

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Электронного обучения

Направление подготовки (специальность) 140205 Электроэнергетические системы и сети

Кафедра Электрических сетей и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      **Прохоров А.В.**  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

| Группа | ФИО                         |
|--------|-----------------------------|
| 3-9201 | Стрелкову Максиму Игоревичу |

Тема работы:

|   |  |
|---|--|
| <b>Проект технологической модернизации системы электроснабжения КС<br/>Проскоково</b> |  |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)   |  |

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 30.05.2016 |
|--|------------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p><b>Объектом проектирования является газокompрессорная станция Проскоково.</b></p> <p><b>Исходными данными к работе являлись:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>-динамический расчет;</li><li>-самозапуск асинхронного двигателя;</li><li>-преобразователь частоты;</li><li>-место расположения КС.</li></ul> |
|---|---|

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <p><b>Модернизация КС<br/>Просоково.Выбор<br/>оборудования<br/>подстанции:силовые<br/>трансформаторы,<br/>распределительного<br/>устройства, высоковольтное<br/>оборудование. Составление<br/>схемы затрат и расчет срока<br/>окупаемости проекта.<br/>Социальная ответственность.</b></p> |
| <p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>   | <p><b>Электрическая схема КС<br/>Просоково.</b></p>  |

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

| Раздел   | Консультант  |
|--|--|
| <b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b> | Доцент, кандидат технических наук<br>Коршунова Л.А.  |
| <b>Социальная ответственность</b>                                      | Доцент, кандидат технических наук<br>Амелькович Ю.А. |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 15.12.2015 |
|---|------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность              | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись |  |
|------------------------|---------------|------------------------|---------|--|
| ассистент кафедры ЭСиЭ | Трощинский В. |                        |         |  |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 3-9201 | СтрелковМаксим Игоревич |         |      |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

|               |                             |
|---------------|-----------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                  |
| 3-9201        | Стрелкову Максиму Игоревичу |

|                            |                       |                                  |                                      |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Институт</b>            | Электронного обучения | <b>Кафедра</b>                   | Электрических сетей и электротехники |
| <b>Уровень образования</b> | Специалитет           | <b>Направление/специальность</b> | Электроэнергетические системы и сети |

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

|   |  |
|---|--|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Стоимость материалов и оборудования, стоимость электроэнергии, минимальная тарифная ставка оплаты труда. |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>   | Нормы амортизации.   |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>                                  | Ставка отчислений в социальные фонды.  |

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|   |   |
|---|---|
| 1. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>                                      | Планирование работ по проектированию и определение трудоемкости         |
| 2. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>  | Расчет затрат на проектирование   |
| 3. <i>Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>                            | Расчет капиталовложений на оборудование и строительно-монтажные работы. |
| 4. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>                                     | Расчет годовых эксплуатационных затрат.                                 |
| 5. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i> | Расчет срока окупаемости проекта.                                       |

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)**

|  |
|--|
| 1. <i>Этапы и график разработки и внедрения ИР</i> |
|--|

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 10.04.2016 |
|---|------------|

**Задание выдал консультант:**

|                               |                |                               |                |             |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b>              | <b>ФИО</b>     | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент<br>кафедры менеджмента | Коршунова Л.А. | к.т. н.                       |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                          |                |             |
|---------------|--------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>               | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 3-9201        | Стрелков Максим Игоревич |                |             |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

|               |                           |
|---------------|---------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                |
| 3-9201        | СтрелковуМаксимуИгоревичу |

|                            |                       |                                  |                                      |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Институт</b>            | Электронного обучения | <b>Кафедра</b>                   | Электрических сетей и электротехники |
| <b>Уровень образования</b> | Специалитет           | <b>Направление/специальность</b> | Электроэнергетические системы и сети |

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

|  |   |
|--|---|
| <p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: -вредных проявлений факторов производственной среды(метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения);</i></p> <p>– <i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы);</i></p> <p>– <i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу);</i></p> <p>– <i>чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера).</i></p> | <p>– <i>Объект раздела: характеристика работ, операций, оборудования, условий выполнения рассматриваемого технологического процесса.</i></p> <p>– <i>Обеспечение безопасности для выявленных опасных факторов: нормативные требования, которым удовлетворяет принятое к использованию оборудование и инструмент. Технические устройства обеспечения этих требований, ссылки на НТД.</i></p> |
| <p>2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме.</i></p>  | <p>– <i>Анализ законодательных и нормативных актов по теме.</i></p>   |
| <p><b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b></p>   |   |
| <p>1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <p>– <i>физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i></p> <p>– <i>действие фактора на организм человека;</i></p> <p>– <i>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i></p> <p>– <i>предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i></p>   | <p>– <i>Перечень опасных и вредных факторов при выполнении работ, источником которых является выбранное оборудование и технологический процесс.</i></p> <p>– <i>Обеспечение санитарно-гигиенических условий на рабочих местах и обеспечение требований нормативных документов к выявленным вредным факторам. Технические устройства обеспечения этих требований.</i></p>                    |
| <p>2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</i></p> <p>– <i>термические опасности (источники,</i></p>  | <p>– <i>Обеспечение безопасности при аварийной ситуации. Средства защиты. Организационные, технические мероприятия.</i></p>   |

|   |  |
|---|--|
| <p>средства защиты);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>  |  |
| <p>3. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul> | <p>– Поведение объекта в ЧС и меры, необходимые для повышения устойчивости при ЧС.</p> |
| <p>4. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-анализ геологических условий</li> <li>-анализ гидрологических условий</li> </ul>  | <p>– Исследование территории строительства на сейсмичность, возникновение урагана.</p> |
| <b>Перечень графического материала:</b>   |  |
| План эвакуации проектируемого здания подстанции   |  |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 10.04.2016 |
|---|------------|

**Задание выдал консультант:**

| Должность                        | ФИО             | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------------|-----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент<br>кафедры экологии и БЖД | Амелькович Ю.А. | к.т.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 3-9201 | Стрелков Максим Игоревич |         |      |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Электронного обучения

Направление подготовки (специальность) 140205 Электроэнергетические системы и сети

Уровень образования Специалист

Кафедра Электрических сетей и электротехники

Период выполнения весенний семестр 2015 /2016 учебного года

Форма представления работы:

|                  |
|------------------|
| дипломный проект |
|------------------|

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 30.05.2016 |
|--|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)                                   | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 10.01.2016    | <i>Введение. Исходные данные для модернизации газокompрессорной станции Проскоково.</i> | 10                                 |
| 20.03.2016    | <i>Создание расчетной модели. Расчет режимов до и после реконструкции.</i>              | 30                                 |
| 30.04.2016    | <i>Выбор и обоснование устанавливаемых защит.</i>                                       | 30                                 |
| 20.05.2016    | <i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>                  | 15                                 |
| 20.05.2016    | <i>Социальная ответственность</i>   | 15                                 |

Составил преподаватель:

| Должность              | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент кафедры ЭСиЭ | Трощинский В. |                        |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

| Зав. кафедрой | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|---------------|------------------------|---------|------|
| ЭСиЭ          | Прохоров А.В. | к.т.н                  |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 110 страниц, 13 рисунков, 15 таблиц, 30 литературных источников, 12 приложений, 10 слайдов.

Ключевые слова: режим энергосистемы, расчет режимов, динамический расчет, самозапуск асинхронного двигателя, преобразователь частоты, пусковой ток.

Цель работы: проект технологической модернизации системы электроснабжения КС Просоково.

В процессе работы были рассмотрены вопросы технологической модернизации системы электроснабжения КС Просоково, а также выбрано высоковольтное оборудование.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ MUSTANG и MS Excel в текстовом редакторе MS Word 2007 и представлена на компакт - диске (в конверте на обороте обложки).

|                  |             |                       |                |             |                           |                             |             |               |
|------------------|-------------|-----------------------|----------------|-------------|---------------------------|-----------------------------|-------------|---------------|
|                  |             |                       |                |             | <i>ФЮРА.140205.010 ПЗ</i> |                             |             |               |
| <i>Изм.</i>      | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                           |                             |             |               |
| <i>Разраб.</i>   |             | <i>Стрелков М.И.</i>  |                |             | <i>Реферат</i>            | <i>Лит.</i>                 | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Руководит</i> |             | <i>Трошинский В.</i>  |                |             |                           |                             |             |               |
| <i>Реценз</i>    |             |                       |                |             |                           |                             |             |               |
| <i>Н. Контр</i>  |             |                       |                |             |                           |                             |             |               |
| <i>Утвердил</i>  |             | <i>Прохоров А. В.</i> |                |             |                           |                             |             |               |
|                  |             |                       |                |             |                           | <i>ТПУ ИнЭО, гр. 3-9201</i> |             |               |

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Реферат.....   | 8  |
| Содержание.....  | 9  |
| Список сокращений.....   | 13 |
| Введение.....  | 14 |
| 1 История создания «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ТОМСК».....   | 15 |
| 2 Технология и техника магистрального транспорта газа.....                                   | 17 |
| 3 Краткая характеристика параметров работы и технического состояния<br>существующей ГКС..... | 19 |
| 3.1 Компрессорный цех.....   | 20 |
| 3.2 Фактические режимы работы ГКС.....   | 21 |
| 4 Общие сведения о современных частотно-регулируемых<br>электроприводах.....                 | 22 |
| 4.1 Преобразователь частоты ПЧТ 10 8000 3 Ж 01.....  | 25 |
| 5 Общий план реконструкции ГКС «Проскоково».....   | 27 |
| 5.1 Цели модернизации.....   | 28 |
| 5.2 Модернизация КС «Проскоково».....  | 29 |
| 5.3 Компрессорный цех после модернизации.....  | 29 |
| 6 Основные параметры и технические характеристики<br>ЭГПА 4,0/8200-56/1,26Р.....             | 31 |
| 7 Результаты модернизации КС.....  | 33 |
| 7.1 Создание расчетной модели.....   | 33 |
| 7.2 Описание ПВК MUSTANG.....  | 34 |
| 7.3 Расчет режимов до и после реконструкции ГКС.....   | 37 |
| 7.4 Расчет в среде Mathlab Simulink.....   | 54 |
| 7.5 Расчет релейной защиты.....  | 61 |
| 7.5.1 Выбор и обоснование устанавливаемых защит.....   | 62 |
| 7.5.2 Расчет дифференциальной токовой защиты на базе реле типа<br>ДЗТ 21.....                | 63 |

|  |     |
|--|-----|
| 7.5.3 Дистанционная защита от внешних коротких замыканий.....              | 67  |
| 7.5.4 Газовая защита трансформатора.....                                   | 68  |
| 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и<br>ресурсосбережение..... | 69  |
| 8.1 Планирование работ по проектированию и трудоемкости.....               | 69  |
| 8.2 Расчет затрат на проектирование.....                                   | 72  |
| 9. Социальная ответственность.....   | 81  |
| 9.1 Введение.....  | 81  |
| 9.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....                | 82  |
| 9.2.1 Опасность поражения электрическим током.....                         | 83  |
| 9.2.2 Опасность механического травмирования.....                           | 86  |
| 9.2.3 Опасность возникновения возгораний и пожаров.....                    | 86  |
| 9.2.4 Опасность оборудования работающего под давлением.....                | 89  |
| 9.2.5 Микроклимат.....   | 90  |
| 9.2.6 Производственная вентиляция.....                                     | 94  |
| 9.3 Экологическая безопасность.....  | 104 |
| 9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....                             | 105 |
| 9.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения<br>безопасности.....    | 107 |
| Заключение.....  | 108 |
| Список использованных источников.....                                      | 110 |
| Приложение 1– Электрическая схема ГКС «Проскоково»                         |     |
| Приложения 2 – Схема преобразователя частоты                               |     |
| Приложения 3 – Имитационная модель двигателя с ПЧ                          |     |
| Приложения А   |     |
| Приложения Б   |     |
| Приложения В   |     |
| Приложения Г   |     |
| Приложения Д   |     |

Приложения Е

Приложения Ж

Приложения З

Приложения И

Компакт- диск в конверте на обороте обложки

## Список сокращений

КС – компрессорная станция

КЦ – компрессорный цех

ГПА – газоперекачивающий агрегат

ПЧ – преобразователь частоты

ЗРУ – закрытое распределительное устройство

АСУТП КС - автоматизированная система управления технологическим процессом компрессорной станции

АСУЭ – автоматизированная система учета электроэнергии

УШР – управляемый шунтирующий реактор

КБ – конденсаторная батарея

БКС – батареи статических конденсаторов

FACTS – устройства последовательной и параллельной компенсации

## ВВЕДЕНИЕ

Газовая промышленность является одной из важнейших составных топливно-энергетического комплекса страны. В настоящее время доля производства природного газа в топливно-энергетическом балансе составляет уже свыше 50% и имеет устойчивую тенденцию к дальнейшему росту.

В условиях острого дефицита топливно-энергетических ресурсов первоочередное значение приобретают задачи, связанные с повышением эффективности их использования. Экономия энергетических ресурсов на современном этапе развития страны является наиболее действенным и эффективным направлением при решении любых задач, стоящих перед промышленностью.

В связи с этим такие задачи трубопроводного транспорта природных газов, как установление и поддержание оптимальных режимов работы газотранспортных систем, разработка и реализация мероприятий, направленных на повышение эффективности транспорта газов с сокращением энергетических затрат на компримирование, является важнейшим и актуальным в данной отрасли. Это положение в значительной степени усиливается, если принимать во внимание непрерывный рост стоимости энергоресурсов, увеличение себестоимости транспорта газа и невозобновляемость его природных ресурсов.

В выпускной квалификационной работе будут рассмотрены новые технологии в транспорте газа, позволяющие оптимизировать режим работы энергетического оборудования и значительно экономить энергетические ресурсы. Данные внедрения будут осуществляться на компрессорной станции «Проскоково», которую эксплуатирует и обслуживает ООО «Газпром трансгаз Томск».

|                  |             |                       |                |             |                           |                             |             |               |
|------------------|-------------|-----------------------|----------------|-------------|---------------------------|-----------------------------|-------------|---------------|
|                  |             |                       |                |             | <i>ФЮРА.140205.010 ПЗ</i> |                             |             |               |
| <i>Изм.</i>      | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                           |                             |             |               |
| <i>Разраб.</i>   |             | <i>Стрелков М.И.</i>  |                |             | <b>Введение</b>           | <i>Лит.</i>                 | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Руководит</i> |             | <i>Трошинский В.</i>  |                |             |                           |                             |             |               |
| <i>Реценз</i>    |             |                       |                |             |                           |                             |             |               |
| <i>Н. Контр</i>  |             |                       |                |             |                           |                             |             |               |
| <i>Утвердил</i>  |             | <i>Прохоров А. В.</i> |                |             |                           |                             |             |               |
|                  |             |                       |                |             |                           | <i>ТПУ ИнЭО, гр. 3-9201</i> |             |               |

## 1. История создания «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ТОМСК»

История создания «Газпром трансгаз Томск» берет свое начало в 1977 году. Попутный газ с нефтяных месторождений Западной Сибири, ранее сжигаемый в факелах, был необходим металлургическим и химическим гигантам Кузбасса. Тогда было начато строительство первого магистрального газопровода в Западной Сибири: Нижневартовск – Томск – Кузбасс протяженностью 1162 километра, рис 1.1.[16]



Рис.1.1 - Магистральные газопроводы ООО «Газпром трансгаз Томск »

|           |                |          |         |      |  |  |  |                      |      |        |
|-----------|----------------|----------|---------|------|--|--|--|----------------------|------|--------|
|           |                |          |         |      | <b>ФЮРА.140205.010 ПЗ</b>                    |  |  |                      |      |        |
| Изм.      | Лист           | № докум. | Подпись | Дата | История создания<br>«Газпром трансгаз Томск» |  |  |                      |      |        |
| Разраб.   | Стрелков М.И.  |          |         |      |  |  |  | Лит.                 | Лист | Листов |
| Руководит | Трошинский В.  |          |         |      |  |  |  |                      |      |        |
| Реценз    |                |          |         |      |  |  |  | ТПУ ИнЭО, гр. 3-9203 |      |        |
| Н. Контр  |                |          |         |      |  |  |  |                      |      |        |
| Утвердил  | Прохоров А. В. |          |         |      |  |  |  |                      |      |        |

Сегодня территория, на которой работает старейшее газотранспортное предприятие сибирского региона - «Газпром трансгаз Томск» простирается от Нижневартовска до Хабаровска. Два магистральных газопровода «Нижневартовск-Парабель- Кузбасс» и «СРТО-Омск-Новосибирск-Кузбасс» обеспечивают газом более 400 крупных потребителей в Томской, Новосибирской, Кемеровской, Омской областях и Алтайском крае. В их числе промышленные гиганты региона - Нижневартовская ГРЭС, «Томскэнерго», Западно-Сибирский и Кузнецкий металлургические комбинаты, Кемеровский «АЗОТ», Томский нефтехимический комбинат, Сибирский химический комбинат. Весьма символично, что в 2007 году, в год 30-летнего юбилея компании, к зоне её ответственности присоединился и Дальний Восток: решением Газпрома в составе «Газпром трансгаз Томск» созданы линейно-производственные управления в Иркутске и Хабаровске, открыто представительство ОАО «Газпром» в Южно-Сахалинске. Общая протяженность трассы, обслуживаемой томскими газовиками, около пяти тысяч километров в одноконтурном исполнении. Магистраль пролегает в непростых природных условиях. Линейная часть газопровода берет свое начало в районе знаменитых Васюганских болот и идет сквозь таежные топи, пересекая 37 рек, включая Обь, Иртыш и Томь.

Газотранспортная система «Газпром трансгаз Томск» - залог и основа надежности в снабжении газом Западной Сибири. Предприятие не стоит на месте, внедряя самые современные технологии. На газопроводе «Нижневартовск-Парабель-Кузбасс-Ялуторск-Новосибирск» в ближайшие несколько лет намечено модернизировать компрессорные цеха с заменой оборудования на малолюдные технологии. Интенсивно проводится телемеханизация: полностью оснащены новыми системами объекты Юргинского ЛПУ (линейное производственное управление), в значительной степени - Томского и Новосибирского ЛПУ. План масштабной реконструкции, рассчитанный до 2018 года.

## 2. Технология и техника магистрального транспорта газа

Основные отечественные месторождения газа расположены на значительных расстояниях от крупных потребителей. Подача газа к ним осуществляется по магистральным газопроводам различных диаметров. Транспортировать природный газ в достаточном количестве и на большие расстояния, только за счет естественного пластового давления нельзя. Для этой цели строятся компрессорные станции (КС), которые устанавливаются на трассе газопровода через каждые 80-150 км.[1]

Оптимальный режим эксплуатации магистральных газопроводов заключается, прежде всего, в максимальном использовании их пропускной способности при минимальных энергозатратах на компремирование и транспортировку газа по газопроводу. Длина участков газопровода между КС рассчитывается, с одной стороны, исходя из величины падения давления газа на данном участке трассы, а с другой – исходя из привязки станции к населенным пунктам, источникам водоснабжения, электроэнергии и т.п.

При движении газа по участку трубопровода вследствие гидравлического сопротивления давление газа постепенно снижается, увеличивается его рабочий объем и, следовательно, скорость движения. При этом растут сопротивление потоку газа и потери энергии, расходуемой на продвижение газа по трубопроводу, что приводит к ограничению пропускной способности газопровода. Компрессорные станции повышают давление газа каждого участка газопровода на 1,6 - 2,5 МПа (в России строятся газопроводы в основном на давление 5,5 и 7,5МПа), что примерно равно падению давления газа в трубопроводе при его движении по предшествующему участку. Вследствие этого обеспечиваются условия постоянной объемной пропускной способности газопровода.

|                  |                       |                 |                |            |  |                             |             |               |
|------------------|-----------------------|-----------------|----------------|------------|--|-----------------------------|-------------|---------------|
|                  |                       |                 |                |            | <i>ФЮРА.140205.010 ПЗ</i>  |                             |             |               |
| <i>Изм.</i>      | <i>Лист</i>           | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дат</i> |  |                             |             |               |
| <i>Разраб.</i>   | <i>Стрелков МИ</i>    |                 |                |            | <i>Технология и техника<br/>магистрального<br/>транспорта газа</i> | <i>Лит.</i>                 | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Руководит</i> | <i>Трошинский В.</i>  |                 |                |            |  |                             |             |               |
| <i>Реценз</i>    |                       |                 |                |            |  | <i>ТПУ ИнЭО, гр. 3-9201</i> |             |               |
| <i>Н Контр</i>   |                       |                 |                |            |  |                             |             |               |
| <i>Утвердил</i>  | <i>Прохоров А. В.</i> |                 |                |            |  |                             |             |               |

Повышение давления газа на КС осуществляется в одну, две или три ступени с помощью центробежных или поршневых компрессоров. Центробежные компрессоры со степенью сжатия, превышающей 1,1, не снабженные устройствами для охлаждения газа в процессе сжатия, принято называть центробежными нагнетателями.

Система дальнего транспорта и распределения газа включает промышленную газорегулирующую станцию. Для подачи газа потребителям, находящимся вдоль трассы газопровода, а также для удовлетворения собственных нужд компрессорной станции в топливном газе сооружаются газораспределительные станции (ГРС).

Компрессорный цех (КЦ) с газоперекачивающими агрегатами (ГПА) является основным технологическим объектом КС. На КС может быть несколько компрессорных цехов с различными типами ГПА. Обычно число цехов на КС соответствует числу ниток магистральных газопроводов, которые подходят к КС. По мере прокладки новых ниток газопровода на КС предусматривается строительство новых компрессорных цехов.[12]

### 3.Краткая характеристика параметров работы и технического состояния существующей ГКС

Компрессорная станция КС-6 «Просоково» расположена на 403 км газопровода «Нижевартровский ГПЗ-Парабель-Кузбасс». В районе расположения КС «Просоково» газопровод состоит из двух ниток DN1000, PN55.

