developed power supply system, as well as the elements of the considered power supply system: electrical networks and electrical devices.

To achieve this main goal of the work, the main tasks were solved:

- analysis of the initial data on the object of research with consideration of the main theoretical provisions necessary for the implementation of the design;

- direct development of the power supply system of the projected main automobile gas-filling compressor station in Beloyarsky district No. 6 with the final choice of the power supply scheme, as well as electrical networks and devices;

- development of measures for occupational safety and health, as well as environmental safety.

As a result of the work, a power supply system for the main automobile gas-filling compressor station in Beloyarsky district No. 6 was developed, which strictly complies with the established standards for the quality of electricity transmitted to consumers, reliability, efficiency, safety and environmental friendliness.

The presented work consists of 64 printed pages and 6 A1 drawings.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Требования нормативных документов к системам электроснабжения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций	7
1.2 Характеристика оборудования автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок № 6.....	11
2 Разработка системы электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок №6	15
2.1 Выбор схемы электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции.....	15
2.2 Расчет электрических нагрузок газонаполнительной компрессорной станции.....	18
2.3 Выбор трансформаторов ТП газонаполнительной компрессорной станции.....	27
2.4 Выбор компенсирующих устройств на ТП газонаполнительной компрессорной станции.....	31
2.5 Выбор и проверка сечения кабельных линий	33
2.6 Расчет токов короткого замыкания	37
2.7 Проверка сечения высоковольтных кабелей на термическую стойкость	43
2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов	44
3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда	52
3.1 Обеспечение безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности	52
3.2. Расчёт контура заземления газонаполнительной компрессорной станции.....	55
Заключение	59
Список используемой литературы	62

Введение

Известно, что системы электроснабжения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГКС) являются важным звеном энергетики регионов и страны в целом.

Они обеспечивают питание сжиженным компримированным природным газом сеть автозаправочных станций.

Целью работы является проектирование системы электроснабжения магистральной автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок №6.

Объектом исследования является система электроснабжения магистральной автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок №6.

Предметом исследования являются схема электрических соединений разрабатываемой системы электроснабжения, а также элементы рассматриваемой системы электроснабжения: электрические сети и электрические аппараты.

Актуальность работы обусловлена требованиями нормативных документов к проектируемым системам электроснабжения, а именно: обеспечение необходимого уровня надёжности, экономичности и электробезопасности новых объектов, проектируемых и вводимых в эксплуатацию.

Для реализации указанной основной цели работы, в работе проведено решение основных поставленных задач:

- анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением основных теоретических положений, необходимых для осуществления проектирования;

- непосредственная разработка системы электроснабжения проектируемой магистральной автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок №6 с конечным выбором

схемы электроснабжения, а также электрических сетей и аппаратов. В связи с этим, в работе проводятся необходимые расчёты электрических нагрузок газонаполнительной компрессорной станции, выбор и проверка силовых трансформаторов для их установки на подстанции (подстанциях) газонаполнительной компрессорной станции, выбор компенсирующих устройств для компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения проектируемой магистральной автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок №6, выбор и непосредственная проверка сечения проводников питающей и распределительной сетей АГКС, а также аппаратов защиты и коммутации указанных сетей, проверка выбранных кабельных линий и электрических аппаратов в работе осуществляется на основании полученных расчётных данных токов короткого замыкания;

- разработка организационных и технических мероприятий по обеспечению безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности в системе электроснабжения проектируемой системы электроснабжения проектируемой магистральной автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок №6, а также расчёт контура заземления на питающих трансформаторных подстанциях газонаполнительной компрессорной станции.

В результате выполнения работы необходимо разработать систему электроснабжения магистральной автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок № 6, в которой неукоснительно должны соблюдаться установленные нормы качества электроэнергии, передаваемой потребителям, надёжности, экономичности, безопасности и экологичности.

Все исследования в работе проводятся, исходя из нормативно – технических источников с непосредственным использованием учебной литературы.

1 Анализ исходных данных

1.1 Требования нормативных документов к системам электроснабжения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций

Системы электроснабжения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГКС), как правило, относятся к I категории надёжности, поэтому требуют соответствующих проектных решений.

Надежная работа систем электроснабжения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций обеспечивается при выполнении следующих условий:

- в работе должны находиться не менее двух секций сборных шин (пуск ответственных механизмов при повреждении или отключении по любой причине другой секции);

- на каждой из секций должны быть резервные агрегаты. При ремонте агрегатов автомобильных газонаполнительных компрессорных станций, как минимум, один из агрегатов должен быть в резерве.

- мощность каждого агрегата автомобильных газонаполнительных компрессорных станций следует принимать с запасом, так как двигатели не обеспечивают надежной работы при перегрузках (самозапуск, короткие замыкания, резкие увеличения нагрузки при отключении одного из параллельно работающих двигателей) и могут аварийно остановиться;

- с целью предотвращения чрезмерного увеличения нагрузки на двигатели и аварийных режимах следует предусматривать соответствующую противоаварийную автоматику;

- число агрегатов автомобильных газонаполнительных компрессорных станций должно быть минимальным: это уменьшает капитальные затраты и эксплуатационные расходы, облегчает организацию эксплуатации и ремонта, улучшает устойчивость их работы;

- при ремонтных режимах автомобильная газонаполнительная компрессорная станция, как и вся электрическая схема АГКС, должна обеспечивать полную нагрузку АГКС, самозапуск ответственных механизмов и достаточную надежность работы.

Анализ изложенных условий показывает, что единичная мощность агрегатов автомобильных газонаполнительных компрессорных станций должна примерно соответствовать потребляемой мощности АГКС.

В этом случае на автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях устанавливают четыре технологических узла, из которых нормально работают два на разные подсистемы.

При этом третий узел может быть в резерве, а четвертый – в ремонте.

Перспективным является применение «взаимного резервирования» в системе электроснабжения АГКС, когда все четыре источника питания технологических узлов источника находятся в работе и в аварийном режиме обеспечивают питание нагрузки соответствующих узлов системы электроснабжения АГКС.

Такой подход весьма перспективен и надёжен, однако требует применения соответствующих устройств автоматики (АВР) и выбора источников питания (силовых трансформаторов ТП) с учётом питания нагрузки в послеаварийном режиме.

Поскольку потребляемая мощность современных автомобильных газонаполнительных компрессорных станций с учетом нагрузок аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа и сторонних потребителей достигает 2500 кВт, оптимальная единичная мощность силовых трансформаторов такой КС составляет порядка 2000-2500 кВт.

Кроме того, если указанные требования осуществить проблематично либо невозможно, с целью резервирования автомобильных газонаполнительных компрессорных станций рекомендована также установка агрегатов гарантированного питания (АГС). Из выпускаемых промышленностью агрегатов для электростанции наиболее подходят

передвижные автоматизированные электростанции ПАЭС-2500 единичной мощностью 2500 кВт. Однако данный вопрос решается исключительно в стеснённых технических условиях при невозможности качественного резервирования автомобильных газонаполнительных компрессорных станций на основе результатов технико – экономического обоснования.

К системам электроснабжения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГКС) применяются следующие требования согласно [1], а именно:

- обеспечение потребителей электроэнергией, которая соответствует установленным нормируемым показателям качества;
- неукоснительное обеспечения схемы питания электроприёмников согласно их категории надёжности, а также специфическим требованиям технологического процесса;
- обеспечение необходимой перспективы развития, модернизации и реконструкции электрооборудования на всех уровнях;
- обеспечение необходимой степени резервирования, а также секционирования с целью обеспечения надёжности электроснабжения;
- наглядность, безопасность, экономичность и автоматичность.

Электрические сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГКС) проектируются и питаются по типичным электрическим схемам с учётом категорий надёжности потребителей.

Известно, что все потребители электроэнергии делятся на три категории надёжности. 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.

Как правило, источниками питания для отечественных современных автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГКС) малой и средней установленной мощности являются понижающие трансформаторные подстанции энергосистемы с классами напряжения 6(10)/0,4 кВ с установленными на них двумя силовыми трансформаторами

(для питания потребителей I категорий надёжности) с обеспечением резервирования на шинах низкого напряжения.

Известно также, что электрические сети современных автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГКС) могут быть выполнены по одной из следующих схем электроснабжения: радиальной, магистральной или смешанной. Применение той или иной схемы определяется категорией надёжности потребителя, расчётными данными токов короткого замыкания и ударных токов, особенностями технологического процесса, расположением оборудования (потребителей) на территории объекта, а также установленной мощностью объекта и единичных потребителей [1], [4], [9].

При проектировании систем электроснабжения современных автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГКС) на всех звеньях цепи очень важно учесть все указанные нормы согласно [1]-[5].

Особенно сильно влияет на показатели системы электроснабжения уровень и качество компенсации реактивной мощности [1], [3], [11], [19]. В связи с описанными выше процессами, показано, что реактивную мощность необходимо компенсировать. Этот процесс имеет государственное нормативно-правовое обеспечение и, прежде всего, напрямую связан с нормативами [1], [3], [14], [21]. Особенно важно реализовать его на стадии проектирования систем электроснабжения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГКС), поэтому в данной выполняемой работе необходимо выполнить расчёт и выбор мощности компенсирующих устройств.

Также одним из основных аспектов при разработке схем электрических сетей современных автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГКС) является экономичность и выбор оптимального режима с соответствующими техническими решениями (резервирование, секционирование, выбор режима работы, оптимизация технологии и т.д.).

Данные аспекты требований нормативных документов обязательны к применению при разработке и реализации принятых решений (внедрении) автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГКС).

1.2 Характеристика оборудования автомобильной газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок № 6

Автомобильная газонаполнительная компрессорная станция г. Белоярский участок №6 относится к I категории надёжности, поэтому требуют соответствующих проектных решений.

Рассматриваемая в работе автомобильная газонаполнительная компрессорная станция (АГКС) г. Белоярский участок №6 обеспечивают сжиженным компримированным природным газом сеть автомобильных заправок города и района.

По расположению в системе компрессорных станций района она является магистральной.

По потребляемой мощности рассматриваемая АГКС относится к АГКС средней мощности, поэтому, как было указано ранее, её питание рекомендовано осуществлять от шин трансформаторной подстанции энергосистеме.

Однако, согласно тем же рекомендациям, в системе электроснабжения АГКС рекомендуется предусмотреть четыре технологических узла с учётом резервирования таким образом, чтобы каждый из них готов принять полную нагрузку при отказе другого.

Данный аспект также непосредственно реализуется в работе.

Технологический процесс на АГКС включает в себя следующие основные составляющие:

- первичную и вторичную (грубую и тонкую) очистку в сепараторе и фильтрах сырьевого газа от капельной жидкости и механических примесей;

- коммерческий замер газа;
- компрессирование (сжатие) до требуемого давления примерно в 25 МПа с последующим процессом охлаждения после каждой ступени сжатия;
- непосредственную осушку полученного очищенного и сжиженного газа от влаги;
- хранение в специальных герметизированных ёмкостях (аккумуляторах газа) при требуемом давлении 25 МПа;
- непосредственное распределение полученного сжиженного и очищенного газа к газозаправочным колонкам сети автозаправочных станций (АЗС).

