

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Институт открытого и дистанционного образования  
Кафедра «Техника, технологии и строительство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой,  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ К.М. Виноградов  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Модернизация электроснабжения и электрооборудования станции очистки вод

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–13.03.02.2020.091.00.000ПЗ ВКР

Руководитель работы,  
доцент

\_\_\_\_\_ Ю.Е.Калугин  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы  
студент группы ДО – 503

\_\_\_\_\_ Д.В.Казаков  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер,  
преподаватель

\_\_\_\_\_ О.С. Микерина  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020

## Аннотация

Казаков Д.В Модернизация  
электрооборудования и электроснабжения  
станции очистки вод. Челябинск: ФГАОУ ВО  
«ЮУрГУ (НИУ)», ИОДО; 2020, 83 с., 4 ил  
библиографический список 25 наименований  
, 6 листов формата А1

Целью данного дипломного проекта является Модернизация электрооборудования и электроснабжения станции очистки вод.

Основные вопросы, которые рассматриваются в процессе дипломного проектирования: - разработка схем электроснабжения;

- необходимость модернизации станции очистки вод

- описание производственного процесса;

- выбор электрооборудования;

- определение электрических нагрузок;

- составление мер по безопасному обслуживанию электрооборудования

Основой рационального решения комплекса технико-экономических вопросов при разработке проекта электроснабжения современного промышленного предприятия является правильное определение ожидаемых электрических нагрузок. Расчет нагрузок есть первый и основополагающий этап проектирования любой заводской электрической сети. Основное значение имеет определение величины так называемых расчетных нагрузок, влияющих на выбор элементов сети по необходимой пропускной способности из условия нагрева а также выбора электрооборудования, коммутационных аппаратов, релейной защиты и автоматики

|                  |             |                 |                |             |  |                                |             |               |
|------------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--|--------------------------------|-------------|---------------|
|                  |             |                 |                |             | 13.03.02.2020.091.00.000 ПЗ  |                                |             |               |
| <i>Изм.</i>      | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |  |                                |             |               |
| <i>Разраб.</i>   |             | Казаков Д.В     |                |             | <b>Модернизация<br/>электроснабжения и<br/>электрооборудования<br/>станции очистки вод</b> | <i>Лит.</i>                    | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Провер.</i>   |             | Калугин Ю.Е     |                |             |  |                                | 3           | 88            |
| <i>Реценз.</i>   |             |                 |                |             |  | ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»<br>ИОДО |             |               |
| <i>Н. Контр.</i> |             | Микерина О.С.   |                |             |  | Кафедра «ТТС» гр.ДО-503        |             |               |
| <i>Утверд.</i>   |             | Виноградов К.М. |                |             |  |                                |             |               |

## Оглавление

|   |    |
|---|----|
| ВЕДЕНИЕ.....  | 4  |
| 1. НЕОБХОДИМОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ СТАНЦИИ ОЧИСТКИ ВОД.....  | 6  |
| 2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ<br>ТЕХНОЛОГИЙ.....   | 8  |
| 3 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ, РАСЧЕТЫ.....  | 12 |
| 3.1 Краткая характеристика электроприемников.....   | 12 |
| 3.2 Разделение электроприемников на характерные группы.....   | 13 |
| 3.3 Выбор схемы электроснабжения, числа, мощности и типа силовых<br>трансформаторов цеховой подстанции..... | 15 |
| 3.4 Составление баланса активных и реактивных мощностей.....  | 19 |
| 3.5 Расчет электрических нагрузок по элементам сети, выбор проводов и<br>кабелей.....                       | 24 |
| 3.6 Выбор кабелей, питающих отдельные электроприемники.....   | 34 |
| 3.7 Регулирование напряжения в системе электроснабжения.....  | 36 |
| 3.8 Выбор электрооборудования.....  | 39 |
| 3.9 Выбор релейной защиты трансформаторов.....  | 43 |
| 4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ.....   | 55 |
| 4.1 Техничко-экономическое сравнение вариантов.....   | 55 |
| 4.2 Сметно-финансовый расчет по системе электроснабжения.....   | 57 |
| 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....   | 62 |
| 5.1 Экологическая безопасность при работе с радиоактивными отходами.....                                    | 62 |
| 5.2 Безопасные методы обслуживания электроустановок.....  | 67 |
| 5.3 Оперативное обслуживание.....   | 69 |
| 5.4 Расчёт заземляющих устройств станции.....   | 73 |
| 5.5 Расчет устройства грозозащиты станции.....  | 76 |
| 5.6 Пожарная безопасность.....  | 79 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....   | 81 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....   | 82 |

## ВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Предприятия Российской Федерации проводят ответственную экологическую политику, которая основывается на принципах рационального природопользования, сохранения природной среды в районах промышленной деятельности, совершенствования систем радиационного контроля.

Современный подход к охране окружающей среды и обеспечение экологической безопасности производственной деятельности. Предприятия неукоснительно выполняют все требования национального законодательства в области охраны окружающей среды, стремясь к максимальному снижению негативного воздействия на окружающую среду. Снижение негативного воздействия на окружающую среду обеспечивается за счет уменьшения выбросов вредных веществ; минимизации объемов сбросов производственных сточных вод; рационального использования энергоресурсов, снижения образования отходов, в том числе радиоактивных.

Перед радиохимическим производством стоит задача по улучшению экологической безопасности, уменьшению воздействия среднеактивных отходов на окружающую среду и технологические водоемы, используемые для производственных нужд.

Целью выпускного квалификационного проекта Модернизация электроснабжения и электрооборудования станции очистки вод.

Задачи выпускного квалификационного проекта:

- определение электрических нагрузок
- Разработка схем электроснабжения
- выбор электрооборудования;
- экономическое обоснование;
- составление мер по безопасному обслуживанию электрооборудования

Предметом работы – обоснование и выбор электроснабжения и электрооборудования станции очистки вод.

Практическая значимость выпускной квалификационной работы состоит в выработке и разработке комплекса мер по улучшению электроснабжения в условиях модернизации станции по очистке спецканализации и вод, содержащих среднеактивные отходы (САО) производства.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 5    |

## 1. НЕОБХОДИМОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ СТАНЦИИ ОЧИСТКИ ВОД

Станция предназначена для приема и очистки вод спецканализации и вод, содержащих среднеактивные отходы (САО) производства.

Вода спецканализации и технологическая, вода содержащая САО, поступает в здание по трубопроводам от цехов основного производства с помощью насосов. Весь процесс очистки воды проходит в несколько этапов.

В начале осуществляется фильтрация воды в фильтрах для удаления посторонних твердых частиц разных фракций, далее вода поступает на СВЧ установки, в которых происходит выпаривание отходов химического производства цехов завода.

Заключительным этапом и продуктом здания является очищенная вода, которая по трубопроводам отправляется в технологический водоем, а химические отходы в твердом состоянии отправляются на дальнейшую переработку.

Работа большинства промышленных предприятий предполагает использование очищенной, отвечающей определенным стандартам воды. К таким производствам относится и радиохимическое производство. Однако с увеличением промышленных мощностей и изменением требований к используемой воде имеющееся оборудование для водоочистки перестает справляться с производственными задачами, постепенно выходит из строя, изнашивается. При этом не каждое предприятие располагает необходимым финансовым запасом, позволяющим установить новую систему водоподготовки, либо не может списать еще рабочее, но уже морально устаревшее оборудование. В данной ситуации грамотно проведенный ремонт и модернизация изношенной системы водоочистки а также системы электроснабжения, позволит при минимальных тратах увеличить эффективность ее использования. С необходимостью увеличения производительности системы очистки воды, возрастает дополнительная нагрузка на систему электроснабжения станции, что может привести к основной причине нарушения нормального режима работы системы, тем самым приведя к серьезным технологическим и экологическим последствиям .

К основным факторам, при выявлении которых требуется реконструкция водоподготовки, относятся:

- снижение показателей качества воды после очистки;
- выработка ресурса или устаревание фильтрующего оборудования;
- существенное повышение среднего показателя потребления воды;
- чрезмерное возрастание затрат на обслуживание и ремонт оборудования;
- плохое или недостаточное сервисное обслуживание, сложности в ТО системы очистки;
- необходимость увеличить производительность системы очистки.

Работы по реконструкции системы очистки воды

При модернизации системы очистки воды соблюдается принцип замены только необходимых элементов при максимальной эксплуатации уже имеющегося

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 6    |

оборудования. Такой подход позволяет снизить расходы, делает процесс реконструкции более быстрым.

К основным работам по модернизации водоподготовки относят:

- замену устаревших устройств;
- увеличение числа технологических стадий;
- перезасыпку фильтрующих наполнителей;
- реорганизацию модуля управления;
- повышение производительности оборудования

Основными электроприемниками здания являются электродвигатели приточных и вытяжных вентиляционных систем, насосов, кранов и талей, электроосвещение здания. Для питания переносного инструмента используются розетки.

Электродвигателями потребляется значительная часть электроэнергии. По назначению вентиляцию разделяют на приточную и вытяжную. Приточная вентиляция предназначена для обеспечения притока чистого воздуха в производственные помещения, к рабочим местам, для охлаждения рабочих частей механизмов, станков и т.д. Вытяжная вентиляция предназначена для отвода загрязненного воздуха отработанными газами, взвешенной в воздухе пыли, для предотвращения загазованности помещения, для обеспечения соответствия состава воздуха санитарным нормам.

В здании имеется множество подъемно-транспортных механизмов: мостовые краны, тали.

Краны мостового типа представляют собой разновидность подъемного крана, имеющего конструкцию, выполненную в виде опорного или подвесного моста. Несущие элементы опираются непосредственно на подкрановый путь. Мост (несущая балка) перемещается по рельсам, уложенным на стенах зданий или на эстакадах вне здания. Мостовой кран используется для перемещения груза в пространстве.

Таль представляет собой подвесное грузоподъемное устройство с ручным или механическим приводом. Данный механизм состоит из подвижного и неподвижного блоков и основанного в их шкивах троса (лопаря) или металлической цепи. Таль используется в качестве компактного подъемного устройства при ремонте насосов, при монтаже различных частей электрооборудования.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
|      |      |          |         |      |                           | 7    |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           |      |

## 2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

После распада Советского союза значительное количество трансформаторных производств оказалось за пределами России. Оставшимся в России крупными трансформаторными заводами, в городах (г. Москва), (г. Тольятти), (Екатеринбург), Биробиджан, приходится противостоять в конкурентной борьбе заводам из стран ближнего зарубежья и мощным флагманам трансформаторостроения Европы, Азии и США. Первые три предприятия в городах: Москва, Тольятти, Екатеринбург, в основном выпускают продукцию IV–VIII габарита, и только «ЭТК «БирЗСТ-Биробиджан» выпускает всю линейку силовых масляных трансформаторов I–III габарита.

На базе существовавших еще в Советском союзе производств сформировалась «Группа компаний «Электроцит» Самара». Выпускают трансформаторы I–II габарита Курганский электромеханический завод и завод НВА (г. Рассказово,) Два новых завода появились в Подмосковье в начале 2000х: в (г. Чехов) и (г. Подольск). На сегодняшний день в Российской системе электроснабжения нашли применение следующие типы трехфазных силовых масляных трансформаторов: ТМ, ТМГ, ТМЗ, ТМФ, ТМЭ, ТМБ, ТМЖ, ТМН, ТМПН. Большое отличие по конструкции типов масляных силовых трансформаторов имеют всего четыре типа: ТМ, ТМГ, ТМЗ. Стенки баков трансформаторов изготовлены из стали толщиной от 2,5 до 4 мм; тепловое расширение объема масла компенсируется увеличением в дополнительный расширительный бак. Выводы обмоток ВН и НН расположены на крышке бака. Преимущества данных трансформаторов: высокая стойкость к механическим воздействиям при монтажетрансформаторов, при транспортировке и т.п. Продолжительность эксплуатации достигает сорокапятидесяти лет. Недостаток: требуется периодический контроль влагосодержания трансформаторного масла. Трансформатор ТМФ — это тот же трансформатор ТМ, но с боковыми выводами обмоток ВН и НН, закрытыми защитными коробами. Стенки баков трансформаторов (герметичных) ТМГ изготовлены из стали толщиной от 1,0 до 1,5 мм - это так называемый гофробак. Выводы обмоток ВН и НН расположены на крышке бака. Температурные изменения объема масла компенсируются упругой деформацией гофров бака. Контакт масла с окружающей средой полностью отсутствует. Это обстоятельство намного улучшает условия работы масла, исключает возможность его увлажнения, загрязнения или окисления.

Достоинства: сокращение объема масла, значительное сокращение эксплуатационных расходов. Недостаток: низкая стойкость к механическим воздействиям при монтаже, при транспортировке и т.п. толщина бака трансформаторов ТМЗ по толщине такая же, как и у ТМ, но при этом бак выполнен в герметичном исполнении. Выводы ВН и НН расположены на боковых стенках бака, как у трансформатора ТМФ. Защитой масла от, загрязнения, насыщения влагой, окисления выступает сухой азот (принцип азотной подушки).

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 8    |

Эти трансформаторы сочетают в себе положительные эксплуатационные характеристики трансформаторов ТМ и ТМГ.

Такие трансформаторы как ТМ, ТМГ, ТМЗ имеют возможность использования регулируя напряжения 5-тиступенчатой регулировкой (РПН), в диапазоне  $\pm 2-2,5\%$  от номинального по стороне высокого напряжения.

Среди российской нормативной документации имеются два стандарта, которые определяют параметры трансформаторов (таблица 1.1) (потери короткого замыкания и холостого хода, напряжение короткого замыкания и ток холостого хода):

Таблица 1.1 – Параметры отечественных силовых трансформаторов

| Мощность<br>кВА | напряжение |          | Схема и<br>группа<br>соединения | УК, %   | ИХХ,<br>% | Потери Вт |              |
|-----------------|------------|----------|---------------------------------|---------|-----------|-----------|--------------|
|                 | ВН кв      | НН<br>кв |                                 |         |           | ХХ        | КЗ           |
| 40              | 6,10       | 400      | $\Delta/Y_{H-11}, Y/Y_{H-0}$    | 4,5;4,7 | 3,0       | 155       | 880,<br>1000 |
| 63              | 6,10       | 400      | $\Delta/Y_{H-11}, Y/Y_{H-0}$    | 4,5;4,7 | 3,0       | 220       | 1280<br>1470 |
| 100             | 6,10       | 400      | $\Delta/Y_{H-11}, Y/Y_{H-0}$    | 4,5;4,7 | 1,6       | 270       | 1970         |
| 160             | 6,10       | 400      | $\Delta/Y_{H-11}, Y/Y_{H-0}$    | 4,5;4,7 | 1,5       | 410       | 2600         |
| 250             | 6,10,20    | 400      | $\Delta/Y_{H-11}, Y/Y_{H-0}$    | 4,5     | 1,0       | 530       | 3700         |
| 400             | 6,10,20    | 400      | $\Delta/Y_{H-11}, Y/Y_{H-0}$    | 4,5     | 0,8       | 800       | 5500         |
| 630             | 6,10,20    | 400      | $\Delta/Y_{H-11}, Y/Y_{H-0}$    | 5,5     | 0,6       | 1240      | 7600         |
| 1000            | 6,10,20    | 400      | $\Delta/Y_{H-11}, Y/Y_{H-0}$    | 5,5     | 0,5       | 1600      | 10800        |
| 1250            | 6,10,20    | 400      | $\Delta/Y_{H-11}, Y/Y_{H-0}$    | 6,0     | 0,5       | 1800      | 12400        |
| 1600            | 6,10,20    | 400      | $\Delta/Y_{H-11}, Y/Y_{H-0}$    | 6,0     | 0,        | 2100      | 16500        |

|      |      |          |         |      |
|------|------|----------|---------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |
|------|------|----------|---------|------|

13.03.02.2020.091.000. ПЗ

Лист

9



Данные стандарты требуют переработки, так как указанные в них параметры не соответствуют нынешним требованиям трансформаторостроения.

Иная ситуация обстоит у производителей силовых трансформаторов из стран европы.

Основными стандартами в этой области у них являются гармонические стандарты, соответствующий трансформаторам с масляным охлаждением и для трансформаторов сухого типа. Так как масляные трансформаторы удобны в эксплуатации и востребованы в современных производственных предприятиях, то чаще всего применяют стандарт «HD428». Согласно этому стандарту приняты 3 группы потерь холостого хода и 3 группы потерь короткого замыкания (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Параметры трансформаторов по стандартам из стра европы

| Мощность<br>кВА | Допустимые уровни потерь КЗ<br>кВт |       |       | Допустимые уровни потерь ХХ<br>кВт |      |      |
|-----------------|------------------------------------|-------|-------|------------------------------------|------|------|
|                 | А                                  | В     | С     | А                                  | В    | С    |
| 100             | 1.75                               | 2.15  | 1.48  | 0.32                               | 0.26 | 0.21 |
| 160             | 2.35                               | 3.10  | 2.00  | 0.46                               | 0.38 | 0.30 |
| 250             | 3.25                               | 4.20  | 2.75  | 0.65                               | 0.53 | 0.43 |
| 400             | 4.60                               | 6.00  | 3.85  | 0.93                               | 0.75 | 0.61 |
| 630             | 6.50                               | 8.40  | 5.40  | 1.30                               | 1.03 | 0.86 |
| 1000            | 10.50                              | 13.00 | 9.50  | 1.70                               | 1.40 | 1.10 |
| 1600            | 17.00                              | 20.00 | 14.00 | 2.60                               | 2.20 | 1.70 |
| 2500            | 26.50                              | 32.00 | 22.00 | 3.80                               | 3.20 | 2.50 |

Исходя из данной таблицы можно сделать вывод, что европейские производители используют передовые технологии в области трансформаторостроения. Наиболее прогрессивный и экономичный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых трансформаторов - это применение магнитопровода из аморфных (нанокристаллических) сплавов, в следствии этого обеспечивается более чем пятикратное снижение потерь холостого хода в трансформаторе по сравнению с традиционными магнитопроводами из электротехнической стали. Силовые трансформаторы с сердечником из аморфной стали серийно выпускаются в США, Канаде, Японии, Индии, Словакии. Наибольших успехов добились США и Япония. Япония.

Как показали исследования, сердечник из аморфных (нанокристаллических) позволяет сократить потери энергии в сердечнике трансформатора на 80% по сравнению со стальным аналогом .

При рассмотрении данного вопроса было произведено сравнение параметров трансформаторов отечественного производства и зарубежного, по результатам которого было выяснено, что зарубежные трансформаторы превосходят отечественные. Так же были освещены вопросы в области нормативной документации по данной проблеме и намечены пути повышения качества выпускаемой отечественной продукции.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 11   |

### 3 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ, РАСЧЕТЫ

#### 3.1 Краткая характеристика электроприемников

Систематизацию потребителей электроэнергии, а следовательно, и их нагрузок осуществляют обычно по следующим основным эксплуатационно-техническим признакам:

- технологическому назначению и функциональным технологическим связям;
- режимам работы;
- номинальной мощности;
- номинальному напряжению;
- роду тока;
- числу фаз;
- частоте переменного тока;
- категориям электроприёмников с точки зрения обеспечения надёжности электроснабжения;
- территориальному размещению и стабильности расположения электроприёмников;
- специфическим особенностям относительно признаков обратного воздействия на систему электроснабжения.

Продолжительный режим работы имеют электроприемники: привод вентиляторов, насосов, электропривод станков, установки сушки, привод бетономешалок и СВЧ генераторов. В качестве привода используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором.

Номинальная мощность электроприемников изменяется в диапазоне равном 0,75 кВт до 95 кВт.

Все электроприемники данного здания питаются переменным током частотой 50 Гц. К однофазным электроприемникам здания относятся розетки различных назначений, щиты питания КРБ, электросушители для рук, инфракрасные обогреватели. Напряжение данной группы составляет 220 В. К трехфазным электроприемникам относятся крановые механизмы, тали, вентиляционные системы, щиты питания СКУД и СТН. Напряжение данной группы 380 В.

Электрические светильники представляют собой однофазную нагрузку, однако благодаря незначительной мощности приемника в электрической сети при правильной группировке осветительных приборов достигнута достаточно равномерная нагрузка по фазам. В качестве источников освещения применяются различные виды светильников с лампами накаливания, с люминесцентными лампами, и лампами типа ДРЛ и ДРиЗ. Номинальная мощность данных установок изменяется в незначительных пределах (от десятков до нескольких сотен ватт).