Одним всасывающим DN1000 и двумя нагнетательными шлейфами DN700 КС подключена только к I-ой нитке магистрального газопровода, во вторую нитку газ поступает через перемычки DN1000, установленные между I-ой и II-ой нитками газопровода на участке между охранными кранами на входе и на выходе КС.[18]

В производственной зоне площадки КС расположены следующие основные сооружения:

- здание компрессорного цеха со вспомогательными помещениями и операторной;
- газовая обвязка нагнетателей;
- установка очистки газа;
- аварийная дизельная электростанция;
- газораспределительная станция собственных нужд КС;
- трансформаторная подстанция собственных нужд КТП 2х400 кВА;
- трансформаторная подстанция компрессорного цеха КТП 2х630 кВА;
- закрытое распределительное устройство 10 кВ;
- котельные.

|                  |                       |                 |                |            |   |                              |             |               |
|------------------|-----------------------|-----------------|----------------|------------|---|------------------------------|-------------|---------------|
|                  |                       |                 |                |            | <b>ФЮРА.140205.010 ПЗ</b>   |                              |             |               |
| <i>Изм.</i>      | <i>Лист</i>           | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дат</i> | <i>Краткая характеристика параметров работы и технического состояния существующей ГКС</i> | <i>Лит.</i>                  | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Разраб.</i>   | <i>Стрелков М.И.</i>  |                 |                |            |   |                              |             |               |
| <i>Руководит</i> | <i>Трошинский В.</i>  |                 |                |            |   |                              |             |               |
| <i>Реценз</i>    |                       |                 |                |            |   |                              |             |               |
| <i>Н. Контр</i>  |                       |                 |                |            |   |                              |             |               |
| <i>Утвердил</i>  | <i>Прохоров А. В.</i> |                 |                |            |   | <b>ТПУ ИнЭО, гр. 3-92071</b> |             |               |

На КС установлены газоперекачивающие агрегаты единичной мощности 4 МВт в количестве 5 штук, с центробежными нагнетателями Н-280-12-7, с приводом от электродвигателя СТД-4000-2 с нерегулируемым числом оборотов. Общая установленная мощность ГПА – 20 МВт. Газоперекачивающие агрегаты установлены в здании компрессорного цеха.

### ***3.1 Компрессорный цех***

По состоянию на сегодняшний день наработка ЭГПА с начала эксплуатации (1981 года) составляет в пределах 60-93 тыс. часов. Нормативный срок службы до списывания электроприводных газоперекачивающих агрегатов в соответствии с ТУ 108.846-79 - 15 лет. Полный срок службы электродвигателей серии СТД согласно ТУ 16-512.167-76 – 20 лет.

В 2006г. ДОО «Оргэнергогаз» (ИТЦ «Оргтехдиагностика») было выполнено диагностическое обследование электродвигателей ЭГПА с наработкой 60-85 тыс. часов. По полученным результатам был определен остаточный срок службы агрегатов - 25 тыс. часов. На КС «Проскоково» (наиболее загруженная станция на ряду с КС «Парабель») средняя наработка агрегатов составляет 2,8-3,8 тыс. час/год. Почти половина остаточного срока службы на настоящий момент выработана.

Электротехническое и технологическое оборудование КЦ, система автоматизации технологических процессов морально и физически устарели.

Техническое состояние технологического оборудования, газовой обвязки компрессорного цеха, запорной арматуры свидетельствуют о целесообразности полной замены газовой обвязки КЦ.

### 3.2 Фактические режимы работы ГКС

Фактический режим работы КС в настоящее время существенно отличается от проектного режима. После ввода второй нитки газопровода требуемая пропускная способность газопровода увеличивается в почти в 2 раза, в результате сформировался режим работы газопровода на пониженных давлениях, со степенью сжатия (с 1,5 до 1,23), и отпала необходимость в последовательном включении агрегатов. В настоящее время КС работает по схеме «два агрегата параллельно» с производительностью 15-25 млн.м<sup>3</sup>/сутки.[18]

В последнее время, в связи с увеличением загрузки газопровода (наращиванием подачи газа от Мыльджинского ГКНМ (газоконденсатное и нефтяное месторождение), Лугинецкой ГКС и Северо-Васюганского ГКМ), при подаче газа от поставщиков в объеме более 24 млн.м<sup>3</sup>/сутки возникает потребность в работе КС по схеме три агрегата параллельно, что является не проектной схемой работы и имеет ряд существенных недостатков, при которых не обеспечивается надежная работа ГКС.

Для этого требуется преобразовать существующую групповую схему обвязки ГПА в коллекторную, с одноступенчатым сжатием газа.

#### 4. Общие сведения о современных частотно-регулируемых электроприводах

Большая часть рабочих машин в нефтегазовой промышленности в настоящее время оснащена нерегулируемыми электроприводами с асинхронными и синхронными электродвигателями. Регулирование производительности перекачивающих агрегатов осуществляется дискретно изменением их числа и плавно – весьма неэффективным способом – дросселированием с помощью шаровых кранов по кольцу контура компрессорной станции.[4]

Низкий уровень использования регулируемых электроприводов в нефтегазовой промышленности объясняется, с одной стороны, отсутствием до последнего времени надежных преобразователей частоты (ПЧ), пригодных для тяжелых условий эксплуатации, а с другой – существующей в 1980-х годах ценовой политикой на энергоносители. В связи с постоянным увеличением стоимости электроэнергии, ростом цен на сооружение линий электропередачи при освоении новых месторождений и наметившейся тенденцией перехода на автономные источники электроснабжения технологических установок нефтегазовой промышленности становится экономически и технически целесообразным применение регулируемых электроприводов.

Первые попытки создания регулируемого электропривода в установках транспорта газа были осуществлены для двигателя СДЗС-4500-1500. Использованные для ПЧ полупроводники (традиционные тиристоры) оказались недостаточно надежны, конструкция системы управления существенно усложняла эксплуатацию и снижала надежность электропривода.[2]

|             |             |                 |                |            |   |                      |             |               |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|------------|---|----------------------|-------------|---------------|
|             |             |                 |                |            | <b>ФЮРА.140205.010 ПЗ</b>                                     |                      |             |               |
| <b>Изм.</b> | <b>Лист</b> | <b>№ докум.</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дат</b> |   |                      |             |               |
| Разраб.     |             | Стрелков М.И.   |                |            | <b>Общие сведения о современных частотных электроприводах</b> | <b>Лит.</b>          | <b>Лист</b> | <b>Листов</b> |
| Руководит   |             | Трошинский В.   |                |            |   |                      |             |               |
| Реценз      |             |                 |                |            |   |                      |             |               |
| Н. Контр    |             |                 |                |            |   |                      |             |               |
| Утвердил    |             | Прохоров А. В.  |                |            |   |                      |             |               |
|             |             |                 |                |            |   | ТПУ ИнЭО, гр. 3-9201 |             |               |

Появление полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов (IGBT, GCT, IGCT, GTO) с высокими значениями параметров привело к радикальным изменениям в схемотехнике устройств силовой электроники, это позволило создавать частотно-регулируемые электроприводы большой (десятки МВт) мощности.[6]

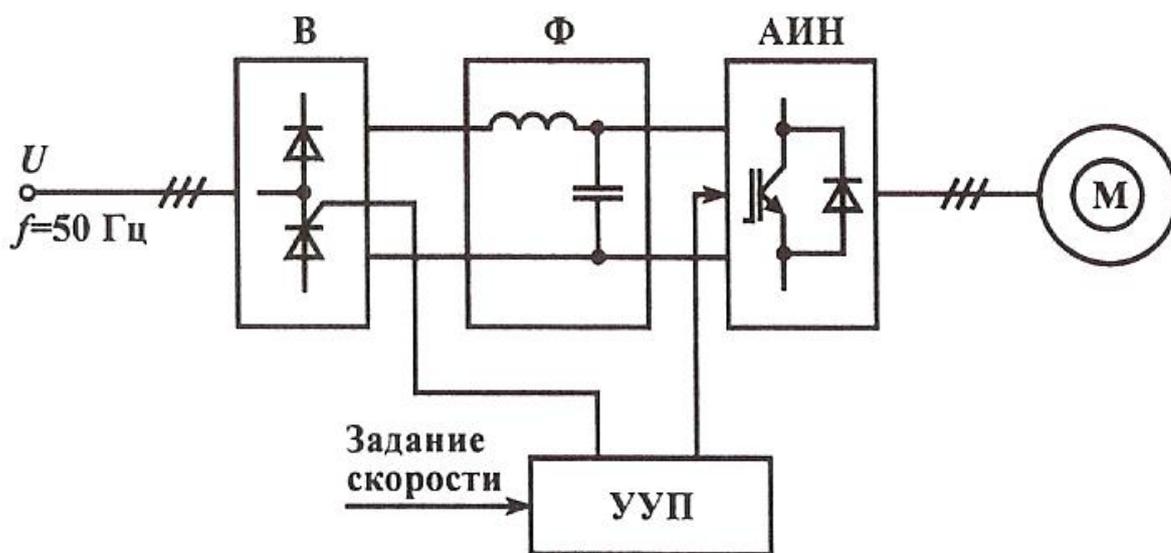


Рис.4.1 - Частотно-регулируемый электропривод с асинхронным короткозамкнутым двигателем:

В – выпрямитель; Ф – фильтр; АИН – автономный IGBT-инвертор напряжения; УУП – устройство управления преобразователем частоты; М-двигатель.

Частотно-регулируемый электропривод обеспечит:

- плавный пуск;
- длительную работу в заданном диапазоне изменения скорости и нагрузки;
- реверсирование, торможение и останов;
- защиту электрического и механического оборудования от аварийных режимов.

Частотно-регулируемый электропривод является не только устройством экономического преобразования электрической энергии в

механическую, но и эффективным средством управления технологическим процессом, в том числе в замкнутых системах автоматического управления в составе различных автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Эффективность применения частотно-регулируемых электроприводов обусловлена:

- высокими энергетическими показателями;
- гибкой настройкой программными средствами параметров и режимов работы электропривода;
- развитым интерфейсом и приспособляемостью к различным системам управления и автоматизации, в том числе высокого уровня;
- простотой и удобством управления и обслуживания эксплуатации;
- высоким качеством статических и динамических характеристик, обеспечивающих высокую производительность управляемых машин.

За последние годы в качестве основных вариантов при выборе типа привода турбокомпрессора рассматриваются приводы трех типов:

- газотурбинный привод;
- частотно-регулируемый электропривод с быстроходным электродвигателем переменного тока;
- частотно-регулируемый электропривод на основе электродвигателя с частотой вращения не выше 3000 об/мин и мультипликатором.

Ведущие электротехнические фирмы используют типа быстроходных частотно-регулируемых электроприводов переменного тока для ТК магистральных газопроводов:[3]

1. Частотно-регулируемый электропривод с ПЧ на основе автономного инвертора тока и быстроходным асинхронным двигателем.

2. Частотно-регулируемый электропривод с ПЧ на основе автономного инвертора напряжения и быстроходным асинхронным двигателем.

3. Частотно-регулируемый электропривод по схеме вентильного двигателя на базе быстроходного синхронного двигателя.

Частотно-регулируемый электропривод ТК с быстроходным двигателем и мультипликатором обеспечивает экономию площади до 50 %.

Быстроходные частотно-регулируемые электродвигатели мощностью 4,0-12,5 МВт производят фирмы «ALSTOM» (Франция), СКД (Чехия), «TMEIC» (Япония), «SIEMENS» (Германия) и др.[8]

В России ведутся работы по созданию электроприводов газоперекачивающих агрегатов с быстроходными асинхронными двигателями с ротором на магнитном подвесе на 8200 об/мин мощностью 4,0 и 6,3 МВт.

Применение электромагнитного подвеса ротора обеспечивает:

- исключение из компоновки агрегата мультипликатора;
- использование компрессоров с высокой частотой вращения;
- исключение системы смазки подшипников и соответственно необходимости в запасах масла;
- повышение показателей надежности агрегата, его ресурса и уменьшение затрат на обслуживание и ремонт;
- повышение готовности агрегата к пуску, сокращение времени пуска и др.

#### **4.1 Преобразователь частоты Sinamics GM 150**

Производимый ЗАО «РЭП Холдинг» ПЧТ 10 8000 3 Ж 01 по классификации фирмы CONVERTEAM. Является преобразователь частоты от компании Siemens модель Sinamics GM 150 6SL3810 – 2 LN41 – 1AA0.

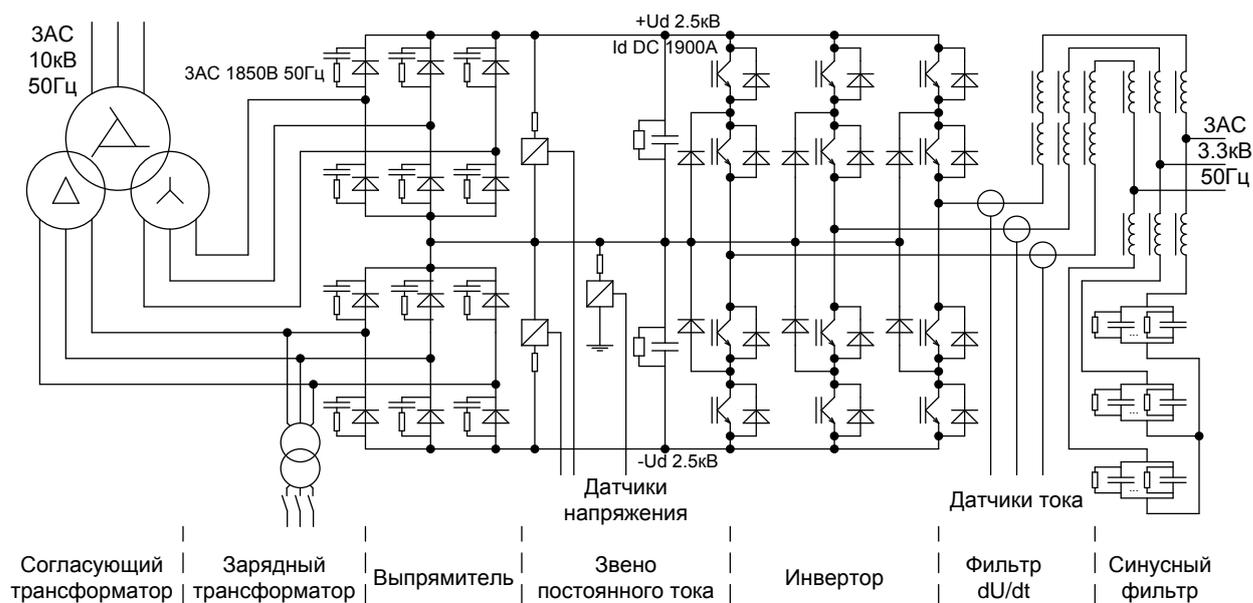


Рис.4.2 - Основные компоненты ПЧТ 10 8000 3 Ж 01

ПЧТ 10 8000 3 Ж 01 обеспечивает:

- частотный пуск и регулирование частоты вращения двигателя;
- работу электродвигателя при изменении момента нагрузки от 0 до номинального;
- поддержание максимального момента двигателя, определяемого допустимым максимальным током преобразователя;
- разгон двигателя с заданным ускорением в пределах допустимой перегрузки преобразователя по току;
- поддержание заданной частоты вращения двигателя;
- ограничение тока в динамических режимах и при перегрузках.

## 5. Общий план модернизации КС «Проскоково»

В рамках проекта предусмотрен следующий объем модернизации системы электроснабжения КС:

- Сооружение нового ЗРУ-10кВ;
- Установка электрооборудования частотного регулирования и управления газоперекачивающими агрегатами, включая:
  - входные разделительные трансформаторы;
  - преобразователи частоты с системой охлаждения;
  - щиты станций управления и автоматики ГПА;
  - системы магнитного подвеса ротора двигателя и нагнетателя.
- Замена
  - трансформаторной подстанции компрессорного цеха;
  - дизельной электростанции;
  - общецехового щита станций управления;
  - щитов постоянного тока с зарядными устройствами и аккумуляторными батареями;
  - светотехнического оборудования компрессорного цеха и наружного освещения;
  - кабельной продукции компрессорного цеха и кабелей электроснабжения ГПА.
- Реконструкция системы молниезащиты с целью приведения ее в соответствие с требованиями новых нормативных документов и защиты вновь сооружаемых объектов;
- Реконструкция системы заземления.

|                  |                      |                 |                |            |  |  |  |                                  |             |               |
|------------------|----------------------|-----------------|----------------|------------|--|--|--|----------------------------------|-------------|---------------|
|                  |                      |                 |                |            | <b>ФЮРА.140205.010 ПЗ</b>                            |  |  |                                  |             |               |
| <i>Изм.</i>      | <i>Лист</i>          | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дат</i> | <b>Общий план<br/>модернизации КС<br/>Проскоково</b> |  |  | <i>Лит.</i>                      | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Разраб.</i>   | <i>Стрелков</i>      |                 |                |            |  |  |  |                                  |             |               |
| <i>Руководит</i> | <i>Трошинский В.</i> |                 |                |            |  |  |  |                                  |             |               |
| <i>Реценз</i>    |                      |                 |                |            |  |  |  |                                  |             |               |
| <i>И Контр</i>   |                      |                 |                |            |  |  |  |                                  |             |               |
| <i>Утвердил</i>  | <i>Прохоров А.</i>   |                 |                |            |  |  |  | ТПУ ИнЭО, гр. 3-920 <del>5</del> |             |               |

Кроме того, проектом реконструкции компрессорной станции предусмотрено создание АСУТП КС (автоматизированная система управления технологическим процессом компрессорной станции), с подсистемами АСУЭ (автоматизированная система учета электроэнергии) и АСКЭР (автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии), которые автоматизируют следующие объекты электроснабжения:

- закрытого распределительного устройства (ЗРУ-10кВ);
- привода газоперекачивающего агрегата ЭГПА 4,0/8200-56/1,26Р;
- комплектной трансформаторной подстанции компрессорного цеха КТП 2х630 кВА;
- комплектной трансформаторной подстанции собственных нужд КС КТП 2х400 кВА;
- аварийной дизельной электростанции «Звезда-500НК»;
- агрегатного (АЩСУ) и общестанционного (ОЩСУ) щитов станции управления;
- системы постоянного тока и гарантированного электроснабжения КЦ

### **5.1 Цели модернизации**

- повышение уровня технической эксплуатации;
- безопасности и эффективности работы оборудования КС;
- обеспечение регулирования режимов компремирования газа;
- снижение потребления электроэнергии и потерь технологического газа;
- увеличение до требуемого значения производительности газопровода.

## **5.2 Модернизация КС «Проскоково»**

По результатам технико-экономического сравнения вариантов, был принят вариант монтажа на КС трех ЭГПА 4,0/8200-56/1,26Р производства «Siemens» совместно с ЗАО «РЭП холдинг» вне существующего компрессорного цеха с сооружением коллекторной схемы подключения новых агрегатов.[5,18]

Этот вариант обладает следующими преимуществами:

- Возможность осуществления реконструкции КС без длительного вывода компрессорной станции из эксплуатации
- Возможность поэтапного преобразования групповой обвязки в коллекторную при минимальном расширении площадки КС.

## **5.3. Компрессорный цех после модернизации**

Для модернизации КС приняты электроприводные газоперекачивающие агрегаты ЭГПА 4,0/8200-56/1,26Р.

Количество рабочих и резервных газоперекачивающих агрегатов определено на основании выполненных гидравлических расчетов газопровода Нижневартовский ГПЗ-Парабель-Кубасс на период до 2020г.

Для обеспечения требуемой надежности, на КС предусматривается установка 3 ГПА (2раб.+ 1рез.) с полнонапорными нагнетателями.

Модернизацию КЦ, также как и реконструкцию компрессорной станции в целом, предполагается выполнить в два этапа.

На первом этапе реконструкции при действующей компрессорной станции проектом предусматривается сооружение нового КЦ для трех ГПА на смежной с существующим цехом площадке.

На втором этапе модернизации предусматривается подключение ГПА газовой обвязки к новым коллекторам. В результате реконструкции компрессорного цеха получится новое здание, скомпонованное из 3 ГПА.

Агрегаты ЭГПА 4,0/8200-56/1,26Р комплектуется полнонапорными нагнетателями 208-21-2ЛСМ (степень сжатия 1,26), имеют регулируемое число оборотов двигателя (в диапазоне 0,7-1,05 от номинальной), оборудованы системой «мягкого пуска», магнитными подшипниками и «сухими» (газодинамическими) уплотнениями.[7]

**6. Основные параметры и технические характеристики  
ЭГПА 4,0/8200-56/1,26Р**

*1. Высокоборотный асинхронный электродвигатель*

|                                      |           |         |
|--------------------------------------|-----------|---------|
| – Номинальная мощность               | 4000/4770 | кВт/кВА |
| – Номинальная частота вращения       | 8200      | об/мин  |
| – КПД электродвигателя в ном. режиме | 97,2      | %       |
| – Вид охлаждения                     | Воздушный |         |
| – Вес                                | 11        | т       |

*2. Трансформатор*

– Входной согласующий трансформатор 10000В/4х2100  
с 4-мя вторичными 3-х фазными обмотками

|                      |    |   |
|----------------------|----|---|
| – КПД трансформатора | 99 | % |
|----------------------|----|---|

*3. Преобразователь частоты*

|  |                |     |
|--|----------------|-----|
| – Полная номинальная мощность              | 8700           | кВА |
| – Номинальный ток                          | 1520           | А   |
| – КПД в номинальном режиме, не менее       | 97             | %   |
| – Cosφ в номинальном режиме, не менее      | 0,95           |     |
| – Номинальное выходное напряжение          | 3300           | В   |
| – Номинальная частота выходного напряжения | 136,7          | Гц  |
| – Диапазон рабочих частот                  | 68,3 ... 143,5 | Гц  |
| – Система охлаждения                       | воздух         |     |

|                  |                       |                 |                |            |   |                      |             |               |
|------------------|-----------------------|-----------------|----------------|------------|---|----------------------|-------------|---------------|
|                  |                       |                 |                |            | <b>ФЮРА.140205.010 ПЗ</b>   |                      |             |               |
| <i>Изм.</i>      | <i>Лист</i>           | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дат</i> |   |                      |             |               |
| <i>Разраб.</i>   | <i>Стрелков М.И.</i>  |                 |                |            | <b>Основные параметры и<br/>технические<br/>характеристики ЭГПА</b> | <i>Лит.</i>          | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Руководит</i> | <i>Трошинский В.</i>  |                 |                |            |   |                      |             |               |
| <i>Реценз</i>    |                       |                 |                |            |   | ТПУ ИнЭО, гр. 3-9201 |             |               |
| <i>Н. Контр</i>  |                       |                 |                |            |   |                      |             |               |
| <i>Утвердил</i>  | <i>Прохоров А. В.</i> |                 |                |            |   |                      |             |               |

#### 4. Нагнетатель

|  |        |                         |
|--|--------|-------------------------|
| – Производительность объемная<br>(20 °С, 0,1013МПа)                | 12,5   | млн.м <sup>3</sup> /сут |
| – Производительность массовая                                      | 94,7   | кг/с                    |
| – Давление газа конечное на выходе<br>из нагнетателя               | 5,49   | МПа                     |
| – Давление газа начальное на входе<br>в нагнетатель                | 3,812  | МПа                     |
| – Степень сжатия   |        | 1,26                    |
| – Температура газа при выходе в нагнетатель                        | 15     | °С                      |
| – Плотность газа (20 °С, 0,1013МПа)                                | 0,682  | кг/м <sup>3</sup>       |
| – Частота вращения ротора  | 8200   | об/мин                  |
| – Политропический КПД нагнетателя                                  | 85     | %                       |
| – Диапазон рабочих частот вращения ротора                          | 70-105 | % от ном.               |
| – Мощность, потребляемая нагнетателем<br>на муфте электродвигателя | 3800   | кВт                     |

## 7. Результаты модернизации КС

Надежность электрических сетей определяется резервами пропускной способности сети, ее живучестью, управляемостью, надежностью отдельных элементов и систем и соответствующим построением сети.