Из основного технологического оборудования на АГКС выделяются:

- магистральные насосы, обеспечивающие подачу в систему очищенного газа требуемых характеристик и параметров;
- экономайзерные насосы, обеспечивающие работу экономайзера;
- насос емкостей, который необходим для подачи сжиженного газа в ёмкости, находящиеся на территории АГКС;
- питательный насос – вспомогательный насос для подачи сжиженного, очищенного и обогащённого газа в систему;
- компрессор газа – применяется для сжатия газа до необходимого нормируемого давления;
- вентиляторы охлаждения газа (воздушные холодильники) применяют для осуществления необходимых процессов охлаждения газов и жидкостей, включающих первичный и вторичный цикл конденсации и сжижения газа. Помимо основных вентиляторов, на АГКС также применяются вспомогательные вентиляторы;
- вентиляторы охлаждения градирен предназначен для эффективного охлаждения теплоносителя для прокачки рабочей среды через градирню. Вентиляторы градирни бывают двух видов: осевой и центробежный;
- сепаратор и фильтры сырьевого газа служат для очистки от капельной жидкости и механических примесей.

Все описанные электроприёмники являются основным технологическим оборудованием проектируемой АГКС.

Технические данные перечисленного выше основного технологического оборудования рассматриваемой АГКС напряжением 0,38/0,22 кВ представлены в таблице 1.

Таблица 1– Технические данные оборудования 0,38/0,22 кВ АГКС

№ п/п	Тип двигателя	Мощность приводного двигателя, кВт	Производственный механизм
Секция 1 (Трансформатор Т1)			
1	ВА02-240В4У2	132	Магистральный насос
2	АСИ63 200П	30	Экономазерный насос
3	А71-4	20	Насос емкостей
4	А225М2 У3	55	Питательный насос
5	4АМР180М5	18,5	Привод сепаратора
6	АО93-8	40	Насос фильтров сырьевого газа
7	АО93-8	40	Вентилятор охлаждения газа
8	АИРХН13SS4У3	7,5	Вентилятор вспомогательный
9	А2-92-6	75	Компрессор газа
10	АО2-58-8	7,5	Приточная вентиляция
11	4А160S6У3	11	Вентилятор охлаждения градирен
Всего по секции 1	-	436,5	-
Секция 2 (Трансформатор Т2)			
12	ВА02-240В4У2	132	Магистральный насос
13	АСИ63 200П	30	Экономазерный насос
14	А71-4	20	Насос емкостей
15	А225М2 У3	55	Питательный насос
16	4АМР180М5	18,5	Привод сепаратора
17	АО93-8	40	Насос фильтров сырьевого газа
18	АО93-8	40	Вентилятор охлаждения газа
19	АИРХН13SS4У3	7,5	Вентилятор вспомогательный
20	А280М6 У3	90	Компрессор газа
21	АО2-58-8	7,5	Приточная вентиляция
22	4А160S6У3	11	Вентилятор охлаждения градирен
Всего по секции 2	-	451,5	-

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Тип двигателя	Мощность приводного двигателя, кВт	Производственный механизм
Секция 3 (Трансформатор Т3)			
23	4АН225МУ3	75	Магистральный насос
24	МО160-4	18,5	Экономазерный насос
25	4АМУ205 У3	75	Насос емкостей
26	4А132М2 У3	11	Питательный насос
27	АО93-8	40	Привод сепаратора
28	АО93-8	40	Вентилятор охлаждения газа
29	АД132S4У3	5,5	Вентилятор вспомогательный
30	А280М6 У3	90	Насос фильтров сырьевого газа
31	АО2-58-8	7,5	Приточная вентиляция
32	4А180Н2У3	30	Вентилятор охлаждения градирен
Всего по секции 3	-	392,5	-
Секция 4 (Трансформатор Т4)			
33	4АМУ205 У3	75	Магистральный насос
34	АХВМС20/30	5,5	Экономазерный насос
35	АО2-52-2	13	Насос емкостей
36	АО2-52-2	13	Питательный насос
37	АО93-8	40	Привод сепаратора
38	АО93-8	40	Вентилятор охлаждения газа
39	АД132S4У3	5,5	Вентилятор вспомогательный
40	А280М6 У3	90	Насос фильтров сырьевого газа
41	АО2-58-8	7,5	Приточная вентиляция
42	ВА081-4-У2	40	Вентилятор охлаждения градирен
Всего по секции 4	-	329,5	-

Расположения объектов и потребителей на территории АГКС представлено на графическом листе 1.

2 Разработка системы электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок №6

2.1 Выбор схемы электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции

В системе электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции выделяются внешняя и внутренняя системы электроснабжения.

Для каждой из них необходимо выбрать и обосновать схему электроснабжения.

Известно, что потребители I категории надёжности требуют двух независимых источников питания с наличием резервирования согласно [4].

Питание газонаполнительной компрессорной станции осуществляется от энергосистемы на номинальном напряжении 6 кВ от РП-1 энергосистемы по радиальной двухлучевой схеме (без наличия ответвлений). Указанная схема характеризуется высокой надёжностью и подходит для питания потребителей I категории надёжности, к которым относится рассматриваемая в работе автомобильная газонаполнительная компрессорная станция г. Белоярский участок №6.

В качестве питающих понизительных подстанций (ПС-1 и ПС-2) на рассматриваемой АГКС принимается две двухтрансформаторные подстанции с высшим напряжением 6 кВ и низшим напряжением 0,4 кВ, т.е. ПС-6/0,4 кВ, что обеспечит выполнение приведённых ранее требований, предъявляемых к АГКС нормативными документами и технологическим процессом [1]-[4].

При этом ПС-1 6/0,4 кВ питает технологический узел 1 (ТУ1) от трансформатора Т1, трансформатор Т2 питает технологический узел 2 (ТУ2). В свою очередь ПС-2 6/0,4 кВ питает технологический узел 3 (ТУ3) от трансформатора Т1, трансформатор Т2 питает технологический узел 4 (ТУ4).

В послеаварийном режиме второй трансформатор на понизительных ПС-1 и ПС-2 должен принять на себя нагрузку первого трансформатора (с

учётом отключения потребителей III категории надёжности), а в случае выхода из строя двух трансформаторов на одной из ПС – принять нагрузку всей этой ПС, оставшейся без питания, обеспечивая таким образом необходимое резервирование согласно требованиям [4].

Питание внешней системы электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции (а именно – двух понизительных ПС-6/0,4 кВ) осуществляется от энергосистемы (РП-1) двумя кабельными линиями напряжением 6 кВ, сечение которых выбираются и проверяются в работе далее.

Кроме того, в схеме на питающей ПС-6/0,4 кВ принимается радиальная схема с необходимым уровнем резервирования на шинах низкого напряжения (0,4 кВ) – одиночная секционированная на две секции система сборных шин с устройством автоматического включения резерва (АВР). Такая схема электроснабжения полностью соответствует нормам и требованиям [1]-[4].

Выбранная схема электрических соединений для питающих ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции показана на рисунке 1.

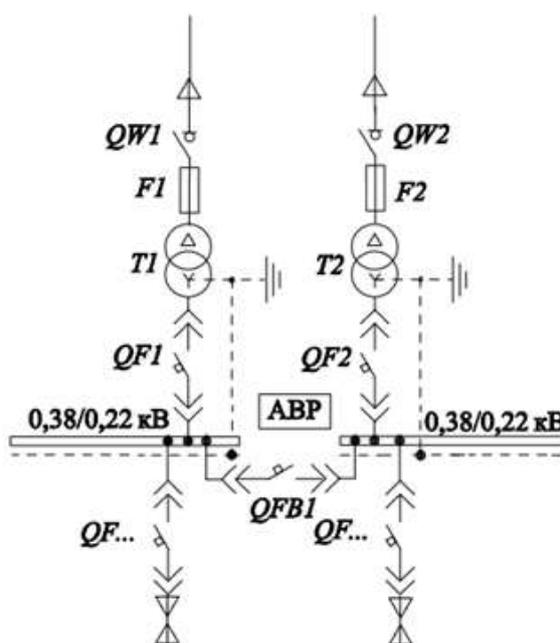


Рисунок 1 – Схема электрических соединений для питающих ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции

Сеть внутреннего электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции для потребителей I категории надёжности проектируется с учётом наличием на питающих трансформаторных подстанциях ПС-1 и ПС-2 двух трансформаторов [1], [2].

Сеть внутреннего электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции, в свою очередь, также выполняется по радиальной схеме.

Известно, что радиальная схема обладает рядом преимуществ (в частности, высокой надёжностью, а также удобством монтажа, эксплуатации и ремонта) [4], [15].

От РУ-0,4 кВ питающих ПС-6/0,4 кВ (ПС-1 и ПС-2) получают питание потребители кабельными линиями электропередач, сечение которых выбирается в работе далее.

Выбранная схема внешнего и внутреннего электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции обеспечивает максимальную близость потребителей электроэнергии к своему источнику питания, сквозное секционирования всех звеньев системы электроснабжения с установкой устройства автоматического включения резерва (АВР), оптимальный режим работы системы электроснабжения с отдельной работой секций при установке двух трансформаторов на каждой питающей ПС-6/0,4 кВ, необходимую надёжность электроснабжения потребителей электроэнергии с учётом резервирования для I категории надёжности в нормальном, форсированном и послеаварийном режимах, а также наглядность, безопасность, экономичности и необходимую степени защиты и автоматизации на всех уровнях системы электроснабжения.

В целом система электроснабжения всех объектов(потребителей) газонаполнительной компрессорной станции также отвечает всем требованиям надёжности и экономичности и подходит для обеспечения питания газонаполнительной компрессорной станции с соблюдением

необходимых требований, предъявляемых к I категории надёжности, к которой относится рассматриваемый в работе объект.

2.2 Расчет электрических нагрузок газонаполнительной компрессорной станции

Расчёт силовых электрических нагрузок газонаполнительной компрессорной станции проводится методом упорядоченных диаграмм [10].

Активная и реактивная нагрузки силовых электроприемников напряжением 0,38/0,22 кВ газонаполнительной компрессорной станции за наиболее загруженную смену [10]:

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

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

где $P_{ном}$ – номинальная активная мощность, кВт;

k_u – коэффициент использования.

Определяется групповой коэффициент использования [10]:

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

где $P_{см}$ – активная нагрузка силовых электроприемников напряжением 0,38/0,22 кВ газонаполнительной компрессорной станции за наиболее загруженную смену, кВт.

Эффективное количество электроприемников [10]

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

Далее определяется коэффициент расчетной нагрузки K_p по [8].

Расчетная активная нагрузка группы электроприемников [10]

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

где k_p – коэффициент расчётной активной нагрузки.

Средневзвешенный коэффициент активной нагрузки $\cos\varphi_{ср.взв}$ [10]:

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

где $\cos\varphi$ – коэффициент активной мощности.

Расчетная реактивная нагрузка [10]:

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

где k_{pp} – коэффициент расчетной реактивной нагрузки.