Для питания осветительных установок узла применяется напряжение 220 В. Характер нагрузки равномерный, без бросков тока в сети. Частота тока общепромышленная, равная 50 Гц.

Вентиляторами потребляется значительная часть электроэнергии.

В качестве приводов вентиляторов используют трёхфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором различной мощности. Номинальное

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 12   |

напряжение приемников этой группы – 380 В. Регулирование производительности вентиляторов осуществляется с помощью частотного преобразователя. Это устройство, состоящее из выпрямителя, преобразующего переменный ток промышленной частоты в постоянный и инвертора, преобразующего постоянный ток в переменный требуемой частоты и амплитуды. Преобразователи частоты являются нелинейной нагрузкой, создающей токи высших гармоник в питающей сети, что может привести к ухудшению качества электроэнергии. Высшие гармоники напряжения оказывают отрицательное влияние на работу системы электроснабжения, вызывая дополнительные активные потери в трансформаторах, электрических машинах и сетях.

Подъемно-транспортные питаются переменным током частотой 50 Гц. Номинальное напряжение приемников данной группы 380 В.

По степени обеспечения надежности электроснабжения большинство электроприемников здания относятся к 3 категории.

Электроприемники I категории включают в себя аварийное освещение, оборудование СКУД (Системы контроля и управления доступом), СТН (системы теленаблюдения), КРБ (Контроль радиационной безопасности), приборы связи, вентиляционные системы автономного режима.

Питание электроприемников I категории осуществляется от ШАВР (шкаф автоматического включения резерва) с устройством АВР, предусматривающего питание от двух вводов.

### 3.2 Разделение электроприемников на характерные группы

Разобьем электроприемники на характерные категории. В категории объединим электроприемники, имеющие одинаковое значение  $K_u$  и  $tg \varphi$ . Данные по категориям занесем в таблицу 3. Лабораторное оборудование, является однофазными электроприемниками, практически равномерно распределенными по фазам трехфазной сети. Поэтому при определении расчетной нагрузки будет учтены как трехфазной с групповой номинальной мощностью 70 кВт.

Таблица 3 – Разделение электроприемников на характерные группы

| п/п №  | Наименование электроприемников | кол-во   | $P_{ном},$<br>Вт | $P_{ном},$<br>Вт | $Q_{ном},$<br>кВар | Число<br>фаз |
|--|--------------------------------|----------|------------------|------------------|--------------------|--------------|
| 1 категория $K_u = 0,7 \cos \varphi / tg \varphi = 0,77 / 0,828$ |                                |          |                  |                  |                    |              |
|  | Вентиляторы                    | 12       | 15               | 180              | 149                | 3            |
| 24   | Вентиляторы                    | 17       | 7,5              | 127,<br>5        | 105,6              | 3            |
| 25   | Вентиляторы                    | 10       | 2,5              | 25               | 20,7               | 3            |
| Итого по категории   |                                | 39       |                  | 332,5            | 275,3              |              |
| 2 категория $K_u = 0,4 \cos \varphi / tg \varphi = 0,75 / 0,88$  |                                |          |                  |                  |                    |              |
|  | Сварочная установка            | 1        | 12               | 12               | 10,6               | 3            |
| Итого по категории   |                                | 1        |                  | 12               | 10,6               |              |
|  |                                |          |                  |                  |                    | Лист         |
| 13.03.02.2020.091.000. ПЗ  |                                |          |                  |                  |                    | 13           |
| Изм.   | Лист                           | № докум. | Подпись          | Дата             |                    |              |

продолжение таблицы 3

| № п/п  | Наименование электроприемников | Кол-во | $P_{ном},$<br>кВт | $P_{ном},$<br>кВт | $Q_{ном},$<br>кВар | Число<br>фаз |
|--|--------------------------------|--------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------|
| 3 категория $K_u = 0,75 \cos\varphi / tg\varphi = 0,795 / 0,763$ |                                |        |                   |                   |                    |              |
|  | Насосы                         | 8      | 7,5               | 60                | 45,8               | 3            |
|  | Насосы                         | 8      | 0,55              | 4,4               | 3,4                | 3            |
|  | Насосы                         | 1      | 75                | 75                | 57,2               | 3            |
|  | Насосы                         | 6      | 10                | 60                | 45,8               | 3            |
| Итого по категории   |                                | 23     |                   | 199,4             | 152,2              |              |
| 4 категория $K_u = 0,2 \cos\varphi / tg\varphi = 0,75 / 0,882$   |                                |        |                   |                   |                    |              |
| 13   | Лабораторное оборудование      | 28     | 2,5               | 70                | 61,7               | 1            |
| Итого по категории   |                                | 28     |                   | 70                | 61,7               |              |
| 5 категория $K_u = 0,7 \cos\varphi / tg\varphi = 0,9 / 0,484$    |                                |        |                   |                   |                    |              |
| 14   | Дистиллятор                    | 1      | 51                | 51                | 24,6               | 3            |
| Итого по категории   |                                | 1      |                   | 51                | 24,6               |              |
| 6 категория $K_u = 0,2 \cos\varphi / tg\varphi = 0,7 / 1,02$     |                                |        |                   |                   |                    |              |
|  | Клапаны                        | 388    | 0,75              | 291               | 296,8              | 3            |
| Итого по категории   |                                | 388    |                   | 291               | 296,8              |              |

|  |                          |    |     |     |      |   |
|--|--------------------------|----|-----|-----|------|---|
| 7 категория $K_u = 1 \cos\varphi / tg\varphi = 0,98 / 0,2$   |                          |    |     |     |      |   |
| 15   | Установка сушки          | 6  | 12  | 72  | 14,4 | 3 |
| Итого по категории   |                          | 6  |     | 72  | 14,4 |   |
| 8 категория $K_u = 0,8 \cos\varphi / tg\varphi = 0,8 / 0,75$ |                          |    |     |     |      |   |
| 16   | Оборудование камер сушки | 13 | 3   | 39  | 29,2 | 3 |
| Итого по категории   |                          | 13 |     | 39  | 29,2 |   |
| 9 категория $K_u = 0,7 \cos\varphi / tg\varphi = 0,5 / 1,73$ |                          |    |     |     |      |   |
| 11   | Кран                     | 2  | 10  | 20  | 34,6 | 3 |
| 12   | Станки                   | 5  | 8   | 40  | 69,2 | 3 |
| 21   | Таль                     | 4  | 7   | 28  | 48,4 | 3 |
| 22   | Тележка                  | 3  | 1,7 | 5,1 | 8,8  | 3 |
| 23   | Станок фрезерный         | 5  | 11  | 55  | 95,1 | 3 |

### 3.3 Выбор схемы электроснабжения, числа, мощности и типа силовых трансформаторов цеховой подстанции.

Внутрицеховое распределение энергии осуществляется по радиальным, магистральным или смешанным схемам. Выбор вида схемы зависит от планировки и габаритов технологического оборудования, требований к надежности электроснабжения, вероятности изменения технологического процесса, вызывающего замену оборудования, условий окружающей среды.

Радиальная схема обеспечивает высокую надёжность электроснабжения и лёгкую приспособляемость к автоматизации. Недостатки радиальных схем: радиальные схемы обладают низкой оперативной гибкостью; требуют сооружения распределительного устройства в виде распределительных щитов или шкафов с большим числом коммутационной или защитной аппаратуры, занимающих много места в производственном помещении. Также радиальные схемы требуют большого числа питающих линий и увеличения протяжённости сети, а, следовательно, дополнительного расхода на проводниковый материал.

Недостатки магистральных схем заключаются в понижении надёжности электроснабжения по сравнению с радиальными схемами и в некотором перерасходе проводникового материала, но если магистраль выполнена комплектным шинопроводом, обладающим высокой надёжностью, то магистральные схемы обеспечивают требуемую надёжность электроснабжения, а также гибкость и универсальность цеховых сетей.

В электроснабжении в чистом виде магистральные и радиальные схемы применяются довольно редко, смешанные содержат элементы этих сетей. Применение смешанных схем (магистральные и радиальные) позволяет не только оптимальным образом построить схему цеховой сети, но и обеспечить полное резервирование электроснабжения отдельных групп электроприемников.

Так как из за архитектурных особенностей здания необходима установка большого количества распределительных пунктов (РП) то для электроснабжения электроприемников выбирается радиальная схема распределения электрической энергии.

Для электроснабжения здания предусматривается установка трех распределительных устройств (ВРУ) каждая из которых имеет две секции.

К секциям ВРУ 1 подключены:

РП1 - РП19.

К секциям ВРУ 2 подключены:

РП20 - РП28.

К секциям ВРУ 3 подключены:

РП30-РП36.

Для выбора мощности трансформаторов необходимо рассмотреть два варианта подстанций – с полной компенсацией реактивной мощности и при отсутствии компенсации. [3]

Мощность трансформаторов при полной компенсации (вариант 1) определится:

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 15   |

$$S_{\min} = \frac{P_{PT}}{\beta \cdot N}, \quad (4)$$

где  $\beta$  – коэффициент нагрузки (загрузки) трансформаторов.

Для двухтрансформаторной подстанции  $\beta=0,7$  с учетом степени резервирования [13].

Тогда:

$$S_{\min} = \frac{1335,9}{0,7 \cdot 2} = 954,2 \text{ кВА}$$

Выбирается два трансформатора с номинальной мощностью  $S_{\text{ном1}} = 1000$  кВА.

Реактивная мощность, которая может быть передана со стороны 6 кВ в сеть низкого напряжения:

$$Q_{Ti} = \sqrt{(\beta \cdot N \cdot S_{\text{номi}})^2 - P_{PT}^2}, \quad (5)$$

где  $i=1,2$  – номер варианта.

Вариант 1.

$$Q_{T1} = \sqrt{(0,7 \cdot 2 \cdot 1000)^2 - 1335,9^2} = 418,8 \text{ квар}$$

Мощность конденсаторных установок напряжением до 1000 В:

$$Q_{K1} = Q_{PT} - Q_{T1} = 975,1 - 418,8 = 556,3 \text{ квар}$$

Устанавливаются две низковольтные конденсаторные батареи мощностью  $Q_{НКБ} = 300$  квар типа УКМ 58.04-300-33.3УЗ. Стоимость данной батареи 31500 руб.

Для данного варианта необходимо выбрать кабель, питающий трансформатор. Сечение жил кабеля выбирается по экономической плотности тока, которая в свою очередь зависит от времени наибольших нагрузок. Время наибольших нагрузок цеха химической промышленности принимается  $T_{\text{но}} = 7000$  ч. Значение экономической плотности тока для кабелей с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами принимается  $j_{\text{эк}} = 1,2 \text{ А/мм}^2$  [9].

Расчетный ток  $i$ -того варианта, протекающий по кабельной линии, определится [4]

$$I_{pi} = \frac{S_{pi}}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (6)$$

где  $S_{pi}$  – полная расчетная мощность нагрузки  $i$ -того варианта;

$n$  – число кабельных линий ( $n=2$ );

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение ( $U_{\text{ном}}=6$  кВ).

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 16   |

Экономически целесообразное сечение  $i$ -того варианта выбирается по форму

$$F_{эки} = \frac{I_{pi}}{j_{эж}} \quad (7)$$

Тогда для первого варианта:

$$S_{p1} = \sqrt{(1335,9)^2 + (975,1 - 600)^2} = 1387,6 \text{ кВА}$$

$$I_{p1} = 66,74 \text{ А}$$

$$F_{эж1} = 55,2 \text{ м}^2$$

Минимально допустимое сечение по условиям механической прочности на напряжение 6 кВ составляет 16 мм<sup>2</sup> [9].

Выбирается кабель марки ААБ-3х70, проложенный в земле при температуре почвы 15°C ( $r_o=0,447$  Ом/км,  $x_o=0,061$  Ом/км,  $I_{дон}=180$ А). Стоимость одной кабельной линии 442000 руб/км.

Проверка кабеля по условиям нагрева в послеаварийном режиме:

$$I_{max} = 133,4 \text{ А} < I_{дон} = 180 \text{ А}$$

Вариант 2.

Второй вариант подразумевает установку трансформаторов с отсутствием компенсации. Тогда мощность трансформаторов определится:

$$S_{max} = \frac{S_{PT}}{\beta \cdot N} \quad (8)$$

Таким образом:

$$S_{max} = \frac{1653,9}{0,7 \cdot 2} = 1180,7 \text{ кВА}$$

Выбирается два трансформатора с номинальной мощностью  $S_{ном1} = 1600$  кВА.

Реактивная мощность, которая может быть передана со стороны 6 кВ в сеть низкого напряжения, равна:

$$Q_{T2} = \sqrt{(0,7 \cdot 2 \cdot 1600)^2 - 975,1^2} = 2016,6 \text{ квар}$$

Мощность конденсаторных установок напряжением до 1000В:

$$Q_{K2} = Q_{PT} - Q_{T2} = 975,1 - 2016,6 = -1041,5 \text{ квар}$$

Следовательно, установка конденсаторных установок не требуется.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 17   |



Также для данного варианта выбирается кабель по аналогичным условиям первого варианта.

Расчетная мощность второго варианта равняется:

$$S_{p2} = 1653,9 \text{ кВА}$$

$$I_{p2} = 79,6 \text{ А}, F_{эк2} = 66,3 \text{ м}^2$$

Выбирается кабель марки ААБ-3х70, проложенный в земле при температуре почвы 15°C ( $r_o=0,447 \text{ Ом/км}$ ,  $x_o=0,061 \text{ Ом/км}$ ,  $I_{дон}=180 \text{ А}$ ). Стоимость одной кабельной линии 442000 руб/км.

Проверка кабеля по условиям нагрева в послеаварийном режиме:

$$I_{\max} = 159,2 \text{ А} < I_{дон} = 180 \text{ А}$$

Так как для электроснабжения здания предусматривается сооружение встроенной цеховой подстанции, то во всех вариантах выбираются трансформаторы типа ТСЗ.

Трехфазные сухие трансформаторы ТС (без кожуха) и ТСЗ (с кожухом) предназначены для преобразования электроэнергии у потребителей в условиях умеренно-холодного климата в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями (от +35°C до +1°C). Основной изолирующей средой трансформаторов ТСЗ является атмосферный воздух.

Все трансформаторы имеют ПБВ от -5 % до +5 %, осуществляемое путем перестановки контактных пластин на панелях зажимов, расположенных внутри кожуха.

Силовые защищенные трансформаторы ТСЗ выгодно отличаются от других видов трансформаторов: они очень устойчивы к нагрузкам при перепадах напряжения; имеют низкий уровень шума, имеют высокую стойкость к динамическим воздействиям, возникающих в режиме короткого замыкания; обеспечивают полную экологическую и пожарную безопасность; устойчивы к механическим воздействиям при транспортировке и монтаже.

Благодаря всем этим свойствам трансформаторы ТСЗ могут устанавливаться в местах, требующих повышенной безопасности, в местах с повышенными требованиями к охране окружающей среды, на промышленных предприятиях, металлургических комбинатах, химических производствах, электростанциях в непосредственной близости от центров нагрузок, что позволяет избежать издержек связанных со строительством подстанций, обеспечивает экономию распределительных шин и кабелей низкого напряжения, уменьшает в них потери электроэнергии. Трансформаторы имеют высокую надежность, требуют минимальных затрат на обслуживание, экономичны, просты в эксплуатации [23].

Справочные данные выбранных трансформаторов [23] записаны в таблице 3.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 18   |

Таблица 3.1 – Справочные данные силовых трансформаторов

|                               |          |          |
|-------------------------------|----------|----------|
| Номер трансформатора          | T1       | T2       |
| Тип трансформатора            | ТС3-1000 | ТС3-1600 |
| $S_{ном}$ , кВА               | 1000     | 1600     |
| $U_{НОМВ}$ , кВ               | 6        | 6        |
| $U_{НОМН}$ , кВ               | 0,4      | 0,4      |
| $\Delta P_x$ , кВт            | 1,9      | 2,8      |
| $\Delta P_{\kappa}$ , кВт     | 8,5      | 11       |
| $u_{\kappa}$ , %              | 8        | 6        |
| Стоимость трансформатора, руб | 925500   | 1250000  |

### 3.4 Составление баланса активных и реактивных мощностей

Особенность систем Электроснабжения основывается в мгновенной передаче электрической энергии от источника к потребителю и невозможности накапливания выработанной электроэнергии в заметных количествах. Эти свойства определяют совокупность процесса выработки и потребления электроэнергии мощности, в единицу времени. Следовательно, в электрической системе должен присутствовать баланс для активных мощностей [2]:

$$P_r = P_n + \Delta P, \quad (9)$$

где  $P_r$  – суммарная активная мощность, отдаваемая в систему генератором электростанций, входящих в систему электроснабжения;

$P_n$  – суммарная совмещенная активная нагрузка, потребителей системы;

$\Delta P$  – суммарная потеря активной мощности во всех элементах передачи электроэнергии (трансформаторах, линиях) в системе электроснабжения.

В системе электроснабжения суммарная генерируемая реактивная мощность должна быть равна потребляемой реактивной мощности. В отличие от активной мощности, источниками которой являются только генераторы электростанций, реактивная мощность генерируется как генераторами, так и другими источниками, к которым также относятся воздушные и кабельные линии разных напряжений и протяженностей, а также установленные в сетях источники реактивной мощности. Поэтому баланс реактивной мощности в электрической системе представляются выражением: [5]

$$Q_{\Gamma} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{ирм}} = Q_{\text{п}} + \Delta Q, \quad (10)$$

где  $Q_{\Gamma}$  – суммарная реактивная мощность, отдаваемая в систему генераторами электростанций, входящих в систему;

$Q_{\text{л}}$  – реактивная мощность, генерируемая в систему воздушными и кабельными линиями;

$Q_{\text{ирм}}$  – реактивная мощность, генерируемая в систему источниками реактивной мощности;

$Q_{\text{п}}$  – суммарная совмещенная реактивная нагрузка потребителей системы;

$\Delta S$  – суммарные потери реактивной мощности во всех элементах передачи электроэнергии (линиях, трансформаторах) по электрическим сетям.

Потери мощности в трансформаторах и линиях определяются по формулам:

$$\Delta S_{\text{тj}} = \left( \Delta P_{\text{oi}} + \Delta P_{\text{кi}} \frac{S_{\text{Hi}}^2}{S_{\text{T ном}}^2} \right) + j \left( \frac{i_0\%}{100} S_{\text{T ном}} + \frac{u_{\text{к}}}{100} \frac{S_{\text{Hi}}^2}{S_{\text{T ном}}} \right) \quad (11)$$

$$\Delta S_{\text{кj}} = \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U^2} R_{\text{кj}} + j \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U^2} X_{\text{кj}}, \quad (12)$$

где  $i$  – параметры  $j$ -го трансформатора и нагрузки;

$\Delta S_{\text{тj}}$ ,  $\Delta S_{\text{кj}}$  – потери мощности в  $j$ -ом трансформаторе и кабеле.

Расчетная схема баланса мощностей показана на рисунке 2.