Электрическая сеть имеет незначительную протяженность и ограниченную пропускную способность линий в отдельных сечениях. Встает вопрос по изучению технологической модернизации системы электроснабжения КС на работу электрической сетей, так как новое оборудование ранее не использовалось в данной системе, что может привести к нежелательным последствиям, потому что существует возможность избытка реактивной мощности, а так же появление высоких гармоник.

В частности, большой проблемой является установка асинхронных двигателей вместе с преобразователями частоты, воздействие которых на энергосистему проверено только проектировщиками, без учета особенностей места их установки.

### 7.1 Создание расчетной модели

Для проведения исследований была создана математическая модель для обеспечения электроснабжения компрессорной станции. Данная схема содержит не большое количество узлов и ветвей различных классов напряжения, для ускорения расчетов и упрощения анализа было принято решение использовать эквивалентную модель данной энергосистемы. Для создания эквивалентной модели полная схема замещения (приложение) была разделена на эквивалентируемую и неэквивалентируемую части.

|                  |             |                       |                |            |                                       |             |               |
|------------------|-------------|-----------------------|----------------|------------|---------------------------------------|-------------|---------------|
|                  |             |                       |                |            | <i>ФЮРА.140205.010 ПЗ</i>             |             |               |
| <i>Изм.</i>      | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Подпись</i> | <i>Дат</i> |                                       |             |               |
| <i>Разраб.</i>   |             | <i>Стелков М И</i>    |                |            | <i>Результаты<br/>модернизации КС</i> |             |               |
| <i>Рвководит</i> |             | <i>Трошинский В</i>   |                |            |                                       |             |               |
| <i>Реценз</i>    |             |                       |                |            |                                       |             |               |
| <i>Н Контр</i>   |             |                       |                |            |                                       |             |               |
| <i>Утвердил</i>  |             | <i>Прохоров А. В.</i> |                |            |                                       |             |               |
|                  |             |                       |                |            | <i>Лит.</i>                           | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
|                  |             |                       |                |            |                                       |             |               |
|                  |             |                       |                |            | <i>ТПУ ИнЭО, гр. 3-9201</i>           |             |               |

Неэквивалентруемая часть содержит подстанцию Юрга на 500 кВ, подстанцию «Проскоковская» на 110 кВ. За неимением источника генерации электроэнергии было принято решение использовать подстанцию Юрга 500 кВ как балансирующий узел, а так же как источник электроэнергии.

Эквивалентруемая часть энергосистемы содержит несколько подсистем, представленных в виде лучевых эквивалентов (ЛЭ). Для построения таких эквивалентов использован оптимизационный метод режимного эквивалентирования, при котором параметры эквивалента определяются по совокупности параметров базовых режимов[3]. Эквивалентруемые подсистемы различны по объему, по количеству узлов замыкания, наличию генераторов и по объему и составу нагрузки.

## **7.2 Описание программно-вычислительного комплекса MUSTANG**

Расчеты установившегося электрического режима производится в программе MUSTANG. Комплекс MUSTANG предназначен для оперативного выполнения на ПЭВМ расчетов по моделированию установившихся и переходных электромеханических режимов энергосистем. Комплекс разработан с использованием языка программирования C++ Builder 5, является приложением Win32 для операционной системы Windows 95/98/NT/2000/XP.

В комплексе MUSTANG расчеты установившегося электрического режима выполняются методом Ньютона-Рафсона с улучшением сходимости тяжелых режимов по методу Матвеева. Система линейных алгебраических уравнений решается методом Гаусса с предварительной оптимизацией порядка исключения неизвестных.

В данном комплексе работа с информацией осуществляется с помощью табличных редакторов. Табличный редактор - универсальная

программа, обеспечивающая удобную работу с информацией в табличном виде, т.е. производить операции со строками, столбцами и отдельными полями информации. Поля информации могут быть как числовыми (целые и реальные), так и символьными.

## Достоинства ПВК MUSTANG:

1. Ввод исходных данных один раз с возможностью моделирования коммутаций линий в расчётной схеме без изменения основной базы данных.
2. Быстрый (в течение нескольких секунд) расчёт установившегося режима.
3. Расчёт токов короткого замыкания в любой точке системы.
4. Возможность начертить принципиальную или структурную схему сети. Наглядность состояния сети: направления и величины перетоков мощностей, начальные и конечные параметры каждого элемента сети и т.п.
5. Гибкая связь между аналитическим и графическим блоками: коммутации элементов системы на графической схеме автоматически после расчёта установившегося режима отображаются в аналитическом блоке, что позволяет за короткое время произвести сравнение нескольких режимов работы сети, на что в «ручном режиме» уходят часы, а то и дни.
6. Важным достоинством ПВК является то, что производится точный расчёт потокораспределения в сети и точный расчёт напряжений на шинах подстанций. Это позволяет более адекватно выполнять расчёты предельных (минимальных, максимальных) и, в том числе, средних режимов электрической сети. Важным моментом в условиях создающихся рыночных отношений в электроэнергетике (сетевые компании, генерирующие компании, сбытовые компании, диспетчерские управления разных уровней, другие участники рынка) является предварительный точный расчёт потерь мощностей и электроэнергии в электрических сетях. Это открывает хорошие перспективы более координированной реализации проектов с учётом требований заказчиков.
7. ПВК «MUSTANG» позволяет выполнить оценку режимной надёжности ЭЭС: моделировать возможные отказы основного оборудования сети, устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики (ПАА). Сейчас зачастую в процессе проектирования заказчики требуют описания, как

средств релейной защиты, так и современных средств ПАА. ПВК «MUSTANG» в значительной степени позволяет решать эти задачи.

| Название    | N  | Код  | Устарт | Урасч  | dU   | Pn0   | Qn0   | Unorm  | Nсxn | Uном   | Pг   | Qг   |
|-------------|----|------|--------|--------|------|-------|-------|--------|------|--------|------|------|
| Юрга-500    | 1  | 1100 | 500,00 | 500,00 |      |       |       | 500,00 |      | 500,00 | 46,2 | 20,8 |
| Прос-во 110 | 2  | 11   | 110,00 | 116,14 | -0,1 | 28,40 | 10,30 | 110,00 |      | 110,00 |      |      |
| Прос 10 Т1  | 3  | 11   | 10,50  | 11,61  | -0,1 |       |       | 10,50  |      | 10,50  |      |      |
| Прос 10 Т2  | 4  | 11   | 10,50  | 11,38  | -1,5 |       |       | 10,50  |      | 10,50  |      |      |
| Шина -1     | 5  | 11   | 10,50  | 9,10   | -1,2 |       |       | 10,50  |      | 10,50  |      |      |
| Шина 2      | 6  | 11   | 10,50  | 9,49   | -1,5 |       |       | 10,50  |      | 10,50  |      |      |
| СТД-1       | 7  | 11   | 10,50  | 9,10   | -1,3 | 3,50  | 1,94  | 10,50  |      | 10,50  |      |      |
| СТД-2       | 8  | 11   | 10,50  | 9,10   | -1,3 | 3,50  | 1,94  | 10,50  |      | 10,50  |      |      |
| СТД-3       | 9  | 11   | 10,50  | 9,10   | -1,3 | 3,50  | 1,94  | 10,50  |      | 10,50  |      |      |
| СТД-4       | 10 | 11   | 10,50  | 9,49   | -1,5 | 3,50  | 1,94  | 10,50  |      | 10,50  |      |      |
| СТД-5       | 11 | 11   | 10,50  | 9,49   | -1,5 | 3,50  | 1,94  | 10,50  |      | 10,50  |      |      |

Рис.7.2 - Расчет установившегося режима в ПВК «MUSTANG»

### 7.3. Расчет режимов до и после реконструкции КС

Для проведения данного расчета на первом этапе использовалась ГКС «Проскоково» до модернизации, где в эксплуатации находилось 5 двигателей типа СТД 4000, и второй этап, с заменой этих двигателей на более новые, асинхронные машины ЭГПА 4,0. Во время расчетов в ПВК Mustang оценивалось влияние на напряжение, активную и реактивную мощность, и на ток. При расчете установившегося режима можно отметить, что напряжение немного просело в месте установки двигателей, но эту проблему можно решить при помощи РПН.

Таблица 7.1 – Расчет установившегося режима с СД

| Название         | N  | Код  | Uрас   | dU   | Pн    | Qн    | Pd   | Qс   | Унорм  | Нсxn | Уном   | Pг   | Qг   | Pш  | Qш  | Qmin  | Qmax |
|------------------|----|------|--------|------|-------|-------|------|------|--------|------|--------|------|------|-----|-----|-------|------|
| Сис Юрга - 500   | 1  | 1100 | 500,00 | 0,0  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 500,00 | 0    | 500,00 | 46,2 | 20,8 | 0,0 | 0,0 | -1000 | 1000 |
| Проскоково - 110 | 2  | 11   | 116,14 | -0,1 | 28,40 | 10,30 | 0,00 | 0,00 | 110,00 | 0    | 110,00 | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Проскоково10 Т-1 | 3  | 11   | 11,61  | -0,1 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Проскоково10 Т-2 | 4  | 11   | 11,38  | -1,5 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Шина - 1         | 5  | 11   | 9,10   | -1,2 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Шина - 2         | 6  | 11   | 9,49   | -1,5 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| СТД-1            | 7  | 11   | 9,10   | -1,3 | 3,50  | 1,94  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| СТД-2            | 8  | 11   | 9,10   | -1,3 | 3,50  | 1,94  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| СТД-3            | 9  | 11   | 9,10   | -1,3 | 3,50  | 1,94  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| СТД-4            | 10 | 11   | 9,49   | -1,5 | 3,50  | 1,94  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| СТД-5            | 11 | 11   | 9,49   | -1,5 | 3,50  | 1,94  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |

Данные по расчету установившегося режима в ветвях, а так же данные по небалансам находятся в приложении Б. После того как установившийся режим рассчитан, можно перейти к решению такой задачи как проверка АВР (автоматическое включение резерва). На газокompрессорной станции были установлены синхронные двигатели, подключенные к двум секциям, которые между собой соединены секционным выключателем, отключенным в нормальном режиме. На первой секции подключено три синхронных двигателя, а на второй, соответственно, два. Для проверки АВР между узлом 5(первая секция) и узлом 3(подстанция «Проскоковская» сторона низкого напряжения) было смоделировано короткое замыкание, из-за которого была отключена данная связь, для возобновления питания секции шин сработало АВР. В течение 10 секунд после включения АВР процесс наблюдался на графиках. В качестве контролируемых параметров были взяты скольжения двух двигателей, а так же активная и реактивная мощность. Как видно из графика, представленного на рисунке 7.3 скольжение двигателей в момент короткого замыкания резко изменяется, особенно хорошо это заметно для двигателя, который находится в узле 10, и только по прошествии более чем 6 секунд колебания затухают, и скольжение  $S$  становится равным 0. Что касается реактивной мощности, то она заметно снизилась за то же время, что приводит к падению напряжения. Значения тока синхронного двигателя  $I_g$  на графике, который находится в приложении 3 после замыкания на линии между шиной и подстанцией снижается, и после того как сработает АВР по прошествии некоторого времени принимает исходное значение. Если же рассмотреть графики, на которых показаны значения напряжений в момент протекания данного процесса (приложение Ж), то можно увидеть, как в момент КЗ изменяется напряжение на шинах ГКС и в узлах прилегающей сети. Снижение напряжения происходит не значительно во всех узлах сети.

АВР прошло успешно, при значительном снижении напряжения в диапазоне от 0,3 кВ до 2 кВ в зависимости от участка исследуемой схемы, что является недопустимым в отношении

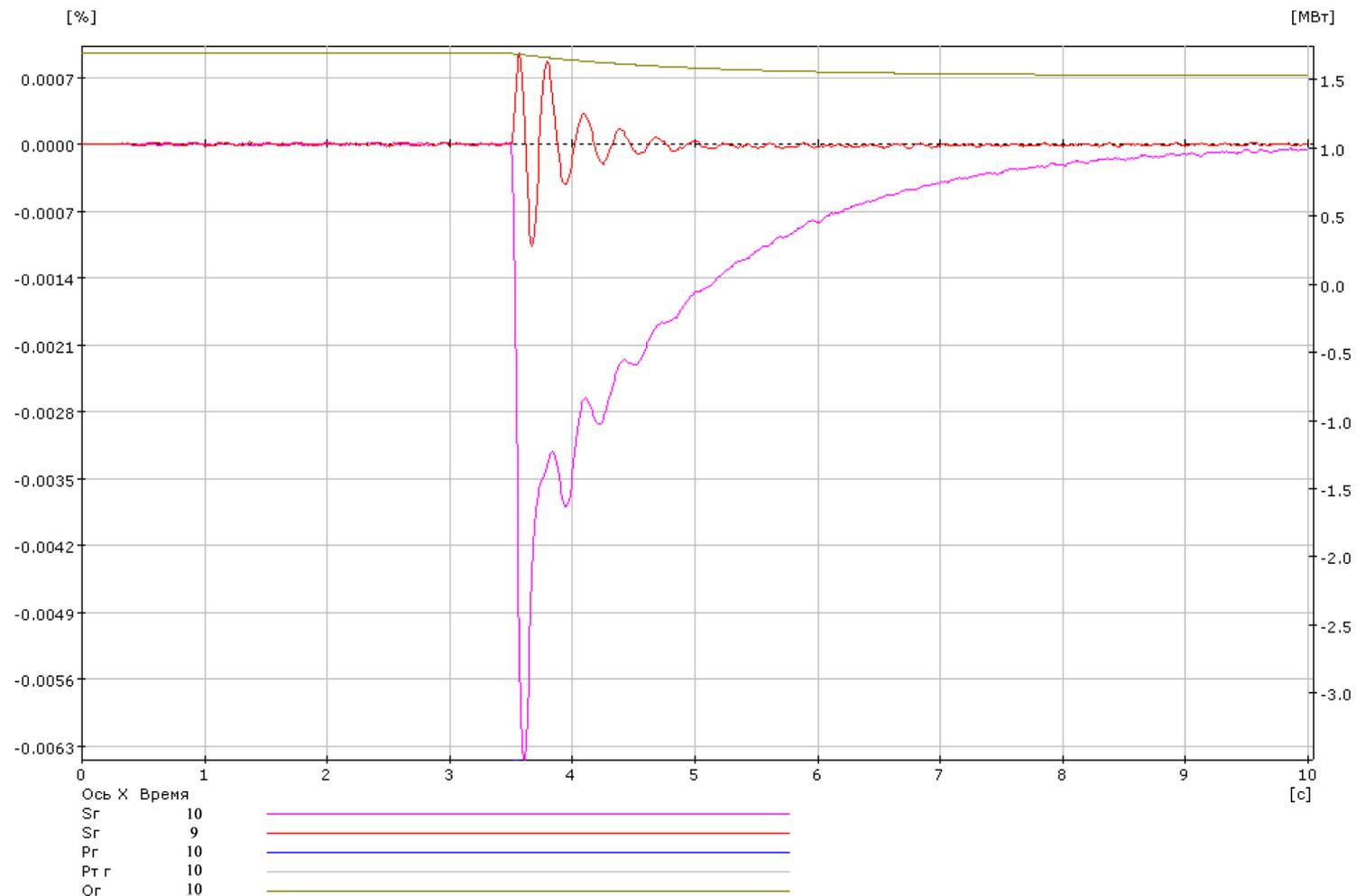


Рис.7.3 - График изменения S, P и Q при включении АВР

потребителей электроэнергии, потому что допустимо колебание значения напряжения до 5% в нормальных режимах и до 10% в аварийных краткосрочных ситуациях, а снижение напряжения на 19% недопустимо в данной ситуации.

При рассмотрении остальных графиков можно заметить, что по истечению некоторого времени все электрические величины возвращаются на прежний уровень. Графики, на которых показаны значения тока и напряжения находятся в приложении Ж.

Помимо проверки работы АВР было смоделировано еще два режима, в первом случае происходит отключение связи одного из двигателей с шиной, затем с интервалом времени в 0,5 секунды происходит команда «изменить возбудитель», далее происходит действие «изменить генератор», а после включается связь, в последующие 6 секунд повторно происходят действия после отключения связи. Все это является проверкой пуска синхронного двигателя.

При моделировании данного вида режима произошло следующее: значение реактивной мощности снизилось при пуске двигателя. Далее это значение со временем повысилось, и значение  $Q_g$  стало близким к исходному. Если же рассматривать напряжение на двигателе, то в момент разрыва связи между двигателем и шиной оно снижается до 0, затем происходит изменение возбудителя и генератора, и в итоге через 4,5 секунды включается связь и напряжение величиной 8,47 кВ, которое в течении 0,1 секунды снижается почти до 7 кВ, а затем начинает расти и в итоге принимает номинальное значение. Проведя данные расчеты можно сказать, что использование на газокompрессорных станциях синхронных двигателей вполне приемлемо, но на внешнюю сеть оказывает отрицательное воздействие, так например напряжение снижется до 8,8 кВ на шинах подстанции низкого напряжения, что составляет 16,2% от номинального, что превышает значения приведенные выше. На шинах высокого напряжения

произошло падение до 104 кВ, при проведения второго эксперимента, что тоже может произвести отрицательное воздействие на работу энергосистемы.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что синхронные двигатели полностью не удовлетворяют выше изложенным требованиям и, в соответствии с этим, было принято решение установить асинхронные, из-за снижения напряжения, что может привести к ухудшению электроснабжения потребителей, которые питаются непосредственно от исследуемого участка энергосистемы.

Как известно Промышленные синхронные двигатели начали выпускаться в 1860—1870 гг., чему предшествовал 30-летний период их разработки после фундаментальных открытий М. Фарадея (закона электромагнитной индукции и превращения электрической энергии в механическую).

Синхронные двигатели широко применяются и в наше время благодаря использованию современных тиристорных преобразователей, которые позволяют осуществлять регулирование скорости данных двигателей путем изменения напряжения на якоре или в обмотках возбуждения. Для расширения диапазона регулирования скорости используются различные сигналы обратной связи (напряжение на якоре, тахогенераторы и т.д.). Однако эксплуатация синхронных двигателей влечет за собой ряд значительных неудобств, связанных с конструктивными особенностями машин данного типа, а именно:

1. Сложность конструкции и, как результат, высокая цена
2. Наличие щеточно-коллекторного узла
3. Большая масса
4. Необходимость в периодическом обслуживании

Все эти недостатки требуют существенных затрат при покупке синхронных двигателей и их дальнейшей эксплуатации, а так же они могут значительно снизить надежность и точность систем в целом. Необходимо планировать дополнительные планово-предупредительные работы и

останавливать производство для обслуживания щеточно-коллекторных узлов и проводить периодическую продувку машин от пыли.

До недавнего времени внедрение асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутыми роторами в системы, где требуется широкий диапазон регулирования скорости, не представлялось возможным, а для изменения скорости движения приводимых механизмов использовались переключаемые редукторы или вариаторы. Дальнейшим развитием таких систем стало появление асинхронных двигателей с переключением числа полюсов (двух и трех скоростные двигатели), что позволяло ступенчато изменять скорость вращения.

С развитием полупроводниковой электроники (разработка IGBT транзисторов), появилась возможность производства недорогих микропроцессорных преобразователей частоты, с помощью которых стало возможным полноценно управлять скоростью асинхронных двигателей в широком диапазоне регулирования (1:1000). Теперь частота вращения АД не зависит от частоты питающей сети, двигатели можно разгонять выше их номинальной скорости. Так же появилась возможность управления моментом асинхронных двигателей. Системы управления движением с использованием асинхронных двигателей и преобразователей частоты, получаются дешевле и проще подобных систем с двигателями постоянного тока. В качестве датчиков обратной связи широко используются цифровые устройства (энкодеры), которые менее подвержены влиянию электромагнитных помех, чем тахогенераторы, классически используемые с машинами постоянного тока.

Асинхронный двигатель – простая, недорогая, не требующая обслуживания машина. Именно эти аргументы привели к тому, что на многих предприятиях машины постоянного тока с тиристорными преобразователями стали заменять на асинхронные двигатели с системами управления, построенными на преобразователях частоты.

При подборе асинхронного двигателя взамен синхронного двигателя необходимо учитывать разность характеристик этих машин. Подбор двигателя осуществляется по следующим параметрам:

1. По номинальной скорости вращения

Диапазон изменения частоты вращения вала асинхронного двигателя должен быть равен или больше чем у двигателя постоянного тока.

2. По моменту (номинальному, пусковому, максимальному)

Номинальный момент асинхронного двигателя должен быть равен или быть больше исходного при условии длительной работы в заданном диапазоне частот вращения без перегрева. Максимальный и пусковой моменты должны быть равны или быть больше пускового момента определенного для данного механизма.

При расчете режима работы электрических сетей с установкой на ГКС асинхронных двигателей в расчетной модели были сделаны некоторые изменения. Основным отличием конструктивного исполнения является, как говорилось выше, количество электрических машин, а конкретно уменьшение с 5 до 3. План реконструкции и техническое перевооружение оборудования ГКС приведено на рисунке 7.4.