Полная расчётная нагрузка силовых электроприемников газонаполнительной компрессорной станции напряжением 0,38/0,22 кВ [10]:

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

Расчетный ток группы силовых электроприемников газонаполнительной компрессорной станции напряжением 0,38/0,22 кВ [10]:

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

Пиковый ток силовых электроприемников газонаполнительной компрессорной станции напряжением 0,38/0,22 кВ [10]:

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

где $I_{н.п.}$ – наибольший пусковой ток электроприемника в рассматриваемой группе, А;

I_n – номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током в рассматриваемой группе, А.

В работе детально рассматривается расчет силовых электрических нагрузок напряжением 0,38/0,22 кВ на примере секции 1, которую питает силовой трансформатор Т1 ПС-6/0,4 кВ.

Активная и реактивная нагрузки за наиболее загруженную смену для электроприёмника №1 (подпиточный насос ППН-18) секции 1 газонаполнительной компрессорной станции по (1) и (2):

$$P_{см} = 132 \cdot 0,8 = 96,1 \text{ кВт.}$$

$$Q_{см} = 96,1 \cdot 0,46 = 44,2 \text{ квар.}$$

Аналогично определяются значения $P_{см}$ и $Q_{см}$ для остальных электроприёмников 0,38/0,22 кВ газонаполнительной компрессорной станции и результаты приводятся в таблице 2.

Групповой коэффициент использования секции 1 (питающий трансформатор – Т1 ПС-6/0,4 кВ) газонаполнительной компрессорной станции по (3)

$$k_u = 0,83.$$

Определяется эффективное количество электроприемников секции 1 (трансформатор Т1) газонаполнительной компрессорной станции по (4)

$$n_{\text{э}} = 8,67 \text{ шт.}$$

Далее определяется коэффициент расчетной нагрузки $K_p = 1,28$ [10].

Расчетная активная нагрузка группы электроприемников секции 1 (питающий трансформатор – Т1 ПС-6/0,4 кВ) газонаполнительной компрессорной станции по (5)

$$P_p = 320,04 \cdot 1,28 = 409,65 \text{ кВт.}$$

Средневзвешенный коэффициент активной нагрузки секции 1 (питающий трансформатор – Т1 ПС-6/0,4 кВ) газонаполнительной компрессорной станции по (6)

$$\cos\varphi_{\text{ср.взв}} = 0,84.$$

Тогда

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср.взв}} = 0,65.$$

Расчетная реактивная нагрузка секции 1 (питающий трансформатор – Т1 ПС-6/0,4 кВ) газонаполнительной компрессорной станции определяется по (7)

$$Q_p = 1,1 \cdot 0,65 \cdot 409,65 = 292,9 \text{ квар.}$$

Определяется полная расчётная нагрузка секции 1 (питающий трансформатор – Т1 ПС-6/0,4 кВ) газонаполнительной компрессорной станции по (8)

$$S_p = \sqrt{409,65^2 + 292,9^2} = 503,6 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток группы электроприемников секции 1 (питающий трансформатор – Т1 ПС-6/0,4 кВ) газонаполнительной компрессорной станции по (9)

$$I_p = \frac{503,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 774,8 \text{ А.}$$

Тогда пиковый ток секции 1 (питающий трансформатор – Т1 ПС-6/0,4 кВ) газонаполнительной компрессорной станции по (10)

$$I_{\text{пик}} = 1611,7 + (774,8 - 0,8 \cdot 248) = 2188,1 \text{ А.}$$

Кроме того, для дальнейшего выбора кабелей и электрических аппаратов для отдельных электроприёмников, необходимо также рассчитать их номинальный ток, исходя из того, что все они являются электродвигателями.

Расчетный ток электродвигателя [8]:

$$I_p = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_c \cdot \cos\varphi_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}}}, \text{ А,} \quad (11)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

U_c – номинальное напряжение сети, кВ;

$\cos\varphi_{\text{ном}}$ – номинальный коэффициент мощности электродвигателя;

$\eta_{\text{ном}}$ – номинальный КПД электродвигателя.

Для электроприёмника №1 газонаполнительной компрессорной станции (подпиточный насос ППН)

$$I_p = \frac{132}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,91 \cdot 0,9} = 248,0 \text{ A.}$$

Пусковой ток электродвигателя определяется [8]:

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_p, \quad (12)$$

где $K_{\text{пуск}}$ – коэффициент пуска, т.е. кратность пускового тока $I_{\text{пуск}}$ по отношению к номинальному $I_{\text{ном}}$.

Для электроприёмника №1 газонаполнительной компрессорной станции (подпиточный насос)

$$I_{\text{пуск}} = 6,5 \cdot 248 = 1611,7 \text{ A.}$$

Результаты расчета силовых электрических нагрузок для секции 1 газонаполнительной компрессорной станции приведены в таблице 2.

Аналогично проводится расчёт нагрузок для остальных секций 2-4 ПС-1 и ПС-2 напряжениями 6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции и результаты расчётов также приводятся в таблице 2.

Кроме того, исходя из удельной площади помещений с учётом наружного освещения и источников (светодиодных светильников), в работе усреднённо (по средним технологическим нормам для АГНКС) принимается 2,5 кВт на освещение каждого технологического узла, 1 кВт – на освещение ёмкостей, 5 кВт – на освещение наружной территории, 1 кВт – суммарное аварийное освещение.

Итого активной осветительной нагрузки территории (по усреднённым типичным характеристикам)

$$P_o = 2,5 \cdot 4 + 1 \cdot 4 + 5 + 1 = 20 \text{ кВт.}$$

Реактивная составляющая осветительной нагрузки территории с учётом выбранных источников света (светодиодные светильники)

$$Q_o = 20 \cdot 0,33 = 6,6 \text{ квар.}$$

Полная осветительная нагрузка территории с учётом выбранных источников света (светодиодные светильники)

$$S_o = \sqrt{20^2 + 6,6^2} = 21,06 \text{ кВА.}$$

Расчётный ток осветительной нагрузки территории

$$I_o = \frac{21,06}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 32,4 \text{ А.}$$

Освещение в работе представлено щитками рабочего освещения (2 шт.) и аварийного освещения (2 шт.).

Они питаются от разных силовых трансформаторов своих ПС и равномерно распределяется между секциями 0,38/0,22 кВ ПС-1 и ПС-2.

Полученные результаты расчётных нагрузок как объектов, так и газонаполнительной компрессорной станции в целом, используются в работе далее при выборе силовых трансформаторов на питающих ПС-6/0,4 кВ, а также кабельных линий и электрических аппаратов.

Таблица 2– Расчет силовых нагрузок 0,38/0,22 кВ газонаполнительной компрессорной станции

Электроприёмник	Кол-во, шт	Установленная мощность, кВт		K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену		n_s	K_p	Максимальные расчетные нагрузки				
		$P_{ном.}$	$P_{ном общ}$				$P_{см.,кВТ}$	$Q_{см.,квар}$			$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$	$I_n, А.$
Секция 1 (Т1 ПС-1)															
Магистральный насос	1	132	132	0,8	0,91	0,46	96,10	44,20						248,0	1611,7
Экономазерный насос	1	30	30	0,85	0,85	0,62	21,68	13,44						60,3	331,8
Насос емкостей	1	20	20	0,7	0,82	0,70	11,48	8,04						41,7	229,3
Питательный насос	1	55	55	0,8	0,88	0,54	38,72	20,91						106,8	587,6
Привод сепаратора	1	18,5	18,5	0,7	0,82	0,70	10,62	7,43						38,6	192,8
Насос фильтров сырьевого газа	1	40	40	0,9	0,87	0,57	31,32	17,85						78,6	408,7
Вентилятор охлаждения газа	1	40	40	0,95	0,87	0,57	33,06	18,84						78,6	408,7
Вентилятор вспомогательный	1	7,5	7,5	0,95	0,79	0,78	5,63	4,39						16,2	64,9
Компрессор газа	1	75	75	0,9	0,89	0,51	60,08	30,64						142,1	781,7
Приточная вентиляция	1	7,5	7,5	0,95	0,79	0,78	5,63	4,39						16,2	64,9
Вентилятор охлаждения градирен	1	11	11	0,65	0,80	0,75	5,72	4,29						23,5	105,8
Итого по секции 1	11	-	436,5	0,83	0,84	0,65	320,04	174,42	8,67	1,28	409,65	292,9	503,6	774,8	2188,1
Секция 2 (Т2 ПС-1)															
Магистральный насос	1	132	132	0,8	0,91	0,46	96,10	44,20						248,0	1611,7
Экономазерный насос	1	30	30	0,85	0,85	0,62	21,68	13,44						60,3	331,8
Насос емкостей	1	20	20	0,7	0,82	0,70	11,48	8,04						41,7	229,3
Питательный насос	1	55	55	0,8	0,88	0,54	38,72	20,91						106,8	587,6
Привод сепаратора	1	18,5	18,5	0,7	0,82	0,70	10,62	7,43						38,6	192,8
Насос фильтров сырьевого газа	1	40	40	0,9	0,87	0,57	31,32	17,85						78,6	408,7
Вентилятор охлаждения газа	1	40	40	0,95	0,87	0,57	33,06	18,84						78,6	408,7
Вентилятор вспомогательный	1	7,5	7,5	0,95	0,79	0,78	5,63	4,39						16,2	64,9
Компрессор газа	1	90	90	0,9	0,91	0,46	73,71	33,91						169,1	1098,9
Приточная вентиляция	1	7,5	7,5	0,95	0,79	0,78	5,63	4,39						16,2	64,9
Вентилятор охлаждения градирен	1	11	11	0,65	0,80	0,75	5,72	4,29						23,5	105,8
Итого по секции 2	11	-	451,5	0,83	0,85	0,62	333,67	177,69	8,84	1,28	427,1	291,28	516,9	795,3	2208,6