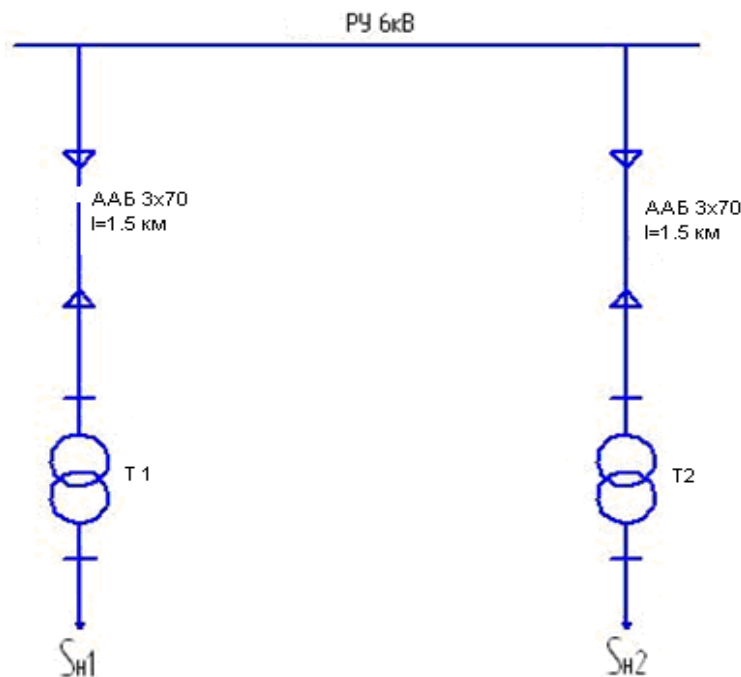


Рисунок 2 – Расчетная схема баланса мощностей

Данные по нагрузкам:

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 20   |

$$S_{нагр1} = 492,1 + j369,1 = 615,1 \text{ кВА}$$

$$S_{нагр2} = 472 + j353,8 = 589,9 \text{ кВА}$$

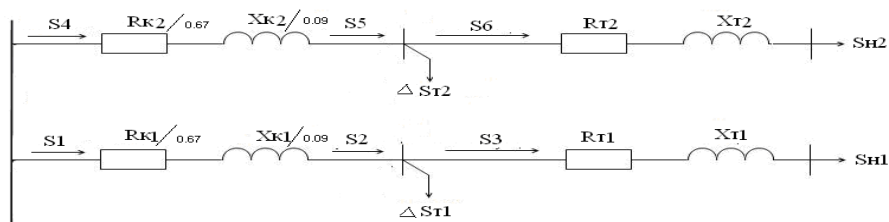


Рисунок 1 – Схема замещения

Параметры трансформаторов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры трансформаторов

| Номер трансформатора | T1       | T2       |
|----------------------|----------|----------|
| Тип трансформатора   | ТСЗ-1000 | ТСЗ-1600 |
| $S_{ном}$ , кВА      | 1000     | 1600     |
| $U_{НОМВ}$ , кВ      | 6        | 6        |
| $U_{НОМН}$ , кВ      | 0,4      | 0,4      |
| $\Delta P_x$ , кВт   | 1,9      | 2,8      |
| $\Delta P_k$ , кВт   | 8,5      | 11       |
| $u_k$ , %            | 8        | 6        |

Сопротивление трансформатора ТСЗ – 1000:

$$Z_T = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{6^2}{1000} = 2,88 \text{ Ом}$$

$$R_T = \Delta P_{кз} \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}^2} = 8,5 \cdot \frac{6^2}{1000^2} = 0,0003 \text{ Ом}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{2,88^2 - 0,0003^2} = 2,88 \text{ Ом}$$

Параметры кабельных линий приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры кабельных линий

| Номер кабельной линии | Марка и сечение кабеля | l, км | Число кабелей | $R_0$ , Ом/км | $X_0$ , Ом/км | R, Ом | X, Ом |
|-----------------------|------------------------|-------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|
| 1                     | ААБ 3x70               | 1,5   | 1             | 0,447         | 0,061         | 0,67  | 0,09  |
| 2                     | ААБ 3x70               | 1,5   | 1             | 0,447         | 0,061         | 0,67  | 0,09  |

Расчет баланса мощностей.

Потери мощности в трансформаторе Т1:

$$\Delta S_{T1} = \left( 1,9 + 8,5 \cdot \frac{615,1^2}{1000^2} \right) + j \left( \frac{1,2}{100} \cdot 1000 + \frac{8}{100} \cdot \frac{615,1^2}{1000} \right) = 5,11 + j42,3$$

$$\underline{S}_2 = \underline{S}_{H1} + \Delta S_{T1} = 492,1 + j369,1 + 5,11 + j42,3 = 497,2 + j411,4$$

Потери мощности в кабельной линии:

$$\Delta S_{K1} = \frac{497,2^2 + 411,4^2}{6^2} \cdot 0,67 + j \frac{497,2^2 + 411,4^2}{6^2} \cdot 0,09 = 7,75 + j1,04$$

$$\underline{S}_1 = \underline{S}_2 + \Delta S_{K1} = 497,2 + j411,4 + 7,75 + j1,04 = 504,9 + j412$$

Потери мощности в трансформаторе Т2:

$$\Delta S_{T2} = \left( 1,9 + 8,5 \cdot \frac{589,9^2}{1000^2} \right) + j \left( \frac{1,2}{100} \cdot 1000 + \frac{8}{100} \cdot \frac{589,9^2}{1000} \right) = 4,89 + j41,87$$

$$\underline{S}_2 = \underline{S}_{H2} + \Delta S_{T2} = 472 + j353,8 + 4,89 + j41,87 = 476,89 + j395,7$$

Потери мощности в кабельной линии:

$$\Delta S_{K2} = \frac{476,89^2 + 395,7^2}{6^2} \cdot 0,67 + j \frac{476,89^2 + 395,7^2}{6^2} \cdot 0,09 = 7,15 + j0,96$$

$$\underline{S}_1 = \underline{S}_2 + \Delta S_{K2} = 476,89 + j395,7 + 7,15 + j0,96 = 484 + j396,6$$

Далее проверяется баланс мощностей. Основной целью составления баланса мощности является обеспечение работы электрической системы с допустимыми параметрами. Баланс составляется отдельно для активной и реактивной мощности. Соотношение баланса активной мощности будет выполняться, так как генерируемая мощность передаваемая на подстанцию не лимитируется. Но передаваемая реактивная мощность ограничена, поэтому необходимо проверить баланс по реактивной мощности. [5]

Для трансформатора Т1:

$$S_{\text{треб}} = 504,9 + j412 \text{ кВА}$$

$$P_{\text{ген}} = 504,9 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{эк}} = P_{\text{ген}} \cdot \operatorname{tg} \phi_{\rho} = 504,9 \cdot 0,33 = 166,7 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{эк}} = 166,7 \text{ квар} < Q_{\text{требуем}} = 412 \text{ квар},$$

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 22   |

где  $Q_{\text{эк}}$  – экономическое значение реактивной мощности потребляемой из сети энергосистемы в часы наибольших нагрузок электрической сети.

Баланс реактивной мощности не выполняется. В связи с отсутствием синхронных двигателей в системе электроснабжения необходима установка дополнительных батарей конденсаторов. Принимается решение об установке низковольтных батарей конденсаторов УКМ 58.04-300-33.3У3.

Проверка баланса мощностей для трансформатора Т1 после установки конденсаторных батарей:

$$S_{н1} = 492,1 + j369,1 - j300 = 492,1 + j69,1 = 496,9 \text{ кВА}$$

$$\Delta S_{т1} = \left( 1,9 + 8,5 \cdot \frac{496,9^2}{1000^2} \right) + j \left( \frac{1,2}{100} \cdot 1000 + \frac{8}{100} \cdot \frac{496,9^2}{1000} \right) = 4 + j31,75$$

$$S_2 = S_{н1} + \Delta S_{т1} = 492,1 + j69,1 + 4 + j31,75 = 496,1 + j100,8$$

$$\Delta S_{к1} = \frac{496,1^2 + 100,8^2}{6^2} \cdot 0,67 + j \frac{496,1^2 + 100,8^2}{6^2} \cdot 0,09 = 4,77 + j0,64$$

$$S_1 = S_2 + \Delta S_{к1} = 496,1 + j100,8 + 4,77 + j0,64 = 500,9 + j101,4$$

Для трансформатора Т1:

$$S_{\text{требуем}} = 500,9 + j101,4 \text{ кВА}$$

$$P_{\text{ген}} = 500,9 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{эк}} = P_{\text{ген}} \cdot \text{tg} \phi_9 = 500,9 \cdot 0,33 = 165,3 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{эк}} = 165,3 \text{ квар} > Q_{\text{требуем}} = 101,4 \text{ квар}$$

Баланс мощностей выполняется.

Для трансформатора Т2:

$$S_{\text{требуем}} = 484 + j396,6 \text{ кВА}$$

$$P_{\text{ген}} = 484 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{эк}} = P_{\text{ген}} \cdot \text{tg} \phi_9 = 484 \cdot 0,33 = 159,7 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{эк}} = 159,7 \text{ квар} < Q_{\text{требуем}} = 396,6 \text{ квар}$$

Баланс реактивной мощности не выполняется. Принимается решение об установке низковольтных батарей конденсаторов УКМ 58.04-300-33.3У3.

Проверка баланса мощностей для трансформатора Т2 после установки конденсаторных батарей: [2]:

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 23   |

$$S_{H2} = 472 + j353,8 - j300 = 472 + j53,8 = 475,6 \text{ кВА}$$

$$\Delta S_{T2} = \left( 1,9 + 8,5 \cdot \frac{475,6^2}{1000^2} \right) + j \left( \frac{1,2}{100} \cdot 1000 + \frac{8}{100} \cdot \frac{475,6^2}{1000} \right) = 3,8 + j30$$

$$\underline{S}_5 = \underline{S}_{H2} + \Delta S_{T2} = 472 + j53,8 + 3,8 + j30 = 475,8 + j83,8$$

$$\Delta S_{K1} = \frac{475,8^2 + 83,8^2}{6^2} \cdot 0,67 + j \frac{475,8^2 + 83,8^2}{6^2} \cdot 0,09 = 4,34 + j0,58$$

$$\underline{S}_1 = \underline{S}_2 + \Delta S_{K1} = 475,8 + j83,8 + 4,34 + j0,58 = 480,2 + j88,1$$

Для трансформатора Т2:

$$\underline{S}_{\text{требуем}} = 480,2 + j88,1 \text{ кВА}$$

$$P_{\text{ген}} = 480,2 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{эк}} = P_{\text{ген}} \cdot \operatorname{tg} \phi_{\phi} = 480,2 \cdot 0,33 = 158,5 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{эк}} = 158,5 \text{ квар} > Q_{\text{требуем}} = 88,1 \text{ квар}$$

Баланс мощностей выполняется.

### 3.5 Расчет электрических нагрузок по элементам сети, выбор проводов и кабелей

Расчёт тока до первого РП данные по электроприемникам занесем в таблицу 6.

Таблица 6 – Данные по электроприемникам до РП – 1

| Наименование электроприёмника          | количество | $P_{\text{ном}}$<br>кВт | $K_{\text{и}}$ | $\operatorname{tg} \varphi$ |
|--|------------|-------------------------|----------------|-----------------------------|
| Розетка штепсельная                    | 8          | 1                       | 0,1            | 1,73                        |
| Шкаф пробоотбора                       | 2          | 0,2                     | 1              | 0,512                       |
| Бокс пробоотбора                       | 3          | 0,2                     | 1              | 0,512                       |
| ЯА(Ш) для подключения сварочной машины | 5          | 12                      | 0,4            | 0,763                       |
| Вентиляторы                            | 6          | 2,5                     | 0,7            | 0,828                       |

$$P_{\text{ном1}} = \sum n_i \cdot P_{\text{ном}i} \quad (13)$$

$$P_{\text{ном1}} = 8 \cdot 1 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 12 + 6 \cdot 2,5 = 84 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{с1}} = P_{\text{ном1}} K_{\text{и}} \quad (14)$$

$$P_{c1} = 8 \cdot 0,1 + 1 \cdot 1 + 60 \cdot 0,4 + 15 \cdot 0,7 = 36,3 \text{ кВт}$$

Групповой коэффициент использования:

$$K_u = \frac{P_c}{P_{ном}} = \frac{36,3}{284} = 0,43$$

Эффективное число приёмников:

$$n_3 = \frac{P_{ном}^2}{\sum P_{ном}^2 \cdot n} = \frac{84^2}{1^2 \cdot 8 + 5 \cdot 0,2^2 + 5 \cdot 12^2 + 6 \cdot 2,5^2} = 9,21$$

Принимаем  $n_3 = 9$

По таблице определяем коэффициент расчётной нагрузки:  $K_p$ :  $K_p = f(K_u; n_3)$ ,

$$K_p = 1,09.$$

Активная расчётная мощность нагрузки на РП:

$$P_p = K_u \cdot K_p \cdot P_{ном.ш} = 84 \cdot 1,09 \cdot 0,43 = 39,4 \text{ кВт}$$

Рассчитаем расчётную реактивную мощность нагрузки :

$$Q_c = \sum P_{ci} \cdot \text{tg} \phi = 8 \cdot 1,73 \cdot 0,1 + 5 \cdot 1 \cdot 0,2 \cdot 0,512 + 5 \cdot 12 \cdot 0,763 \cdot 0,4 + 6 \cdot 2,5 \cdot 0,7 \cdot 0,828 = 28,9$$

$$\text{кВар} \quad \text{tg} \phi = \frac{Q_c}{P_c} = \frac{28,9}{39,4} = 0,733$$

$$Q_p = 1,1 \cdot P_p \cdot \text{tg} \phi = 1,1 \cdot 39,4 \cdot 0,733 = 31,8 \text{ кВар}$$

Полная расчётная мощность нагрузки:

$$S_{p1} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{39,4^2 + 31,8^2} = 50,6 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Расчётный ток на проводе до первого РП:

$$I_{p1} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{50,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 76,9 \text{ А}$$

Кабели, питающие распределительные пункты, выбираются по длительно допустимому току нагрузки.

Рассмотрим выбор кабеля питающего распределительный пункт РП-2. Для питания распределительного пункта РП-2 будут использоваться кабели типа ВВГнг-LS с медными жилами, с малодымной изоляцией, нераспространяющей горение. [10]

Принимаем кабель типа ВВГнг-LS 5x25. Проверяем по указанным выше условиям:

$$I_{доп} = 90 \text{ А} > I_p = 76,9 \text{ А}$$

Выбранное сечение удовлетворяет необходимым условиям.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 25   |







Таблица 17 – от РП – 13

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Кран                          | 1          | 10                     | 0,2            |
| Розетка штепсельная           | 5          | 1                      | 0,1            |

Таблица 18 – от РП – 14

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Клапан                        | 9          | 0,75                   | 0,2            |

таблица 19 – от РП – 15

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Клапан                        | 15         | 0,75                   | 0,2            |

Таблица 20 – от РП – 16

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Клапан                        | 22         | 0,75                   | 0,2            |

Таблица 21 – от РП – 17

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Клапан                        | 15         | 0,75                   | 0,2            |

Таблица 22 – от РП – 18

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Кран                          | 1          | 10                     | 0,2            |
| Розетка штепсельная           | 2          | 1                      | 0,1            |

Таблица 23 – от РП – 19

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Клапан                        | 22         | 0,75                   | 0,2            |

Таблица 24 – от РП – 21

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Клапан                        | 16         | 0,75                   | 0,2            |

Таблица 25 – от РП – 22

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Вентилятор                    | 2          | 15                     | 0,7            |
| Розетка штепсельная           | 8          | 1                      | 0,1            |
| Сварочная установка           | 2          | 12                     | 0,4            |

Таблица 26 – от РП – 23

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Вентилятор                    | 2          | 15                     | 0,7            |
| Розетка штепсельная           | 8          | 1                      | 0,1            |
| Сварочная установка           | 2          | 12                     | 0,4            |

Таблица 27 – от РП – 24

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Вентилятор                    | 4          | 15                     | 0,7            |
| Вентилятор                    | 8          | 7,5                    | 0,7            |
| Розетка штепсельная           | 2          | 1                      | 0,1            |

Таблица 28 – от РП – 25

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Лабораторное оборудование     | 8          | 2,5                    | 0,2            |
| Розетка штепсельная           | 4          | 1                      | 0,1            |

Таблица 29 – от РП – 26

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Вентилятор                    | 2          | 15                     | 0,7            |
| Вентилятор                    | 2          | 7,5                    | 0,7            |
| Розетка штепсельная           | 2          | 1                      | 0,1            |
| Сварочная установка           | 2          | 12                     | 0,4            |

Таблица 30 – от РП – 27

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Вентилятор                    | 4          | 15                     | 0,7            |
| Розетка штепсельная           | 2          | 1                      | 0,1            |

Таблица 31 – от РП – 28

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Вентилятор                    | 3          | 15                     | 0,7            |
| Насос                         | 1          | 0,55                   | 0,75           |
| Розетка штепсельная           | 3          | 1                      | 0,1            |
| Дистилятор                    | 1          | 51                     | 0,5            |

Таблица 32 – от РП – 29

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Оборудование камер сушки      | 3          | 3                      | 0,8            |
| Клапан                        | 6          | 0,75                   | 0,2            |

Таблица 33 – от РП – 31

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Бетономешалка                 | 1          | 5                      | 0,3            |
| Насос                         | 1          | 0,55                   | 0,75           |
| Розетка штепсельная           | 3          | 1                      | 0,1            |
| Сварочная установка           | 5          | 12                     | 0,4            |

Таблица 34 – от РП – 32

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Станок                        | 2          | 11                     | 0,2            |
| Розетка штепсельная           | 4          | 1                      | 0,1            |
| Сварочная установка           | 2          | 12                     | 0,4            |

Таблица 35 – от РП – 33

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Оборудование камер сушки      | 4          | 3                      | 0,8            |
| Установка сушки               | 1          | 12                     | 1              |

Таблица 36 – от РП – 34

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Кран                          | 1          | 10                     | 0,2            |
| Сварочная установка           | 2          | 12                     | 0,4            |
| Розетка штепсельная           | 2          | 1                      | 0,1            |

Таблица 37 – от РП – 35

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Вентилятор                    | 2          | 15                     | 0,7            |
| Сварочная установка           | 2          | 12                     | 0,4            |
| Розетка штепсельная           | 1          | 1                      | 0,1            |

Таблица 38 – от РП – 36

| Наименование электроприёмника | Количество | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $K_{\text{и}}$ |
|-------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Вентилятор                    | 2          | 15                     | 0,7            |
| Сварочная установка           | 2          | 12                     | 0,4            |
| Розетка штепсельная           | 1          | 1                      | 0,1            |

Таблица 39 – Выбор сечения кабеля

| Наименование пункта | $S_p$ , кВА | $I_p$ , А | $F$ , мм <sup>2</sup> | $I_{дон}$ , А |
|---------------------|-------------|-----------|-----------------------|---------------|
| РП-1                | 51,2        | 77,8      | ВВГнг-LS 5x25         | 90            |
| РП-2                | 50,6        | 76,9      | ВВГнг-LS 5x25         | 90            |
| РП-3                | 2           | 3,1       | ВВГнг-LS 5x2.5        | 25            |
| РП-4                | 0,7         | 1,1       | ВВГнг-LS 5x2.5        | 25            |
| РП-5                | 0,4         | 0,6       | ВВГнг-LS 5x2.5        | 25            |
| РП-6                | 0,7         | 1,1       | ВВГнг-LS 5x2.5        | 25            |
| РП7                 | 0,4         | 0,6       | ВВГнг-LS 5x2.5        | 25            |
| РП8                 | 0,9         | 1,4       | ВВГнг-LS 5x2.5        | 25            |
| РП9                 | 0,7         | 1,1       | ВВГнг-LS 5x2,5        | 25            |
| РП10                | 19,1        | 29        | ВВГнг-LS 5x2,5        | 25            |
| РП11                | 20,4        | 31        | ВВГнг-LS 5x6          | 42            |
| РП12                | 0,7         | 1,1       | ВВГнг-LS 5x2,5        | 25            |
| РП13                | 24          | 36,4      | ВВГнг-LS 5x6          | 42            |
| РП14                | 14,2        | 21,6      | ВВГнг-LS 5x2,5        | 25            |
| РП15                | 2,7         | 4,1       | ВВГнг-LS 5x2.5        | 25            |
| РП16                | 1,2         | 1,8       | ВВГнг-LS 5x2.5        | 25            |
| РП17                | 1,8         | 2,7       | ВВГнг-LS 5x2,5        | 25            |
| РП18                | 1,8         | 2,7       | ВВГнг-LS 5x2,5        | 25            |
| РП19                | 19          | 29        | ВВГнг-LS 5x6          | 42            |
| РП20                | 37,5        | 57        | ВВГнг-LS 5x10         | 55            |
| РП21                | 19,7        | 30        | ВВГнг-LS 5x6          | 42            |
| РП22                | 1           | 1,5       | ВВГнг-LS 5x2,5        | 25            |
| РП23                | 17,6        | 26,7      | ВВГнг-LS 5x6          | 42            |
| РП24                | 25,5        | 38,7      | ВВГнг-LS 5x6          | 42            |
| РП25                | 30,8        | 46,7      | ВВГнг-LS 5x10         | 55            |
| РП26                | 16          | 24,3      | ВВГнг-LS 5x10         | 55            |
| РП27                | 0,7         | 1,1       | ВВГнг-LS 5x2,5        | 25            |
| РП28                | 8,6         | 13,1      | ВВГнг-LS 5x2,5        | 25            |
| РП29                | 49,7        | 75,5      | ВВГнг-LS 5x25         | 90            |

|      |      |          |         |      |
|------|------|----------|---------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |
|------|------|----------|---------|------|

13.03.02.2020.091.000. ПЗ

Лист

33



## Окончание таблицы 39

| Наименование пункта | $S_p$ , кВА | $I_p$ , А | $F$ , мм <sup>2</sup> | $I_{доп}$ , А |
|---------------------|-------------|-----------|-----------------------|---------------|
| РП30                | 38,2        | 58        | ВВГнг-LS 5x10         | 55            |
| РП31                | 28,5        | 43,3      | ВВГнг-LS 5x10         | 55            |
| РП32                | 12,6        | 19,1      | ВВГнг-LS 5x2.5        | 25            |
| РП33                | 12,6        | 19,1      | ВВГнг-LS 5x2,5        | 25            |
| РП34                | 17,9        | 27,2      | ВВГнг-LS 5x6          | 42            |
| РП35                | 12,4        | 18,8      | ВВГнг-LS 5x2.5        | 25            |
| РП36                | 12,4        | 18,8      | ВВГнг-LS 5x2,5        | 25            |
| ВРУ 1<br>Секция 1   | 308,8       | 469,2     | ВВГнг-LS<br>2x(5x120) | 520           |
| ВРУ 1<br>Секция 2   | 257,9       | 391,8     | ВВГнг-LS<br>2x(5x120) | 520           |
| ВРУ 2<br>Секция 1   | 169,1       | 256,9     | ВВГнг-LS 5x150        | 350           |
| ВРУ 2<br>Секция 2   | 147,7       | 224,4     | ВВГнг-LS 5x150        | 350           |
| ВРУ 3<br>Секция 1   | 137,2       | 208,5     | ВВГнг-LS 5x150        | 350           |
| ВРУ 3<br>Секция 2   | 154,3       | 234,4     | ВВГнг-LS 5x150        | 350           |

## 3.6 Выбор кабелей, питающих отдельные электроприемники

Выбор кабелей для отдельных электроприемников осуществляется по нагреву (Идоп) и проверяется по механической прочности [9].