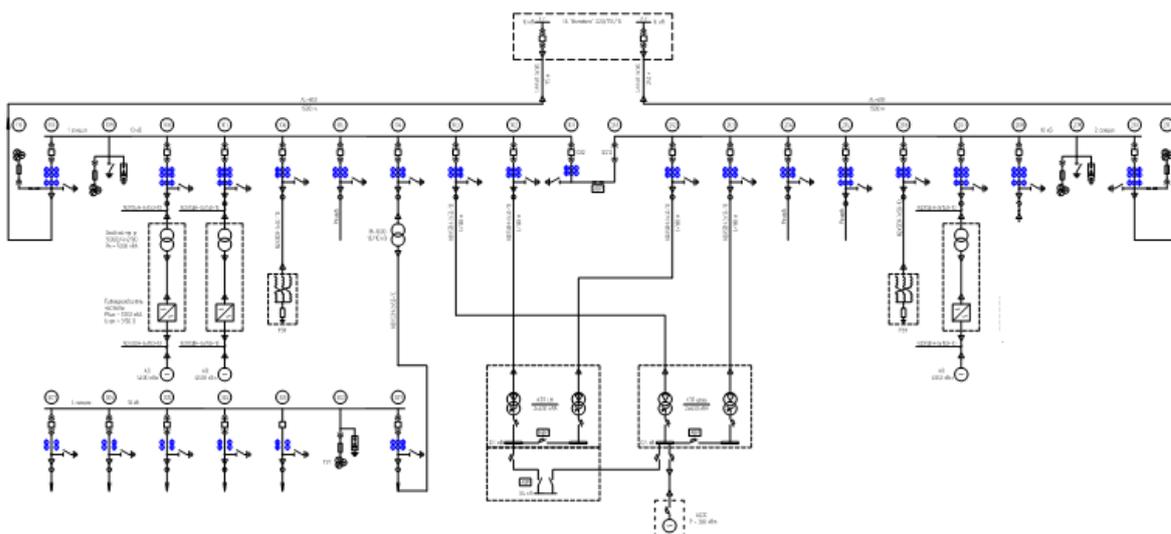


Рис.7.4 - План модернизации ГКС

В ходе расчета установившегося режима после установки асинхронных двигателей можно заметить, что напряжение практически не изменилось, если только на 0,1-0,2 кВ. Перетоки мощности в линиях так же остались практически без изменений. Данные о расчете установившегося режима в узлах можно увидеть в таблице 7.2, данные о ветвях и небалансах находятся в приложении В.

Таблица 7.2 – Расчет установившегося режима с АД

| Название            | N  | Код  | Uрас   | dU   | Pн    | Qн    | Pd   | Qс   | Uнорм  | Nсxn | Uном   | Pг   | Qг   | Pш  | Qш  | Qmin  | Qmax |
|---------------------|----|------|--------|------|-------|-------|------|------|--------|------|--------|------|------|-----|-----|-------|------|
| Сис Юрга - 500      | 1  | 1100 | 500,00 | 0,0  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 500,00 | 0    | 500,00 | 67,4 | 26,8 | 0,0 | 0,0 | -1000 | 1000 |
| Проскоково -110(1)  | 2  | 11   | 116,09 | -0,1 | 28,40 | 10,30 | 0,00 | 0,00 | 110,00 | 0    | 110,00 | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Проскоково -110 (2) | 3  | 11   | 116,10 | -0,1 | 28,40 | 10,30 | 0,00 | 0,00 | 110,00 | 0    | 110,00 | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Проскоково 10 Т-1   | 4  | 11   | 11,53  | -0,6 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Проскоково 10 Т-2   | 5  | 11   | 11,55  | -0,5 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Шина - 1            | 6  | 11   | 11,52  | -0,6 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Шина - 2            | 7  | 11   | 11,54  | -0,5 | 3,50  | 1,94  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| АД-1                | 8  | 11   | 11,52  | -0,6 | 3,50  | 1,94  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| АД-2                | 9  | 11   | 11,52  | -1,3 | 3,50  | 1,94  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| АД-3                | 10 | 11   | 11,54  | -0,5 | 3,50  | 1,94  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |

После того как был произведен расчет установившегося режима было смоделировано отключение питания двигателя в узле 10 и через 2 секунды возобновление питания. На рисунке 7.5 приведен график изменения напряжения, скольжения, а так же Мтор и Мэл. Как видно из графика напряжение в момент отключения питания стало равным 0, этого и следовало ожидать, но после включения питания вновь напряжение заметно просело, в момент отключения на двигателе присутствовала нагрузка и при потере питания двигатель начал затормаживаться, о чем свидетельствуют показания графика, а именно моментов. Для того, чтобы вновь оказаться в нормальном режиме работы асинхронный двигатель начинает потреблять ток, за счет чего и снижается напряжение. Если же обратить внимание на изменение напряжения на шинах и подстанции, то можно заметить что в среднем оно проседает от 1 кВ до 4 кВ, в зависимости от класса напряжение (график находится в приложении 3).

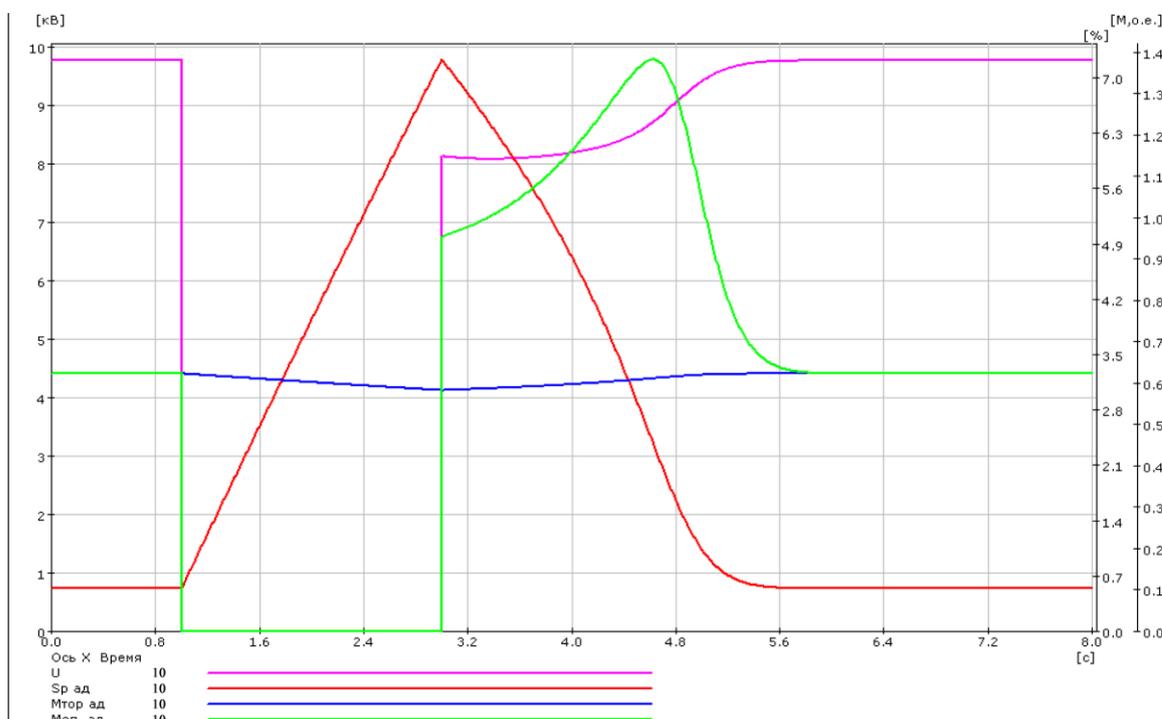


Рис.7.5 – График изменения U, S, Мтор и Мэл

Вторым этапом расчета динамики является проверка АВР, как и в случае с синхронными двигателями. Между шиной, на которую, подключены двигатели 9 и 10, и подстанцией «Проскоковская» было смоделировано короткое замыкание, затем отключение участка линии 5-7, после этого происходит автоматическое включение резерва и двигатели продолжают свою работу. Напряжение повело себя точно так же, как и в предыдущем случае, после того как произошло АВР, оно понизилось и постепенно восстановилось, почему это произошло, описано выше (график находится в приложении И). График изменения токов двигателей и ток в линии, которая идет от ГКС до подстанции находится на рисунке 7.6. Из этого графика можно увидеть, как резко изменяются значения токов, причем абсолютно везде, будь то присоединение двигателя к шине, или же средняя сторона подстанции.

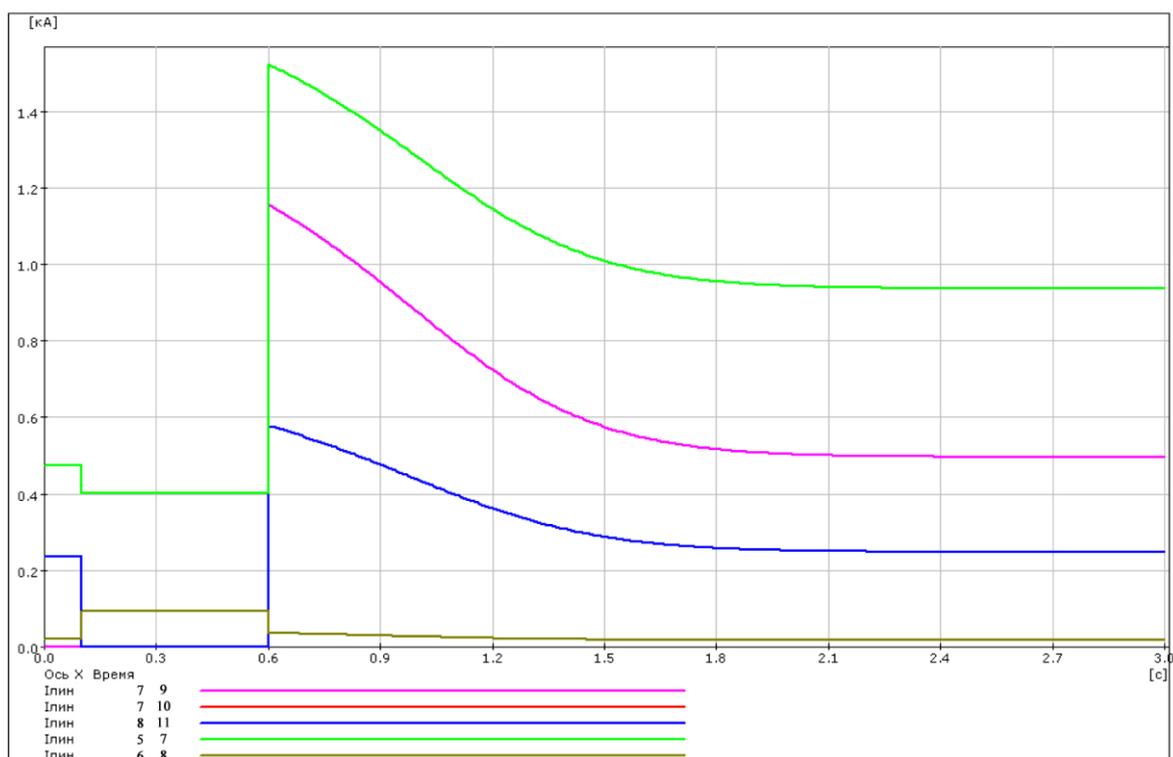


Рис.7.6 – График изменения токов при АВР

Чтобы провести более полное исследование влияния токов КЗ на работу электрической сети было принято решение смоделировать шунт на первой секции, как показано на рисунке 7.7.

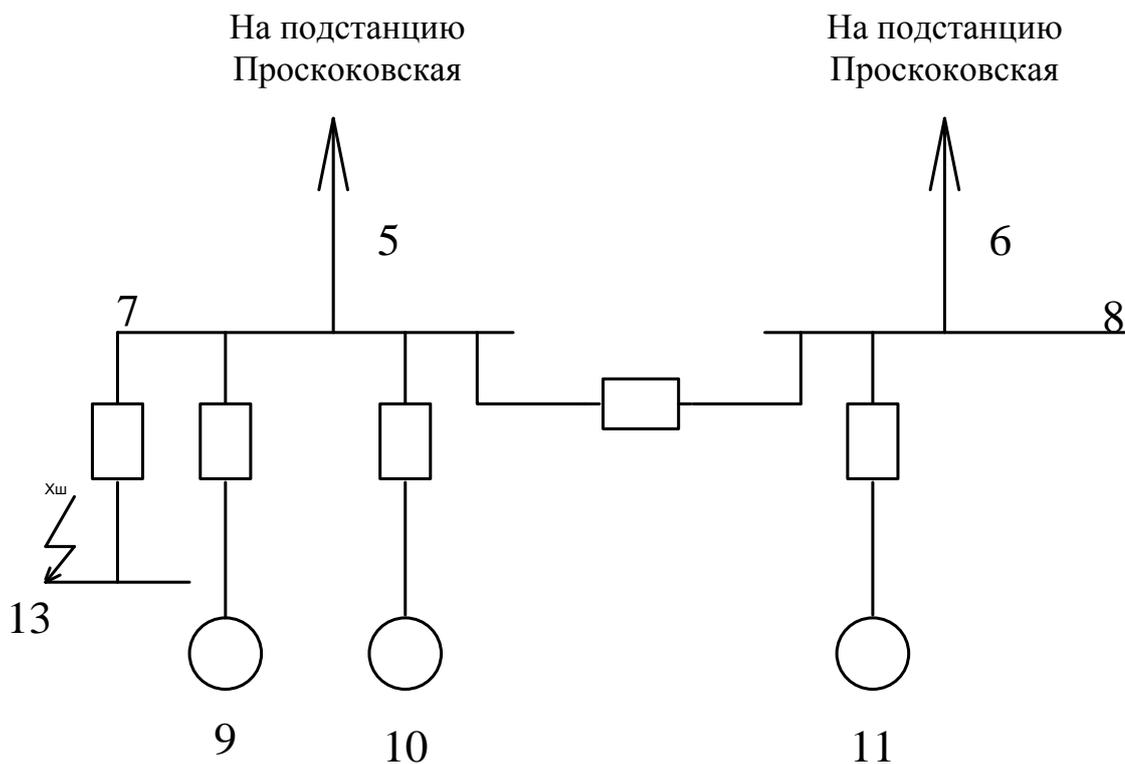


Рис.7.7 – Проектирование короткого замыкания на первой секции

В ходе расчета ток на линии 5-7 (первая секция шин - Просококовская) в момент короткого замыкания увеличился с 0,473 кА до 4,66 кА, это может пагубно сказаться на потребителях низкого напряжения подстанции Просококовская, кроме того в случае отказа релейной защиты на подстанции данная проблема может распространиться на близлежащие элементы электрической сети. Данные по изменению токов можно увидеть на рисунке 7.8. Из графика видно, что ток принимает свое исходное значение лишь по прошествии 1,5 секунды после снятия короткого замыкания в точке 12, что говорит о необходимости ликвидировать подобные ситуации. Для того чтобы снизить риск порчи оборудования необходимо обезопасить от подобных ситуаций непосредственно двигатели и решением данной проблемы является подключение преобразователей частоты через входные трансформаторы, данный вопрос будет рассмотрен в пункте 7.4.

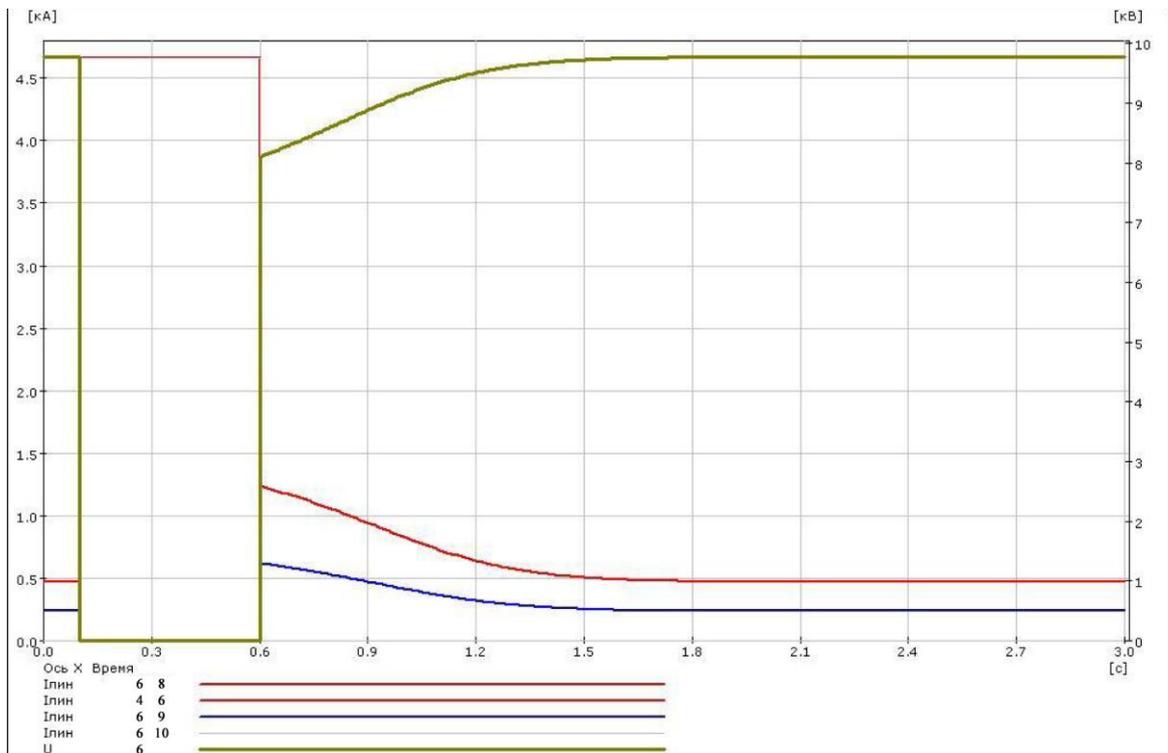


Рис.7.8 – График изменения токов и напряжения при коротком замыкании на первой секции

Для того чтобы провести оценку влияния реконструкции на режим работы внешней сети, рассмотрим какие значения токи и напряжения будут иметь после того как произойдет АВР на ГКС. Возьмем несколько контрольных точек и ветвей. В точках будем анализировать напряжение, а в ветвях токи линий и перетоки мощности. На рисунке 7.9 представлен график, на котором показано изменение напряжений на подстанции Просоковская. Как видно напряжения проседают на каждом участке. Что приводит к ненормальному режиму работы электрической сети.

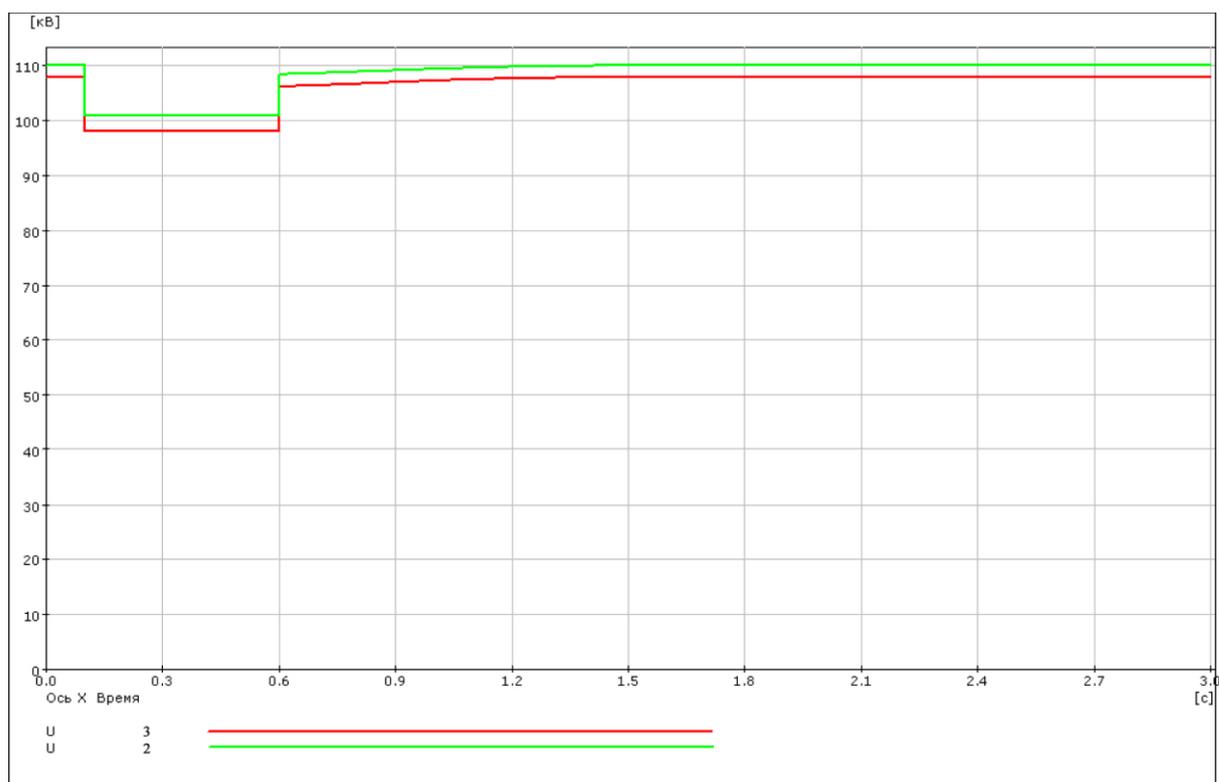


Рис.7.9 – График изменения напряжения в узлах энергосистемы

Если обратить внимание на напряжение в точке 3, то можно заметить, что на 0,5 секунды оно снижается с 105 кВ до 96 кВ. Такая просадка напряжения отрицательно влияет на систему, и особенно на таких потребителей как ГКС. Для решения данной проблемы можно предложить следующее мероприятие: регулирование напряжение на отпайках трансформаторов. Если же этого будет не достаточно, то можно порекомендовать установку устройств компенсации реактивной мощности. Уже сейчас УШР, работающие параллельно с КБ, достаточно широко и успешно применяются в распределительных электрических сетях 110 кВ

После ввода подстанции 110кВ и установки батарей статических конденсаторов (БСК) по 23МВАР и управляемых шунтирующих реакторов (УШР) по 25МВАР увеличилась пропускная способность электропередачи 110кВ на 30–50%. Уровни напряжения достигли 105–110% номинального и могут плавно регулироваться в широком диапазоне в зависимости от режимов; снижены удельные потери активной мощности и электроэнергии.

Для того чтобы увеличить пропускную способность и стабилизировать напряжение попробуем установить на подстанции Проскоковская устройство компенсации реактивной мощности. Чтобы не усложнять задачу установим уже используемое устройство, а именно БСК на 23 МВАР, которые уже давно и успешно используются энергосистеме. Данный расчет находится в таблице 7.3.

Из полученных данных видно, что напряжение на двигателях стало более близким к номинальному и отличается на 0,1-0,2 кВ. Напряжения в точках на подстанции и за пределами увеличились. Данную проблему можно решить с помощью РПН, а вот добиться увеличения напряжения посредством РПН на ГКС так и не удалось. Если же с помощью РПН не удастся снизить напряжение, то можно порекомендовать установить управляемый шунтирующий реактор, который относится к FACTS-устройствам. Оборудование FACTS может быть включено в сеть как последовательно, так и параллельно. При последовательном включении технология FACTS обычно используется для компенсации индуктивного сопротивления линии электропередачи. Параллельное включение аппаратуры FACTS способно улучшить коэффициент мощности в случае емкостной нагрузки и избежать перенапряжений для индуктивной нагрузки.