Продолжение таблицы 2

Электроприёмник	Кол-во, шт	Установленная мощность, кВт		K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену		n_s	K_p	Максимальные расчетные нагрузки				
		$P_{ном}$	$P_{ном общ}$				$P_{см}, кВт$	$Q_{см}, квар$			$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$	$I_n, А$
Секция 3 (Т1 ПС-2)															
Магистральный насос	1	75	75	0,8	0,91	0,46	54,60	25,12						142,1	781,7
Экономазерный насос	1	18,5	18,5	0,7	0,82	0,70	10,62	7,43						38,6	192,8
Насос емкостей	1	75	75	0,8	0,88	0,54	52,80	28,51						142,1	781,7
Питательный насос	1	11	11	0,7	0,82	0,70	6,31	4,42						23,5	105,8
Привод сепаратора	1	40	40	0,9	0,87	0,57	31,32	17,85						78,6	408,7
Вентилятор охлаждения газа	1	40	40	0,95	0,87	0,57	33,06	18,84						78,6	408,7
Вентилятор вспомогательный	1	5,5	5,5	0,95	0,79	0,78	4,13	3,22						11,9	47,6
Насос фильтров сырьевого газа	1	90	90	0,9	0,91	0,46	73,71	33,91						169,1	1098,9
Приточная вентиляция	1	7,5	7,5	0,95	0,79	0,78	5,63	4,39						16,2	64,9
Вентилятор охлаждения градирен	1	30	30	0,65	0,80	0,75	15,60	11,70						60,3	331,8
Итого по секции 3	10	-	392,5	0,83	0,85	0,62	287,78	155,39	7,57	1,21	348,21	237,48	421,48	648,43	1316,5
Секция 4 (Т2 ПС-2)															
Магистральный насос	1	75	75	0,8	0,91	0,46	54,60	25,12						142,1	781,7
Экономазерный насос	1	5,5	5,5	0,7	0,79	0,78	3,04	2,37						11,9	47,6
Насос емкостей	1	13	13	0,7	0,82	0,70	7,46	5,22						27,1	121,9
Питательный насос	1	13	13	0,7	0,82	0,70	7,46	5,22						27,1	121,9
Привод сепаратора	1	40	40	0,9	0,87	0,57	31,32	17,85						78,6	408,7
Вентилятор охлаждения газа	1	40	40	0,95	0,87	0,57	33,06	18,84						78,6	408,7
Вентилятор вспомогательный	1	5,5	5,5	0,95	0,79	0,78	4,13	3,22						11,9	47,6
Насос фильтров сырьевого газа	1	90	90	0,9	0,91	0,46	73,71	33,91						169,1	1098,9
Приточная вентиляция	1	7,5	7,5	0,95	0,79	0,78	5,63	4,39						16,2	64,9
Вентилятор охлаждения градирен	1	40	40	0,65	0,87	0,57	22,62	12,89						78,6	408,7
Итого по секции 4	10	-	329,5	0,82	0,84	0,65	243,03	129,03	6,91	1,19	289,21	206,79	355,52	546,97	1215,0
Освещение											20,0	6,6	21,06	32,4	-
Всего по АГКС	42	-	1610	0,83	0,84	0,65					1494,17	1035,05	1797,5	2765,5	6928,2

2.3 Выбор трансформаторов ТП газонаполнительной компрессорной станции

Выбор силовых трансформаторов для установки на питающих ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции производится по материалам [13], [22].

Мощность силового трансформатора на питающей ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции определяется из соотношения

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (13)$$

где $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, установленного на ПС-6/0,4 кВ, кВА;

$S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность силового трансформатора, установленного на ПС-6/0,4 кВ, кВА;

$P_{\text{р.}}$ – суммарная активная нагрузка объектов газонаполнительной компрессорной станции, которые получают питание от ПС-6/0,4 кВ, кВт;

N – число трансформаторов на питающей ПС-6/0,4 кВ, шт;

$\beta_{\text{т}}$ – коэффициент загрузки трансформатора на питающей ПС-6/0,4 кВ [1].

По (13) для ПС-1 (трансформаторы Т1 и Т2 – секции 1 и 2) газонаполнительной компрессорной станции с учётом освещения

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{409,65 + 427,1 + 10}{2 \cdot 0,8} = 529,22 \text{ кВА.}$$

По (13) для ПС-2 (трансформаторы Т1 и Т2 – секции 3 и 4) газонаполнительной компрессорной станции с учётом освещения

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{348,21 + 289,21 + 10}{2 \cdot 0,8} = 404,64 \text{ кВА.}$$

По результатам расчёта из каталога [15] выбран для установки на питающих подстанциях 6/0,4 кВ ПС-1 и ПС-2 силовой трансформатор марки ТСГЛ-630/6-УЗ. В работе выбран сухой трансформатор марки ТСГЛ исходя из требований пожаро- и взрывобезопасности на газонаполнительной компрессорной станции (сухие трансформаторы менее опасны в этом плане, чем масляные). Кроме того, во внимание принимается фактор, учитывающий снижение затрат на плановые ремонты и техническое обслуживание, а также объем снижения потерь электроэнергии холостого хода и короткого замыкания в силовых трансформаторах сухого типа. Поэтому их применение на питающих подстанциях 6/0,4 кВ ПС-1 и ПС-2 является обоснованным.

Конструктивно питающие подстанции 6/0,4 кВ ПС-1 и ПС-2 выполнены в виде одноэтажного сооружения с кабельными вводами и состоит из двух сухих силовых трансформаторов типа ТСГЛ-630/6-УЗ, а также распределительных устройств 6 кВ и 0,4 кВ.

Для проверки выбранных трансформаторов, согласно [3], действительные значения коэффициентов загрузки сравниваются с допустимыми значениями.

Проверка в нормальном режиме [15], [20]

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{\text{ном.т}}} \leq 0,85. \quad (14)$$

Проверка в послеаварийном режиме [15], [22]

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{\text{ном.т}}} \leq 1,7. \quad (15)$$

Для обоих ПС-6/0,4 кВ условия проверок силовых трансформаторов в нормальном и послеаварийном режимах выполняются

$$K_{зПС-1}^н = \frac{503,6 + 516,9}{630 \cdot 2} = 0,81 \leq 0,85.$$

$$K_{зПС-2}^н = \frac{421,48 + 355,52}{630 \cdot 2} = 0,62 \leq 0,85.$$

$$K_{зПС-1}^{н.ав} = \frac{503,6 + 516,9}{630 \cdot (2-1)} = 1,62 \leq 1,7.$$

$$K_{зПС-2}^{н.ав} = \frac{421,48 + 355,52}{630 \cdot (2-1)} = 1,23 \leq 1,7.$$

Окончательно принимаются к установке на питающих подстанциях 6/0,4 кВ ПС-1 и ПС-2 газонаполнительной компрессорной станции два силовых трансформатора сухого типа марки ТСГЛ-630/6, которые удовлетворяют условиям выбора и проверок. Конструкция выбранного типа трансформатора для установки на питающих ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции представлена на рисунке 2.

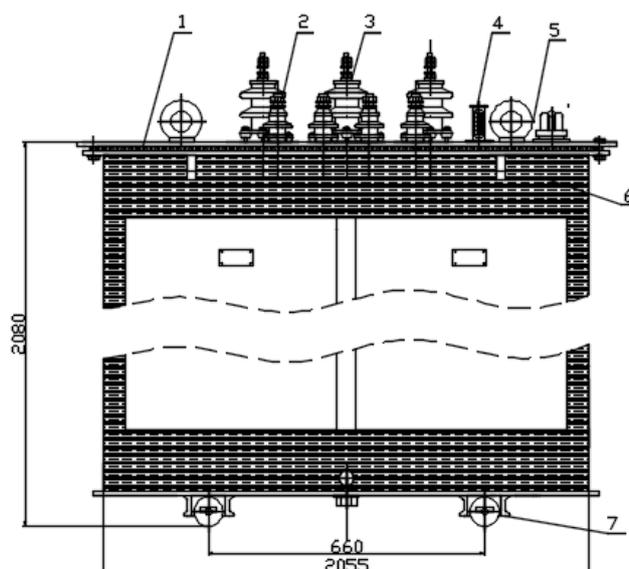


Рисунок 2 – Конструкция сухого трансформатора марки ТСГЛ-630/6: 1 – корпус; 2 – ввод ВН; 3 – ввод НН; 4 – термометр; 5 – рым-болт; 6 – защитный кожух; 7 – катки

Схемы питающих ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции после выбора силовых трансформаторов, представлены на рисунке 3.

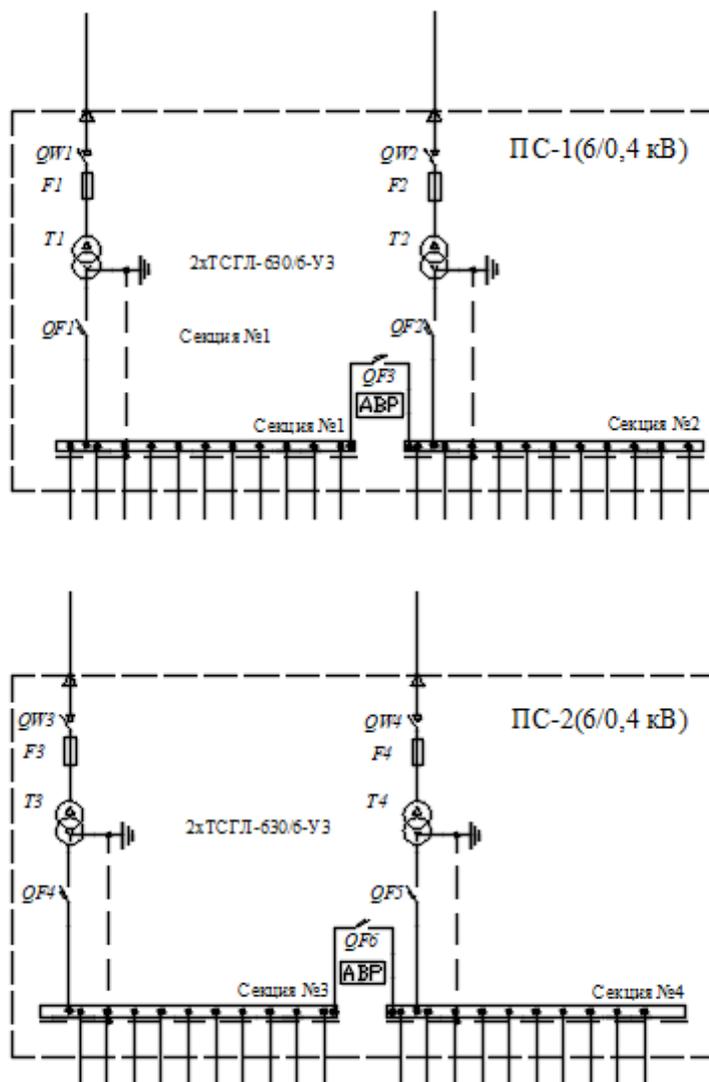


Рисунок 3 – Схемы питающих ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции после выбора силовых трансформаторов

Питание ПС-1 и ПС-2 осуществляется по радиальной схеме. На стороне ВН (6 кВ) для защиты выбранных силовых трансформаторов устанавливаются выключатель нагрузки и предохранитель. На стороне НН (0,4 кВ) для этой цели используется автомат ввода. От секций 1-4 ПС-1 и ПС-2 отходят кабельные линии к потребителям 0,38/0,22 кВ.

2.4 Выбор компенсирующих устройств на ТП газонаполнительной компрессорной станции

Согласно нормативным положениям, приведённым в [4], [12], необходимо определить входную реактивную мощность на питающих ПС-6/0,4 кВ, исходя из расчётной нагрузки газонаполнительной компрессорной станции, мощности и количества силовых трансформаторов на питающих ПС-6/0,4 кВ с учётом нормированного коэффициента загрузки трансформаторов на подстанциях

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.Т}})^2 - P_p^2}, \quad (16)$$

где N – число трансформаторов на питающей ПС-6/0,4 кВ, шт.;

β_T – коэффициент загрузки трансформаторов ПС-6/0,4 кВ (установленное значение).

Мощность конденсаторных установок (КУ) с конденсаторами напряжением 0,4 кВ для их установки на питающей ПС-6/0,4 кВ (групповая компенсация РМ)

$$Q_{\text{н.к}} = Q_p - Q_T, \quad (17)$$

где Q_p – реактивная нагрузка на шинах ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции, квар.