Рассчитаем сечение проводников, отходящих от РП до электроприёмников. Проводники от РП до электроприемников проложены в кабельных каналах. Допустимый ток берём из таблицы, как для проводов проложенных в трубах [9].

|      |      |          |         |      |                           |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |         |      |                           |  |  |  |  | Лист |
|      |      |          |         |      |                           |  |  |  |  | 34   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ |  |  |  |  |      |

Расчёт сведём в таблицу 40.

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \quad (15)$$

где  $\eta$  – КПД двигателей электроприёмников [11].

При учете продолжительности включения, необходимо умножить на  $\sqrt{ПВ}$ .

Таблица 40 – Выбор кабеля для отдельного электроприемника

| Наименование электроприемника | Кол-во | Rном | Cosφ  | η    | I <sub>p</sub> , А | F, мм <sup>2</sup> | I <sub>доп</sub> , А | Марка провода         |
|-------------------------------|--------|------|-------|------|--------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Вентиляторы                   | 87     | 15   | 0,77  | 0,9  | 32,9               | 6                  | 42                   | ВВГнг-LS 5x6          |
| Сварочная установка           | 1      | 12   | 0,75  | 0,75 | 32,4               | 6                  | 42                   | ВВГнг-LS 5x6          |
| Насосы                        | 20     | 7,5  | 0,795 | 0,78 | 18,4               | 2,5                | 25                   | ВВГнг-LS 5x2,5        |
| Насосы                        | 8      | 0,55 | 0,795 | 0,78 | 1,35               | 2,5                | 25                   | ВВГнг-LS 5x2,5        |
| Насосы                        | 2      | 75   | 0,795 | 0,78 | 183,8              | 70                 | 185                  | ВВГнг-LS 5x70         |
| Насосы                        | 26     | 10   | 0,795 | 0,78 | 24,5               | 4                  | 35                   | ВВГнг-LS 5x4          |
| Клапаны                       | 424    | 0,75 | 0,7   | 0,9  | 1,8                | 1,5                | 19                   | ВВГнг-LS 5x1,5        |
| Переносное эл.оборудование    | 95     | 1    | 0,5   | 0,8  | 3,8                | 1,5                | 19                   | ВВГнг-LS 5x1,5        |
| Электроприемники АСУ,СФЗ,ПОС  | 97     | 1,5  | 0,89  | 0,7  | 3,67               | 1,5                | 19                   | ВВГнг-LS 5x1,5        |
| Кран                          | 2      | 10   | 0,5   | 0,65 | 46,7               | 10                 | 55                   | ВВГнг-LS 5x10 +КГЗx10 |
| Станки                        | 15     | 8    | 0,5   | 0,7  | 34,7               | 6                  | 42                   | ВВГнг-LS 5x6          |
| Лабораторное оборудование     | 28     | 2,5  | 0,75  | 0,78 | 6,5                | 1,5                | 19                   | ВВГнг-LS 5x1,5        |



$$U_{отв.жс} = \frac{U_3 \cdot U_{2.ном}}{U_{2.жс}} = \frac{6206,2 \cdot 0,4}{0,4} = 6206,2 \text{ В}$$

Расчетное значение номера отвлечения определяется:

$$n_p = \frac{U_{отв.жс} - U_{1.ном}}{\Delta U_{ст}} = \frac{6206,2 - 6000}{0,15} = 1,37$$

$$\Delta U_{ст} = \frac{2,5}{100} \cdot 6,3 = 0,15 \text{ кВ}$$

Принимается  $n_{отв} = +2$ . Коэффициент трансформации при положении устройства ПБВ в +2-ое положение будет равен:

$$k_T = \frac{U_{1.ном} \cdot (1 + n \cdot 0,025)}{U_{2.ном}} = \frac{6,3 \cdot (1 + 2 \cdot 0,025)}{0,4} = 15,75$$

Напряжение на стороне низшего напряжения трансформатора в режиме максимальных нагрузок будет равно:

$$U_{ни} = \frac{U_{отв}}{k_T} = \frac{6206,2}{15,75} = 394,05 \text{ В}$$

Данные по электрическому расчету в режиме максимальных нагрузок для трансформатора Т1 при новом положении устройства ПБВ приведены в таблице 41.

Таблица 41 – Данные по электрическому расчету для СТ – 1

| Участок сети | P <sub>i</sub> , кВт | γ, мОм/м | ΔU <sub>i</sub> , В | U <sub>i</sub> , В | δU <sub>i</sub> , % |
|--------------|----------------------|----------|---------------------|--------------------|---------------------|
| ВРУ1.1       | 308,8                | 1,15     | 0,93                | 393,1              | -                   |
| РП-2         | 18,8                 | 7,4      | 0,7                 | 392,4              | -                   |
| ЭП-2         | 12                   | 61,8     | 1,95                | 390,45             | 2,75                |
| ВРУ2.1       | 169,1                | 1,86     | 0,83                | 393,2              | -                   |
| РП-22        | 1                    | 74       | 0,2                 | 393                | -                   |
| ЭП-22        | 0,075                | 123      | 0,02                | 392,98             | 3,3                 |
| ВРУ3.1       | 137,2                | 2,48     | 0,9                 | 393,15             | -                   |
| РП-33        | 12,6                 | 111      | 3,68                | 389,5              | -                   |
| ЭП-33        | 12                   | 61,8     | 1,95                | 387,55             | 2                   |



Напряжение на стороне низшего напряжения трансформатора в аварийном режиме будет равно:

$$U_4 = \frac{U_3}{k_T} = \frac{5992,7}{15,75} = 380,5 \text{ В}$$

Данные по электрическому расчету в послеаварийном режиме для трансформатора Т1 при новом положении устройства ПБВ приведены в таблице 44.

Таблица 44 – Данные по электрическому расчету в послеаварийном режиме для трансформатора СТ – 1

| Участок сети | P <sub>i</sub> , кВт | R, мОм/м | ΔU <sub>i</sub> , В | U <sub>i</sub> , В | δU <sub>i</sub> , % |
|--------------|----------------------|----------|---------------------|--------------------|---------------------|
| ВРУ1         | 566,7                | 1,15     | 1,7                 | 378,8              | -                   |
| РП-16        | 1,2                  | 74       | 0,2                 | 378,6              | -                   |
| ЭП-16        | 0,075                | 123      | 0,02                | 378,58             | -0,4                |
| ВРУ2         | 316,8                | 1,86     | 1,55                | 378,95             | -                   |
| РП-27        | 8,6                  | 111      | 2,26                | 376,69             | -                   |
| ЭП-27        | 4,4                  | 123      | 1,3                 | 375,39             | -1,2                |
| ВРУ3         | 291,5                | 2,48     | 1,9                 | 378,6              | -                   |
| РП36         | 12,6                 | 74       | 2,45                | 376,15             | -                   |
| ЭП-36        | 12                   | 30,9     | 0,97                | 375,18             | -1,3                |

Расчетные данные показывают, что на зажимах электроприемников в максимальном, минимальном и аварийном режиме обеспечивается допустимое отклонение напряжения на +2 ответвлении трансформатора.

### 3.8 Выбор электрооборудования.

Выбор автоматических выключателей.

Выберем выключатель защищающий РП2:

$$I_{расц} = 160 \text{ А} \geq I_{раб} = 76,9 \text{ А}$$

Пиковый ток:

$$I_{пик} = I_{раб} + k_{П} \cdot I_{Дном} \quad \text{Мощность ЭП равна 12 кВт принимается } k_{П}=7. \quad (20)$$

$$I_{пик} = 76,9 + 7 \cdot 32,4 = 303,7 \text{ А}$$

$$k_n \cdot I_{пик} = 1,5 \cdot 303,7 = 455,6 \text{ А}$$

Ток срабатывания отсечки:

$I_{co} = 480 \text{ А}$  - для автоматических выключателей ВА57-35 без теплового расцепителя [14].

$$I_{co} = 480A > k_n \cdot I_{пик} = 455,6A$$

Время срабатывания отсечки:

$$t_{co} = 0,1 + 0,15 = 0,25 \text{ с}$$

$$k_{ч} = \frac{I_{кз\ min}}{I_{co}} = \frac{2640}{480} = 5,5 \geq 1,43$$

$$ПКС = 47,5\text{кА} > i_{уд} = 11,7\text{кА}$$

Данные по выбору автоматических выключателей для одиночных ЭП, РП и ВРУ приведены в таблице 45.

Таблица 45 – Выбор автоматических выключателей

| N      | $I_p, A$ | $k_{п}$ | $I_{НОМ.д}, A$ | $I_{пик}, A$ | $k_n \cdot I_{пик}$ | АВ       | $I_{в.но м}, A$ | $I_{с.о.}, A$ | ПК С, кА | $i_{уд}, кА$ | $I_{кзм in}, A$ | $k_{ч}$ |
|--------|----------|---------|----------------|--------------|---------------------|----------|-----------------|---------------|----------|--------------|-----------------|---------|
| ВРУ1.1 | 391,8    | 5,5     | 101,3          | 949          | 1423                | ВА 57-35 | 400             | 2000          | 47,5     | 17,5         | 3300            | 1,65    |
| РП-2   | 76,9     | 7       | 32,4           | 303,7        | 455,6               | ВА 57-35 | 160             | 480           | 47,5     | 11,2         | 2640            | 5,5     |
| ЭП-2   | 32,4     | 7       | 32,4           | 226,8        | 340,2               | ВА 51-31 | 100             | 350           | 6        | 5,57         | 1200            | 3,43    |
| N      | $I_p, A$ | $k_{п}$ | $I_{НОМ.д}, A$ | $I_{пик}, A$ | $k_n \cdot I_{пик}$ | АВ       | $I_{в.но м}, A$ | $I_{с.о.}, A$ | ПК С, кА | $i_{уд}, кА$ | $I_{кзм in}, A$ | $k_{ч}$ |
| ВРУ2.1 | 256,9    | 6       | 197,4          | 454,3        | 681,5               | ВА 57-35 | 400             | 800           | 47,5     | 17,3         | 3360            | 4,2     |
| РП-22  | 1,5      | 5       | 0,1            | 2            | 3                   | ВА 57-35 | 160             | 14            | 6        | 5,97         | 2670            | 190     |

Окончание таблицы 45

|        |       |   |       |       |           |             |     |          |          |          |          |          |
|--------|-------|---|-------|-------|-----------|-------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|
| ЭП-22  | 0,1   | 5 | 0,1   | 0,5   | 0,75      | ВА<br>51-25 | 25  | 14       | 3        | 2,7      | 60<br>0  | 42       |
| ВРУЗ.1 | 224,4 | 5 | 229,1 | 1145  | 171<br>8  | ВА<br>57-35 | 400 | 20<br>00 | 47,<br>5 | 17,<br>2 | 32<br>00 | 1,6      |
| РП-33  | 19,1  | 7 | 26,6  | 205,3 | 307,<br>8 | ВА<br>57-35 | 160 | 35<br>0  | 6        | 4,5      | 70<br>0  | 2        |
| ЭП-33  | 26,6  | 7 | 26,6  | 186,2 | 279,<br>3 | ВА<br>51-31 | 100 | 30<br>0  | 6        | 2        | 48<br>0  | 1,6      |
| СВЧ-1  | 229,1 | 5 | 229,1 | 1145  | 171<br>8  | ВА<br>57-35 | 400 | 20<br>00 | 47,<br>5 | 16,<br>5 | 28<br>90 | 1,4<br>5 |

Выбор вакуумного выключателя серии ВВТЕЛ :

Максимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защитный аппарат, равен:

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} = \frac{S_{\text{к}}}{U_{\text{ср}} \cdot \sqrt{3}} = \frac{120}{6,3 \cdot \sqrt{3}} = 11 \text{ кА}$$

Ударный ток определится:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО}}^{(3)} \cdot k_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 11 \cdot 1,8 = 27,7 \text{ кА}$$

Расчетный ток, приведенный к высшей стороне трансформатора:

$$I_{\text{P}} = \frac{S_{\text{н.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,4 \text{ А}$$





### 3.9 Выбор релейной защиты трансформаторов

Основные требования, предъявляемые к релейной защите, следующие:

- надежное отключение всех видов повреждений;
- чувствительность защиты;
- избирательность (селективность) действия - отключение, только поврежденных участков;
- быстродействие;
- простота схем;
- наличие сигнализации о повреждениях.

В качестве защиты от токов в обмотках, обусловленных внешними многофазными короткими замыканиями, должна предусматриваться максимальная токовая защита, действующая на отключение.

Выбор трансформатора тока.

С учетом тока нагрузки присоединения защищаемого элемента сети, его номинального напряжения и вида РЗ выбирают тип ТТ и его коэффициент трансформации, после чего проводят проверку на термическую и динамическую стойкость. Выбранные таким образом ТТ, проверяют на точность и надежность работы питающейся от них РЗ, исходя из следующих требований ПУЭ

Ток срабатывания защиты рассчитывается по формуле:

$$I_{с.з.} = \frac{k_{отс} \cdot k'_3}{k_B} \cdot I_{раб.маx} = \frac{1,2 \cdot 1 \cdot 91,4}{0,85} = 129А,$$

где  $k_{отс} = 1,2$  – коэффициент отстройки;

$k_B = 0,85$  – коэффициент возврата (для реле на базе РТ-80);

$k'_3 = 1$ .

Принимается трансформатор тока ТВЛМ-6 (200/5), для которого коэффициент трансформации по току:  $n_i = 200/5 = 40$ .

Токовая отсечка выполняется по двухфазной двухрелейной схеме с применением реле на базе РТ-80. [23]

Расчет тока срабатывания реле и тока отсечки.

$$I_{ср} = \frac{k_{отс}}{k_T} \cdot I_{сз} = \frac{1}{40} \cdot 129 = 3,2 А,$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки (надежности), обеспечивает надежное несрабатывание защиты при внешних коротких замыканиях, зависит от типа реле;

$I_{кзmax}$  – максимальный ток, который протекает в месте установки защиты при внешнем КЗ.

Выбирается реле РТ – 81/2. В связи с тем, что уставка реле, равная 3,2 А в реле типа РТ 81/2 техническими характеристиками не предусмотрена, то выбираем уставку равной 3А.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 43   |

$$I_{сз} = \frac{K_t}{K_{сх}} \cdot I_{ср} = \frac{3 \cdot 40}{1} = 120 \text{ А}$$

$$I_{уст. зап.} = 120 \text{ А}$$

$$t = 1 \text{ сек}$$

Время срабатывания защиты:

$$t = \Delta t + 0,5 = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ сек},$$

где  $\Delta t$  – время срабатывания реле;

0,5 – время прохождения сигнала.

$$I_{отс} = k_{отс} \times I_{кз} = 1,2 \times 4,6 = 5,52 \text{ кА},$$

где  $I_{кз\min}^{(3)}$  – минимальное значение тока КЗ в точке К1.

$$I_{с.р.0} = \frac{k_{сх}}{K_T} \cdot I_{отс} = \frac{1 \times 5,52}{40} = 135 \text{ А}$$

Кратность отсечки реле:

$$\frac{I_{с.р.0}}{I_{ср}} = \frac{135}{3} = 44,6$$

Принимает максимально возможную кратность отсечки равной 12.

$$I_{отс} = 44,6 \times 12 = 536 \text{ А}$$

У реле будут следующие параметры:  $PT-81/2$ ;  $I_{уст} = 120 \text{ А}$ ;  $t = 1 \text{ с}$ ;  $I_{отс} = 536 \text{ А}$ .

Выбор и расчёт защиты от замыканий на землю.

Отстройка защиты производится от собственного ёмкостного тока кабеля, питающего трансформатор.

Ёмкостной ток кабеля определяется:

$$I_c = I_{y\delta} \cdot l,$$

где  $l$  – длина кабеля;

$I_{y\delta}$  – удельный ток замыкания на землю, определяется по таблицам в зависимости от сечения кабеля. Для кабеля сечением  $50 \text{ мм}^2$   $I_{y\delta} = 0,59 \text{ А/км}$ .

$$I_c = 0,8 \cdot 1,5 = 0,12 \text{ А}$$

Учитывая то, что превышающие значение этого тока в 4-5 раз, ток срабатывания защиты определяется следующим образом:

$$I_{сз} \geq k_{отс} \cdot k_{бр} \cdot I_c,$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2-1,3;

$k_{бр}$  – коэффициент броска ёмкостного тока, принимается равным 4-5.

$$I_{сз} \geq 1,2 \cdot 3 \cdot 0,12 = 0,43 \text{ А}$$

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 44   |

При выполнении защиты на основе трансформатора тока нулевой последовательности ТЗЛ и реле РТ-40/0,2 необходимо учесть, что в этом случае минимальное значение тока срабатывания защиты равно  $I_{cз\ мин} = I_{cз} = 3\ A$  (т.е. в этом случае защита загроубляется).

Величина суммарного ёмкостного тока взята из протоколов замеров ЭТЛ.

Ёмкостного тока:

$$I_{c\ мин} = 0,9 \cdot I_c = 0,9 \cdot 11 = 9,9\ A$$

$$k_q = \frac{I_{c\ мин}}{I_{cз}} = \frac{9,9 - 0,43}{3} = 3$$

$k_q = 3$  является приемлемым для кабельных линий, из чего можно заключить, что защита трансформатора и кабеля его питающего является приемлемой.

### 3.10 Частотное регулирование привода вентилятора 0,4 кВ

Применение регулирования с помощью частотного преобразователя значительно расширяет возможности использования асинхронных двигателей и электроприводов в различных отраслях промышленности. Питание асинхронных двигателей осуществляется при этом не от общей сети, а от частотного преобразователя, энергия к которому подводится от сети постоянной частоты  $f_{1c}$  и напряжения  $U_{1c}$ .

На выходе с преобразователя, как правило, меняется не только частота,  $f_{1c}$ , но и напряжение  $U_1$ . возможность изменения скорости асинхронного двигателя при регулировании частоты  $f_1$  следует из выражения:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} \quad (27)$$

Из данного выражения видно, что синхронная скорость асинхронного двигателя прямо пропорциональна частоте напряжения статора. Изменение частоты источника питания позволяет регулировать скорость асинхронного двигателя как выше, так и ниже основной.