Таблица 7.3 – Расчет установившегося режима с БСК

| Название           | N  | Код  | Uрас   | dU    | Pн    | Qн    | Pд   | Qс   | Uнорм  | Nсхн | Uном   | Pг    | Qг    | Pш  | Qш  | Qmin  | Qmax |
|--------------------|----|------|--------|-------|-------|-------|------|------|--------|------|--------|-------|-------|-----|-----|-------|------|
| Юрга-500           | 1  | 1100 | 500,00 | 0,0   | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 500,00 | 0    | 500,00 | 343,5 | 144,5 | 0,0 | 0,0 | -1000 | 1000 |
| Просоково -110(1)  | 2  | 11   | 116,09 | -9,2  | 0,00  | 00,00 | 0,00 | 0,00 | 110,00 | 0    | 110,00 | 0,0   | 0,0   | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Просоково -110 (2) | 3  | 11   | 116,10 | -10,7 | 28,40 | 10,30 | 0,00 | 0,00 | 110,00 | 0    | 110,00 | 0,0   | 23,0  | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Просоково 10 Т-1   | 4  | 11   | 10,55  | -10,8 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0   | 0,0   | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Просоково 10 Т-2   | 5  | 11   | 10,55  | -10,8 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0   | 0,0   | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Шина - 1           | 6  | 11   | 10,52  | -12,3 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0   | 0,0   | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| Шина - 2           | 7  | 11   | 10,54  | -12,3 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0   | 0,0   | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| АД-1               | 8  | 11   | 10,31  | -12,4 | 3,50  | 1,94  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0   | 0,0   | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| АД-2               | 9  | 11   | 10,31  | -12,4 | 3,50  | 1,94  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0   | 0,0   | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |
| АД-3               | 10 | 11   | 10,29  | -12,4 | 3,50  | 1,94  | 0,00 | 0,00 | 10,50  | 0    | 10,50  | 0,0   | 0,0   | 0,0 | 0,0 | 0     | 0    |

## 7.4 Расчет в среде Matlab Simulink

Как известно асинхронные двигатели на газо-компрессорной станции устанавливаются непосредственно с преобразователями частоты. Эта технология используется для более эффективного использования оборудования, потому что преобразователь частоты ПЧТ 10 8000 3 Ж 01 позволяет регулировать частоту вращения ротора и тем самым изменять производительность газо-перекачивающих агрегатов. Расчет в данной программе необходим для того, чтобы проверить, как данный асинхронный двигатель покажет себя в работе с преобразователем частоты.

Для расчета в Matlab изначально необходимо определить параметры T-образной схемы замещения асинхронного двигателя со следующими каталожными данными:

Номинальная мощность двигателя:  $P_n=4000$  кВт;

Номинальное фазное напряжение:  $U_\phi=3300$  В;

Номинальное напряжение сети:  $U_{\phi n}=5725$  В;

Номинальная частота вращения:  $n=8200$  об/мин;

КПД в режиме номинальной мощности:  $\eta=0,972$ ;

Коэффициент мощности в режиме номинальной мощности:  $\cos\varphi = 0.89$  о.е.

Кратность пускового тока:  $K_i=7$  о.е.

Кратность максимального момента:  $K_{max}=1,7$  о.е.

Коэффициент загрузки двигателя: 0,7

Число пар полюсов:  $p=2$

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя необходимо воспользоваться его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для расчетов асинхронного двигателя является T-образная схема замещения:

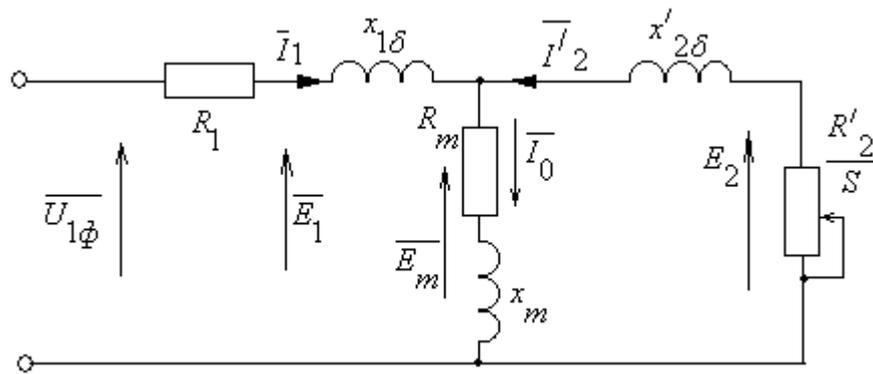


Рис. 7.10 – Схема замещения асинхронного двигателя

$U_{1\phi}$  – фазное напряжение подводимое к обмотке статора двигателя;

$I_1$  – ток обмотки статора;

$R_1$  – активное сопротивление обмотки статора;

$X_{1\sigma}$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

$I'_2$  – приведенный ток обмотки ротора к обмотке статора;

$R'_2/s$  – приведенное активное сопротивление цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;

$X'_{2\sigma}$  – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;

$I_0$  – ток холостого хода (намагничивания);

$X_m$  – индуктивное сопротивление контура намагничивания

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие данной схеме:

$$\bar{U}_{1\phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_{1\sigma} \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 = 0$$

$$\bar{E}_m + j \cdot X'_{2\sigma} \cdot \bar{I}'_2 + R'_2 \cdot \bar{I}'_2 / s = 0$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}'_2 - \bar{I}_0 = 0$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений изображена на рисунке 7.11:

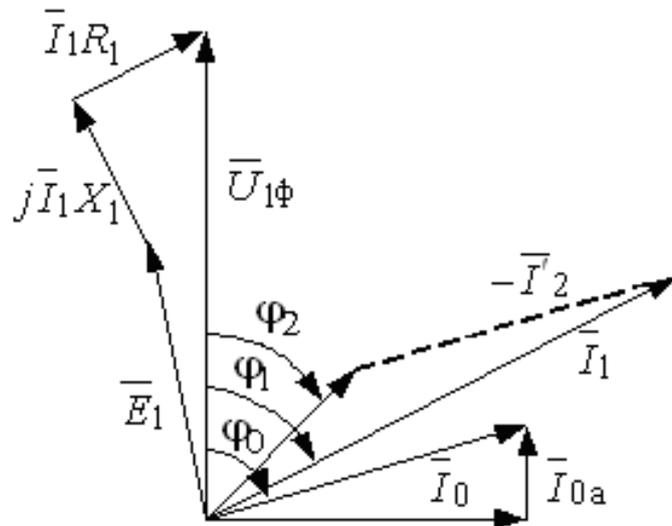


Рис.7.11 – Векторная диаграмма асинхронной машины

Найдем ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p_{жс} \cdot I_{1н} \cdot \frac{1-S_n}{1-p_{жс} \cdot S_n}\right)^2}{1 - \left(p_{жс} \cdot \frac{1-S_n}{1-p_{жс} \cdot S_n}\right)^2}}, \text{ где}$$

$$I_{11} = \frac{p_{жс} \cdot P_n}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_{ржс} \cdot \eta_{нржс}} = \frac{0,7 \cdot 4000 \cdot 10^3}{3 \cdot 3300 \cdot 0,89 \cdot 0,972} = 730,5 \text{ A} - \text{ток статора двигателя}$$

при частичной нагрузке, где

$\eta_{нржс} = \eta_n = 0,972$  - КПД при частичной нагрузке,

$\cos \varphi_{ржс} = \cos \varphi \cdot \left(\frac{\cos \varphi_{0,75}}{\cos \varphi}\right) = 0,89 \cdot 0,99 = 0,881$  - коэффициент мощности при

частичной нагрузке, где  $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_n = 0,99$  – относительный коэффициент мощности при частичной нагрузке (из графика на рисунке 7.12),

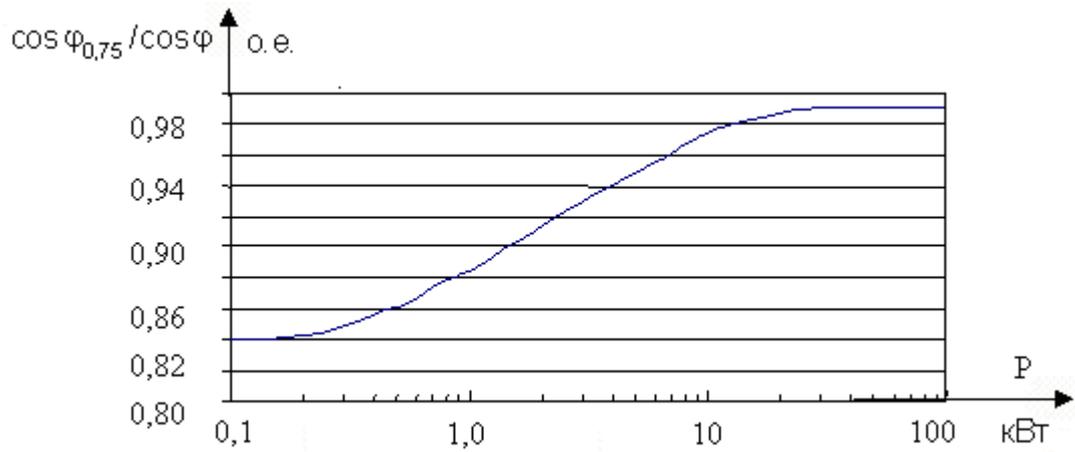


Рис.7.12 – Зависимость  $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$  от мощности асинхронного двигателя

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3U_{1H} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_H} = \frac{4000 \cdot 10^3}{3 \cdot 3300 \cdot 0,89 \cdot 0,972} = 964,3 \text{ A} - \text{номинальный ток статора}$$

двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{730,5^2 - \left(0,75 \cdot 964,3 \cdot \frac{1-0,005}{1-0,75 \cdot 0,005}\right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1-0,005}{1-0,75 \cdot 0,005}\right)^2}} = 164,88 \text{ A}.$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения. В первом приближении принимаем  $\beta = 1$

$$S_k = S_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - [1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} = 0,005 \cdot \frac{1,7 + \sqrt{1,7^2 - [1 - 2 \cdot 0,005 \cdot 1 \cdot (1,7 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,005 \cdot 1 \cdot (1,7 - 1)} = 0,015 \text{ o.e.}$$

Найдем значения коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \left(\frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}}\right) = 1 + \left(\frac{164,88}{2 \cdot 7 \cdot 964,3}\right) = 1,012;$$

$$A_1 = m \cdot U_{1H}^2 \cdot \frac{1 - S_H}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = 3 \cdot 3300^2 \cdot \frac{1 - 0,005}{2 \cdot 1,012 \cdot 1,7 \cdot 4000 \cdot 10^3} = 0,139$$

Теперь можно определить активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_k}\right) \cdot C_1} = \frac{0,139}{\left(1 + \frac{1}{0,015}\right) \cdot 1,012} = 0,002 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,012 \cdot 0,002 \cdot 1 = 0,002 \text{ Ом}$$

Определим параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $x_{кн}$ :

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{S_k^2}\right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,015^2}\right) - 1^2} = 64,53$$

Найдем значение индуктивного сопротивления короткого замыкания:

$$x_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 64,53 \cdot 1,012 \cdot 0,002 = 0,137 \text{ Ом}$$

Найдем индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$x_{2н}' = 0,58 \cdot \frac{x_{кн}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{0,137}{1,012} = 0,078 \text{ Ом}$$

Найдем индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$x_{1н} = 0,42 \cdot x_{кн} = 0,42 \cdot 0,137 = 0,057 \text{ Ом}$$

По найденным значениям  $C_1, R_2'$  и  $x_{кн}$  определим критическое скольжение:

$$S_{к1} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_1^2 + x_{кн}^2}} = \frac{1,012 \cdot 0,002}{\sqrt{0,002^2 + 0,139^2}} = 0,015 \text{ о.е.}$$

Рассчитанные значения  $S_{к1}$  и  $S_k$  равны.

Для того чтобы найти ЭДС ветви намагничивания  $E_1$  найдем  $\sin \varphi$ :

$$\varphi = \arccos(\cos \varphi); \varphi = 0,473$$

$$\sin \varphi = 0,456$$

Найдем ЭДС ветви намагничивания  $E_1$ , наведенную потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi - x_{1H} \cdot I_{1H})^2} = \\ = \sqrt{(3300 \cdot 0,89 - 0,002 \cdot 964,3)^2 + (3300 \cdot 0,456 - 0,057 \cdot 964,3)^2} = 3103 \text{ В}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$x_{\mu H} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{3103}{164,88} = 18,9 \text{ Ом}$$

Определим эквивалентное сопротивление  $L_e$ :

$$L_e = L_{\Sigma P} - \frac{L_{\mu}}{L_{\Sigma C}} = 0,00751 - \frac{0,00726}{0,00754} = 0,00042 \text{ Гн, где}$$

$L_{\Sigma P} = L_P + L_{\mu} = 0,000249 + 0,00726 = 0,00751 \text{ Гн}$  - индуктивное сопротивление обмотки ротора с учетом индуктивного сопротивления намагничивания;

$L_{\mu} = \frac{x_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{2,281}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,00726 \text{ Гн}$  - индуктивное сопротивления намагничивания;

$L_{\Sigma C} = L_C + L_{\mu} = 0,00726 + 0,00018 = 0,00754 \text{ Гн}$  - индуктивное сопротивление обмотки статора с учетом индуктивного сопротивления намагничивания;

$L_P = \frac{x_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,078}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,000249 \text{ Гн}$  - индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной;

$L_C = \frac{x_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,057}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,00018 \text{ Гн}$  - индуктивное сопротивление статорной обмотки.

После полученных данных можно начать работу в среде Matlab Simulink. Для начала необходимо ввести параметры схемы в программу и создать имитационную модель, которую можно увидеть на рисунке 7.13.

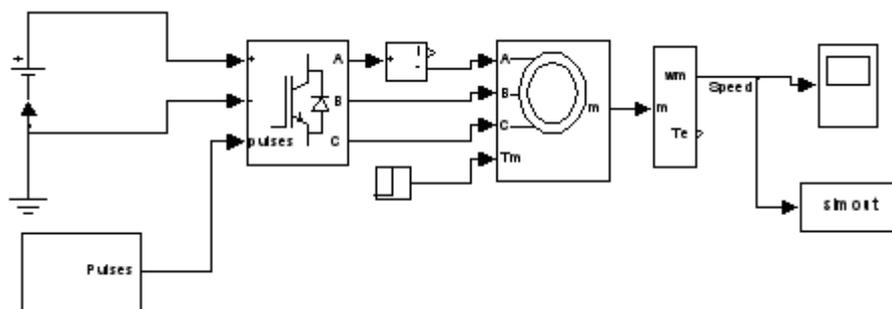


Рис.7.13 – Имитационная модель двигателя с преобразователем частоты

После того как модель создана, можно произвести расчет. Расчет в программе производился для трех режимов с разной частотой: 50 Гц, 30 Гц и 10 Гц. График для частоты 50 Гц приведен на рисунке 7.14.

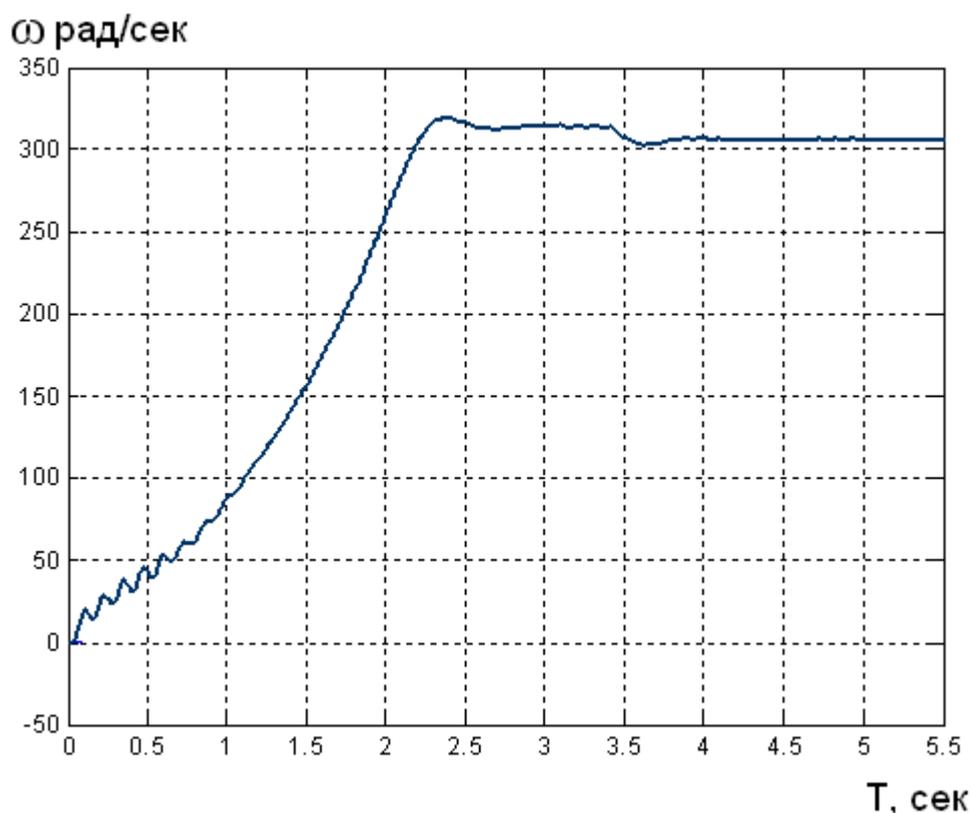


Рис.7.14 – График переходного процесса

На графике отражен переходный процесс скорости вращения ротора от времени. Остальные графики с частотой 30 Гц и 10 Гц находятся в приложении Л. На основании графиков переходных процессов можно сделать выводы:

- при обработке малых перемещений нелинейная система ведет себя аналогично линейной системе, т.к. регуляторы контуров не входят в насыщение;

- в процессе обработки средних перемещений ток электродвигателя достигает своего предельного значения, а привод предельного ускорения; процесс обработки средних перемещений в нелинейной системе сопровождается увеличением перерегулирования;

- в процессе обработки больших перемещений ток и скорость электродвигателя достигают своих предельных значений; процесс обработки больших перемещений в нелинейной системе сопровождается значительным перерегулированием, а время переходного процесса определяется величиной заданного перемещения.

Все это говорит о том, что данная схема работы асинхронного двигателя и преобразователя частоты выполнена верно и данные устройства могут работать совместно с полной отдачей. Можно отметить, что использование данной схемы очень эффективно в решении поставленной задачи.

## **7.5 Расчет релейной защиты**

Основным назначением релейной защиты является выявление места возникновения КЗ и быстрое автоматическое отключение выключателей поврежденного оборудования от остальной неповрежденной части электрической установки, а также предотвращение нарушений устойчивости в энергосистеме.

Кроме повреждений электрического оборудования, могут возникать такие нарушения нормальных режимов работы, как перегрузка, замыкание на землю одной фазы в сети с изолированными нейтральными, выделение газа в результате разложения масла в трансформаторе или понижение масла в его расширителе и др. Поэтому дополнительная задача релейной защиты

заключается в выявлении нарушений нормальных режимов работы оборудования и подача сигнализации обслуживающему персоналу или отключение оборудования с выдержкой времени. В последнее время качества релейной защиты принято оценивать по эффективности ее функционирования.

### **7.5.1 Выбор и обоснование устанавливаемых защит**

При выполнении защит трансформаторов и автотрансформаторов должны быть учтены следующие режимы:

- многофазные замыкания в обмотках и на выводах;
- однофазные замыкания в обмотках и на выводах;
- витковые замыкания в обмотках;
- внешние короткие замыкания;
- повышение напряжения на неповрежденных фазах (для трансформаторов 110 кВ, работающих в режиме изолированной нейтрали);
- частичный пробой изоляции вводов напряжением 500 кВ и более;
- перегрузка трансформатора;
- понижение уровня масла;
- "пожар" стали магнитопровода.

Для защиты трансформаторов от повреждений и ненормальных режимов в соответствии с ПУЭ должны быть предусмотрены следующие типы релейной защиты.

От повреждений внутри кожуха, сопровождающихся выделением газа и (или) понижением уровня масла – газовая защита с действием на сигнал и отключение:

для трансформаторов мощностью 6300 кВА и более;

для внутрицеховых понижающих трансформаторов мощностью 630 кВА и более;

для трансформаторов мощностью (1000-4000) кВА, если отсутствует быстродействующая защита.

От повреждений на выводах и внутренних повреждениях – токовая отсечка или продольная дифференциальная защита.

Продольная дифференциальная защита ставится на трансформаторах мощностью 6300 кВА и более, на трансформаторах меньшей мощности - токовая отсечка. Если токовая отсечка не проходит по условиям чувствительности, то дифференциальная защита может быть установлена на трансформаторах меньшей мощности, но не менее 1000 кВА.

От токов внешних коротких замыканий должны быть установлены следующие защиты с действием на отключение:

максимальная токовая защита для трансформаторов мощностью до 1000 кВА ;

максимальная токовая защита или максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения или токовая защита обратной последовательности для трансформаторов мощностью 1000 кВА и более; дистанционная защита на понижающих трансформаторах напряжением 110 кВ и более, если это необходимо по условиям дальнего резервирования.

От возможной перегрузки на трансформаторах мощностью 400 кВА и более следует предусматривать максимальную токовую защиту с действием на сигнал или на разгрузку и на отключение.

## **7.5.2 Расчет дифференциальной токовой защиты на базе реле типа ДЗТ**

### **11**

1. Определяем первичные токи для всех сторон защищаемого трансформатора, выбираем трансформатор тока и определяем вторичные токи в плечах защиты. Расчет сведем в таблицу 1.

2. Выберем ответвления трансформатора для основной стороны. За основную сторону примем сторону высокого напряжения 110 кВ.

3. Примем ответвления трансформатора для неосновных сторон 35 и 10 кВ. Расчеты представим в таблице 2.

4. Для выполнения торможения принимаем торможение от токов всех сторон защищаемого трансформатора.

5. Выбираем уставку “начала торможения”  $I_{*ТОРМНАЧ}=1$

6. Выбираем ответвления промежуточных трансформаторов тока и приставки дополнительного торможения. Расчеты сведем в таблицу 3.