Мощность регулируемой части КУ принимается, исходя из максимальных нагрузок и нормативного значения коэффициента мощности:

$$Q_{\text{н.к.р}} = Q_{\text{р.т}} - Q_{\text{н.к}} - P_{\text{р.ТП}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{н}}, \quad (18)$$

где $\text{tg}\varphi_{\text{н}} = 0,329$ – коэффициент реактивной мощности при $\cos\varphi_{\text{н}} = 0,95$.

Суммарная расчетная мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{КУ} = Q_{н.к.} + Q_{н.к.р.} \quad (19)$$

С учётом установки компенсирующих устройств на питающей ПС-6/0,4 кВ, её полная мощность равна:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p^2 - Q_{КУ})}. \quad (20)$$

Фактический коэффициент загрузки трансформаторов на питающей ПС-6/0,4 кВ с учётом установки КУ в нормальном режиме работы составит:

$$K_3 = \frac{S_p}{N_m \cdot S_{ном.т}}. \quad (21)$$

Согласно приведённой расчётной методике, проводится расчёт и выбор компенсирующих устройств для установки на питающих ПС-6/0,4 кВ (в работе применяется групповая компенсация реактивной мощности).

Для первой питающей подстанции 6/0,4 кВ ПС-1

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 630)^2 - (409,65 + 427,1 + 10)^2} = 596,88 \text{ квар.}$$

$$Q_{н.к.} = (292,9 + 291,28 + 3,3) - 596,88 = -9,4 \text{ квар.}$$

Для первой питающей подстанции 6/0,4 кВ ПС-1

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 630)^2 - (348,21 + 289,21 + 10)^2} = 772,6 \text{ квар.}$$

$$Q_{н.к.} = (237,48 + 206,79 + 3,3) - 772,6 = -325,03 \text{ квар.}$$

Т.к. $Q_{н.к} < 0$ на обеих питающих подстанциях 6/0,4 кВ ПС-1 и ПС-2, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на данных ПС-6/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции не устанавливаются.

Расчётная нагрузка питающих ПС-6/0,4 кВ принимается равной суммарной нагрузке объектов газонаполнительной компрессорной станции, которая была получена в результате расчёта электрических нагрузок ранее.

2.5 Выбор и проверка сечения кабельных линий

Для выбора сечения кабеля рассчитывается рабочий ток нормального режима кабельной линии

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (22)$$

Максимальный расчётный ток линии с двумя силовыми кабелями (послеаварийный режим работы)

$$I_{p.max} = 1,4 I_{p.} \quad (23)$$

Проверка сечения в послеаварийном режиме [1]:

$$I_{дон} \geq I_{p.max}, \quad (24)$$

где $I_{дон}$ – табличное значение длительно – допустимого тока силового кабеля выбранного стандартного сечения, А [1];

$I_{p.max}$ – расчётное значение максимального тока участка, А.

Выбор сечения питающей кабельной линии напряжением 6 кВ проводится по условию:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\text{э}}}, \quad (25)$$

где $j_{\text{э}}$ – плотность тока, А/мм².

Проводится выбор силовых кабелей для питания ПС-6/0,4 кВ от шин РП-6 кВ энергосистемы.

На двух ПС-6/0,4 кВ (ПС-1 и ПС-2) установлены силовые трансформаторы мощностью 630 кВА, следовательно, выбор кабелей 6 кВ для них будет одинаков:

$$I_{\text{р.}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 60,6 \text{ А.}$$

$$F_{\text{э}} = \frac{60,6}{1,6} = 37,9 \text{ мм}^2.$$

Согласно [1], выбирается ближайшее номинальное сечение кабельной линии $F = 35 \text{ мм}^2$, $I_{\text{дон}}=125 \text{ А}$ (прокладка кабеля – в земле, отклонений от стандартных условий прокладки нет).

Максимальный расчётный ток кабельной линии, питающей ПС-6/0,4 кВ

$$I_{\text{р. max}} = 1,4 \cdot 60,6 = 84,84 \text{ А.}$$

Условие проверки выполняется

$$125 \text{ А} \geq 84,84 \text{ А.}$$

Окончательно выбираются питающие кабели к силовым трансформаторам ПС-1 и ПС-2 марки АСБ-6 (3x35).

Выбор и проверка кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ проводится по допустимому нагреву токами нормального и послеаварийного режима. Количество кабелей в данном случае зависит от категории надёжности потребителей газонаполнительной компрессорной станции.

Выбирается сечение кабельных линий, питающих потребители от шин напряжением 0,4 кВ питающих ПС-6/0,4 кВ. Принимаются к использованию в сети 0,38/0,22 кВ силовые негорючие кабели марки ВВГнг-LS (кабель с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ пониженной пожарной опасности). Проводится выбор кабеля на примере подпиточного насоса, расчётный ток $I_p = 248,0$ А. Для питания данного потребителя от шин 0,4 кВ ПС-1 предварительно выбирается кабель марки ВВГнг-LS (5×120) с $I_{доп} = 280$ А [4]. Условие проверки по нагреву током нормального режима с учётом поправочных коэффициентов K_n (зависят от количества кабелей в одной траншее, а также от отклонений от нормальных условий прокладки) выполняются

$$I'_{доп} = 0,9 \cdot 280 = 252 \text{ А} \geq 248 \text{ А.}$$

Аналогично проводится выбор остальных кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ и результаты расчёта приводятся в таблице 3.

Таблица 3–Результаты выбора кабельных линий 0,38/0,22 кВ

Наименование	Количество кабелей, шт.	Марка кабеля	$I_{доп},$ А	K_n	$I'_{доп},$ А
Секция 1 (Т1 ПС-1)					
Магистральный насос	1	ВВГнг-LS (5×120)	280	0,9	252
Экономазерный насос	1	ВВГнг-LS (5×16)	78	0,9	70,2
Насос емкостей	1	ВВГнг-LS (5×10)	58	0,9	52,2
Питательный насос	1	ВВГнг-LS (5×35)	127	0,9	114,3
Привод сепаратора	1	ВВГнг-LS (5×10)	58	0,9	52,2

Продолжение таблицы 3

Наименование	Количество кабелей, шт.	Марка кабеля	$I_{доп}, A$	K_n	$I'_{доп}, A$
Насос фильтров сырьевого газа	1	ВВГнг-LS (5×25)	104	0,9	93,6
Вентилятор охлаждения газа	1	ВВГнг-LS (5×25)	104	0,9	93,6
Вентилятор вспомогательный	1	ВВГнг-LS (5×2,5)	25	0,9	22,5
Компрессор газа	1	ВВГнг-LS (5×70)	196	0,9	176,4
Приточная вентиляция	1	ВВГнг-LS (5×2,5)	25	0,9	22,5
Вентилятор охлаждения град-н	1	ВВГнг-LS (5×4)	33	0,9	29,7
Секция 2 (Т2 ПС-1)					
Магистральный насос	1	ВВГнг-LS (5×120)	280	0,9	252
Экономазерный насос	1	ВВГнг-LS (5×16)	78	0,9	70,2
Насос емкостей	1	ВВГнг-LS (5×10)	58	0,9	52,2
Питательный насос	1	ВВГнг-LS (5×35)	127	0,9	114,3
Привод сепаратора	1	ВВГнг-LS (5×10)	58	0,9	52,2
Насос фильтров сырьевого газа	1	ВВГнг-LS (5×25)	104	0,9	93,6
Вентилятор охлаждения газа	1	ВВГнг-LS (5×25)	104	0,9	93,6
Вентилятор вспомогательный	1	ВВГнг-LS (5×2,5)	25	0,9	22,5
Компрессор газа	1	ВВГнг-LS (5×70)	196	0,9	176,4
Приточная вентиляция	1	ВВГнг-LS (5×2,5)	25	0,9	22,5
Вентилятор охлаждения град-н	1	ВВГнг-LS (5×4)	33	0,9	29,7
Секция 3 (Т1 ПС-2)					
Магистральный насос	1	ВВГнг-LS (5×70)	196	0,9	176,4
Экономазерный насос	1	ВВГнг-LS (5×10)	58	0,9	52,2
Насос емкостей	1	ВВГнг-LS (5×70)	196	0,9	176,4
Питательный насос	1	ВВГнг-LS (5×4)	33	0,9	29,7
Привод сепаратора	1	ВВГнг-LS (5×25)	104	0,9	93,6
Вентилятор охлаждения газа	1	ВВГнг-LS (5×25)	104	0,9	93,6
Вентилятор вспомогательный	1	ВВГнг-LS (5×2,5)	25	0,9	22,5
Насос фильтров сырьевого газа	1	ВВГнг-LS (5×70)	196	0,9	176,4
Приточная вентиляция	1	ВВГнг-LS (5×2,5)	25	0,9	22,5
Вентилятор охлаждения град-н	1	ВВГнг-LS (5×16)	78	0,9	70,2
Секция 4 (Т2 ПС-2)					
Магистральный насос	1	ВВГнг-LS (5×70)	196	0,9	176,4
Экономазерный насос	1	ВВГнг-LS (5×2,5)	25	0,9	22,5
Насос емкостей	1	ВВГнг-LS (5×6)	42	0,9	37,8
Питательный насос	1	ВВГнг-LS (5×6)	42	0,9	37,8
Привод сепаратора	1	ВВГнг-LS (5×25)	104	0,9	93,6
Вентилятор охлаждения газа	1	ВВГнг-LS (5×25)	104	0,9	93,6
Вентилятор вспомогательный	1	ВВГнг-LS (5×2,5)	25	0,9	22,5
Насос фильтров сырьевого газа	1	ВВГнг-LS (5×70)	196	0,9	176,4
Приточная вентиляция	1	ВВГнг-LS (5×2,5)	25	0,9	22,5
Вентилятор охлаждения град-н	1	ВВГнг-LS (5×25)	104	0,9	93,6

Все выбранные кабельные линии напряжением 6 кВ и 0,38/0,22 кВ соответствуют требуемым условиям выбора и проверок.

Они показаны в графической части работы.

2.6 Расчет токов короткого замыкания

Для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции, составляется расчётная схема и схема замещения для данного участка сети (рисунок 4). Величина базисного напряжения $U_б$ принимается выше номинального напряжения сети на 5%. Выбираются расчетные точки короткого замыкания К1, К2 и К3.

Базисные условия (базисная мощность в работе принята равной мощности силового трансформатора на питающих ПС-6/0,4 кВ, базисные напряжения – это номинальные значения напряжений ВН и НН питающих ПС-6/0,4 кВ), то есть: $S_б = 0,63$ МВА; $U_{ВН} = 6,3$ кВ; $U_{НН} = 0,4$ кВ.