Обычно при регулировании выше основной скорости частота источника питания превышает номинальную не более чем в 1,5-2 раза. Указанное ограничение обусловлено прочностью крепления обмотки ротора. Кроме того, с ростом частоты питания заметно увеличиваются величины мощности потерь, связанные с потерями в стали статора. Регулирование скорости вниз от основной, как правило, осуществляется в пределах до 10-15%. Нижний предел частоты ограничен сложностью реализации источника питания с низкой частотой, возможностью неравномерности вращения и рядом других факторов. Таким образом, частотное регулирование скорости асинхронного двигателя может осуществляться в диапазоне до 20-30% от основной скорости.

Если при регулировании частоты напряжение изменяется таким образом, что  $\Phi = \text{const}$ , то допустимый момент на валу асинхронного двигателя при частотном регулировании скорости так же будет неизменным ( $M_{\text{доп}} = \text{const}$ ).

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 45   |



$$X_2 = X_2^{//} \cdot Z_{ном} = 0,14 \cdot 14,8 = 2,1 \text{ Ом}$$

Для удобства расчетов введем обозначения

$$\rho_{1\mu} = \frac{R_1}{X_{\mu}} = \frac{0,68}{54,7} = 0,012$$

$$\rho_{1k} = \frac{R_1}{X_{kn}} = \frac{0,68}{2,96} = 0,23,$$

где  $X_{kn} = X_1 + X_2' = 0,86 + 2,1 = 2,96 \text{ Ом}$ .

Рассчитаем и построим характеристику  $M(\omega)$  для двигателя при  $f_{1*}=1$ , где  $f_{1*} = \frac{f_1}{f_{1n}}$ , что соответствует номинальному режиму и  $f_{1n}=50\text{Гц}$ .

Находим значение критического скольжения  $S_k'$ .

$$S_k' = \frac{R_2^{//}}{f_{1*} \cdot X_{kn}} \cdot \sqrt{\frac{f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2}{f_{1*}^2 + \rho_{1k}^2}} = \frac{0,41}{1 \cdot 2,96} \cdot \sqrt{\frac{1^2 + 0,012^2}{1^2 + 0,23^2}} = 0,13$$

Значение напряжения источника питания  $U_{1*} = 1$ .

$$\text{Т.к. } U_{1*} = \frac{U_1}{U_{ном}}, U_1 \text{ то } = 220 \text{ В.}$$

Значение критического момента определится как:

$$M'_k = \frac{3}{2} \cdot \frac{U_1^2}{\omega_{0н} \cdot X_{кн} \left[ f_{1*} \cdot p_{1к} + \sqrt{\left( f_{1*}^2 + p_{1к}^2 \right) \cdot \left( f_{1*}^2 + p_{1\mu}^2 \right)} \right]} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot \frac{220^2}{314 \cdot 2,96 \left[ 1 \cdot 0,23 + \sqrt{\left( 1^2 + 0,23^2 \right) \cdot \left( 1^2 + 0,012^2 \right)} \right]} = 62 \text{ Н*м}$$

$$\text{Находим коэффициент } a' = \frac{R_1 \cdot f_{1*}^2}{R_2' \left( f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2 \right)} = 1,62$$

Значение момента  $M$  при различных значениях скольжения определяется по формуле:

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 47   |

$$M = \frac{2M'_k \cdot (1 + a' \cdot S'_k)}{\frac{S}{S'_k} + \frac{S'_k}{S} + 2a' \cdot S'_k}$$

При  $S = S'_k$

$$M = \frac{2 \cdot 62(1 + 1,62 \cdot 0,13)}{1 + 1 + 2 \cdot 1,62 \cdot 0,13} = 62 \text{ Н*м}$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - S'_k) = 314(1 - 0,13) = 273,2 \text{ рад/с}$$

Расчет значений момента М для других значений скольжения s сведен в таблицу 49.

Таблица 49 – Данные по расчетам значений момента М

| S    | M, Н*м | ω, рад/с |
|------|--------|----------|
| 0,01 | 11,12  | 310,8    |
| 0,03 | 21,2   | 304,6    |
| 0,05 | 44,1   | 298,3    |
| 0,07 | 52,3   | 292,02   |
| 0,1  | 60,3   | 282,6    |
| 0,13 | 62     | 273,2    |
| 0,2  | 57,5   | 248,06   |
| 0,3  | 47,5   | 219,8    |
| 0,4  | 39,3   | 188,4    |
| 0,5  | 33,2   | 157      |
| 0,6  | 28,6   | 125,6    |
| 0,7  | 25,1   | 94,2     |
| 0,8  | 22,3   | 62,8     |
| 0,9  | 20     | 31,4     |
| 1    | 18,2   | 0        |

Рассчитаем и построим характеристику  $M(\omega)$  для  $f_{1*}=0,7$ .

Значение критического скольжения  $s'_k$  равно

$$s'_k = \frac{R'_2}{f_{1*} \cdot X_{KH}} \sqrt{\frac{f_{1*}^2 + p_{1\mu}^2}{f_{1*}^2 + p_{1k}^2}} = \frac{0,41}{0,7 \cdot 2,96} \sqrt{\frac{0,7^2 + 0,012^2}{0,7^2 + 0,23^2}} = 0,19$$

Значение приведенного напряжения источника питания

$$U_{1*} = \sqrt{\frac{f_{1*} \cdot p_{1k} + \sqrt{(f_{1*}^2 + p_{1k}^2)(f_{1*}^2 + p_{1\mu}^2)}}{p_{1k} + \sqrt{(1 + p_{1\mu}^2)(1 + p_{1k}^2)}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,7 \cdot 0,23 + \sqrt{(0,7^2 + 0,23^2)(0,7^2 + 0,012^2)}}{0,23 + \sqrt{(1 + 0,012^2)(1 + 0,23^2)}}} = 0,72$$

Тогда  $U_{1*} = \frac{U_1}{U_{1ном}}$ ;  $U_1 = U_{1*} \cdot U_{1ном} = 0,72 \cdot 220 = 158,4В$

Значение критического момента  $M'_k$

$$M'_k = \frac{3}{2} \cdot \frac{U_1^2}{\omega_{0н} \cdot X_{KH} \left[ f_{1*} \cdot p_{1k} + \sqrt{(f_{1*}^2 + p_{1k}^2) \cdot (f_{1*}^2 + p_{1\mu}^2)} \right]} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot \frac{158,4^2}{314 \cdot 2,96 \left[ 0,7 \cdot 0,23 + \sqrt{(0,7^2 + 0,23^2) \cdot (0,7^2 + 0,012^2)} \right]} = 61,3Н^* \cdot м$$

Коэффициент  $\delta' = \frac{R_1 \cdot f_{1*}^2}{R'_2 \cdot (f_{1*}^2 + \delta_{1\mu}^2)} = 1,64$



Расчет значений момента М для других значений скольжения s сведен в таблицу 50.

Таблица 50 – Данные по расчету момента М

| S    | M, Н*м | Ω, рад/с |
|------|--------|----------|
| 0,01 | 8,2    | 216,7    |
| 0,03 | 22,6   | 210,4    |
| 0,05 | 34,3   | 204,1    |
| 0,07 | 43,4   | 197,8    |
| S    | M, Н*м | Ω, рад/с |
| 0,1  | 52,7   | 188,4    |
| 0,19 | 61,3   | 160,1    |
| 0,3  | 56,7   | 125,6    |
| 0,4  | 50,2   | 94,2     |
| 0,5  | 44,2   | 62,8     |
| 0,6  | 39,2   | 31,4     |
| 0,7  | 35,1   | 0        |

Рассчитаем и построим характеристику М(ω) для частоты  $f_{1*}=0,5$ .  
Значение критического скольжения  $s'_k$  равно:

$$s'_k = \frac{R'2}{f_{1*} \cdot X_{кн}} \sqrt{\frac{f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2}{f_{1*}^2 + \rho_{1к}^2}} = \frac{0,41}{0,5 \cdot 2,96} \sqrt{\frac{0,5^2 + 0,012^2}{0,5^2 + 0,23^2}} = 0,25$$

Значение приведенного напряжения источника питания:

$$U_{1*} = \sqrt{\frac{f_{1*} \cdot p_{1к} + \sqrt{(f_{1*}^2 + p_{1к}^2)(f_{1*}^2 + p_{1\mu}^2)}}{p_{1к} + \sqrt{(1 + p_{1\mu}^2)(1 + p_{1к}^2)}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,5 \cdot 0,23 + \sqrt{(0,5^2 + 0,23^2)(0,5^2 + 0,012^2)}}{0,23 + \sqrt{(1 + 0,012^2)(1 + 0,23^2)}}} = 0,56$$

Тогда  $U_{1*} = \frac{U_1}{U_{1ном}}$ ;  $U_1 = U_{1*} \cdot U_{1ном} = 0,56 \cdot 220 = 123,2В$

Значение критического момента  $M'_k$

$$M'_k = \frac{3}{2} \cdot \frac{U_1^2}{\omega_{0H} \cdot X_{KH} \left[ f_{1*} \cdot p_{1K} + \sqrt{(f_{1*}^2 + p_{1K}^2) \cdot (f_{1*}^2 + p_{1\mu}^2)} \right]} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot \frac{123,2^2}{314 \cdot 2,96 \left[ 0,5 \cdot 0,23 + \sqrt{(0,5^2 + 0,23^2) \cdot (0,5^2 + 0,012^2)} \right]} = 62 \text{ Н*м}$$

$$\text{Коэффициент } \delta' = \frac{R_1 \cdot f_{1*}^2}{R_2 \cdot (f_{1*}^2 + \delta_{1\mu}^2)} = 1,64$$

Расчет значений момента  $M$  для других значений скольжения  $s$  сведен в таблицу 51.

Таблица 51 – Расчетные данные для момента  $M$

| S    | M, Н*м | $\Omega$ , рад/с |
|------|--------|------------------|
| 0,01 | 6,8    | 153,9            |
| 0,03 | 18,9   | 147,6            |
| 0,05 | 29     | 141,3            |
| 0,07 | 37,4   | 135              |
| 0,1  | 47     | 125,6            |
| 0,2  | 60,9   | 94,2             |
| 0,25 | 62     | 78,5             |
| 0,3  | 61,3   | 62,8             |
| 0,4  | 57,4   | 31,4             |
| 0,5  | 52,7   | 0                |

Далее необходимо рассчитать и построить нагрузочную характеристику  $M_c(\omega)$ . Закон изменения момента сопротивления  $M_c$  в функции от  $\omega$  имеет вид:

$$M_c = 0,14 \cdot M_{сн} + \left( M_{сн} - 0,14 \cdot M_{сн} \right) \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^2, \quad (29)$$

где  $M_{сн}$  – номинальный момент сопротивления.

$$M_{сн} = 9550 \frac{P_{ном}}{n_H} = 9550 \frac{7,5}{2900} = 24 \text{ Н*м},$$

где  $n_H$  – скорость вращения ротора.

$$\omega_H = \omega_0(1-s_H) = 314(1-0,024) = 306,5 \text{ рад/с}$$

$$\omega = 0 \quad M_c = 0,14 \cdot 24,7 + (24,7 - 0,14 \cdot 24,7) \cdot \left( \frac{0}{306,5} \right)^2 = 3,5 \text{ Н*М}$$

$$\omega = 50 \quad M_c = 0,14 \cdot 24,7 + (24,7 - 0,14 \cdot 24,7) \cdot \left( \frac{50}{306,5} \right)^2 = 4 \text{ Н*М}$$

$$\omega = 100 \quad M_c = 0,14 \cdot 24,7 + (24,7 - 0,14 \cdot 24,7) \cdot \left( \frac{100}{306,5} \right)^2 = 5,8 \text{ Н*М}$$

$$\omega = 150 \quad M_c = 0,14 \cdot 24,7 + (24,7 - 0,14 \cdot 24,7) \cdot \left( \frac{150}{306,5} \right)^2 = 8,8 \text{ Н*М}$$

$$\omega = 200 \quad M_c = 0,14 \cdot 24,7 + (24,7 - 0,14 \cdot 24,7) \cdot \left( \frac{200}{306,5} \right)^2 = 12,5 \text{ Н*М}$$

$$\omega = 250 \quad M_c = 0,14 \cdot 24,7 + (24,7 - 0,14 \cdot 24,7) \cdot \left( \frac{250}{306,5} \right)^2 = 17,8 \text{ Н*М}$$

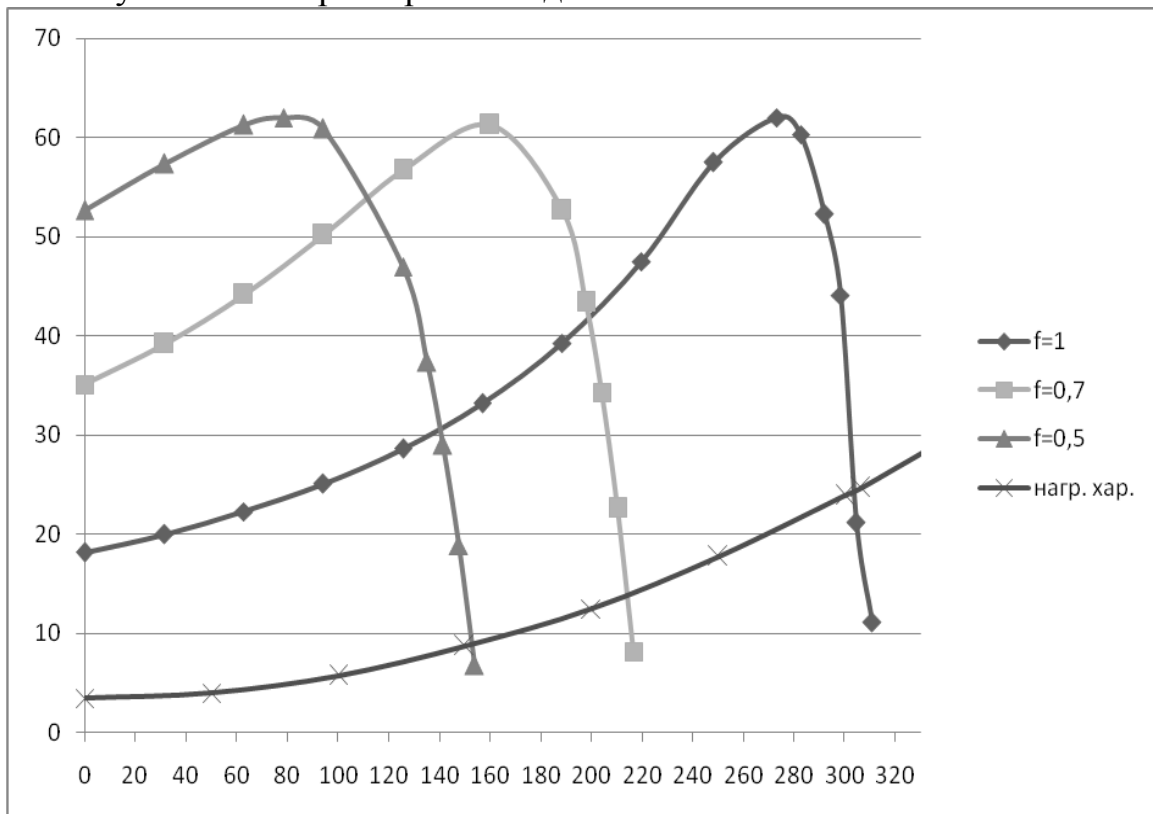
$$\omega = 300 \quad M_c = 0,14 \cdot 24,7 + (24,7 - 0,14 \cdot 24,7) \cdot \left( \frac{300}{306,5} \right)^2 = 23,9 \text{ Н*М}$$

$$\omega = \omega_i = 306,5 \quad M_c = 0,14 \cdot 24,7 + (24,7 - 0,14 \cdot 24,7) \cdot \left( \frac{306,5}{306,5} \right)^2 = 24,7 \text{ Н*М}$$

$$\omega = 350 \quad M_c = 0,14 \cdot 24,7 + (24,7 - 0,14 \cdot 24,7) \cdot \left( \frac{350}{306,5} \right)^2 = 31,1 \text{ Н*М}$$

Все характеристики представлены на рисунке 11.

Рисунок 11 – Характеристики двигателя



Для случая  $f_{1*} = 1$  имеем  $M_c = M_{сн} = 24.7$   $\omega_n = 306,5$   $n_2 = 2900$  и  $P_2 = 7.5$  кВт  $\eta = 0,875$ .

Тогда мощность  $P_1$ , потребляемая из сети равна:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{7,5}{0,875} = 8,6 \text{ кВт}$$

Тогда затраты на электроэнергию при работе электродвигателя с номинальной мощностью определяются как:

$$Z_1 = P_1 \cdot a \cdot T_r, \quad (30)$$

где  $a = 1,89$  руб. – стоимость кВт·ч электроэнергии;

$P_1$  – мощность, потребляемая двигателем из сети, кВт;

$T_r = 8760$  ч – время работы двигателя в году.

$$Z_1 = 8,6 \cdot 1,89 \cdot 8760 = 142385 \text{ руб}$$

Для случая  $f_{1*} = 0,7$   $M_c = 15$   $\omega_2 = 210$

$$n_2 = \frac{60 \cdot 210}{2\pi} = 2006,4$$

Тогда:

$$M_c = 9550 \frac{P_2}{n_n}$$

$$P_2 = \frac{M_c \cdot n_n}{9550} = \frac{15 \cdot 2006,4}{9550} = 3,2 \text{ кВт}$$

По характеристике  $P_2(\eta)$  находим  $\eta=0,855$ .

Мощность, потребляемая двигателем из сети:

$$P_1 = \frac{3,2}{0,855} = 3,7 \text{ кВт}$$

$$Z_2 = 3,7 \cdot 1,89 \cdot 8760 = 61258,7 \text{ руб}$$

Для случая  $f_{1*} = 0,5$   $M_c = 10$   $\omega_2 = 150$   $n_2 = 1433$

$$P_2 = \frac{10 \cdot 1433}{9550} = 1,5 \text{ кВт}$$

$$\eta = 0,8$$

Мощность, потребляемая двигателем из сети

$$P_1 = \frac{1,5}{0,8} = 1,9 \text{ кВт}$$

$$Z_3 = 1,9 \cdot 1,89 \cdot 8760 = 31457,2 \text{ руб}$$

При регулировании дросселированием не происходит изменения потребляемой мощности двигателя из сети, а при регулировании скорости вращения ротора двигателя путем изменения подводимой к обмотке статора частоты, потребляемая мощность двигателем из сети снижается, что видно из выше приведенных расчетов. Это дает экономический эффект по снижению затрат на электроэнергию.

## 4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ

### 4.1 Технико-экономическое сравнение вариантов

Для окончательного выбора варианта проводится технико-экономическое сравнение вариантов. Расчетные затраты определяются по выражению:

$$Z_i = Z_{Ti} + Z_{Ki} + Z_{Li} + Y_i, \quad (31)$$

где  $Z_{Ti}, Z_{Ki}, Z_{Li}$  – приведенные расчетные затраты соответственно на трансформаторы, конденсаторные установки и кабельные линии для  $i$ -го варианта, руб.;

$Y_i$  – ущерб от перерыва в электроснабжении.

В данных вариантах составляющая ущерба отсутствует, так как подстанция с двумя трансформаторами, находящимися в работе.

Приведенные затраты на трансформаторы  $i$ -го варианта равны:

$$Z_{Ti} = (E_H + \frac{\alpha_a + \alpha_p + \alpha_o}{100}) \cdot K_{Ti} + \gamma \cdot \Delta W_{Ti}, \quad (32)$$

где  $\alpha_a, \alpha_p, \alpha_o$  – ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание,

для силового оборудования до 10 кВ  $(\alpha_a + \alpha_p + \alpha_o) = 10,4\%$  [7];

$E_H$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат, равный  $E_H = 0,12$ ;

$K_{Ti}$  – капитальные затраты на трансформаторы  $i$ -го варианта, руб.;

$\gamma$  – средняя себестоимость электроэнергии, равная  $\gamma = 2$  руб./кВт·ч;

$\Delta W_{Ti}$  – годовые потери энергии в трансформаторах  $i$ -го варианта, кВт·ч.