7. Определяем ток срабатывания защиты.

Таблица 7.5 - Пункт расчета 1

| Наименование величины                             | Обозначения и метод определяя                      | Числовые значения для сторон               |   |  |
|---|--|--|---|--|
|   |  | 110кВ                                      | 35кВ                                      | 10кВ                                       |
| Первичные номинальные токи автотрансформатора (А) | $I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$ | $\frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 80,4$  | $\frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 251$   | $\frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 880$  |
| Схема соединения тр-ов тока                       |  | треугольник                                | треугольник                               | треугольник                                |
| Коэффициенты трансформации трансформаторов тока   | $n_{ТТ}$   | 200/5=40                                   | 600/5=120                                 | 3000/5=600                                 |
| Вторичные токи в плечах защиты                    | $I_{номВТ} = \frac{I_{ном} \cdot k_{сх}}{n_{ТТ}}$  | $\frac{80,4 \cdot \sqrt{3}}{200/5} = 3,47$ | $\frac{251 \cdot \sqrt{3}}{600/5} = 3,62$ | $\frac{880 \cdot \sqrt{3}}{3000/5} = 2,54$ |

Таблица 7.6 - Пункты расчета 2-3

| Наименование величины  | Обозначения и метод определения  | Числовые значения для сторон |                                       |                                       |
|--|--|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
|  |  | 110кВ                        | 35кВ                                  | 10кВ                                  |
| Номинальный ток принятого ответвления трансреактора на основной стороне          | $I_{отвТАВОСН} \leq I_{номВТОСН}$  | 4,25                         | -                                     | -                                     |
| Расчетный ток для выбора ответвлений трансреактора на неосновных сторонах (А)    | $I_{отвТАВнеосн} \leq I_{отвТАВосн} \cdot \frac{I_{номВТнеосн}}{I_{номВТосн}}$ | -                            | $4,25 \cdot \frac{3,62}{3,47} = 4,43$ | $4,25 \cdot \frac{2,54}{3,47} = 3,11$ |
| Номинальные токи принятых ответвлений трансформатора на не основных сторонах (А) | табл. номинальных токов ответвлений трансформатора                             | -                            | 5                                     | 5                                     |
| Номера используемых ответвлений трансформатора                                   |  | 3                            | 5                                     | 5                                     |

Таблица 7.7 - Пункты расчета 4-6

| Наименование величины   | Обозначения и метод определения               | Числовые значения для сторон |      |      |
|---|---|------------------------------|------|------|
|   |   | 110кВ                        | 35кВ | 10кВ |
| Принятый ток ответвления промежуточных тр-ов ПТ цепи торможения (А) | табл. номеров используемых ответвлений и ном. | 5,0                          | 3,0  | 3,0  |
| Принятые ответвления ПТ цепи торможения                             | токов   | 1                            | 2    | 2    |

Определяем ток срабатывания защиты:

а) по условию отстройки от броска тока намагничивания при включении трансформатора под напряжение:  $I_{СЗ} = 0,3 \cdot I_{ном} = 0,3 \cdot 80,4 = 24,12 А$

б) по условию отстройки от расчетного тока не баланс, соответствующего “началу торможения”:

$$I_{СЗ} = k_H \left( I'_{НБтормНАЧ} + I''_{НБтормНАЧ} + I'''_{НБтормНАЧ} \right), \text{ где}$$

$$k_H = 1,5$$

$I'_{НБтормНАЧ} = k_A k_{одн} f_i I_{ТОРМнач}$  - составляющая обусловленная погрешностью трансформатора тока;

$I''_{НБтормНАЧ} = (\Delta U_1 k_{ток}) I_{ТОРМнач}$  - составляющая обусловленная наличием РПН у силового трансформатора;

$I'''_{НБтормНАЧ} = \left| \frac{I_{1ОТВрасч} - I_{1ОТВном}}{I_{1ОТВрасч}} - \frac{I_{2ОТВрасч} - I_{2ОТВном}}{I_{2ОТВрасч}} \right| \cdot I_{ТОРМнач}$  - составляющая,

обусловленная несовпадением расчетных и номинальных токов принятых ответвлений промежуточных автотрансформаторов или трансреакторов для неосновных сторон;

$k_A = 1$  - коэффициент учитывающий влияние апериодической составляющей;

$k_{одн} = 1$  - коэффициент однотипности трансформаторов тока;

$f_i = 0,05$  - допустимая погрешность трансформатора тока в о.е.;

$$I_{ТОРМнач} = 0,5 \cdot I_{ном} \cdot \left( k_{ток1} \frac{I_{1ОТВтормНОМ}}{I_{1ОТВтормРАСЧ}} + k_{ток2} \frac{I_{2ОТВтормНОМ}}{I_{2ОТВтормРАСЧ}} \right) =$$

$$= 0,5 \cdot 80,4 \left( \frac{5}{3,47} \cdot 1 + \frac{3}{3,62} \cdot 1 \right) = 91,24$$

$$I'_{НБтормНАЧ} = k_A k_{одн} f_i I_{ТОРМнач} = 1 \cdot 1 \cdot 0,05 \cdot 91,24 = 4,56 \text{ A}$$

$$I''_{НБтормНАЧ} = (\Delta U_1 k_{ток}) I_{ТОРМнач} = (0,12 \cdot 1) \cdot 91,24 = 10,95 \text{ A}$$

$$I'''_{НБтормНАЧ} = \left| \frac{I_{1ОТВрасч} - I_{1ОТВном}}{I_{1ОТВрасч}} - \frac{I_{2ОТВрасч} - I_{2ОТВном}}{I_{2ОТВрасч}} \right| \cdot I_{ТОРМнач} =$$

$$= \left| \frac{3,62 - 2}{2} - \frac{2,54 - 2}{2} \right| \cdot 91,24 = 49,27$$

$$I_{СЗ} = k_H (I'_{НБтормНАЧ} + I''_{НБтормНАЧ} + I'''_{НБтормНАЧ}) = 1,5 (4,56 + 10,95 + 49,27) = 97,17 \text{ A}$$

Принимаем за расчетное ближайшее большее, т.е.  $I_{СЗ} = 100 \text{ A}$

8. Определяем относительный минимальный ток срабатывания реле при отсутствии торможения

$$I_{*CP} = \frac{I_{C3} \cdot k_{CX}}{n_{TT} \cdot I_{OTВном}} = \frac{100 \frac{115}{10,5} \sqrt{3}}{600 / 5 \cdot 3} = 0,33$$

9. Принимаем коэффициент торможения, равное 0,9.

10. Принимаем ток срабатывания отсечки равный 6Аном.

11. Чувствительность защиты согласно ПУЭ можно не проверять.

### 7.5.3 Дистанционная защита от внешних коротких замыканий

Для выполнения защиты примем одну панель ПЭ 2105.

Определяем сопротивление срабатывания 1 ступени при направленности характеристики в сторону СН

$$Z_{C3 AT}^{1CT} \leq 0,87 \cdot Z_{AT CH} + 0,78 \frac{Z_{C3 Л CH}^{1CT}}{k_{T AT CH}} = 0,87 \cdot 0 + 0,78 \frac{0,85 \cdot 46,88}{0,5} = 62,16 \text{ Ом}$$

Уставку второй ступени выбираем из условия отстройки защиты от нагрузочных режимов

$$Z_{C3 AT}^{2CT} = \frac{Z_{НАГР}}{k_{омс} k_B \cos(\varphi_{МЧ} - \varphi_{НАГР})} = \frac{147,13}{1,25 \cdot 1,05 \cdot 0,73} = 153,56 \text{ Ом, где}$$

$$Z_{НАГР} = \frac{U_{мин}}{\sqrt{3} I_{НАГР МАКС}} = \frac{0,95 \cdot U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot 1,5 \cdot I_{НОМ}} = 0,366 \frac{121}{0,301} = 147,13 \text{ Ом}$$

Определяем коэффициент чувствительности  $k_{ч} = \frac{Z_{C3 AT}^{2cm}}{Z_{Л}} = \frac{153,56}{68,76} = 2,23$

#### **7.5.4 Газовая защита трансформатора**

Газовая защита устанавливается на трансформаторах с масляной системой охлаждения.

Принцип действия газовой защиты основан на том, что при любом, даже незначительном повреждении обмоток, за счет выделения тепла происходит разложение масла. Разложение масла сопровождается выделением газа, интенсивность выделения которого зависит от тяжести повреждения.

Газовая защита выполняется при помощи газовых реле, представляющих собой металлический корпус, устанавливаемый в маслопровод между баком и расширителем трансформатора. Внутри корпуса реле устанавливают поплавковые контакты, которые при появлении газа замыкают свои контакты. При слабом газообразовании реле действует на сигнал, при интенсивном - на отключение.

Газовая защита является простым и универсальным инструментом для определения внутренних повреждений трансформатора. Она позволяет определить и витковые замыкания, на которые не реагирует дифференциальная защита из-за малой величины тока.

В данном разделе были рассмотрены виды защит для трансформатора, а так же подробно представлены расчеты для трех видов защит: продольная дифференциальная защита, дистанционная защита от внешних коротких замыканий и токовая защита нулевой последовательности. Для каждой из защит был выбран тип реле, рассчитаны уставки и произведена оценка их чувствительности.

## 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела является выбор варианта оборудования и расчет капиталовложений на проект технической модернизации КС «Проскоково».

Проект технической модернизации позволит повысить пропускную способность транспорта газа, а также увеличит надежность работы КС в целом. Для этого выбираем современное оборудование с лучшими техническими характеристиками.

Для технико-экономического обоснования проекта выполним необходимые расчеты:

Расчет затрат на проектирование;

Расчет капитальных вложений;

Расчет ежегодных эксплуатационных затрат.

Расчет работ по проектированию и определению трудоемкости.

Для определения трудоемкости выполнения проекта сначала составим перечень основных этапов и видов работ, которые должны быть выполнены.

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ  $t_{ож.}$  применим вариант, основанный на использовании трех оценок:  $t_{max}$ ,  $t_{min}$ ,  $t_{н.в.}$

$$t_{ож.} = \frac{t_{min} + 4 \cdot t_{н.в.} + t_{max}}{6},$$

где  $t_{min}$  – кратчайшая продолжительность данной работы (оптимистическая оценка);

$t_{н.в.}$  – наиболее возможная, по мнению экспертов продолжительность работы (реалистическая оценка);

$t_{max}$  – самая длительная продолжительность работы.

|            |             |                       |                |             |  |             |               |
|------------|-------------|-----------------------|----------------|-------------|--|-------------|---------------|
|            |             |                       |                |             | <b>ФЮРА.140205.010 ПЗ.</b>   |             |               |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№докум.</i>        | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |  |             |               |
| Разраб.    |             | <i>М. И. Стрелков</i> |                |             | <i>Лит.</i>  | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| Руковод.   |             | <i>Л.А. Коршунова</i> |                |             |  |             |               |
| Реценз.    |             |                       |                |             | <b>ТПУ ИнЭО Гр.3-9201</b>  |             |               |
| Консульт   |             |                       |                |             |  |             |               |
|            |             |                       |                |             | <i>Финансовый менеджмент,<br/>ресурсоэффективность и<br/>ресурсосбережение</i> |             |               |

Таблица 8.1 – Описание графика выполнения работ

| Сотрудник       | Количество дней | Обозначение на графике |
|-----------------|-----------------|------------------------|
| Руководитель    | 90              | •                      |
| Ведущий инженер | 90              | •                      |
| Инженер         | 90              | •                      |



## 8.2 Расчет затрат на проектирование

Затраты, образующие себестоимость продукции группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

1. материальные затраты;
2. оплата труда;
3. отчисления в социальные фонды;
4. амортизация основных фондов;
5. прочие затраты;
6. накладные расходы.

### 1. Материальные затраты включают в себя:

стоимость приобретенных со стороны сырья и материалов, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя её основу (бумага, картриджи для принтера, плоттера, ручки, изготовление слайдов), сведенные в приведенную ниже таблицу 8.2.1.

Таблица 8.2.1 -Материальные затраты.

| Материал          | Единица измерения | Количество | Стоимость, руб. |
|-------------------|-------------------|------------|-----------------|
| Бумага для печати | Пачка             | 1          | 250             |
| Диск CD-RW        | Шт.               | 2          | 70              |
| Канц. товары      | Шт.               | 6          | 150             |
| Картридж          | Шт.               | 1          | 1500            |
| ИТОГО             |                   |            | $I_m = 1790$    |

### 2. Расчет заработной платы.

В состав затрат на оплату труда включаются:

1. Выплаты заработной платы за фактически выполненную работу, исходя из сделанных расценок, тарифных ставок и должностных окладов в соответствии с принятыми на предприятии формами и системами оплаты труда;
2. Выплаты стимулирующего характера по системам положения;
3. Выплаты, обусловленные районным регулированием оплаты труда (выплаты по районным коэффициентам);

4. Оплата в соответствии с действующим законодательством очередных ежегодных и дополнительных отпусков.

$T_m$  - число дней работы.

$$ЗП_{\text{рук}} = ((30000 \cdot 1,16 \cdot 1,3) / 21) \cdot 90 = 193885 \text{ руб.},$$

где 30000- оклад

1,1 – коэффициент за неиспользованный отпуск

1,3 – районный коэффициент

$$ЗП_{\text{вед.инженер}} = ((25000 \cdot 1,1 \cdot 1,3) / 21) \cdot 90 = 153\,215 \text{ руб.},$$

$$ЗП_{\text{инженер}} = ((15000 \cdot 1,08 \cdot 1,3) / 21) \cdot 90 = 90257 \text{ руб.},$$

Сводим расчеты в таблицу 14.2.3

Таблица 8.2.3 - Заработная плата исполнителей.

| Исполнители     | Группа | Оклад р. | Время занятости дней | Зп, руб. |
|-----------------|--------|----------|----------------------|----------|
| Руководитель    | 3      | 30000    | 90                   | 193885   |
| Ведущий инженер | 2      | 25000    | 90                   | 153 215  |
| инженер         | 2      | 15000    | 90                   | 90257    |
| Итого           |        |          |                      | 437357   |

Фонд заработной платы  $ФЗП = \sum ЗП_{\text{исп}}$ ,

$$ФЗП = 437357 \text{ руб.}$$

3. Размер отчислений в социальные фонды составляет 30% от ФЗП.

Сумма начислений в социальные фонды составляет:

$$И_{\text{сн}} = 437357 \cdot 0,3 = 131207 \text{ руб.}$$

4. Амортизационные отчисления.

Специальное оборудование учитывается в сметной стоимости в виде амортизационных отчислений по формуле:

$$И_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{и}}}{T_{\text{кал}}} \cdot N_{\text{а}} \cdot \Phi_{\text{п}}$$

где  $\Phi_{\text{п}}$  - первоначальная стоимость оборудования;

$N_{\text{а}}$  - норма амортизации;

$T_{\text{и}}$  - количество дней использования оборудования;

$T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году.

$$I_{амКомп.} = \frac{20}{365} \cdot 0,2 \cdot 90000 = 986 \text{ руб.}$$

$$I_{амПринтер} = \frac{10}{365} \cdot 0,2 \cdot 6000 = 33 \text{ руб.}$$

$$I_{амСтол} = \frac{53}{365} \cdot 0,1 \cdot 21000 = 305 \text{ руб.}$$

$$I_{амСтол} = \frac{53}{365} \cdot 0,2 \cdot 12000 = 349 \text{ руб.}$$

Таблица 8.2.4 - Амортизационные отчисления

| Наименование | Количество | Ф <sub>п</sub> , р | Н <sub>а</sub> , % | Т <sub>идней</sub> | И <sub>амр</sub> |
|--------------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| Компьютер    | 3Шт.       | 90000              | 0,2                | 20                 | 986              |
| Принтер      | 1Шт.       | 6000               | 0,2                | 10                 | 33               |
| Стол         | 3 Шт.      | 21 000             | 0,1                | 53                 | 305              |
| Стул         | 3 Шт.      | 12000              | 0,2                | 53                 | 349              |
| Итого        |            |                    |                    |                    | 1673             |

Амортизационные затраты составляют  $I_{ам} = 1673$  рубль.

5. Прочие расходы :

$$I_{пр} = 0,1(ЗП + И_{м} + I_{ам} + I_{сн})$$

$$I_{пр} = 0,1 \cdot (437357 + 1970 + 1673 + 131207) = 57220 \text{ руб.}$$

6. Накладные расходы принимаем 200% от ФЗП:

$$Н_{р} = 2 \cdot \text{ФЗП}$$

$$Н_{р} = 2 \cdot 437357 = 874\,714 \text{ руб.}$$

Себестоимость проекта:

$$C_{п} = И_{м} + ЗП + I_{сн} + I_{ам} + I_{пр} + Н_{р}$$

$$C_{п} = 1970 + 437357 + 131207 + 1673 + 57220 + 874714 = 1504141 \text{ руб.}$$

Принимаем рентабельность 20%, прибыль:

$$П_{б} = C_{п} \cdot 0,2$$

$$П_{б} = 1504141 \cdot 0,2 = 300828 \text{ р.}$$

Стоимость проекта:

$$Ц_{п} = C_{п} + П_{б}$$

$$Ц_{п} = 1504141 + 300828 = 1804969 \text{ руб.}$$

Смета затрат представлена в таблице 8.2.5

Таблица 8.2.5 - Смета затрат

| Вид расходов                  | Обозначение | Сумма, р. |
|-------------------------------|-------------|-----------|
| Материальные затраты          | $I_m$       | 1790      |
| Заработная плата              | ЗП          | 437357    |
| Отчисления в социальные фонды | $I_{сн}$    | 131207    |
| Амортизационные отчисления    | $I_a$       | 1673      |
| Прочие расходы                | $I_{пр}$    | 57220     |
| Накладные расходы             | $H_p$       | 874714    |
| Себестоимость проекта         | $C_{п}$     | 1504141   |
| Прибыль                       | $P_б$       | 300828    |
| Стоимость проекта             | $C_{п}$     | 1804969   |

### 8.3 Выбор выключателей

Выбор осуществляется по приведенным затратам.

Экономическим критерием, по которому определяют наивыгоднейший вариант, является минимум приведенных затрат, руб/год, вычисленных по формуле:

$$Z = p_n \cdot K + I$$

где  $p_n$  – норма дисконта, 1/год (для расчетов установок энергетики  $p_n = 0,15$ );

$K$  – единовременные капитальные вложения, руб.;

$I$  – ежегодные эксплуатационные затраты, руб.

### 8.4 Расчет капитальных вложений

Капитальные вложения  $K$  включают затраты на основные фонды и оборотные средства. Оборотные средства в системе электроснабжения невелики (1 – 2%), то ими можно пренебречь.

Основные фонды включают стоимость оборудования, затраты на

установку, монтаж, наладку и пробный пуск оборудования и аппаратуры, затраты на транспортировку.

При расчетах принимаем средние значения начисления по видам дополнительных затрат в % к стоимости оборудования:

|                          |      |
|--------------------------|------|
| Транспортировка          | 3 %  |
| Заготовительно-складские | 1%   |
| Установка и монтаж       | 13 % |
| Пуск и регулировка       | 3 %  |

Итого: 20 %

В данном расчете принимается 20 %.

Стоимость оборудования, монтажных работ (составляет 20% от стоимости оборудования). Данные для расчета взяты из проектного бюро.

Результаты расчета сводим в таблицу 8.4.

Таблица 8.4– Расчет капиталовложений на оборудование

| № Варианта | Наименование электрооборудования                        | Кол-во, шт. | Цена за 1шт. руб. | Сметная стоимость, руб. |              |                   |
|------------|---|-------------|-------------------|-------------------------|--------------|-------------------|
|            |   |             |                   | Цена, руб               | Монтаж, руб. | Итого по варианту |
| 1          | Масляный выключатель ВМП-10 в комплекте приводом ВМП-10 | 32          | 126000            | 4032000                 | 806400       | 4 838400          |
| 2          | Элегазовые выключатели LF-10                            | 32          | 419 784           | 13433080                | 2 686 617    | 16 119 697        |

Расчет капиталовложений для каждого варианта:

Вариант 1.

$$K = K_{\text{пр}} + K_{\text{об}} + K_{\text{монт}}$$

$$K = 1\,804\,969 + 4\,032\,000 + 806\,400 = 6\,643\,369 \text{руб.}$$

Вариант 2.

$$K = K_{\text{пр}} + K_{\text{об}} + K_{\text{монт}}$$

$$K = 1\,804\,969 + 13\,433\,080 + 2\,686\,617 = 17\,924\,666 \text{ руб.}$$

### 8.5 Расчет ежегодных эксплуатационных затрат

Вторым важным, помимо капиталовложений, технико-экономическим показателем являются эксплуатационные затраты (издержки), необходимые для эксплуатации энергетического оборудования.

Эксплуатационные затраты, руб., определяются из следующей формулы:

$$I = I_{\text{ам}} + I_{\text{обсл}}$$

где  $I_{\text{ам}}$  – ежегодные амортизационные отчисления, руб.;

$I_{\text{обсл}}$  – годовые расходы на обслуживание и текущий ремонт электрооборудования, руб.

Отчисления на амортизацию включают издержки на капитальный ремонт и на накопление средств, необходимых для замены (реновации) изношенного и морально устаревшего оборудования. Отчисления на амортизацию тем выше, чем меньше срок службы оборудования. Отчисления на обслуживание предназначены для поддержания оборудования в рабочем состоянии. Для предотвращения повреждений все элементы сети подвергаются периодическим осмотрам и профилактическим испытаниям. Эти мероприятия финансируются из отчислений на текущий ремонт.

1. Ежегодные амортизационные отчисления, тыс. руб.:

$$I_{\text{ам}} = P_{\text{ам}} \cdot K,$$

где  $P_{\text{ам}}$  – норма амортизационных отчислений, % ( $P_{\text{ам}} = 6,4 \%$ ).

Вариант 1:

$$I_{ам1} = 0,064 \cdot 4\,032\,000 = 258\,048 \text{ руб.}$$

Вариант 2:

$$I_{ам2} = 0,064 \cdot 13\,433\,080 = 859\,717 \text{ руб.}$$

2. Годовые расходы на обслуживание и текущий ремонт, руб.:

$$I_{обсл} = P_{обсл} \cdot K ,$$

где  $P_{обсл}$  – норма затрат на обслуживание, для масляных выключателей ( $P_{ам} = 35\%$ ), а для элегазовых выключателей ( $P_{ам} = 1\%$ )

Вариант 1:

$$I_{обсл.1} = 0,35 \cdot 4\,032\,000 = 1\,411\,200 \text{ руб.}$$

Вариант 2:

$$I_{обсл.2} = 0,01 \cdot 13\,433\,080 = 134\,330 \text{ руб.}$$

Вариант 1:

$$I_1 = I_{ам} + I_{обсл} = 258\,048 + 1\,411\,200 = 1\,669\,248 \text{ руб.}$$

Вариант 2:

$$I_2 = I_{ам} + I_{обсл} = 859\,717 + 134\,330 = 994\,047 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты, руб.

$$Z = r_n \cdot K + I$$

где  $r_n$  – норма дисконта, 1/год (для масляных выключателей  $r_n = 0,3$  а для элегазовых 0,15)

$K$  – единовременные капитальные вложения, руб.;

$I$  – ежегодные эксплуатационные затраты, руб.