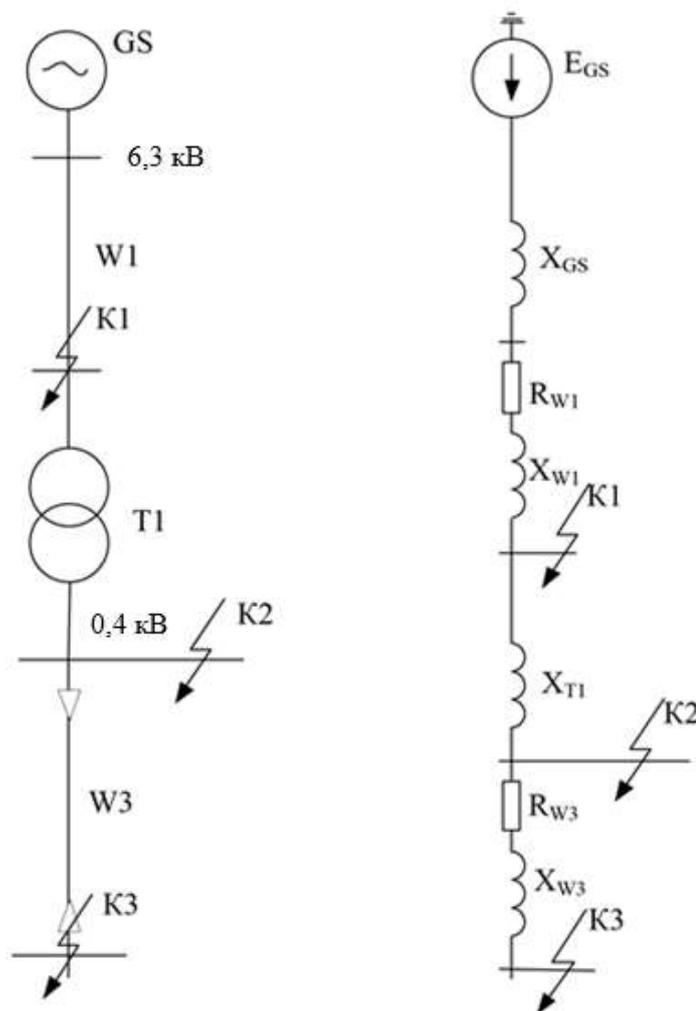


Рисунок 4– Однолинейная расчетная схема и схема замещения сети

Рассчитывается базисный ток для стороны высшего и низшего напряжения:

$$I_B = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (26)$$

$$I_{B.VH} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,058 \text{ кА.}$$

$$I_{B.BH} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,91 \text{ кА.}$$

Расчет параметров схемы в относительных единицах.

Определяется сопротивление элементов схемы замещения.

Принимается факт, что мощность источника электроэнергии (энергосистемы) $E_c = 1$, соответственно, индуктивное сопротивление $x_c = 0,005$ о.е.

Индуктивное сопротивление кабельной линии:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}. \quad (27)$$

где $X_{уд.W1}$ - удельное сопротивление линии, Ом/км;

L - длина линии, км.

Индуктивное сопротивление питающей кабельной линии W1 (номинальное напряжение – 6 кВ):

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{6,3^2} = 0,007 \text{ о.е.}$$

Активное сопротивление кабельной линии:

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}. \quad (28)$$

где $R_{уд.W1}$ – удельное активное сопротивление линии [1].

Активное сопротивление питающей кабельной линии W1 (6 кВ):

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{6,3^2} = 0,008 \text{ о.е.}$$

Находится индуктивное сопротивление трансформатора ПС-6/0,4 кВ

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{К.З.}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{H.T}}. \quad (29)$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,63}{0,63} = 0,0525 \text{ о.е.}$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии W3

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,053 \text{ о.е.}$$

Определяется активное сопротивление кабельной линии W3

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,366 \text{ о.е.}$$

Проводится расчет токов КЗ в расчётной точке К1.

Полное сопротивление цепи короткого замыкания до точки К1

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (30)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,005 + 0,007)^2 + 0,008^2} = 0,014 \text{ o.e.}$$

Расчёт токов КЗ при трёхфазном коротком замыкании в расчётных точках

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}. \quad (31)$$

Рассчитывается значение трёхфазного тока КЗ в расчётной точке К1

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0,014} \cdot 0,058 = 4,14 \text{ кА.}$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}. \quad (32)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,005 + 0,007 + 0,0525)^2 + 0,008^2} = 0,068 \text{ o.e.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,068} \cdot 0,91 = 13,38 \text{ кА.}$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в точке К3

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (33)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,005 + 0,007 + 0,0525 + 0,053)^2 + (0,008 + 0,366)^2} = 0,698 \text{ o.e.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,698} \cdot 0,91 = 1,31 \text{ кА.}$$

Значение ударного тока трёхфазного КЗ:

$$I_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (34)$$

где $K_{y\delta}$ – значение ударного коэффициента (по справочным данным) [7].

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке К1

$$I_{y\delta.\kappa1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 4,14 = 8,18 \text{ кА.}$$

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке К2

$$I_{y\delta.\kappa2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 13,38 = 18,92 \text{ кА.}$$

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке К3

$$I_{y\delta.\kappa3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,31 = 1,85 \text{ кА.}$$

Расчет токов двухфазного короткого замыкания осуществляется по выражению

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (35)$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К1

$$I_{\kappa1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,14 = 3,59 \text{ кА.}$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К2 определяется таким образом

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 13,38 = 11,59 \text{ кА.}$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К3 определяется таким образом

$$I_{к3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,31 = 1,13 \text{ кА.}$$

Полученные результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции

Точка КЗ	U _Б , кВ	I _Б , кА	Z _Σ	K _{уд}	I ⁽³⁾ кА	I ⁽²⁾ кА	I _{уд} , кА
К1	10,5	0,03	0,014	1,40	4,14	3,59	8,18
К2	0,4	0,91	0,068	1,00	13,38	11,59	18,92
К3	0,4	0,91	0,698	1,00	1,31	1,13	1,85

На основе полученных результатов расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции, далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 6 кВ и 0,38/0,22 кВ газонаполнительной компрессорной станции.

2.7 Проверка сечения высоковольтных кабелей на термическую стойкость

Согласно полученным в работе значениям токов короткого замыкания в расчётной точке К1 (сеть 6 кВ), проверяется принятые ранее сечения питающей кабельной линии напряжением 6 кВ на термическую стойкость при токах короткого замыкания.

При этом стандартного сечение кабельной линии, выбранное в работе ранее, должно быть не меньше расчётного сечения, полученного в результате расчёта с учётом термического действия тока трёхфазного короткого замыкания (максимального значения).

Термически стойкое сечение к току трёхфазного КЗ для кабельной линии определяется так:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \quad (36)$$

где B_K – тепловой импульс тока КЗ, $A^2 \cdot c$;

C – тепловой коэффициент, в работе принимается равным для кабелей 90 $A \cdot c^{\frac{1}{2}}$.

Проверяется выбранное сечение питающей кабельной линии напряжением 6 кВ

$$B_K = 4,14^2 \cdot 0,1 = 1,73 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{1,73 \cdot 10^6}}{90} = 14,5 \text{ мм}^2.$$

Сечение питающей кабельной линии напряжением 6 кВ удовлетворяет требованиям термической устойчивости ($35 \text{ мм}^2 > 14,5 \text{ мм}^2$).

2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов

Для защиты и коммутации питающей сети напряжением 6 кВ применяются высоковольтные выключатели, установленные в ячейках питающего РП-6 кВ энергосистемы.

Выбор этих выключателей высокого напряжения проводится по номинальным параметрам напряжения и рабочего тока [6]-[8]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (37)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n; \quad (38)$$

- проверка выключателя на симметричный ток отключения

$$I_{nt} \leq I_{откл}; \quad (39)$$

- проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ [7]

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (40)$$

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}; \quad (41)$$

- на электродинамическую устойчивость [6]-[8]:

$$i_y \leq i_{нр.с}; \quad (42)$$

- на термическую стойкость по значению теплового импульса КЗ [6]-[8]

$$B_k \leq I_T^2 t_T; \quad (43)$$

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (44)$$

Распределительный пункт 6 кВ РП-6 кВ энергосистемы, от которого получают питание ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции, представляет собой комплектное распределительное устройство внутренней установки. Конструктивно оно выполнено с использованием ячеек КУ-10С, в которых непосредственно используется выкатной элемент в сборе с выключателями высокого напряжения и трансформаторами тока. Ремонтное положение выкатного элемента обеспечивает видимый разрыв, поэтому в них не устанавливаются разъединители. Ячейки поставляются с предприятия – изготовителя полностью собранными и укомплектованными, при монтаже необходимо их установить согласно проекту, сфазировать и подключить в работу.

Выбор выключателей 6 кВ, устанавливаемый в ячейках 6 кВ на питающем РП-6 кВ для защиты и коммутации питающих ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции, выполняется по приведённым выше условиям (таблица 5).

Предварительно выбирается современный инновационный вакуумный выключатель марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 и проводится его проверка.

Таблица 5 – Выбор высоковольтных выключателей в сети 6 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные выключателя марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 84,9 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
$i_y \leq i_{np.c}$	$i_y = 8,18 \text{ кА}$	$i_{np.c} = 80 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 4,14^2 \cdot 0,1 = 1,73 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 4,14 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$

Выбирается трансформатор тока для установки в ячейке питающего РП-6 кВ марки ТПЛ-10 (таблица 6).

Таблица 6 – Выбор трансформаторов тока в сети 6 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные трансформатора тока марки ТПЛ-10
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 84,9 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
$i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y = 8,18 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 80 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 4,14^2 \cdot 0,1 = 1,73 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2\text{с}$

На питающей двухтрансформаторной ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции во вводных шкафах ВН (6 кВ) устанавливаются высоковольтные выключатели нагрузки и предохранители.

Результаты выбора и проверки выключателей нагрузки представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор выключателя нагрузки в сети 6 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные выключателя нагрузки ВНР-10/400-10-УЗ
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 84,9 \text{ А}$	$I_n = 400 \text{ А}$
$i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y = 8,18 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 25 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 4,14^2 \cdot 0,1 = 1,73 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 100 \text{ кА}^2\text{с}$

Высоковольтные предохранители выбираются по условиям, аналогичным выбору низковольтных предохранителей, проведённых в работе ранее [8], [23]-[26]:

Выбор предохранителей для установки на ПС-6/0,4 кВ [8],[23]-[26] приведён в таблице 8.

Таблица 8 – Выбор высоковольтных предохранителей в сети 6 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные предохранителя ПК103-6-100-31,5/У3
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_n = 6 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 84,9 \text{ А}$	$I_{н.вст} = 100 \text{ А}$
$i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y = 8,18 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 100 \text{ кА}$
$B_k \leq I_t^2 t_T$	$B_k = 4,14^2 \cdot 0,1 = 1,73 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_t^2 t_T = 100 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{ном.вык} > I_{кл}$	$I_{кл} = 4,14 \text{ кА}$	$I_{ном.в} = 31,5 \text{ кА}$

Все выбранные электрические аппараты напряжением 6 кВ показаны в графической части работы.

Далее в работе проводится непосредственный выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 0,38/0,22 кВ, которые устанавливаются в шкафах РУ-0,4 кВ на питающих ПС-6/0,4 кВ.

Для этой цели в работе выбираются современные отечественные автоматы марки ВА, хорошо зарекомендовавшие себя для обеспечения функций защиты и коммутации электрической сети 0,38/0,22 кВ.