Потери энергии в трансформаторах:

$$\Delta W_T = N \cdot \Delta P'_x \cdot T_r + \frac{1}{N} \cdot \beta^2 \cdot \Delta P'_k \cdot \tau, \quad (33)$$

где  $N$  – число трансформаторов;

$\Delta P'_x$  – приведенные потери активной мощности холостого хода;

$\Delta P'_k$  – приведенные потери активной мощности короткого замыкания;

$\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$T_r$  – число часов работы трансформаторов в году, равно  $T_r = 4000$  ч;

$\tau$  – время наибольших потерь.

Приведенные потери активной мощности холостого хода и короткого замыкания определяются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \Delta P'_x &= \Delta P_x + K_u \cdot \frac{i_x}{100} \cdot S_{НОМТ} \\ \Delta P'_k &= \Delta P_k + K_u \cdot \frac{u_k}{100} \cdot S_{НОМТ}, \end{aligned} \quad (34)$$

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 55   |

где  $K_u$  – коэффициент изменения потерь, равный  $K_u = 0,15$ .

Время наибольших потерь ( $T_{нб} = 7000$  ч):

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{нб}}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{7000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 5947,8 \text{ ч}$$

Приведенные затраты на конденсаторные установки равны:

$$Z_{KV} = E_{БНК} \cdot N \cdot K_{KB} + \gamma \cdot p_K \cdot N \cdot T_T \cdot Q_{БНК}, \quad (35)$$

где  $K_{KB}$  – капитальные затраты на конденсаторные батареи, руб.;

$p_K$  – удельные потери в конденсаторных установках напряжением до 1 кВ, равные  $p_K = 4,5$  Вт/квар [13].

$$E_{БНК} = p_H + \frac{(\alpha_a + \alpha_p + \alpha_o)_{БНК}}{100} = 0,125 + \frac{10,4}{100} = 0,225,$$

где  $p_H = 0,125$  (1/год) – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений в электроэнергетике;

$\alpha_a, \alpha_p, \alpha_o$  – ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание, для силового оборудования до 10 кВ  $(\alpha_a + \alpha_p + \alpha_o)_{БНК} = 10,4$  % [13].

Приведенные затраты на кабельные линии  $i$ -го варианта равны:

$$Z_{Li} = \left(E_H + \frac{(\alpha_a + \alpha_p + \alpha_o)_{Л}}{100}\right) \cdot K_{Li} + \left(E_H + \frac{(\alpha_a + \alpha_p + \alpha_o)_{выкл}}{100}\right) \cdot K_{выкл} + \gamma \cdot \Delta W_{Li}, \quad (36)$$

где  $\alpha_a, \alpha_p, \alpha_o$  – ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание,

для силового оборудования 6 кВ  $(\alpha_a + \alpha_p + \alpha_o)_{выкл} = 10,4$  % [7], для кабельных линий до 10 кВ  $(\alpha_a + \alpha_p + \alpha_o)_{Л} = 4,3$  % [7];

$K_{Li}, K_{выкл}$  – капитальные затраты на кабельные линии и выключатели  $i$ -го варианта, руб.;

$\Delta W_{Li}$  – годовые потери энергии в линиях  $i$ -го варианта, кВт·ч.

Потери в линии определяются:

$$\Delta W_{Л} = \left(\frac{S_p}{U_{НОМ}}\right)^2 \cdot \frac{r_o \cdot l}{N} \cdot \tau, \quad (37)$$

где  $N$  – число линий;

$l$  – длина линии, равная  $l = 1,5$  км.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 56   |

В таблице 52 представлены результаты технико-экономического расчета.

Таблица 52– Результаты технико-экономического расчета

| № варианта            | 1            | 2            |
|-----------------------|--------------|--------------|
| $S_{НОМТ}$ , кВА      | 1000         | 1600         |
| $\Delta P'_x$ , кВт   | 3,7          | 5,2          |
| $\Delta P'_k$ , кВт   | 20,5         | 25,4         |
| $N_T$                 | 2            | 2            |
| $T_{нб}$ , ч          | 7000         | 7000         |
| $T_G$ , ч             | 8760         | 8760         |
| $\tau$ , ч            | 5947,8       | 5947,8       |
| $\Delta W_T$ , кВт·ч  | 182614,4     | 171241,3     |
| $I_{\Delta W}$ , руб. | 365229,6     | 342482,6     |
| $K_T$ , руб.          | 2x925500     | 2x1250000    |
| $E \cdot KT$ , руб.   | 414624       | 560000       |
| $ЗТ$ , руб.           | 600652       | 784643,3     |
| $QBHK$ , квар         | 300          | -            |
| $NBHK$                | 2            | -            |
| $KKБ$ , руб.          | 2x35100      | -            |
| $ЗКУ$ , руб.          | 61479        | -            |
| $r_0$ , Ом/км         | 0,447        | 0,447        |
| $l$ , км              | 1,5          | 1,5          |
| $S_p$ , кВА           | 1387,6       | 1653,9       |
| $\Delta WЛ$ , кВт·ч   | 10526,5      | 15150,5      |
| $I\Delta W$ , руб.    | 21053        | 30301        |
| $KL$ , руб.           | 2x442000x1,5 | 2x442000x1,5 |
| $ЗЛ$ , руб.           | 318077       | 327325       |
| $З$ , руб.            | 980208       | 1111968,3    |

При сравнении рассматриваемых вариантов разница в затратах составляет более 10%:

$$\frac{z_2 - z_1}{z_2} \cdot 100\% = \frac{1111968,3 - 980208}{1111968,3} \cdot 100\% = 11,9\%$$

Исходя из критерия минимума приведенных затрат, для дальнейшего рассмотрения принимается вариант 1. Два трансформатора с полной компенсацией реактивной мощности. [11]

#### 4.2 Сметно-финансовый расчет по системе электроснабжения

Для определения амортизации необходимо определить стоимость вновь устанавливаемого оборудования. Капитальные затраты на оборудование

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 57   |



определяются по текущему прайсу оптовых цен сети Интернет. Данные по сметно-финансовому расчету сводим в таблицу 53.

Таблица 53 – Данные по сметно - финансовому расчету

| Наименование<br>Изделия | Кол-во,<br>шт., м | Стоимость , руб. |         |
|-------------------------|-------------------|------------------|---------|
|                         |                   | единицы          | всего   |
| ТСЗ-1000/6              | 2                 | 925500           | 1851000 |
| ААБ 3x70                | 3000              | 265              | 795000  |
| ПКТ 102-6-200-31,5      | 2                 | 1530             | 3060    |
| ВВ/TEL-10-12,5/1000     | 2                 | 95398            | 190796  |
| ВВГ-нг-LS 5(1x1.5)      | 4000              | 38,4             | 153600  |
| ВВГ-нг-LS 5(1x2.5)      | 1300              | 58,5             | 76050   |
| ВВГ-нг-LS 5(1x4)        | 350               | 87,9             | 30765   |
| ВВГ-нг-LS 5(1x6)        | 500               | 125,2            | 76100   |
| ВВГ-нг-LS 5(1x10)       | 90                | 287              | 25830   |
| ВВГ-нг-LS 5(1x25)       | 25                | 486,8            | 12170   |
| ВГ-нг-LS 5(1x35)        | 20                | 659,2            | 13184   |
| ВВГ-нг-LS 5(1x70)       | 15                | 1324,8           | 19872   |
| ВВГ-нг-LS 5(1x120)      | 70                | 2260,9           | 158263  |
| ВВГ-нг-LS 5(1x150)      | 40                | 2791,1           | 111644  |
| УКМ58-0,4-300           | 2                 | 31500            | 63000   |
| Всего                   | —                 | —                | 3580334 |

Стоимость оборудования: 3580334 рублей

Затраты на монтаж определяются как 50 % от стоимости оборудования, тогда получаем:

$$3580334 * 0,5 = 1790167 \text{ рублей}$$

Транспортные расходы принимаются как 15 % от стоимости оборудования, в результате получаем:

$$3580334 * 0,15 = 537050,1 \text{ рублей}$$

Стоимость запасных частей равна 5 % от стоимости оборудования:

$$3580334 * 0,05 = 179016,7 \text{ рублей}$$

Полная стоимость покупных изделий равна: 6086567,8 рублей

Неучтенное оборудование составляет 10 % от полной стоимости покупных изделий:

$$6086567,8 * 0,1 = 608656,8 \text{ рублей}$$

Балансовая стоимость в этом случае составит: 6695224,6 рублей

Для текущей амортизации принимается срок 10 лет, то есть норма амортизации 10 %. В этом случае получается:

$$A = 0,1 * 6695224,6 = 669522,46 \text{ рублей}$$

Заработная плата рабочих и инженеров начисляется по месячным окладам в зависимости от квалификации. К заработной плате прибавляется премия (30 %) и

|      |      |          |         |      |  |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
|      |      |          |         |      |  |  |  |  |  | Лист |
|      |      |          |         |      |  |  |  |  |  | 58   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |  |  |  |  |      |

13.03.02.2020.091.000. ПЗ

районный коэффициент (30 %). В таблице 54 произведем расчет заработной платы для электротехнического персонала.

Таблица 54 – Расчет заработной платы для электротехнического персонала

|                                       |            |          |          |
|---------------------------------------|------------|----------|----------|
|                                       |            | Электрик | Электрик |
| Разряд работ                          |            | 6        | 5        |
| Количество часов в месяц              |            | 150      | 150      |
| Тарифная ставка (час), руб.           |            | 120      | 100      |
| Основная<br>заработная плата,<br>руб. | По тарифу  | 18000    | 15000    |
|                                       | Премия 30% | 5400     | 4500     |
|                                       | Итого      | 23400    | 19500    |
| Р.К 30%                               |            | 7020     | 5850     |
| Всего начислено                       |            | 30420    | 25350    |
| НДФЛ 13%                              |            | 3954,6   | 3295,5   |
| К выдаче                              |            | 26465,4  | 22054,5  |

Окончание таблицы 61

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Наименование               | Электрик | Электрик |
| Количество рабочих         | 5        | 10       |
| Количество рабочих месяцев | 3        | 3        |
| ФОТ                        | 369981   | 616635   |
| Всего ФОТ                  | 986616   |          |

Единый социальный налог составляет 30% и равен:

$$ЕСН = 0,3 \cdot 986616 = 295984,8 \text{ руб}$$

Единый социальный налог включает в себя:

- отчисления в пенсионный фонд составляет 22%;
- отчисления в фонд медицинского страхования составляет 5,9%;
- отчисления в фонд социального страхования РФ составляет 2,1%;
- отчисления на профессиональные заболевания 0,5%.

Определение энергозатрат.

В таблице 55 приведем перечень оборудования используемого для монтажа.

Таблица 55 - Перечень оборудования, используемого для монтажа

|                                 |              |            |
|---------------------------------|--------------|------------|
| Наименование                    | Электродрель | Перфоратор |
| Мощность                        | 500 Вт       | 750        |
| Время работы в смену            | 5 ч          | 4 ч        |
| Число рабочих дней              | 70           | 50         |
| Затраты элетроэнергии           | 175 кВт/ч    | 150 кВт/ч  |
| Стоимость 1кВт/ч электроэнергии | 1,79 руб     | 1,79 руб   |
| Стоимость эл. энергии           | 313,3        | 268,5      |

Суммарная стоимость затраченной энергии:  
313,3+268,5=581,8 рублей

В таблице 56 приведены вспомогательные материалы, используемые при монтаже.

Таблица 56 – Перечень вспомогательного оборудования

| Наименование  | Назначение  |
|---|---|
| Асбестовые изделия: асбокартон толщиной 2—8 мм (ГОСТ 2850- 80), асболоотно (ГОСТ 6102- 78*)             | Изоляционные прокладки и полмотки   |
| Ацетон чистый (ГОСТ 2603-79) или технический (ГОСТ 2768-79)   | Обезжиривание металлов внутренних частей корпусов металлических соединителей  |
| Бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012-72*)   | Обезжиривание мест пайки  |
| Бирка маркировочная У136 (ТУ 36-1440-77)  | Маркировка контрольных кабелей  |
| Болты стальные с шестигранной головкой нормальной (ГОСТ 7798-70*) и повышенной (ГОСТ 7805-70*) точности | Крепление оборудования, изделий и деталей   |
| Бязь мягкая хлопчатобумажная (ГОСТ 11680-76)  | Протирка мест пайки, деталей соединителей   |
| Ветошь обтирочная безворсовая I сорта (ГОСТ 5354-79)  | Обтирка деталей аппаратов, жил кабелей, инструментов  |
| Винты по металлу с полукруглой (ГОСТ 17473-80) и потайной (ГОСТ 17475-80) головками                     | Крепление оборудования, изделий и деталей, сборка электрических соединителей  |
| Втулки Л82—Л84 полиэтиленовые (ТУ 36-1436-80)   | Защита проводов и кабелей от механических повреждений в местах прохода через отверстия в стенках конструкций и оборудования толщиной 0,5—3,5 мм |
| Гайки шестигранные для болтов нормальной (ГОСТ 5915-70*) и повышенной (ГОСТ 5927-70*) точности          | Крепление оборудования, изделий и деталей   |

|  |  |
|--|--|
| Герметик «Виксинт» У-1-18 (ТУ 38-1034-20-78)       | Герметизация электрических соединителей  |
| Жидкость гидрофобизирующая 136— 41 (ГОСТ 10834-76) | Протирка внутренней поверхности шприца для герметизации электрических соединителей |

Стоимость всего вспомогательного оборудования берется как 8% от общей стоимости оборудования:

$6695224,6 * 0,08 = 53561,8$  рублей

Общепроизводственные расходы.

В состав прямых затрат входит сумма затрат на вспомогательное оборудование, энергозатрат, начислений в фонд оплаты труда, амортизации.

Смета затрат на монтаж электрооборудования здания 644 приведена в таблице 57.

Таблица 57 – Данные по смете затрат на монтаж оборудования

| Статьи затрат                        | Сумма, руб. |
|--------------------------------------|-------------|
| 1. Вспомогательное оборудование      | 53561,8     |
| 2. Энергозатраты                     | 581,8       |
| 3. Фонд оплаты труда                 | 986616      |
| 4. ЕСН                               | 295984,8    |
| 5. Амортизация                       | 669522,46   |
| 6. Прямые затраты                    | 2006266,5   |
| 7.Общепроизводственные затраты       | 4975540,8   |
| 8.Общепроизводственная себестоимость | 6981807,3   |

Таким образом, общепроизводственная себестоимость работ по монтажу системы электроснабжения равна 6981807,3 рублей. [11]

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 5.1 Экологическая безопасность при работе с радиоактивными отходами

Вторая половина XX века ознаменовалась резким обострением экологических проблем. Радиоактивные вещества и источники ионизирующего излучения используются практически во всех отраслях промышленности, при проведении самых разнообразных научных исследований. За последние несколько десятков лет на Земле образовались сотни миллиардов кюри радиоактивных отходов (РАО), и эти цифры прогрессируют с каждым годом. Вопрос работы с радиоактивными отходами предполагает рассмотрение различных категорий и методов их хранения, а также разные требования в отношении защиты окружающей среды.

Целью ликвидации является:

- изоляция отходов от окружающей среды на длительные периоды времени,
- обеспечение того, что достигающие биосферы остаточные радиоактивные вещества, будут в незначительных концентрациях по сравнению, например, с естественным фоном радиоактивности окружающей среды
- уверенности в том, что риск при небрежной работе с РАО очень мал [26]

#### Классификация Рао

В соответствии со ст.4 Федерального закона от 11.07.2011 г. № 190-ФЗ РАО подразделяются на:

1. удаляемые радиоактивные отходы - отходы, для которых риски связанные с радиационным воздействием а также затраты, связанные с доставкой таких радиоактивных отходов из места хранения отходов с последующей работой с ними, в том числе захоронением, не превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения;
2. особые радиоактивные отходы - отходы, для которых риски связанные с радиационным воздействием а также затраты, связанные доставкой таких радиоактивных отходов из места хранения отходов, последующей работой с ними, в том числе захоронением, превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения.

Удаляемые радиоактивные отходы для целей их захоронения классифицируются по следующим признакам:

1. в зависимости от периода полураспада содержащихся в радиоактивных отходах радионуклидов:
  - долгоживущие,
  - короткоживущие;
2. в зависимости от удельной активности:
  - высокоактивные
  - среднеактивные,
  - низкоактивные,
  - очень низкоактивные;

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 62   |

3. в зависимости от агрегатного состояния:

- жидкие,
- твердые,
- газообразные;

4. в зависимости от содержания ядерных материалов:

- радиоактивные отходы, содержащие ядерные материалы,
- радиоактивные отходы, не содержащие ядерных материалов;

5. отработавшие закрытые источники ионизирующего излучения;

6. радиоактивные отходы, образовавшиеся при добыче и переработке урановой руды ;

7. РАО, образовавшиеся при осуществлении не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов.

Твердые, РАО - жидкие РАО, переведенные в твердую форму.

По составу радионуклидов и химически токсичных веществ :

радиоактивные альфа-содержащие отходы - РАО, содержащие одну единицу или более альфа-излучающих радионуклидов;

- трансураниевые радиоактивные отходы - РАО, содержащие радионуклиды с атомными номерами более 92 в количестве, превышающем установленные пределы;

- смешанные радиоактивные отходы - РАО, содержащие химически токсичные вещества.

При обращении с РАО, помимо их агрегатного состояния и удельной активности, должны учитываться и другие их физические и химические факторы, в частности, пожароопасность.

#### Стадии обращения с РАО

1. Сбор и сортировка РАО осуществляется в местах их образования и/или переработки с учетом радиационных, физических и химических характеристик в соответствии с системой классификации отходов и с учетом методов последующего обращения с ними.

2. Первичная сортировка отходов включает в себя их разделение на радиоактивные и нерадиоактивные составляющие.

3. Сортировка первичных жидких и твердых РАО направлена на разделение отходов по различным категориям и группам для переработки по принятым технологиям и для подготовки к последующему хранению и захоронению.

4. Кондиционирование РАО осуществляется для повышения безопасности обращения с ними за счет уменьшения их объема и перевода в форму, удобную для транспортировки, хранения и захоронения.

5. Хранение РАО осуществляется отдельно для отходов разных категорий и групп в сооружении, обеспечивающем безопасную изоляцию отходов в течение всего срока хранения и возможность последующего их извлечения.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 63   |

6. Транспортирование РАО предусматривает их безопасное перемещение между местами их образования, переработки, хранения и захоронения с использованием специальных грузоподъемных и транспортных средств.

7. Захоронение РАО направлено на их безопасную изоляцию от человека и окружающей его среды. [27]

#### Сбор и хранение РАО

##### Требования к сбору, хранению и удалению РАО

Сбор РАО в организации должен производиться в местах их образования отдельно от обычных отходов с учетом:

- категории отходов;
- агрегатного состояния (твердые, жидкие);
- физических и химических характеристик;
- природы (органические, неорганические);
- периода полураспада радионуклидов, находящихся в отходах (с периодом полураспада, составляющим часы, дни, месяцы, годы, десятилетия и больший период);
- взрыво- и огнеопасности;
- принятых методов переработки отходов.

РАО должны в организации по возможности переводиться в физически, химически и биологически инертное состояние.

Для сбора РАО в организации должны быть специальные сборники-контейнеры. Для первичного сбора твердых РАО могут использоваться пластиковые или бумажные мешки, которые затем загружаются в сборники-контейнеры. Мешки из полимерной пленки должны быть механически прочными, максимально устойчивыми к воздействию низких температур и иметь шнур для плотного затягивания верха мешка после его заполнения. При размещении отходов в мешках во всех случаях следует принять меры, предотвращающие возможность их механических повреждений острыми, колющими и режущими предметами. Заполнение сборников-контейнеров РАО должно производиться под радиационным контролем в условиях, исключающих возможность их рассыпания и разлива.

Жидкие РАО собираются в специальные емкости. Их следует концентрировать и отверждать на объекте, где они образуются, или в организации по обращению с РАО. При малых количествах жидких РАО (менее 200 л в сутки) они направляются на хранение или переработку в специализированные организации (СПО).