Результаты расчетов приведенных затрат сводим в таблицу 8.5.

Таблица 8.5.1 – Приведенные затраты, руб

| № | $Z = p_n \cdot K + I$ | $P_n$ | К         | И        | И = И <sub>ам</sub> + И <sub>обсл</sub> |                   |
|---|-----------------------|-------|-----------|----------|---|-------------------|
|   |                       |       |           |          | И <sub>ам</sub>                         | И <sub>обсл</sub> |
| 1 | 3 795126              | 0,3   | 6 643369  | 1 669248 | 258048                                  | 1411200           |
| 2 | 3 682746              | 0,15  | 17 924666 | 994047   | 859717                                  | 134330            |

$$Z_1 = 0,3 \cdot 6\,643\,369 + 1\,669\,248 = 3\,795\,126 \text{ руб.}$$

$$Z_2 = 0,15 \cdot 17\,924\,666 + 994\,047 = 3\,682\,746 \text{ руб.}$$

В результате произведенных расчетов оптимальным по экономическим показателям является вариант 2, характеризующийся минимальными приведенными затратами (на 3,05% ниже приведенных затрат по варианту 1). Принимаем вариант с установкой 32 элегазовых выключателей. Технические характеристики обоих выключателей практически идентичны, а отличия состоит в разнице сред гашения электрической дуги. Элегаз обладает лучшими дугогасящими свойствами, чем масло. За счет элегаза имеет более простую конструкцию, что положительно влияет на надежность.

Для удобства рассмотрения преимуществ элегазового высоковольтного выключателя LF-10ад масляным выключателем ВМТ-10 приводится таблица 8.5.2

Таблица 8.5.2 – Сравнение масляного и элегазового выключателя

| Масляный выключатель                                  | Элегазовый выключатель                      |
|---|---|
| 1   | 2   |
| Более крупная по габаритам дугогасительная камера     | Меньший вес при идентичных габаритах        |
| Требует тщательной эксплуатации                       | Не требует тщательной эксплуатации          |
| Взрыво- и пожароопасные                               | Взрыво- и пожаробезопасные                  |
| При утечке масла опасны для человека                  | Элегаз не опасен при утечке                 |
| Большой расход энергии для гашения электрической дуги | Меньшее количество расходуемой энергии      |
| Сооружение и эксплуатация складов масла               | Не требуют каких либо дополнительных затрат |
| Срок службы 25 лет                                    | Срок службы 50 лет                          |

Масляный выключатель находясь в эксплуатации, он более подвержен всякого рода поломкам в отличие от нового элегазового выключателя. Срок эксплуатации элегазового выключателя 50 лет, это больше чем у масляного (25 лет). Элегазовый выключатель имеет более простую конструкцию, нежели масляный, что означает большую надежность. Элегаз является лучшей средой для гашения электрической дуги, чем масло. В эксплуатации элегазовые выключатели намного удобнее, не требуют замены газа. Гораздо безопаснее чем масляный выключатель.

Для повышения надежности необходима замена морально и физически устаревшего на сегодняшний день масляного выключателя на элегазовый.

В настоящее время альтернативы элегазу нет. Можно сделать вывод что, для замены масляного выключателя, в целях повышения надежности КС «Проскоково», следует отдать предпочтение выключателю с дугогасящей средой – элегазом.

## 9 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### 9.1 Введение

Социальная ответственность представляет собой систему законодательных актов, социально-экономических, организационных технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

В данном дипломном проекте разрабатывается проект технологической модернизации системы электроснабжения газокomppressorной станции, с целью улучшения её функционирования и увеличения надежности транспорта газа, отвечающий всем нормам и стандартам.

Компрессорная станция (КС) «Проскоково», оборудование которой обеспечивает компримирование газа для его последующего транспортирования по магистральному газопроводу.

Для правильной организации работ по борьбе с травматизмом, профессиональными и общими заболеваниями необходимо проанализировать существующие состояния условий труда на рабочих местах при строительстве газокomppressorной станции и производстве электромонтажных работ.

|                 |             |                       |                |             |                                       |                             |             |               |
|-----------------|-------------|-----------------------|----------------|-------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------|---------------|
|                 |             |                       |                |             | ФЮРА. 442939.001 ПЗ                   |                             |             |               |
|                 |             |                       |                |             |                                       |                             |             |               |
| <i>Изм</i>      | <i>Лист</i> | <i>№докум.</i>        | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | <b>СОЦИАЛЬНАЯ<br/>ОТВЕТСТВЕННОСТЬ</b> | <i>Лит.</i>                 | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Разраб.</i>  |             | <i>Стрелков М.И</i>   |                |             |                                       |                             |             |               |
| <i>Руковод.</i> |             | <i>Амелькович Ю.А</i> |                |             |                                       |                             |             |               |
| <i>Реценз.</i>  |             |                       |                |             |                                       |                             |             |               |
| <i>Консульт</i> |             |                       |                |             |                                       |                             |             |               |
|                 |             |                       |                |             |                                       | <i>ТПУ ИнЭО, гр. 3-9201</i> |             |               |

## 9.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме, острому отравлению или другому внезапному резкому ухудшению здоровья, или смерти. Вредный производственный фактор - производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях может привести к заболеванию, снижению работоспособности и (или) отрицательному влиянию на здоровье потомства. В зависимости от количественной характеристики (уровня, концентрации и др.) и продолжительности воздействия вредный производственный фактор может стать опасным.

При выполнении своих профессиональных обязанностей персонал цеха может столкнуться со следующими опасными производственными факторами:

### 1. Опасные факторы:

- поражения электрическим током;
- возможность падения с высоты либо различных деталей и предметов;
- оборудование, работающее под давлением выше атмосферного;
- пожар;
- взрыв.

### 2. Вредные факторы:

- низкая освещенность;
- шум;
- вибрации;
- климатическое состояние воздушной среды;
- вредные вещества пыли;
- наличие электромагнитных полей.

Все опасные и вредные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 подразделяются на физические, химические, биологические и психофизиологические.

К *физическим* факторам относят электрический ток, кинетическую энергию движущихся машин и оборудования или их частей, повышенное давление паров или газов в сосудах, недопустимые уровни шума, вибрации, инфра- и ультразвука, недостаточную освещенность, электромагнитные поля, ионизирующие излучения и др.

*Химические* факторы представляют собой вредные для организма человека вещества в различных состояниях.

*Биологические* факторы – это воздействия различных микроорганизмов, а также растений и животных.

*Психофизиологические* факторы – это физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение, монотонность труда.

### **Опасность поражения электрическим током**

Гигиеническое нормирование ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при нормальном режиме работы электроустановок промышленного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц, Правила устройства электроустановок ПУЭ и Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок ПОТ Р М – 016 – 2001; РД 153 – 34.0 – 03.150 – 00.

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного для жизни воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Опасность поражения электрическим током, в отличие от прочих опасностей, усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно, как, например, движущейся части, раскалённый объект, открытые люки, не ограждённые площадки на больших высотах. Опасность обнаруживается слишком поздно - когда человек уже поражён.

Помещение, где расположен блочный щит управления, относится к помещениям без повышенной опасности[24], так как отсутствуют следующие факторы:

- 1) сырость;
- 2) токопроводящая пыль;
- 3) токопроводящие полы;
- 4) высокая температура;

5) возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землёй металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам и механизмам и металлическим корпусам электрооборудования.

К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током следует отнести – ПОТ РМ-016-2001; РД 153 -34,0-03,150-00:

- 1) Организационные мероприятия

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ в электроустановках, являются:

- оформление работы нарядом или распоряжением (устное или телефонное);
- выдача разрешения на подготовку рабочих мест и допуска бригады к работе;
- допуск к работе;
- надзор за безопасностью работающих во время выполнения работы;
- оформление перерыва в работе, переводов на другое рабочее место, окончания работы.

Работы в электроустановках производятся по письменному или устному распоряжению. Наряд есть письменное распоряжение на работу в электроустановках, определяющее место, время начала и окончания работы, условия ее безопасного проведения, состав бригады и лиц, ответственных за проведение работ. В процессе работы оборудования возможны повреждения изоляции, повреждения защитных средств, различных приборов и устройств, а также нарушения технологического режима. В результате чего возможны аварии и несчастные случаи с обслуживающим персоналом. Техника безопасности является основной частью охраны труда и предусматривает технические и производственные мероприятия, которые обеспечивают безопасный труд в электроустановках. Кроме правил техники безопасности имеются специальные правила устройств электроустановок (ПУЭ), которые предусматривают надежность и безопасность эксплуатации электроустановок.

## 2) Технические мероприятия

Защитное заземление или зануление должно обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим токоведущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции [ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление»].

С целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов должны быть заземлены.

Защитное заземление - преднамеренное электрическое соединение с землей или её эквивалентом механических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением (ГОСТ 12.1.030 - 81). Цель защитного заземления - устранение опасности поражения людей электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования, т.е. при замыкании на корпус.

Зануление - преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Нулевой защитный проводник - это проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземлённой нейтральной точкой обмотки источника тока или её эквивалентом (ГОСТ 12.1.009-76).

Защитное отключение - быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения электрическим током. Устройства защитного отключения должны обеспечивать отключение неисправной электроустановки за время не более 0,2 с.

### **Опасность механического травмирования**

Безопасные условия работы обеспечиваются правильной организацией работ, постоянным надзором за работающими со стороны производителя работ и соблюдением рабочими техники безопасности и регламентируются «Межотраслевыми правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок» ПОТРМ-016-2001; РД 153 -34,0-03,150-00[16].

В рассматриваемой компрессорной станции большая доля вероятности получить механическую травму, так как используется большое количество оборудования. При необходимости принимаются меры для уменьшения вероятности травмирования персонала – предупредительные плакаты, ограждения, сигнализации.

### **Опасность возникновения возгораний и пожаров**

Пожарная опасность электроустановок, каковыми являются щиты и пульты управления, обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючими являются изоляция обмоток машин, трансформаторов, различных электромагнитов (контакторы, реле, контрольно-измерительные приборы), проводов и кабелей.

Согласно НПБ 105- 03 в зависимости от характеристики вращающихся в производстве веществ и их количества, по взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 — В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. Категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий следует определять для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода исходя из вида находящихся в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, особенностей технологических процессов.

Категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий следует определять для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода исходя из вида находящихся в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, особенностей технологических процессов.

Помещение по пожарной и взрывной опасности относят к категории В1(пожароопасная), класс П-І, характеризующейся наличием:

легковоспламеняющихся, горючих и трудногорючих жидкостей, твёрдых горючих и трудногорючих веществ и материалов, веществ и материалов, способных при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или один с другим.

При строительстве зданий и сооружений с учётом категории производства применяют строительные материалы и конструкции, которые подразделяются на три группы:

- 1) сгораемые;
- 2) трудносгораемые;
- 3) несгораемые.

Наше здание относится к несгораемым.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, режимные, эксплуатационные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию электрооборудования, правильное содержание здания, территории, противопожарный инструктаж рабочих и так далее.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании здания, при устройстве электроприборов и оборудования, отопления, вентиляции и освещения

Мероприятия режимного характера запрещение курения в неустановленных местах, сварочных и других работ в пожароопасных местах и так далее.

Эксплуатационные мероприятия являются своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытание технологического оборудования (электроустановок, изоляции и так далее).

Помещение обеспечено средствами пожаротушения в соответствии с ППБ 01– 03. На 100 м<sup>2</sup> пола имеется:

- 1) Пенный огнетушитель ОП-10 – 1 шт.
- 2) Углекислотный огнетушитель ОУ-5 – 1 шт.
- 3) Ящик с песком на 0,5 м<sup>3</sup> – 1 шт.
- 4) Железные лопаты – 2 шт.

При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду, после чего поставить в известность о случившемся инженера по техники безопасности.

В соответствии с пунктом 16 ППБ 01-03 в зданиях и сооружениях (кроме жилых домов) при одновременном нахождении на этаже более 10 человек должны быть разработаны и на видных местах вывешены планы (схемы) эвакуации людей в случае пожара.

План эвакуации при пожаре (план эвакуации) – документ, в котором указаны эвакуационные пути и выходы, установлены правила поведения людей, а также порядок и последовательность действий обслуживающего персонала на объекте при возникновении пожара.



Рис.9.1 - План эвакуации

### Опасность оборудования работающего под давлением

При осуществлении различных технологических процессов, проведении ремонтных работ, в быту и т.д. широко распространены различные системы повышенного давления, к которым относится следующее оборудование: трубопроводы, баллоны и емкости для хранения или перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов, паровые и водяные котлы, газгольдеры и др. Основной характеристикой этого оборудования является то, что давление газа или жидкости в нем превышает атмосферное. *Это* оборудование принято называть сосудами, работающими под давлением.

Основное требование к этим сосудам – *соблюдение их герметичности* на протяжении всего периода эксплуатации. Герметичность – это непроницаемость жидкостями и газами стенок и соединений, ограничивающих внутренние объемы сосудов, работающих под давлением. Кроме этих сосудов требования по герметичности обязательны и для вакуумных установок и оборудования.

Любые сосуды, работающие под давлением, всегда представляют собой потенциальную опасность, которая при определенных условиях может трансформироваться в явную форму и повлечь тяжелые последствия. Разгерметизация (потеря герметичности) сосудов, работающих под давлением.

Для обеспечения безопасности персонала, обслуживающего сосуды под давлением, весьма важно, чтобы *эксплуатируемое оборудование сохраняло герметичность.*

### **Микроклимат**

Микроклимат, в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температурой воздуха  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );
- 2) относительной влажностью  $\varphi$  (%);
- 3) скоростью движения воздуха на рабочем месте  $v$  (м/с);
- 4) интенсивность теплового излучения  $I$ , Вт/м<sup>2</sup>

Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [17] и СанПиН 2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [18].

Кроме этих параметров, являющихся основными, не следует забывать об атмосферном давлении  $P$ , которое влияет на парциальное давление основных компонентов воздуха (кислорода и азота), а следовательно, и на процесс дыхания.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, при этом происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и теплоотдача в окружающую среду значительно увеличивается. Однако при температурах окружающего воздуха и

поверхностей оборудования и помещений 30-35 °С отдача теплоты конвекцией и излучением в основном прекращается. При более высокой температуре воздуха большая часть теплоты отдается путем испарения с поверхности кожи. В этих условиях организм теряет определенное количество влаги, а вместе с ней и соли, играющие важную роль в жизнедеятельности организма. Поэтому в горячих цехах рабочим дают подсоленную воду.

При понижении температуры окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и отдача теплоты конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Влажность воздуха оказывает большое влияние на терморегуляцию организма. Терморегуляция – способность человеческого организма поддерживать постоянной температуру при изменении параметров микроклимата и при выполнении различной по тяжести работы. Повышенная влажность ( $\varphi > 85\%$ ) затрудняет терморегуляцию из-за снижения испарения пота, а слишком низкая влажность ( $\varphi < 20\%$ ) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей. Допустимые величины относительной влажности составляют 15-75%.

Движение воздуха в помещениях является важным фактором, влияющим на тепловое самочувствие человека. В жарком помещении движение воздуха способствует увеличению отдачи теплоты организмом и улучшает его состояние, но оказывает неблагоприятное воздействие при низкой температуре воздуха в холодный период года.

Минимальная скорость движения воздуха, ощущаемая человеком, составляет 0,2 м/с. В зимнее время года скорость движения воздуха не должна превышать 0,2-0,5 м/с. В горячих цехах допускается увеличение скорости обдува рабочих (воздушное душирование) до 3,5 м/с.

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования не должна превышать 100 Вт/м<sup>2</sup> при облучении не более 25% поверхности тела.

Для создания нормальных условий труда в производственных помещениях обеспечивают нормативные значения параметров микроклимата температуры воздуха, его относительной влажности и скорости движения, а также интенсивности теплового излучения

В *ГОСТ 12.1.005-88* указаны оптимальные и допустимые показатели микроклимата в производственных помещениях.

*ГОСТ 12.1.005-88* устанавливает предельно допустимые концентрации вредных веществ ПДК (мг/м<sup>3</sup>) в воздухе рабочей зоны производственных помещений и требования к метеорологическим условиям (микроклимат) в производственных условиях.

Таблица 9.1 - Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости воздуха в рабочей зоне производственных помещений.

| Период года | Категория работы | Температура, С | Относительная влажность. % | Скорость движения |
|-------------|------------------|----------------|----------------------------|-------------------|
| Холодный    | Лёгкая – 1а      | 22-24          | 60-40                      | <0,2              |
| Теплый      | Лёгкая – 1а      | 23-25          | 60-40                      | 0,2-0,5           |

Таблица 9.2 - Допустимая температура и относительная влажность воздуха в рабочей зоне производственных помещений.

| Период года | Категория работ | Температура воздуха, °С                            |             | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность, φ% | Скорость движения воздуха, м/с |                             |
|-------------|-----------------|--|-------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
|             |                 | Диапазон ниже оптимальных величин t <sub>опт</sub> |             |                              |                             | Если t° < t° <sub>опт</sub>    | Если t° > t° <sub>опт</sub> |
| Холодный    | Па              | 17,0 – 18,9  | 21,1 – 23,0 | 16,0 – 24,0                  | 15 – 75                     | 0,1                            | 0,3                         |
| Теплый      | Па              | 18,0 – 19,9  | 22,1 – 27,0 | 17,0 – 28,0                  | 15 – 75                     | 0,1                            | 0,4                         |

Требуемое состояние микроклимата рабочей зоны может быть обеспечено при использовании:

- защиты от источников тепловых излучений для снижения температуры воздуха в помещении и теплового облучения работающих;
- устройство вентиляции и отопления;
- применение средств индивидуальной защиты ГОСТ 12.4011-75.

В воздухе БЩУ может содержаться пыль от вторичного пылеобразования, а также туман от применения смазывающих веществ, аэрозолей.

Оптимальная величина относительной влажности в рабочей зоне - 40 - 60 %. Предельное значение для выполняемой работы, классифицирующаяся как легкая, температура 19°C, относительная влажность не более 75 %, скорость движения воздуха не более 0,2 м/с.

**Тепловое излучение:** Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), не должны превышать 140 Вт/ м<sup>2</sup>. При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

По Санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.4.548-96 температура наружных поверхностей технологического оборудования и ограждений на рабочем месте не должна превышать 45 °С.

|   |            |         |             |
|---|------------|---------|-------------|
| Облучаемая поверхность тела, %                                  | 50 и более | 25...50 | Не более 50 |
| Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более | 35         | 70      | 100         |

В холодные и теплые периоды параметры микроклимата обеспечиваются:

- отоплением;

- естественная и искусственная вентиляция;
- системой кондиционирования воздуха.

### **Производственная вентиляция**

Нормы производственной вентиляции установлены согласно СНиП 2.04.05 - 91[19].

На рабочем месте предусматривается искусственная приточно-вытяжная общеобменная вентиляция с расходом воздуха на одного работающего не менее  $60 \text{ м}^3 / \text{ч}$ .

Воздух, поступающий в помещение в зимнее время, подогревается на входе тепловыми завесами, а охлаждается с помощью приточно-вытяжной вентиляции. Механическая вентиляция обеспечивает очистку выбрасываемого наружу воздуха, что очень важно для воздушной среды окружающей предприятие.

### **Вибрация и шум**

#### **Вибрация**

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием, ГОСТ 12.1.012 – 90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» [20], Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 –96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»[21].

Вибрации также неблагоприятно воздействуют на организм человека и могут быть причиной функциональных расстройств нервной и сердечной систем, а также опорно-двигательного аппарата. Это заболевание сопровождается головными болями, головокружением, повышенной утомляемостью. При действии вибрации на руки наблюдается их онемение. Длительное воздействие вибраций приводит к развитию вибрационной

болезни, успешное лечение которой возможно только на ранней стадии заболевания.

Таблица 9.3 – Нормы вибрации

| Вид вибрации    | Допустимый уровень вибростойкости, дБ, в активных полосах со негеометрическими частотами, Гц |    |    |    |      |    |
|-----------------|--|----|----|----|------|----|
|                 | 2  | 4  | 8  | 16 | 32,5 | 63 |
| Технологическая | 108  | 99 | 93 | 92 | 92   | 92 |

Защита от вибраций на рабочих местах осуществляется методом виброизоляции путём устройства упругих элементов, размещённых между вибрирующей машиной и основанием, на котором она установлена. В качестве амортизаторов вибраций используют стальные пружины или резиновые прокладки.

В качестве индивидуальной защиты от вибраций, передаваемых человеку через ноги, рекомендуется носить обувь на войлочной или толстой микропористой резиновой подошве. Для защиты рук рекомендуется использовать виброгасящие перчатки.

### Шум

Шум наносит большой ущерб, вредно действует на организм человека и снижает производительность труда. Утомление рабочих из-за сильного шума увеличивает число ошибок при работе, способствует возникновению травм.

При нормирование шума используют два метода: нормирование по предельному спектру шума, нормирование уровня звука. Таким образом, шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значение которых приведены в ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности» [22]. Поэтому для рабочих мест цеха допустимый уровень звукового давления в активной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц есть 80 дБ, а допустимый эквивалентный уровень звука 85 дБА. При

данном производственном процессе уровень шумов не выходит за нормативы.

Шум в рассматриваемой в компрессорной станции может возникать только при использовании некоторых видов оборудования, по этому применяются индивидуальные средства защиты от шума, а так же звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций с инженерными конструкциями и укрытия в кожухи источников шума. В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении звука.

### **Защита от электромагнитных полей**

Нормирование ЭМП промышленной частоты осуществляют по предельно допустимым уровням напряженности электрического и магнитного полей частотой 50 Гц в зависимости от времени пребывания в нем и регламентируются ГОСТ12.1.002–84"Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах"[23].