Исходя из конструкции и функциональных элементов и устройств аппарата, для автоматических выключателей выбираются номинальные токи самого автомата, а также номинальные токи расцепителей (теплового и электромагнитного).

Номинальные токи автомата и теплового расцепителя выбирают согласно [8], [12], [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (45)$$

$$I_{ном.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (46)$$

Ток уставки электромагнитного расцепителя автомата принимаются согласно [8]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_n, \quad (44)$$

где $K_{то}$ – кратность тока отсечки для данного типа автомата (справочные данные).

Для защиты одиночных электродвигателей согласно [8]:

$$I_p = I_{ном};$$

$$I_n = I_{пуск}.$$

Для вводных автоматов секций сборных шин [8]:

$$I_n = I_{пик}.$$

Номинальные (расчётные) и пусковые (пиковые) токи технологического оборудования напряжением 0,38/0,22 кВ АГКС рассчитаны в работе ранее.

Для примера выбирается автомат для защиты и коммутации подпиточного насоса секции 1 (Т1 ПС-1) с расчётными техническими параметрами:

$$I_p = 248 \text{ A},$$

$$I_n = 1611,7 \text{ A}.$$

Условия выбора и проверок автоматического выключателя и его расцепителей выполняются

$$I_{ном.а} = 400 A \geq I_p = 248 A.$$

$$I_{ном.т.р} = 320 A \geq 1,1 \cdot 248 = 272,8 A.$$

$$I_{ном.э.р} 7 \cdot 320 = 2240 A \geq 1611,7 A.$$

Принимается для защиты и коммутации данного потребителя АГКС (подпиточного насоса секции 1 Т1 ПС-1) автоматический выключатель марки ВА 52-37 со следующими номинальными техническими параметрами [8]: номинальное напряжение автомата $U_{ном.а}=380$ В; номинальный ток автомата $I_{ном.а}=400$ А; номинальный ток уставки теплового расцепителя $I_{ном.т.р}=320$ А; номинальный ток уставки электромагнитного расцепителя (ЭМ-расцепителя) $I_{ном.э.р}=2240$ А; кратность тока отсечки $K_{то}= 7$. Выбор остальных автоматических выключателей и токов уставок их расцепителей осуществлён аналогичен и результаты выбора и проверки приведены в таблице 9.

Таблица 9– Результаты выбора автоматических воздушных выключателей

Наименование	I_p , А	I_n , А	Марка	$I_{ном.а}$, А	$I_{ном.т.р}$, А	$I_{ном.э.р}$, А
Секция 1 (Т1 ПС-1)						
Магистральный насос	248,0	1611,7	ВА 52-37	400	320	2240
Экономазерный насос	60,3	331,8	ВА 52-31	100	80	400
Насос емкостей	41,7	229,3	ВА 52-31	100	50	250
Питательный насос	106,8	587,6	ВА 52-33	160	125	625
Привод сепаратора	38,6	192,8	ВА 52-31	100	50	250
Насос фильтров сырьевого газа	78,6	408,7	ВА 52-31	100	100	500
Вентилятор охлаждения газа	78,6	408,7	ВА 52-31	100	100	500
Вентилятор вспомогательный	16,2	64,9	ВА 52-31	100	25	75
Компрессор газа	142,1	781,7	ВА 52-33	160	160	800
Приточная вентиляция	16,2	64,9	ВА 52-31	100	25	75
Вентилятор охлаждения градирен	23,5	105,8	ВА 52-31	100	31,5	157,5
Автомат ввода секции 1	774,8	2188,1	ВА 54-41	1000	1000	3000

Продолжение таблицы 9

Наименование	$I_p,$ А	$I_n,$ А	Марка	$I_{ном.а},$ А	$I_{ном.т.р},$ А	$I_{ном.э.р},$ А
Секция 2 (Т2 ПС-1)						
Магистральный насос	248,0	1611,7	ВА 52-37	400	320	2240
Экономазерный насос	60,3	331,8	ВА 52-31	100	80	400
Насос емкостей	41,7	229,3	ВА 52-31	100	50	250
Питательный насос	106,8	587,6	ВА 52-33	160	125	625
Привод сепаратора	38,6	192,8	ВА 52-31	100	50	250
Насос фильтров сырьевого газа	78,6	408,7	ВА 52-31	100	100	500
Вентилятор охлаждения газа	78,6	408,7	ВА 52-31	100	100	500
Вентилятор вспомогательный	16,2	64,9	ВА 52-31	100	25	75
Компрессор газа	169,1	1098,9	ВА 52-35	250	200	1400
Приточная вентиляция	16,2	64,9	ВА 52-31	100	25	75
Вентилятор охлаждения градирен	23,5	105,8	ВА 52-31	100	31,5	157,5
Автомат ввода секции 2	795,3	2208,6	ВА 54-41	1000	1000	3000
Секция 3 (Т1 ПС-2)						
Магистральный насос	142,1	781,7	ВА 52-33	160	160	800
Экономазерный насос	38,6	192,8	ВА 52-31	100	50	250
Насос емкостей	142,1	781,7	ВА 52-33	160	160	800
Питательный насос	23,5	105,8	ВА 52-31	100	31,5	157,5
Привод сепаратора	78,6	408,7	ВА 52-31	100	100	500
Вентилятор охлаждения газа	78,6	408,7	ВА 52-31	100	100	500
Вентилятор вспомогательный	11,9	47,6	ВА 52-31	100	16	48
Насос фильтров сырьевого газа	169,1	1098,9	ВА 52-35	250	200	1400
Приточная вентиляция	16,2	64,9	ВА 52-31	100	25	75
Вентилятор охлаждения градирен	60,3	331,8	ВА 52-31	100	80	400
Автомат ввода секции 3	648,43	1316,5	ВА 54-41	1000	1000	3000
Секция 4 (Т2 ПС-2)						
Магистральный насос	142,1	781,7	ВА 52-33	160	160	800
Экономазерный насос	11,9	47,6	ВА 52-31	100	16	48
Насос емкостей	27,1	121,9	ВА 52-31	100	31,5	157,5
Питательный насос	27,1	121,9	ВА 52-31	100	31,5	157,5
Привод сепаратора	78,6	408,7	ВА 52-31	100	100	500
Вентилятор охлаждения газа	78,6	408,7	ВА 52-31	100	100	500
Вентилятор вспомогательный	11,9	47,6	ВА 52-31	100	16	48
Насос фильтров сырьевого газа	169,1	1098,9	ВА 52-35	250	200	1400
Приточная вентиляция	16,2	64,9	ВА 52-31	100	25	75
Вентилятор охлаждения градирен	78,6	408,7	ВА 52-31	100	100	500
Автомат ввода секции 4	546,97	1215,0	ВА 54-41	1000	1000	3000

В работе выбраны и проверены сечения кабельных линий в системе электроснабжения АГКС:

- питающей сети 6 кВ – два силовых кабеля марки АСБ-6(3х35);
- питающей сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели марки ВВГнг-LS различных сечений.

Выбраны и проверены электрические аппараты в системе электроснабжения АГКС:

- напряжением 6 кВ – для установки на питающем РП-6 кВ энергосистемы: выключатели ВН марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 и трансформаторы тока ТПЛ-10; для установки на ПС-6/0,4 кВ на стороне ВН: предохранители марки ПК103-6-100-31,5/У3; выключатели нагрузки марки ВНР-10/400-10-У3;

- напряжением 0,38/0,22 кВ – автоматы ввода марки ВА54-41 и линейные автоматы (автоматы для защиты потребителей) марки ВА52-31 и ВА52-33.

Работоспособность выбранных кабельных линий и электрических аппаратов подтверждена их непосредственной проверкой на термическую и динамическую стойкости к токам трёхфазного короткого замыкания, также рассчитанным в работе.

3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда

3.1 Обеспечение безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности

В числе основных опасных и вредных производственных факторов при выполнении работ в электрической сети на ПС-6/0,4 кВ и в системе электроснабжения в целом газонаполнительной компрессорной станции, выделяются [2], [16]-[18]:

- поражение людей электрическим током;
- наличие опасного шагового напряжения в зоне растекания электрического тока при замыкании токоведущих частей на землю, в особенности в сырую погоду;
- появление наведенного и опасного напряжения на корпусах электрооборудования при повреждении изоляции;
- влияние электромагнитных полей высокого напряжения на организм людей;
- травмы различной степени тяжести при выполнении работ по монтажу, обслуживанию и ремонту электрического оборудования и сетей;
- опасность падения с высоты при монтаже, обслуживании и ремонте воздушных линий электропередач;
- повышенный уровень шума при выполнении работ по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования и сетей;
- недостаточная освещенность рабочей зоны при работах в помещении закрытых и открытых распределительных устройств в течении суток;
- повышенная либо пониженная температура воздуха рабочей зоны при выполнении работ;
- опасность получения ожогов лица и глаз при возникновении дуги, коротком замыкании;

- повышенная опасность повреждения существующих коммуникаций при прокладке и ремонте воздушных линий системы электроснабжения потребителей.

В связи с тем, что в работе были выбраны силовые трансформаторы сухого типа марки ТСГЛ-630/6, а также электрические аппараты, не требующие использования масла (например, выключатель высокого напряжения марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48), опасность возникновения пожара и взрыва практически близка к нулю, в особенности в помещениях распределительных устройств и в силовых трансформаторах.

В организациях обязанности по охране труда возлагаются на главных специалистов приказом руководителя [17].

До выполнения работ в электроустановках допускаются лица, достигшие 18 летнего возраста и прошедшие соответствующее обучение согласно требований [16]-[18].

Современные технологии позволяют свести к минимуму производственный травматизм.

Согласно требованиям [2], [17], в системе электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции, необходимо применять организационные и технические мероприятия по технике безопасности.

Организационные мероприятия по технике безопасности включают в себя [2], [17]:

- назначение лиц, отвечающих за безопасное проведение работ (руководителя работ, допускающего, наблюдающего, членов бригады);
- выдача нарядов и распоряжений;
- проведение различных типов инструктажей с последующей подписью обучаемого в журнале инструктажей;
- подготовка рабочего места с применением теоретических знаний и навыков;
- допуск к выполнению работ;
- перерыв и окончание работ.

Технические мероприятия по технике безопасности включают в себя [2], [17]:

- полное или частичное снятие напряжения в месте проведения работ бригадой;
- обеспечение необходимых выключений и переключений;
- принятие неотложных мер, которые препятствуют самопроизвольному включению коммутационных и (или) защитных электрических аппаратов, а также непредвиденной подаче напряжения на шины со стороны источника питания;
- непосредственная проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях электроустановок в зоне проведения работ путём использования технических и поверенных средств (указателей напряжения и т.д.);
- наложение переносных заземлений с использованием принятой методики и алгоритма, а также поверенных технических средств;
- ограждение и прекращение доступа несанкционированных лиц на рабочее место, а также ограждение (изоляция) всех токоведущих частей, находящихся под напряжением;
- вывешивание плакатов по технике безопасности на рабочем месте, а также по периметру установленного и ограждённого рабочего места (зоны выполняемых работ).