В организациях, где возможно образование значительного количества жидких РАО (более 200 л в сутки), проектом предусматривается система спецканализации. В спецканализацию не должны попадать нерадиоактивные стоки.

В процессе сбора РАО должны разделяться на горючие и негорючие. Горючие жидкие РАО собираются в отдельные емкости, отвечающие требованиям пожарной безопасности.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 64   |

Запрещается сброс жидких производственных отходов с содержанием техногенных радионуклидов выше уровней спец водоемов, жидких РАО в поверхностные и подземные водные объекты, на водосборные площади, в недра и на почву.

Сброс техногенных радионуклидов в окружающую среду осуществляется в соответствии с нормативами допустимых сбросов и разрешительными документами, устанавливаемыми (получаемыми) в соответствии с законодательством в области охраны окружающей среды и водным законодательством.

Места расположения сборников РАО должны обеспечиваться защитными приспособлениями для снижения излучения за их пределами до допустимого уровня

### Хранение РАО

Для временного хранения и выдержки сборников с РАО, на поверхности которых мощность поглощенной дозы гамма-излучения превышает 2 мГр/ч, должны быть специально оборудованы защитные колодцы или ниши. Извлечение сборников отходов из колодцев и ниш необходимо производить с помощью специальных устройств, исключающих переоблучение обслуживающего персонала.

Короткоживущие отходы, время распада радионуклидов которых до значений ниже МЗУА составляет менее одного года, допускается временно хранить в организации без направления на захоронение с последующим обращением с ними как с нерадиоактивными отходами.

Временное хранение РАО различных категорий в организации должно осуществляться в отдельных помещениях либо на специально выделенном участке, оборудованном в соответствии с требованиями, предъявляемыми к помещениям для работ не ниже II класса. Запрещается хранение в организациях свыше срока, предусмотренного проектом, некондиционированных РАО и отработавших источников ионизирующего излучения.

Временное хранение РАО следует осуществлять в контейнерах. Конструкция контейнеров должна обеспечивать возможность их погрузки и разгрузки со спецтранспорта. Типы контейнеров для РАО определяются характеристиками отходов. На наружной поверхности сборников-контейнеров должен быть нанесен знак радиационной опасности. При невозможности нанесения на поверхности сборника-контейнера знака радиационной опасности на контейнер с РАО навешивается бирка со знаком радиационной опасности.

Мощность дозы гамма-излучения в воздухе на расстоянии 1 м от контейнера с РАО допускается не более 0,1 мГр/ч. Мощность дозы гамма-излучения за пределами или на границе участка временного хранения РАО не должна превышать 0,005 мГр/ч. Сроки временного хранения кондиционированных РАО, подготовленных к удалению на

захоронение, должны определяться проектом.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 65   |



Должно быть оборудовано специальное помещение (или место в помещении) для дезактивации сборников-контейнеров.

Временное хранение контейнеров с РАО, содержащими эманлирующие радиоактивные вещества (радий, торий и др.), производится в вытяжных шкафах или укрытиях, оборудованных системой вытяжной вентиляции со скоростью движения воздуха в рабочих проемах вытяжных шкафов не менее 1,5 м/с.

#### Удаление РАО

Для транспортирования РАО с мест их временного хранения в СПО должны использоваться специальные транспортные контейнеры. Конструкция контейнеров для низкоактивных отходов должна позволять ручную загрузку и выгрузку упаковок РАО. Загрузка и выгрузка РАО средней и высокой активности должны быть механизированы.

Крупногабаритные РАО (загрязненное оборудование) подлежат разборке и фрагментации на части в организациях с последующим затариванием в сертифицированные транспортные контейнеры для доставки в СПО. В отдельных случаях разрешается транспортирование крупногабаритных отходов в СПО в специальной упаковке при наличии санитарно-эпидемиологического заключения на соответствие санитарным правилам.

РАО, содержащие радионуклиды с периодом полураспада менее 15 суток, собираются отдельно от других РАО и выдерживаются в местах временного хранения РАО для снижения активности до уровней, не превышающих МЗУА.

Сроки выдержки РАО с содержанием большого количества органических веществ (трупы экспериментальных животных и т.п.) не должны превышать 5 суток в случае, если не обеспечиваются условия хранения (выдержки) в холодильных установках или соответствующих растворах.

В связи с повышенной радиационной опасностью отработавших свой ресурс радионуклидных источников излучения и РАО, содержащих альфа-излучающие и трансурановые радионуклиды, все перечисленные виды РАО собираются отдельно от прочих отходов.

Ответственный за организацию сбора, хранения и сдачу РАО назначается приказом администрации организации. Ответственное лицо ведет систематический контроль и учет за сбором, временным хранением и подготовкой к удалению РАО, образующихся в процессе работы. Указанные сведения заносятся в Журнал учета РАО.

Не реже одного раза в год комиссия, назначаемая администрацией организации, проверяет правильность ведения учета количества РАО, сданных специализированной организацией на захоронение, а также находящихся в организации. В случае установления потерь РАО немедленно ставятся в известность органы государственного надзора за радиационной безопасностью, а виновные должностные лица привлекаются к ответственности в установленном порядке.

|      |      |          |         |      |
|------|------|----------|---------|------|
|      |      |          |         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

## Переработка жидких РАО

Методы переработки жидких РАО включают следующие технологические операции:

- концентрирование радионуклидов методом упарки, ионного обмена, сорбции и др.;
- отверждение концентратов методом упарки до солей, битумирования, цементирования, включения в полимеры, стекло, керамику, стеклометаллические композиции, синтетические горные породы и др.;
- частичный возврат очищенных до санитарных норм воды, веществ и материалов, образующихся при переработке жидких РАО, для повторного использования в производстве.

В некоторых случаях на подготовительной стадии целесообразно проводить фракционирование отходов, т.е. выделение одной или нескольких групп радионуклидов с целью последующей отдельной переработки.

Низкоактивные и низкосолевые жидкие РАО должны перерабатываться с использованием комбинации методов соосаждения, фильтрации, ионного обмена, сорбции и др., конечной целью которых является получение воды, пригодной для повторного использования или сброса в открытую гидросеть, и концентрата (в виде регенератов, шламов, пульпы), подлежащего дальнейшей переработке.

Среднеактивные и высокосолевые жидкие РАО должны перерабатываться упаркой с получением конденсата, направляемого в схему очистки низкоактивных и низкосолевых жидких РАО, и концентрата солей, направляемого на отверждение.

Выбор метода отверждения жидких РАО определяется их радионуклидным и химическим составом, уровнем радиоактивности и количеством отходов, типом упаковки и схемой последующего обращения с РАО. Он обосновывается экономическими показателями и оценкой безопасности для всех стадий обращения, включая хранение, транспортирование и захоронение.

Высокоактивные жидкие РАО рекомендуется перерабатывать упаркой с получением конденсата, направляемого в схему очистки среднеактивных жидких РАО, и концентрата солей, направляемого на отверждение. [27]

### 5.2 Безопасные методы обслуживания электроустановок

Станция имеет в своей конструкции множество различного электрооборудования. Также в здании предусмотрено нахождение обслуживающего персонала. Во избежание чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть с обслуживающим персоналом и оборудованием здания, необходимо предусмотреть следующие меры:

- обучение обслуживающего персонала безопасным методам обслуживания электроустановок для предотвращения случаев поражения электрическим током персонала, обслуживающего электроустановки;
- обучение оперативного персонала для предотвращения случаев не правильного вывода оборудования в ремонт, создания аварийных ситуаций при переключениях и для правильных действий во время аварийных ситуаций;

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 67   |

- создание контура заземляющих устройств для ограждения обслуживающего персонала от поражения электрическим током;
- монтаж устройств молниезащиты для сохранения здоровья персонала и сохранения нормального режима работы электрооборудования в грозовой период;
- принятие комплекса мер по пожарной безопасности

#### Требования к персоналу.

Работники, принимаемые для выполнения работ в электроустановках, должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы. При отсутствии профессиональной подготовки такие работники должны быть обучены (до допуска к самостоятельной работе) в специализированных центрах подготовки персонала (учебных комбинатах, учебно-тренировочных центрах и т.п.).

Профессиональная подготовка персонала, повышение его квалификации, проверка знаний и инструктажи проводятся в соответствии с требованиями государственных и отраслевых нормативных правовых актов по организации охраны труда и безопасной работе персонала.

Проверка состояния здоровья работника проводится до приема его на работу, а также периодически, в порядке, предусмотренном Минздравом России. Совмещаемые профессии должны указываться администрацией организации в направлении на медицинский осмотр.

Электротехнический персонал до допуска к самостоятельной работе должен быть обучен приемам освобождения пострадавшего от действия электрического тока, оказания первой помощи при несчастных случаях.

Персонал, обслуживающий электроустановки, должен пройти проверку знаний Межотраслевых правил по охране труда (правил безопасности) и других нормативно-технических документов (правил и инструкций по технической эксплуатации, пожарной безопасности, пользованию защитными средствами, устройства электроустановок) в пределах требований, предъявляемых к соответствующей должности или профессии, и иметь соответствующую группу по электробезопасности. [25]

Персонал обязан соблюдать требования настоящих Правил, инструкций по охране труда, указания, полученные при инструктаже.

Работнику, прошедшему проверку знаний по охране труда при эксплуатации электроустановок, выдается удостоверение установленной формы, в которое вносятся результаты проверки знаний.

Работники, обладающие правом проведения специальных работ, должны иметь об этом запись в удостоверении.

Под специальными работами, право на проведение которых отражается в удостоверении после проверки знаний работника, следует понимать:

- верхолазные работы;
- работы под напряжением на токоведущих частях: чистка, обмыв и замена изоляторов, ремонт проводов, контроль измерительной штангой изоляторов и

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 68   |

- соединительных зажимов, смазка тросов;
- испытания оборудования повышенным напряжением (за исключением работ с мегаомметром).

Перечень специальных работ может быть дополнен указанием работодателя с учетом местных условий.

Работник, проходящий стажировку, дублирование, должен быть закреплен распоряжением за опытным работником. Допуск к самостоятельной работе должен быть также оформлен соответствующим распоряжением руководителя организации.

Каждый работник, если он не может принять меры к устранению нарушений настоящих Правил, должен немедленно сообщить вышестоящему руководителю о всех замеченных им нарушениях и представляющих опасность для людей неисправностях электроустановок, машин, механизмов, приспособлений, инструмента, средств защиты и т.д.

### 5.3 Оперативное обслуживание.

Оперативные переключения должен выполнять оперативный или оперативно-ремонтный персонал, допущенный распорядительным документом руководителя организации. Для допускающих по наряду-допуску и распоряжению наличие допуска на право выполнения оперативных переключений обязательно.

В электроустановках напряжением до 1000 В работники из числа оперативного персонала, обслуживающие электроустановки, должны иметь группу III.

Вид оперативного обслуживания электроустановки, число работников из числа оперативного персонала в смене определяется руководством организации и закрепляется соответствующим распоряжением.

Единоличный осмотр электроустановок, электротехнической части технологического с оборудования может выполнять работник, имеющий группу не ниже III, из числа оперативного персонала, находящегося на дежурстве, либо работник из числа административно-технического персонала, имеющий группу V, для электроустановок напряжением выше 1000 В, и работник, имеющий группу IV, - для электроустановок напряжением до 1000 В и право единоличного осмотра на основании письменного распоряжения руководителя организации.

Работники, не обслуживающие электроустановки, могут допускаться в них в сопровождении оперативного персонала, имеющего группу IV, в электроустановках напряжением выше 1000 В, и имеющего группу III - в электроустановках напряжением до 1000 В, либо работника, имеющего право единоличного осмотра.

Сопровождающий работник должен следить за безопасностью людей, допущенных в электроустановки, и предупреждать их о запрещении приближаться к токоведущим частям.

При осмотре электроустановок разрешается открывать двери щитов, сборок, пультов управления и других устройств.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 69   |

Не допускается проникать за ограждения и барьеры электроустановок.

Не допускается выполнение какой-либо работы во время осмотра.

Двери помещений электроустановок, камер, щитов и сборок, кроме тех, в которых проводятся работы, должны быть закрыты на замок.

Порядок хранения и выдачи ключей от электроустановок определяется распоряжением руководителя организации. Ключи от электроустановок должны находиться на учете у оперативного персонала. В электроустановках, не имеющих местного оперативного персонала, ключи могут быть на учете у административно-технического персонала.

Ключи должны быть пронумерованы и храниться в запираемом ящике. Один комплект должен быть запасным.

Ключи должны выдаваться под расписку:

– работникам, имеющим право единоличного осмотра (в том числе оперативному персоналу), – от всех помещений;

– при допуске по наряду-допуску – допускающему из числа оперативного персонала, ответственному руководителю и производителю работ, наблюдающему - от помещений, в которых предстоит работать.

Ключи подлежат возврату ежедневно по окончании осмотра или работы.

При работе в электроустановках, не имеющих местного оперативного персонала, ключи должны возвращаться не позднее следующего рабочего дня после осмотра или полного окончания работы.

Выдача и возврат ключей должны учитываться в специальном журнале произвольной формы или в оперативном журнале.

При несчастных случаях для освобождения пострадавшего от действия электрического тока напряжение должно быть снято немедленно без предварительного разрешения руководителя работ.

Порядок и условия производства работ

Работы в действующих электроустановках должны проводиться по наряду-допуску (далее - наряду), по распоряжению, по перечню работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации.

Не допускается самовольное проведение работ, а также расширение рабочих мест и объема задания, определенных нарядом или распоряжением.

Выполнение работ в зоне действия другого наряда должно согласовываться с работником, ведущим работы по ранее выданному наряду (ответственным руководителем работ) или выдавшим наряд на работы в зоне действия другого наряда.

В электроустановках напряжением до 1000 В при работе под напряжением необходимо:

– оградить расположенные вблизи рабочего места другие токоведущие части, находящиеся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение;

– работать в диэлектрических галошах или стоя на изолирующей подставке либо на резиновом диэлектрическом ковре;

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 70   |

– применять изолированный инструмент (у отверток, кроме того, должен быть изолирован стержень), пользоваться диэлектрическими перчатками.

Не допускается работать в одежде с короткими или засученными рукавами, а также использовать ножонки, напильники, металлические метры и т.п.

Не допускается при работе около неогражденных токоведущих частей располагаться так, чтобы эти части находились сзади работника или с двух боковых сторон.

Персоналу следует помнить, что после исчезновения напряжения на электроустановке оно может быть подано вновь без предупреждения.

Не допускаются работы в неосвещенных местах. Освещенность участков работ, рабочих мест, проездов и подходов к ним должна быть равномерной, без слепящего действия осветительных устройств на работающих.

Весь персонал, работающий в помещениях с энергооборудованием (за исключением щитов управления, релейных и им подобных), в ЗРУ и ОРУ, в колодцах, туннелях и траншеях, а также участвующий в обслуживании и ремонте ВЛ, должен пользоваться защитными касками.

Мероприятия, обеспечивающие безопасное проведение работ в электроустановках.

Организационные мероприятия:

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ в электроустановках, являются:

- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончания работы.

Ответственными за безопасное ведение работ являются:

- выдающий наряд, отдающий распоряжение, утверждающий перечень работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- ответственный руководитель работ;
  - допускающий;
  - производитель работ;
  - наблюдающий;
  - член бригады. [25]

Состав бригады.

Численность бригады и ее состав с учетом квалификации членов бригады по электробезопасности должны определяться исходя из условий выполнения работы, а также возможности обеспечения надзора за членами бригады со стороны производителя работ (наблюдающего).

Член бригады, руководимой производителем работ, должен иметь группу III, за исключением работ на ВЛ.

В бригаду на каждого работника, имеющего группу III, допускается включать одного работника, имеющего группу II, но общее число членов бригады, имеющих группу II, не должно превышать трех.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 71   |

Подготовка рабочего места и допуск бригады к работе по наряду и распоряжению.

Допуск к работе проводится после проверки подготовки рабочего места. При этом допускающий должен проверить соответствие состава бригады составу, указанному в наряде или распоряжении, по именным удостоверениям членов бригады; доказать бригаде, что напряжение отсутствует, показом установленных заземлений или проверкой отсутствия напряжения, если заземления не видны с рабочего места, а в электроустановках напряжением 35 кВ и ниже (где позволяет конструктивное исполнение) - последующим прикосновением рукой к токоведущим частям.

Началу работ по наряду или распоряжению должен предшествовать целевой инструктаж, предусматривающий указания по безопасному выполнению конкретной работы в последовательной цепи от выдавшего наряд, отдавшего распоряжение до члена бригады (исполнителя).

Без проведения целевого инструктажа допуск к работе запрещается.

Надзор при проведении работ, изменения в составе бригады.

После допуска к работе надзор за соблюдением бригадой требований безопасности возлагается на производителя работ (наблюдающего), который должен так организовать свою работу, чтобы вести контроль за всеми членами бригады, находясь по возможности на том участке рабочего места, где выполняется наиболее опасная работа.

Технические мероприятия.

При подготовке рабочего места со снятием напряжения должны быть в указанном порядке выполнены следующие технические мероприятия:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;
- наложено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);
- вывешены указательные плакаты «Заземлено», ограждены рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

Проверка отсутствия напряжения.

Проверять отсутствие напряжения необходимо указателем напряжения, исправность которого перед применением должна быть установлена с помощью предназначенных для этой цели специальных приборов или приближением к токоведущим частям, заведомо находящимся под напряжением.

В электроустановках напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью при применении двухполюсного указателя проверять отсутствие напряжения нужно как между фазами, так и между каждой фазой и заземленным корпусом

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 72   |

оборудования или защитным проводником. Допускается применять предварительно проверенный вольтметр. Запрещается пользоваться

контрольными лампами.

Устанавливать заземления на токоведущие части необходимо непосредственно после проверки отсутствия напряжения.

Ограждение рабочего места, вывешивание плакатов

В электроустановках должны быть вывешены плакаты «Заземлено» на приводах разъединителей, отделителей и выключателей нагрузки, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на заземленный участок электроустановки, и на ключах и кнопках дистанционного управления коммутационными аппаратами.

Для временного ограждения токоведущих частей, оставшихся под напряжением, могут применяться щиты, ширмы, экраны и т.п., изготовленные из изоляционных материалов.

На ограждениях камер, шкафах и панелях, граничащих с рабочим местом, должны быть вывешены плакаты «Стой! Напряжение».

На подготовленных рабочих местах в электроустановках должен быть вывешен плакат «Работать здесь».

Не допускается убирать или переставлять до полного окончания работы плакаты и ограждения, установленные при подготовке рабочих мест допускающим, кроме случаев, оговоренных в графе «Особые указания» наряда.

#### 5.4 Расчёт заземляющих устройств станции

В электроустановках высока вероятность, когда конструктивные металлические части ограждений, стенок шкафов, не являющиеся токоведущими и не находясь под напряжением, электрически соединяются с токоведущими частями электроустановки и вследствие этого появляется разность потенциалов по отношению к земле. При неиспользовании специальных защитных средств (резиновые перчатки и диэлектрические галоши) в случае прикосновения к этим токоведущим частям ограждения или корпуса электроустановки окажется под разностью потенциалов, которое вызовет прохождение разности потенциалов напряжений через тело человека, опасного или даже смертельного для организма.

Для предотвращения этой разности потенциалов применяется защитное заземление, одно из важнейших мер обеспечивающих безопасности при работе в электроустановках.

Корпуса электрооборудования заземляются по принципу: если ЭП расположен в непосредственной близости к полосе заземляющего контура, то корпус электроустановки соединяется с ней по средству заземляющей шины; а в случае если удалённого местоположения ЭП, то его корпус заземляется по средству заземляющей жилы питающего кабеля.

На КТП нейтрали силовых трансформаторов 6/0,4 кВ глухозаземлённые.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали трансформаторов, в любое время года должно быть не более  $R_{\text{И}} = 4 \text{ Ом}$ .

Произведем проверку контура заземления здания насосной станции по этому

|      |      |          |         |      |  |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
|      |      |          |         |      |  |  |  |  |  | Лист |
|      |      |          |         |      |  |  |  |  |  | 73   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |  |  |  |  |      |

13.03.02.2020.091.000. ПЗ



условию.