Источниками электромагнитных полей являются ВЛЭП, включающие коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики. В настоящее время в качестве предельно допустимого значения электромагнитного поля промышленной частоты напряженностью рекомендовано:

Основные параметры ЭМП:

–частота  $f$ , Гц;

–напряженность электрического поля  $E$ , В/м;

–напряженность магнитного поля  $H$ , А/м;

–плотность потока энергии  $I$ , Вт/м<sup>2</sup>.

Предельно допустимые напряженности электрического и магнитного полей на рабочих местах соответственно равны 500 В/м и 50 А/м. Предельно

допустимое значение плотности потока энергии не должно превышать 10 Вт/м<sup>2</sup>.

В электроустановках всех напряжений должна быть установлена защита рабочих от воздействия электромагнитного поля, напряженность которого превышает допустимое значение, т.е. необходимо ограничить время пребывания следующим образом:

5 ÷ 10 кВ/м – не более 2<sup>x</sup> часов;

10 ÷ 15 кВ/м – 90 мин;

15 ÷ 20 кВ/м – 10 мин;

20 ÷ 25 кВ/м – 5 мин;

25 кВ/м и более – без защиты не допускается.

### **Производственное освещение**

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам, предусмотренным СП.52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [24]. Для безопасного продолжения работы, или выхода людей из помещений при внезапном отключении должно быть предусмотрено аварийное освещение. Длительное снижение напряжения у наиболее удаленной лампы не должно быть более 5%. Питание аварийного освещения должно быть надежным и от независимого источника.

В настоящее время существует три вида освещения – естественное, искусственное, осуществляемое электрическими лампами, и совмещенное, при котором в светлое время суток недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.

По конструктивному исполнению искусственное освещение может быть двух систем – общее и комбинированное, когда к общему освещению добавляется местное, концентрирующее световой поток непосредственно на рабочих местах.

Общее освещение подразделяют на общее равномерное освещение (при равномерном распределении светового потока без учета расположения

оборудования) и общее локализованное освещение (при распределении светового потока с учетом расположения рабочих мест). Применение одного местного освещения внутри зданий не допускается.

Нормирование естественного освещения согласно СНиП 23-05-95, производится при помощи коэффициента естественной освещённости (КЕО)

$$E = (E_v/E_n) \cdot 100\%$$

где E - коэффициент освещенности;

E<sub>v</sub>- освещённость внутри помещения, Лк;

E<sub>n</sub>- одновременная освещённость рассеянным светом снаружи, Лк.

Минимальный КЕО в зависимости от точности работы при верхнем и комбинированном освещении нормируется в пределах от 2 до 10, а при одном боковом освещении E<sub>мин</sub>- от 3,5 до 0,5.

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяют на следующие виды: рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное, дежурное.

Нормирование естественного освещения согласно СНиП 23-05-95, по назначению помещений предусмотрены следующие уровни освещенности в помещениях:

производственные помещения – 150 - 200 люкс.

Таблица 9.4 - Наименьшая освещенность рабочих поверхностей

| Помещения                                | Наименьшая освещенность,лк, при лампах |             | Плоскость нормирования (Г – горизонтальная, В – вертикальная): высота плоскости над полом, м |
|--|--|-------------|--|
|  | люминесцентных                         | накаливания |  |
| Диспетчерские пункты и пункты управления | 200                                    | 150         | Г: 0,8<br>В: 1,5 на фасаде щита  |

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяют на следующие виды: рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное, дежурное.

Рабочее освещение обязательно во всех помещениях и на освещаемых территориях для обеспечения нормальной работы, прохода людей и движения транспорта.

Аварийное освещение устраивают для продолжения работы в тех случаях, когда внезапное отключение рабочего освещения (при аварии) и связанное с этим нарушение нормального обслуживания оборудования могут вызвать взрыв, пожар, отравление людей, длительное нарушение работы таких объектов, как электрические станции, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения и другие производственные помещения, в которых недопустимо прекращение работ.

Эвакуационное освещение следует предусматривать для эвакуации людей из помещений при аварийном отключении рабочего освещения в местах, опасных для прохода людей, на лестничных клетках, вдоль основных для прохода людей, на лестничных клетках, вдоль основных проходов производственных помещений, в которых работает более 50 человек.

Для охранного освещения площадок предприятий и дежурного освещения помещений выделяют часть светильников рабочего или аварийного освещения.

### **Расчет искусственного освещения**

Расчет искусственного освещения произведем методом коэффициента использования светового потока (наиболее точный и распространенный метод). Общее искусственное освещение осуществляется светильниками, имеющими по две люминесцентные лампы типа ЛБ-80.

Проведем проверочный расчет искусственного освещения в помещении.[2]

Величина минимальной освещенности определяется по формуле:

$$E = \frac{F \cdot N \cdot \eta}{k \cdot S \cdot z},$$

где F – световой поток каждой из ламп, (лм);

E – минимальная освещенность, (Лк);

$k$  – коэффициент запаса;

$S$  – площадь помещения, ( $m^2$ );

$N$  – число ламп в помещении, (шт);

$\eta$  – коэффициент использования светового потока;

$z$  – коэффициент неравномерности освещения (для люминесцентных светильников при расчетах берется равным 0,9).

Коэффициент  $\eta$  – это отношение полезного светового потока, достигающего освещаемой поверхности, к полному световому потоку в помещении. Для определения  $\eta$  необходимо знать индекс помещения  $i$ , значения коэффициентов отражения стен  $\rho_{ст}$  и потолка  $\rho_{п}$  и тип светильника. Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (a + b)},$$

где

$a, b$  - стороны помещения (м);

$h$  - высота подвеса светильников (м).

Площадь помещения определим как:

$$S = a \cdot b = 20 \cdot 20 = 400 m^2,$$

Приняв свес светильника равным  $h_{св} = 0,1$  м и высоту рабочей поверхности равной  $h_n = 0,9$  м, определим высоту подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_{св} - h_n = 4 - 0,1 - 0,9 = 3 м,$$

тогда получим

$$i = \frac{400}{3 \cdot (20 + 20)} = 3,33.$$

Расстояние между светильниками  $L$  определяется как:

$$L = \lambda \cdot h \text{ (где } \lambda = 1,1 - 1,3); L = 3,3 - 3,9$$

Коэффициенты отражения  $\rho_{ст}$  и  $\rho_{п}$  имеют следующие значения:

$$\rho_{п} = 50\%; \rho_{ст} = 30\%.$$

В помещении используются люминесцентные лампы типа ЛБ-80, световой поток  $F$  каждой из них равен 4200 лм, значит световой поток каждого светильника равен:

$$F = 2 \cdot 4200 = 8400 \text{ лм.}$$

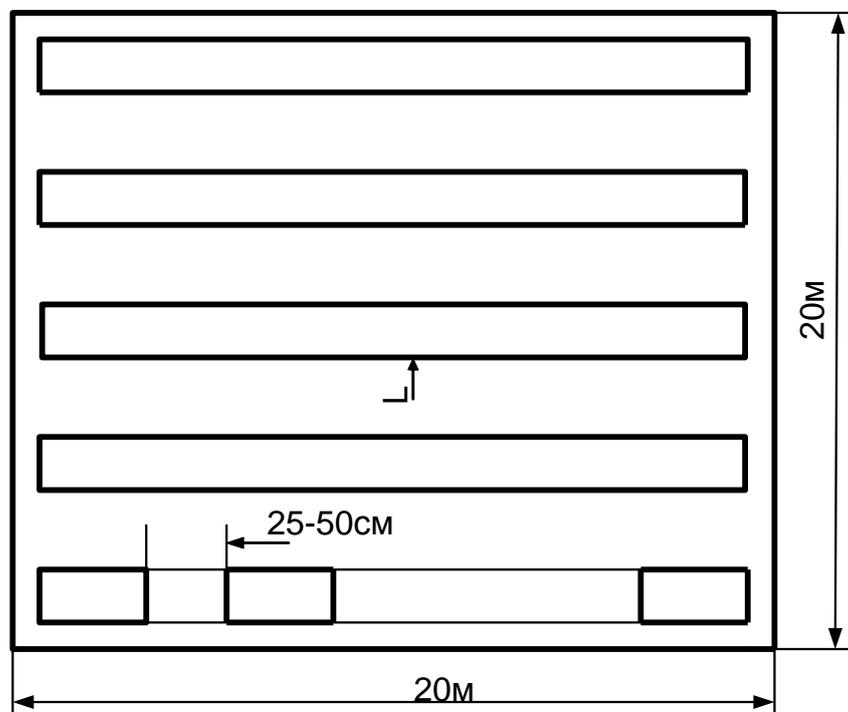


Рис.9. 2 - План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами  
Коэффициент  $k$  в помещениях с малым выделением пыли равен 1,5.

Тогда:

$$E = \frac{8400 \cdot 60 \cdot 0,37}{1,5 \cdot 400 \cdot 0,9} = 345,3 \text{ Лк.}$$

### 9.3 Экологическая безопасность

В связи с тем, что работа компрессорной станции связана с выделением значительного количества газообразных веществ, она оказывает большее влияние на атмосферу по сравнению с воздействием на гидросферу и почву., Для снижения техногенного воздействия объекта предлагается ряд мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу).

Перевод газоперекачивающих агрегатов на воздушный пуск, например, позволяет уменьшить потери газа на 1,5-2,0 %.

Одним из методов уменьшения потерь газа является утилизация вторичных энергоресурсов, которые используются для теплоснабжения самой компрессорной станции и внешних потребителей: жилых поселков и теплично-овощных комбинатов. Тепло выхлопных газов газоперекачивающих аппаратов может применяться для подогрева воды или генерации пара. В этом случае содержание вредных веществ снижают методом каталитического восстановления газами-восстановителями. Возможно использование вторичных энергоресурсов компрессорной станции для подогрева воды в бассейнах и прудах рыбоводных хозяйств.

На КС «Проскоково» собираются все виды отходов производства и потребления.

Основная масса отхода приходится на лом черных металлов несортированный, и мусор от бытовых помещений.

Места утилизации отходов производства, приняты:

- твёрдые бытовые отходы и осадок нейтрализации электролита размещаются на Юргинском МУП «Благоустройство»;
- лампы люминесцентные отработанные, отработанные аккумуляторы, лом и отходы чёрных металлов - сдаются на полигон ЗАО «ДОРТ»;
- электролит аккумуляторный после слива нейтрализуется на месте;
- текстиль загрязненный и автошины отработанные, сдаются на полигон ОАО «Полигон»;
- отработанные масла - используются на собственные нужды;
- шлам, содержащий конденсат газа, и нефтешлам, от зачистки емкостей при хранении нефтепродуктов, размещается на полигоне ОАО «Полигон».

На предприятии организованы централизованные места для сбора и временного хранения отходов, откуда они по мере накопления передаются на переработку предприятиям соответствующего профиля или для размещения на специализированных объектах общегородского значения.

Твердые бытовые отходы временно хранятся в специальных металлических контейнерах, расположенных возле основных участков и обеспеченных подъездными путями.

Люминесцентные лампы в заводской упаковке хранятся на территории предприятия и на специально оборудованном складе.

Отработанные моторные масла хранятся в специальной герметичной емкости, расположенной на территории предприятия.

Лом и отходы черного металла хранятся на специальной бетонированной площадке, обеспеченной подъездными путями.

Отработанные аккумуляторы складываются в металлические контейнеры на специальной площадке, обеспеченной подъездными путями.

Отход электролита серной кислоты сливается в специальную герметичную емкость, затем нейтрализуется.

Для отработанных автошин предусмотрена бетонированная площадка, обеспеченная подъездными путями.

Текстиль загрязненный хранится в металлическом контейнере, расположенном на территории предприятия. подъездными путями.

Шламы от мойки автотранспорта и нефтешламы от зачистки резервуаров для хранения нефтепродуктов хранятся в специальных емкостях, расположенных на территории промплощадки

Мероприятия по охране природы регламентируются ГОСТ 17.0.001-86 (Основные положения) [28], ГОСТ 17.2.1.01-86 (Атмосфера) [29] и ГОСТ 17.11.02-86 (Гидросфера) [30].

#### **9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Основной причиной возникновения пожаров на предприятиях является нарушение технологического режима. Это может быть связано с большим разнообразием и сложностью технологических процессов. Основы

противопожарной защиты определяются Федеральным законом от 22.07.2008 № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"[26].

Ответственность за соблюдение необходимого противопожарного режима и своевременное выполнение противопожарных мероприятий возлагается на руководителя предприятия и начальника цеха.

Согласно НПБ 105- 03 в зависимости от характеристики вращающихся в производстве веществ и их количества, по взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 — В4, Г и Д.

Средства пожаротушения подразделяются на первичные, стационарные и передвижные) пожарные автомобили.

В помещении компрессорной станции располагается пожарный инвентарь (согласно ВППБ 01-02-95 РД 153-34.03.301-00[27]) в который входят первичные средства пожаротушения:

- углекислотные огнетушители ОУ-2 (2шт.);
- пенный огнетушитель (2 шт.);
- ящик с песком;
- ведра;
- лопаты и багор.

В компрессорном цехе используются стационарные установки пожаротушения.

Для локализации небольших очагов возгораний обслуживающий персонал до прибытия передвижных средств пожаротушения должен использовать первичные средства пожаротушения, расположенных на пожарных щитах.

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или

окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. Стихийные бедствия - явления природы, возникающие, как правило, внезапно. Они носят чрезвычайный характер и приводят к нарушению нормальной жизни, иногда гибели людей и уничтожению материальных ценностей. К стихийным бедствиям обычно относят: землетрясения, наводнения, оползни, снежные заносы.

Большинство из перечисленных чрезвычайных ситуаций могут случиться на рассматриваемом предприятии. Для повышения устойчивости к ним предусмотрены различные меры:

Для обеспечения бесперебойной работы в случае ЧС предусмотрено питание от двух источников электроэнергии, удаленных на такое расстояние, чтобы исключить возможность разрушения их в военное время одним ядерным ударом, а в мирное время – стихийным бедствием или аварией, а также имеются резервные источники питания.

В целях снижения опасности взрыва применяют вентиляционные установки, автоматическая сигнализация, систематически контролируется температура узлов электрооборудования. На каждом этаже предприятия установлена радиоточка для оповещения людей о пожаре или другой ЧС.

Для снижения вероятности пожара предусмотрена автоматическая пожарная сигнализация. На случай возникновения пожара предусмотрены первичные средства пожаротушения.

Ликвидация последствий стихийных бедствий организуется, как правило, под руководством специально создаваемых чрезвычайных комиссий. Для непосредственного осуществления мероприятий гражданской обороны (ГО) и проведения спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ на всех объектах формируются службы ГО.

На сводные отряды, помимо спасения людей, возлагаются неотложные аварийно-восстановительные работы, тушение пожаров, обеззараживание участков местности, транспорта, техники.

Важным условием быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является соблюдение общественного порядка. Персонал, находящийся на территории предприятия должен проявлять высокую дисциплину, организованность, спокойствие, не поддаваться панике.

### **9.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ**

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ в электроустановках, является:

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

#### **Ответственными за безопасность работ являются:**

- а) лицо, выдающее наряд, отдающее распоряжение, утверждающий перечень работ выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- б) допускающий - ответственное лицо из оперативного персонала;
- в) ответственный руководитель работ (далее ответственный руководитель);
- г) производитель работ;
- д) наблюдающий;
- е) члены бригады.

#### **Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения**

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;
- установлено заземление (включены заземляющие ножи, а там где они отсутствуют, установлены переносные заземления);
- вывешены указательные плакаты «Заземлено», ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

### **Правовые вопросы обеспечения безопасности**

Существует Приказ Минздравсоцразвития России № 46н от 16 февраля 2009 г. «Об утверждении Перечня производств, профессий и должностей, работа в которых дает право на бесплатное получение лечебно-профилактического питания в связи с особо вредными условиями труда, рационов лечебно-профилактического питания, норм бесплатной выдачи витаминных препаратов и Правил бесплатной выдачи лечебно-профилактического питания». Некоторые должности, работа на которых является вредной, указываются и в трудовых договорах конкретных предприятий.

Согласно статье 57 ТК РФ в случае, если характер работы предусматривает наличие вредных или опасных условий труда, то в трудовом договоре обязательно должны быть указаны следующие сведения: специальности с указанием квалификации; конкретный вид поручаемой работы. При этом если с выполнением работ связано предоставление

компенсаций и льгот или наличие ограничений, то их наименования должны соответствовать наименованиям, указанным в квалификационных справочниках.

– режим рабочего времени, если он отличается от общих правил, установленных у данного работодателя;

– условия оплаты труда, доплаты и надбавки за опасные условия труда с указанием их характеристик.

### **Льготы для работников, занятых на вредном производстве**

Статья 117 ТК РФ предусматривает право на ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск для работников, которые заняты на работах, связанных с неблагоприятным воздействием на здоровье человека вредных физических, и других факторов при работе на подстанции «Бакчар»

Минимальная продолжительность такого отпуска должна составлять семь календарных дней. Его конкретная продолжительность в зависимости от класса условий труда должна определяться соответствующими инструкциями указанными в трудовом договоре.

Дополнительный отпуск предоставляется работникам, если они в рабочем году фактически проработали во вредных и опасных условиях труда не менее 11 месяцев. Дополнительный отпуск можно совместить с поездкой в санаторий при заключении врача.

Если работник имеет право на получение дополнительного отпуска в связи с вредными условиями труда по нескольким основаниям, отпуск предоставляется по одному из этих оснований. Также работнику предоставляется бесплатный проезд по Российской Федерации один раз в 2 года с одним членом семьи, и половина стоимости ребенку.

### **Оплата труда работникам с вредными условиями труда**

Статья 147 ТК РФ устанавливает, что оплата труда работников, занятых на работах с вредными и опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере по сравнению с тарифными ставками, установленными для различных видов работ с нормальными

условиями труда, но не ниже размеров, установленных трудовым законодательством.

Постановлением Правительства РФ № 870 определен минимальный размер такого повышения – не менее 4% тарифной ставки (оклада) по сравнению с нормальными условиями труда. Более конкретные нормы устанавливаются ведомственными нормативными актами, отраслевыми соглашениями, коллективными и трудовыми договорами.

Кроме того, среди льгот – регулярные медицинские осмотры, которые являются обязательными и периодическими.

Для занятых на компрессорной станции законодательством предусмотрены и ежедневные осмотры, которые должны проводиться и в начале рабочего дня. К ним относятся: работы на высоте, верхолазные работы, работы связанные с применением легковоспламеняющихся материалов.

Правила обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты утверждены Приказом Минздравсоцразвития РФ от 01.06.2009 № 290н. Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты, смывающими и обезвреживающими средствами предусмотрено статьей 212 ТК РФ, согласно которой эти средства должны быть предоставлены работодателем за его счет, а перед этим пройти обязательную сертификацию или декларирование соответствия.

Средства индивидуальной защиты выдаются по результатам аттестации рабочих мест по условиям труда. Этим же приказом установлены нормы и условия выдачи молока – 0,5 л за смену независимо от ее продолжительности. По желанию работника выдача молока и других равноценных продуктов может быть заменена компенсационной выплатой.

## **Заключение**

В результате проделанной модернизации газокompрессорной станции «Просоково», которая присоединена к подстанции «Просоковская» федеральной сетевой компании единой энергетической системы, а именно замены синхронных двигателей, которые использовались там очень давно на новые асинхронные двигатели и установкой компенсирующих устройств на подстанции «Просоковская» на напряжении 110 кВ удалось стабилизировать напряжение в узлах сети. Напряжение было выровнено помимо батарей статических конденсаторов с помощью РПН, в местах где это было возможно.

Пуск асинхронных двигателей осуществляется через преобразователь частоты ПЧТ 10 8000 3 Ж 01, что позволяет регулировать скорость вращения асинхронного двигателя, тем самым оптимизирует процесс транспортировки газа.

В разделе финансового менеджмента данной работы было проведено сравнение двух вариантов модернизации с заменой масляных выключателей на элегазовые. Эффективным вариантом оказалось установка элегазовых выключателей, по нескольким параметрам: 1) элегаз является лучшей средой для гашения электрической дуги, чем масло. 2) меньшее количество расходуемой энергии. 3) срок службы 50 лет.

Принятые технологические решения в проекте модернизации КС «Просоково» ориентированы на существенное повышение уровня надежности объекта. Уменьшающих физическое и психоэмоциональное напряжение работников, обеспечивающих возможность оптимального режима труда и отдыха, а также возможность уменьшения числа работников, находящихся в контакте с вредными производственными факторами, или уменьшения времени таких контактов.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: Учеб.пособие – Томск: Изд-во ТПУ 2006.
2. Мельников М.А. Внутрицеховое электроснабжение: Учеб.пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002.
3. Гаврилин А.И., Обухов С.Г., Озга А.И., Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания к выполнению выпускной работы бакалавра, Томск, ТПУ, 2001.
4. Барченко Т.Н., Закиров Р.И., Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие к курсовому проекту, Томск, ТПИ, 1988.
5. Климова Г.Н. Специальные вопросы электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие/ Г.Н. Климова, А.В. Кабышев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
6. Справочник по проектированию электроэнергетических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.:Изд-во НЦ ЭНАС, 2005.
7. Крючков И.П. и др. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учеб. пособ. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978.
8. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учеб.пособ. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
9. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: Учеб.пособ. – ФОРУМ:ИНФРА-М, 2006.
10. Молниезащита электроустановок систем электроснабжения: учебное пособие /А.В. Кабышев. - Томск: Изд-во ТПУ, 2006

11. Мельников М.А. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2004. - 178 с.
12. Копьев В.Н. Релейная защита основного электрооборудования электростанций и подстанций. Вопросы проектирования: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – Томск: Изд. ЭЛТИ ТПУ, 2005. - 107 с.
13. Борисова Л.М., Гершанович Е.А. Экономика энергетики: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2006.
14. ГОСТ 12.1.038-82 (2001) ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
15. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
16. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок ПОТ Р М-016-2001; РД 153-34.0-03.150-00 – М.: Омега - Л, 2007. – 152 с.
17. ГОСТ 12.1.005-88 (2001) ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
18. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
19. СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция, кондиционирование.
20. ГОСТ 12.1.012 – 90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

21. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
22. ГОСТ 12.1.003-83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
23. ГОСТ 12.1.002-84 (1999) ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.
24. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
25. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2001.
26. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности
27. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. РД 153- 34.0-03.301-00. ВППБ 01-02-95.
28. ГОСТ 17.0.001-86 Охране окружающей среды. Основные положения.
29. ГОСТ 17.2.1.01-86 Атмосфера.
30. ГОСТ 17.11.02-86 Гидросфера.
31. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