Пожарная безопасность электрических сетей и электроустановок в проекте обеспечивается [16], [17]:

- применением негорючих конструкций;
- выбором оборудования и электроустановочных изделий, соответствующих условиям окружающей среды и номинальному напряжению;
- выбором марок и сечений проводников, способов их прокладки, удовлетворяющих требованиям [4];
- автоматическим отключением токов КЗ;
- применением защитного заземления.

Охрана окружающей среды при строительстве объектов энергетики осуществляется путем выполнения природоохранных мероприятий, которые снижают или ликвидируют отрицательное воздействие на природную среду, на сохранение природных ресурсов [17].

Рассматриваемые в работе питающие подстанции не являются источником загрязнения окружающей среды.

Так как в работе применяются сухие трансформаторы марки ТСГЛ, они не требуют маслоприёмников, следовательно, вероятность попадания масла в грунт сводится к нулю.

В системе электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции вероятность утечки газа контролируется специальными датчиками газа с использованием сигнализации [27]-[29].

Кроме того, применяются герметичные резервуары для хранения сжиженного газа, а система подачи газа постоянно находится под непрерывным контролем устройств автоматики, защиты и сигнализации [26].

Процесс передачи электроэнергии на напряжениях 6/0,4 кВ является безотходным, не сопровождается никакими вредными выбросами в окружающую среду [24]-[27].

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на период проведения монтажных работ на рассматриваемой газонаполнительной компрессорной станции, будут происходить только при работе автотранспорта и спецтехники.

Воздействие на атмосферный воздух при проведении работ на объекте относится к кратковременному.

3.2. Расчёт контура заземления газонаполнительной компрессорной станции

Проводится расчёт заземления ТП газонаполнительной компрессорной станции.

Принимаются следующие исходные данные [16]:

- вертикальные заземлители (электроды): материал – сталь, диаметр стержней – 16 мм, длина стержней – 2 м, глубина погружения в грунт – 50 см;

- горизонтальные заземлители (электроды): материал – полосовая сталь, длина – 4 м, метод соединения – сварка (проводник заземления крепится на болтовое соединение);

- грунт – суглинок.

Рассчитывается сопротивление грунта для вертикальных и горизонтальных заземлителей, Ом, [16]:

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.z}, \quad (45)$$

$$\rho_{p.в} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.в}, \quad (46)$$

где $\rho_{y\delta}$ – удельного сопротивления грунта (для суглинка), Ом [16];

$K_{n.z}$ и $K_{n.в}$ – нормируемые коэффициенты использования горизонтальных и вертикальных электродов [16].

$$\rho_{p.z} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$\rho_{p.в} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Для стержневого вертикального заземлителя сопротивление растеканию определяется так [16]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}. \quad (47)$$

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{200}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,016} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 3 \cdot 5}{4 \cdot 0,5 + 5} \right) = 69,53 \text{ Ом}.$$

Число вертикальных заземлителей (электродов) [16]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot R_3}, \text{шт.} \quad (48)$$

$$N = \frac{69,53}{0,66 \cdot 4} = 26,34 \text{шт.}$$

Принимается $N = 27$ шт.

Сопротивление растеканию горизонтальных электродов [16]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{u.e} \cdot 2\pi \cdot l_2} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_2^2}{b \cdot t}, \text{Ом.} \quad (49)$$

$$R_r = \frac{200}{0,32 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \lg \frac{2 \cdot 5^2}{0,08 \cdot 0,5} = 26,17 \text{Ом.}$$

Уточненное значение сопротивления вертикальных заземлителей в рассчитываемом контуре заземления [16]

$$R_{в.з.} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{Ом.} \quad (50)$$

$$R_{в.з.} = \frac{26,17 \cdot 4}{26,17 - 4} = 4,72 \text{Ом.}$$

Уточненное число вертикальных заземлителей в рассчитываемом контуре заземления [16]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} + R_{в.з.}}, \text{шт.}, \quad (51)$$

$$N = \frac{69,53}{0,66 + 4,72} = 24,15 \text{шт.}$$

Сопротивление вертикальных заземлителей Ом [16]:

$$R_{в.е} = \frac{R_B}{K_{и.е} \cdot N}, Ом. \quad (52)$$

$$R_{в.е} = \frac{69,53}{0,66 \cdot 25} = 4,56 Ом.$$

Общее сопротивление заземлителей (электродов) спроектированного контура заземления ПС-6/0,4 кВ системы электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции, $R_{в.е}$, Ом, определяется таким образом:

$$R_{общ.} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, Ом. \quad (53)$$

$$R_{общ.} = \frac{4,56 \cdot 26,17}{4,56 + 26,17} = 3,88 Ом.$$

В результате выполнения третьего раздела работы проведён расчёт контура заземления, который устанавливается на ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции согласно требований нормативных документов [2]-[4].

Окончательно принимается к установке в контуре заземления на ПС-6/0,4 кВ газонаполнительной компрессорной станции двадцать пять вертикальных заземлителей (электродов).

Конструкция контура заземления газонаполнительной компрессорной станции приведена в графической части работы.

Заключение

В результате выполнения работы разработана система электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции г. Белоярский участок №6.

Для достижения поставленной цели в работе осуществлено решение основных задач, приведённых ниже, с указанием полученного результата.

Приведены характеристики приёмников газонаполнительной компрессорной станции и источников питания, включающих характеристику потребителей газонаполнительной компрессорной станции, а также характеристику энергосистемы для питания газонаполнительной компрессорной станции.

Осуществлена непосредственная разработка электрической сети для газонаполнительной компрессорной станции.

Питание газонаполнительной компрессорной станции осуществляется от энергосистемы на номинальном напряжении 6 кВ от РП-1 энергосистемы по радиальной двухлучевой схеме (без наличия ответвлений).

Указанная схема характеризуется высокой надёжностью и подходит для питания потребителей I категории надёжности, к которым относится рассматриваемая в работе автомобильная газонаполнительная компрессорная станция г. Белоярский участок №6.

Выбранная схема обеспечивает максимальную близость потребителей электроэнергии к своему источнику питания, сквозное секционирования всех звеньев системы электроснабжения с установкой устройства автоматического включения резерва (АВР), оптимальный режим работы системы электроснабжения с отдельной работой секций при установке двух трансформаторов на каждой питающей ПС-6/0,4 кВ, необходимую надёжность электроснабжения потребителей электроэнергии с учётом резервирования для I категории надёжности в нормальном, форсированном и послеаварийном режимах, а также наглядность, безопасность, экономичности

и необходимую степени защиты и автоматизации на всех уровнях системы электроснабжения. В целом система электроснабжения всех объектов (потребителей) газонаполнительной компрессорной станции также отвечает всем требованиям надёжности и экономичности и подходит для обеспечения питания газонаполнительной компрессорной станции с соблюдением необходимых требований, предъявляемых к I категории надёжности, к которой относится рассматриваемый в работе объект.

В качестве питающих понизительных подстанций (ПС-1 и ПС-2) на рассматриваемой АГКС принимается две двухтрансформаторные подстанции с высшим напряжением 6 кВ и низшим напряжением 0,4 кВ, т.е. ПС-6/0,4 кВ, что обеспечит выполнение приведённых ранее требований, предъявляемых к АГКС нормативными документами и условиями технологического процесса на АГКС.

После выполнения расчёта электрических нагрузок, на двух питающих подстанциях 6/0,4 кВ (ПС-1 и ПС-2) принята установка двух сухих силовых трансформаторов марки ТСГЛ-630/6, которые в достаточной мере обеспечат надёжную работу системы электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции.

В работе выбраны и проверены сечения кабельных линий в системе электроснабжения АГКС:

- питающей сети 6 кВ – два силовых кабеля марки АСБ-6(3х35);
- питающей сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели марки ВВГнг-LS различных сечений.

Выбраны и проверены электрические аппараты в системе электроснабжения АГКС:

- напряжением 6 кВ – для установки на питающем РП-6 кВ энергосистемы: выключатели ВН марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 и трансформаторы тока ТПЛ-10;

- напряжением 6 кВ – для установки на ПС-6/0,4 кВ на стороне ВН: предохранители марки ПК103-6-100-31,5/У3; выключатели нагрузки марки

ВНР-10/400-10-УЗ;

- напряжением 0,38/0,22 кВ – автоматы ввода марки ВА54-41 и линейные автоматы (автоматы для защиты потребителей) марки ВА52-31 и ВА52-33.

Работоспособность выбранных кабельных линий и электрических аппаратов подтверждена их непосредственной проверкой на термическую и динамическую стойкости к токам трёхфазного короткого замыкания, также рассчитанным в работе.

Рассмотрены вопросы электробезопасности и экологические вопросы, а также выполнен непосредственный расчёт контура заземления питающей трансформаторной подстанции газонаполнительной компрессорной станции.

Разработанная система электроснабжения газонаполнительной компрессорной станции отвечает установленным требованиям нормативных документов по всем требуемым критериям.

Список используемой литературы

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2016. 392 с.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / 7-е изд-е. - М.: Альвис, 2018. 632 с.
5. СП 31-110-2003. Свод правил по проектированию и строительству «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий», Госстрой РФ, 2004. 73 с.
6. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777).
7. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года // РД РАО «ЕЭС России». Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – М.: Министерство энергетики, 2020.
8. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 416 с.
9. Баранов Л.А. Светотехника и электротехнология / Л. А. Баранов, В. А. Захаров -М.: Колос, 2018. 343с.
10. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Учебное пособие. /В.С. Газалов. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2016. 268 с.
11. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 2015. 261 с.

12. Климова Г.Н. Электрические системы и сети. Энергосбережение: учебное пособие для среднего профессионального образования / Г.Н. Климова. - 2-е изд. - Москва: Издательство Юрайт, 2020. 179 с.
13. Козлов В.А. «Электроснабжение городов».- 5-е издание, перераб. и доп. – Ленинград: Энергоатомиздат Ленинградское отделение, 2012. 264 с.
14. Коптев А.А. Монтаж цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ: Справочник электромонтажника. Под ред. А.Д. Смирнова и др. М: Энергоатомиздат, 2018. 192 с.
15. Кудрин, Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2018. 352 с.
16. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.
17. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.
18. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.
19. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
20. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
21. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.
22. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. - Электроснабжение / Под общ. ред. А.А. Федорова - М: Энергоатомиздат, 2016. 568 с.: ил.
23. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2015. 480 с.
24. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. 136 с.

25. Anthony J. Energy Savings Insurance and the New ASTM BEPA Standard/ J. Anthony, P. E. Buonicore // Building Energy Performance Assessment News November. 2017. – № 11. – P. 1 – 10.

26. Barker R. CASE Method. Entity-Relationship Modeling. N.Y.:Addition-Wesley Publishing Company, 2019.

27. Bunn D.W. Experimental study of a Bayesian method for daily electricityload forecasting. Appl. Math. Model.2020. №2. P. 113 – 116.

28. Evan Mills. Risk transfer via energy-savings insurance // Energy Policy. – 2016. – № 31. – P. 273 – 281.

29. Kindler H., Labl H.
ZurthemishenZeitkonstanteelekrotechnischerBetriebsmittel.Elektirie. 2018. № 3.
P. 17–23.