Предполагается сооружение заземлителя с внешней стороны здания по периметру длиной  $p = 206$  м. В качестве вертикальных заземлителей принимаются стальные пруты диаметром 15 мм и длиной 2 м, которые забивают в грунт. Верхние концы электродов располагают на глубине 0,7 м от поверхности земли. К ним приваривают горизонтальные электроды стержневого типа из той же стали (сталь 3), что и вертикальные электроды.

Заземлители соединены полосой из стали 3, сечением  $4 \times 40$  мм<sup>2</sup>, выбранный

грунт – суглинок. Климатическая зона – 3.

Расчётные сопротивления грунта для горизонтальных и вертикальных заземлителей:

$$\rho_{p.г} = K_{п.г} \cdot \rho_{уд} \quad (38)$$

$$\rho_{p.з} = K_{п.з} \cdot \rho_{уд}, \quad (39)$$

где  $K_{п.в}$   $K_{п.г}$  – поправочные коэффициенты, учитывающие изменение удельного сопротивления грунта вследствие его высыхания и промерзания, соответственно для вертикальных и горизонтальных заземлителей.

Для третьей климатической зоны:

$$\rho_{п.г} = 1,5; \rho_{п.з} = 2,2$$

$\rho_{уд} = 100$  Ом – удельное сопротивление грунта (суглинка).

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

$$\rho_{п.з} = 2,2 \cdot 100 = 220 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Сопротивление растеканию одного вертикального заземлителя:

$$R_{г.о} = \frac{\rho_{п.г}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right), \quad (40)$$

где  $l$  – длина стержня, м;

$d$  – диаметр стержня, м;

$t$  – глубина заложения стержня, м.

$$R_{г.о} = \frac{150}{2 \cdot \pi \cdot 2} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 2}{0,015} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} \right) = 70,3 \text{ Ом}$$

Определяем примерное число вертикальных заземлителей при предварительно принятом коэффициенте использования  $\eta_г = 0,63$  (ориентировочное число вертикальных электродов в соответствии с планом объекта составляет 50, отношение расстояния между электродами к их длине равно ( $p/50/l=2$ ):

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 74   |

$$n = \frac{R_{г.о}}{\eta_g \cdot R_u} = \frac{70,3}{0,63 \cdot 4} = 27,8$$

Принимаем 28 вертикальных заземлителя.

По периметру заземления из 28 вертикальных электродов число горизонтальных электродов равно 27. Коэффициент использования горизонтального электрода принимаем равным  $\eta_z = 0,31$ .

Сопротивление растеканию горизонтальных электродов:

$$R_z = \frac{\rho_{p.z}}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot \eta_z} \cdot \ln \frac{l^2}{b \cdot t}, \quad (41)$$

где  $l$  – длина полосы горизонтальных электродов (длина контура заземления), м;

$b$  – ширина полосы, м;

$t$  – глубина заложения, м.

$$R_z = \frac{220}{2 \cdot \pi \cdot 206 \cdot 0,31} \cdot \ln \frac{206^2}{0,04 \cdot 0,7} = 7,8 \text{ Ом}$$

Уточняем необходимое сопротивление растеканию вертикальных электродов с учётом проводимости горизонтальных соединительных электродов:

$$R_g = \frac{R_z \cdot R_u}{R_z - R_u} = \frac{7,8 \cdot 4}{7,8 - 4} = 8 \text{ Ом}$$

Уточнённое число вертикальных электродов определяется при коэффициенте использования  $\eta_g = 0,66$  принятым при  $n=25$  и отношении расстояния между электродами к их длине равным  $a/l=2$ :

$$n = \frac{R_{г.о}}{\eta_g \cdot R_u} = \frac{70,3}{0,66 \cdot 8} = 13$$

Проверим, будет ли сопротивление контура меньше требуемого значения.

Сопротивление растеканию тока стержневых заземлителей:

$$R_{г.з} = \frac{R_{г.о}}{\eta_g \cdot n} = \frac{70,3}{0,66 \cdot 13} = 8,2$$

Общее сопротивление контура заземления:

$$R_u = \frac{R_z \cdot R_{г.з}}{R_z + R_{г.з}} = \frac{7,8 \cdot 8}{7,8 + 8} = 3,9 < 4 \text{ Ом}$$

Таким образом, нормативное условие выполняется.

Система заземления принята типа TN-C-S. Заземление (зануление) открытых проводящих частей (корпусов щитов, светильников и т.п.)

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 75   |

выполнить при помощи защитного проводника РЕ. В качестве РЕ проводника использовать третий (пятый) проводник в однофазной (трехфазной) сети.

В здании выполнена основная система уравнивания потенциалов, объединяющая между собой:

- PEN-проводники кабелей электроснабжения;
- проводники основной системы уравнивания потенциалов, прокладываемые от сторонних проводящих частей (металлические трубы водоснабжения, канализации и отопления входящие в здание);
- заземлитель молниезащиты.

Объединение указанных проводящих частей между собой выполнить при помощи главной заземляющей шины ГЗШ.

В качестве ГЗШ используется шина РЕ щита ГРЩ.

Воздуховоды вытяжных и приточных вентсистем присоединены дополнительно проводником уравнивания потенциалов к шине РЕ щитов управления.

Переносные электроприемники, запитанные через розетки и светильники класса защиты 1, установленные в помещениях с повышенной опасностью на высоте до 2,5 м, защищены устройством защитного отключения УЗО с током срабатывания 30 мА.

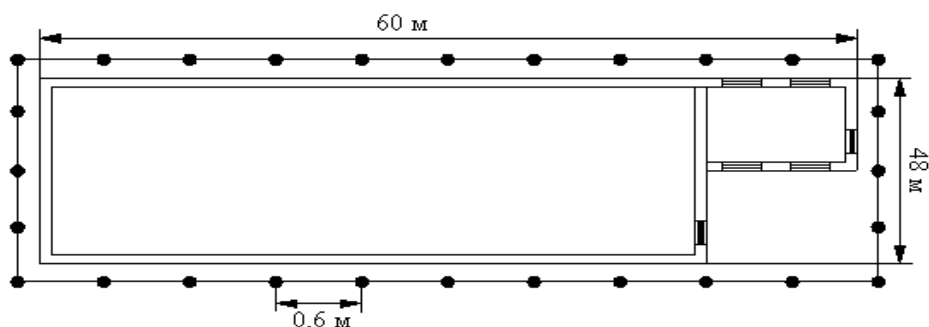


Рисунок 2 – Заземляющий контур станции

### 5.5 Расчет устройства грозозащиты станции

Молниезащита представляет собой комплекс мероприятий, направленных на предотвращение попадания прямого удара молнии в объект или на устранение опасных последствий, связанных с прямым ударом.

Средством защиты от прямых ударов молнии служит молниеотвод — устройство, рассчитанное на непосредственный контакт с каналом молнии и отводящее ее ток от земли. При выборе средств защиты от прямых ударов молнии, типов молниеотводов необходимо учитывать экономические соображения, технологические и конструктивные особенности объектов, находящихся рядом с защищаемым.

Исходные данные для расчета молниезащиты

|      |      |          |         |      |                           |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |         |      |                           |  |  |  |  | Лист |
|      |      |          |         |      |                           |  |  |  |  | 76   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ |  |  |  |  |      |



Для металлических труб в местах болтовых соединений отдельных звеньев труб требуется устройство привариваемых стальных перемычек сечением не менее  $50 \text{ мм}^2$ .

Токоотводы выполнить полосовой сталью сечением  $25 \times 4 \text{ мм}$  по наружным стенам и присоединить к наружному контуру защитного заземления здания. К этому же контуру должны быть присоединены все подземные и надземные коммуникации у вводов в станции. Каждый молниеотвод должен иметь по два токоотвода.

Молниеотводы и токоотводы нужно предохранить от коррозии оцинкованием, лужением или покраской.

Построение кривых защитных зон от намеченных к установке молниеотводов произведено графическим способом с применением нижеприведенного расчета [15].

Кривые защитных зон приведены на рисунке 3.

Возьмем высоту двух молниеотводов равную  $40 \text{ м}$ .

$$h = 40 \text{ м}$$

$$h_1 = 20 \text{ м}$$

Торцевые области зоны защиты определяются как зоны защиты одиночных молниеотводов:

$$h_0 = 0,92 \cdot h = 0,92 \cdot 40 = 36,8 \text{ м}$$

$$r_0 = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 40 = 60 \text{ м}$$

$$r_x = 1,5 \cdot \left( h - \frac{h_1}{0,92} \right) = 1,5 \cdot \left( 40 - \frac{20}{0,92} \right) = 27,4 \text{ м}$$

Расстояние между молниеотводами  $L = 54 \text{ м}$ .

$$h_c = h_0 - 0,14 \cdot (L - h) = 36,8 - 0,14 \cdot (54 - 40) = 36,24 \text{ м}$$

$$r_c = r_0 = 60 \text{ м}$$

$$r_{cx} = r_0 \cdot \left( \frac{h_c - h_{11}}{h_c} \right) = 60 \cdot \left( \frac{36,24 - 20}{36,24} \right) = 36,4 \text{ м}$$

При высоте молниеотвода  $h = 40 \text{ м}$  данное здание защищено полностью.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 78   |

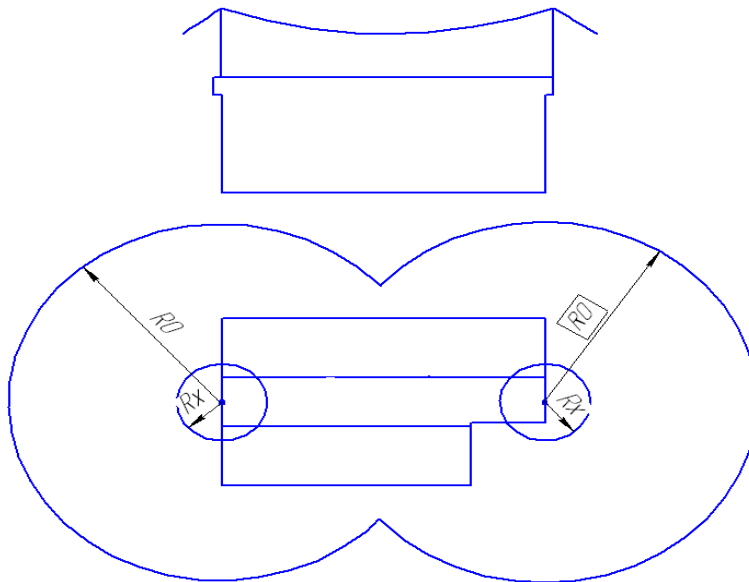


Рисунок 3 – Область защиты молниеотвода

### 5.6 Пожарная безопасность

Согласно «НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» помещение ТП-107 относится к категории В. Определим к какой из категорий В1, В2, В3 или В4 относится помещение.

При пожарной нагрузке, включающей в себя различные сочетания (смесь) горючих, трудногорючих жидкостей, твердых горючих и трудногорючих веществ и материалов в пределах пожароопасного участка, пожарная нагрузка  $Q$ , МДж, определяется по формуле: [24]

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_{Hi}^p,$$

где  $G_i$  – количество  $i$ -го материала пожарной нагрузки, кг;

$Q_{Hi}^p$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го материала пожарной нагрузки, МДж/кг.

Низшая теплота сгорания трансформаторного масла 43,21 МДж/кг.

Масса масла трансформатора ТМЗ-1000/6 составляет 660 кг.

$$Q = 660 \cdot 43,21 = 28518 \text{ МДж}$$

Удельная пожарная нагрузка  $g$ , МДж·м<sup>-2</sup>, определяется из соотношения:

$$g = \frac{Q}{S},$$

где  $S$  – площадь размещения пожарной нагрузки, м<sup>2</sup> (но не менее 10 м<sup>2</sup>).

$$g = \frac{2851,8}{10} = 2851,8 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$$

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 79   |

Из НПБ 105-03 при удельной пожарной нагрузке более  $2200 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$  помещение относится к категории В1.

Согласно ППБ 01-03 помещение должно быть обеспечено необходимым количеством первичных средств пожаротушения.

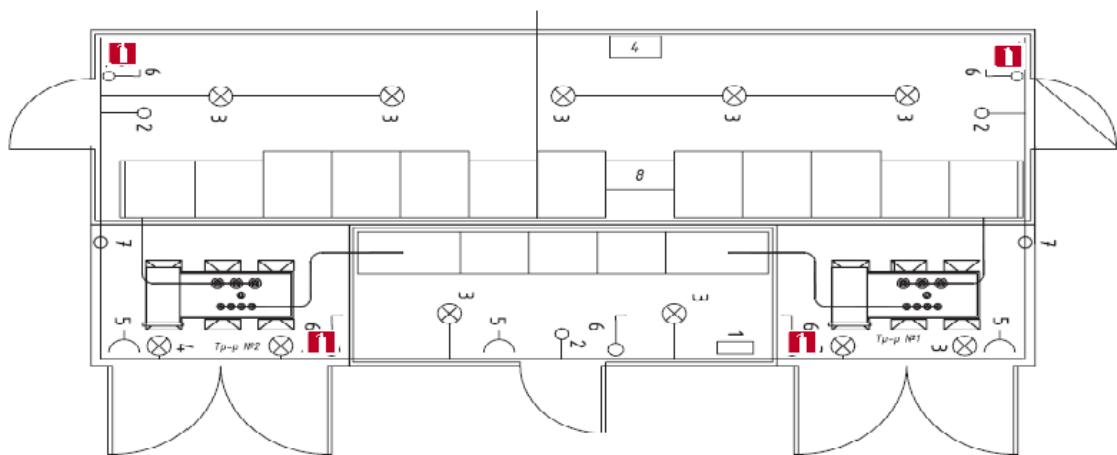
Выбор типа и расчет необходимого количества огнетушителей в защищаемом помещении или на объекте следует производить в зависимости от их огнетушащей способности, предельной площади, а также класса пожара горючих веществ и материалов:

- класс А – пожары твердых веществ, в основном органического происхождения, горение которых сопровождается тлением (древесина, текстиль, бумага);
- класс В – пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ;
- класс С – пожары газов;
- класс D – пожары металлов и их сплавов;
- класс (Е) – пожары, связанные с горением электроустановок. [24]

Согласно нормам оснащения помещений ручными огнетушителями в помещении категории В для тушения пожара класса Е с предельно защищаемой площадью  $200 \text{ м}^2$  требуется разместить 1 порошковый огнетушитель вместимостью 9 кг или 2 углекислотных огнетушителя вместимостью 5(8) кг.

Таким образом, применив все указанные в данной главе мероприятия, становится возможным снижение риска получения травм персоналом, уменьшение количества выведенного из строя оборудования в случаях чрезвычайных ситуаций. Обучение персонала безопасным приемам ведения работ в электроустановках ведет к снижению получения персоналом травм различной степени тяжести с возможными летальными исходами до возможного минимума.

Рисунок 4 – Схема расположения огнетушителей на ТП



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перед отечественной энергетикой стоят большие задачи по рациональному использованию электрической энергии. Большое значение имеет внедрение современных и рациональных решений в области электроснабжения. Это возможно только при правильном расчете режимов работы электрооборудования и выборе элементов систем электроснабжения, линий электропередачи, распределительных станций и подстанций. Совокупность всех этих элементов электроснабжения производится на основах электрических нагрузок, из этого следует; что грамотное определение электрических нагрузок и выбора электрооборудования является решающим фактором при расчете систем электроснабжения.

В данном дипломном проекте рассмотрены вопросы, связанные с электроснабжением здания станции очистки вод.

Выбрано основное силовое электрооборудование и проверено на соответствие расчетной мощности электроприемников комплекса.

В технико-экономической части проекта, рассмотрен вопрос энергосбережения на предприятии за счет использования станции частотных преобразователей. Проведенный сметно-финансовый расчет определил сметную стоимость реконструкции с учетом заработной платы основных рабочих, стоимости материалов и эксплуатации машин.

Все принимаемые конструктивные решения были технически обоснованы теми или иными причинами и соответствуют требованиям нормативных документов.

Раздел техники безопасности в полной мере освещает безопасные методы обслуживания электроустановок. Произведенный расчет устройств молниезащиты позволил защитить станцию прямого попадания молнии, а расчет заземляющих устройств – определить размеры заземляющих сооружений.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 81   |



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Анастасиев, П.И. Проектирование кабельных сетей и проводок / П.И. Анастасиев, Е.З. Бранзбург, А.В. Коляда: под общ. ред. Г.Е. Хромченко. – М.: Энергия, 1980. – 384 с.
- 2 Барыбин, Ю.Г. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Ю.Г. Барыбин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 416 с.
- 3 Барыбин, Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения / Ю.Г. Барыбин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.
- 4 Басс, Э.И. Релейная защита электроэнергетических систем: учебное пособие для вузов / Э.И. Басс.// – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 296 с.
- 5 Беляев, А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ / А.В. Беляев.//. – Л.: Ленинградское отделение. Энергоатомиздат, 1988. – 176 с.
- 6 Блок, В.М. Пособие к курсовому и дипломному проектированию /В.М. Блок. – М.//: Высшая школа, 1990. – 383 с.
- 7 Блок, В.М. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов / В.М. Блок, Г.К. Обушев, Л.Б. Паперно. – М.: Высшая школа, 1990. – 383 с.
- 8 Бутырин, П.А. Электротехника: учебное пособие: в 3 т. / П.А. Бутырин, Р.Ф. Гафиятулина. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – Т.3. – 103 с.
- 9 Васин, В.М. Дипломное проектирование для специальности электрооборудование промышленных предприятий и установок / В.М. Васин, Б.Ю. Липкин. – Минск: Высшая школа, 1977. – 143 с.
- 10 Волобринский, С.Д. Электрические нагрузки и балансы промышленных предприятий / С.Д. Волобринский.// – М.: Энергия, 1976. – 264 с.
- 11 Гительсон, С.М. Экономические решения при проектировании электроснабжения промышленных предприятий / С.М. Гительсон.// – М.: Энергия, 1971. – 256 с.
- 12 ГОСТ 27514—87. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением 1 кВ. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 6 с.
- 13 Гринберг, Г.С. Цеховые электрические сети напряжением до 1000 В / Г.С. Гринберг, Б.А. Делибаш. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1977. – 120 с.
- 14 Гук, Ю.Б. Проектирование электрической части станций и подстанций / Ю.Б. Гук, В.В. Кантан, С.С. Петрова. – Л.: Ленинградское отделение. Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.
- 15 Гурин, Н.А. Дипломное проектирование: учебное пособие / Н.А. Гурин, Г.И. Янукович. – Минск: Высшая школа, 1990. – 240 с.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 82   |

16 Диев, С.Г. Методическое указание для выполнения курсового проекта по электроснабжению промышленных предприятий / С.Г. Диев, А.Н. Сюсюкин.– Омск, 1984. – 112 с.

17 Ермилов, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Ермилов.// – М.: Энергия, 1976. – 321 с.

18 Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий / И.В. Жежеленко.// – М.: Энергия, 1974. – 160 с.

19 Зевакин, А.И. Шинопроводы в электрических сетях промышленных предприятий / А.И. Зевакин, И.И. Лигерман. – М.: Энергия, 1979. – 96 с.

20 Зименков, М.Г. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий / М.Г. Зименков. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 480 с.

21 Ильяшов, В.П. Конденсаторные установки промышленных предприятий / В.П. Ильяшов.// – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 152 с.

22 Каменева, В.В. Область рассеяния центра электрических нагрузок / В.В. Каменева.// – М.: МЭИ, 1971. – 282 с.

23 Карпеш, М.А. Релейная защита электроэнергетических систем / М.А. Карпеш, Р.Н. Сенигов. – Челябинск: ООО Учебная техника, 2003. – 12 с.

24 Бадагуев, Б.Т. Пожарная безопасность на предприятии: Приказы, акты, журналы, протоколы, планы, инструкции. 4-е изд., пер. и доп. / Б.Т. Бадагуев. — М.: Альфа-Пресс, 2017. — 720 с.

25 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. - М.: ДЕАН, 2014. - 176 с

26 Козлов А.А., Богдан-Курило В.Д. Внимание! Радиационная безопасность // НАУКА из первых рук. 2008. № 3 (21). С. 88-95.

27 Кукин П.П./, Лапин В.Л., Пономарев Н.Л., Сердюк Н.И. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда. М.: Высшая школа, 2007. 336 с.

|      |      |          |         |      |                           |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |         |      | 13.03.02.2020.091.000. ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                           | 83   |