

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Общая теория электромеханического преобразования энергии
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Энергосберегающие технологии для электромеханического
оборудования цеха производства сульфат-нитрата аммония
ПАО «КуйбышевАзот»»

Студент	<u>С.С. Чистяков</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Научный руководитель	<u>В.В. Ермаков</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

Руководитель программы к.т.н., профессор В.В. Ермаков _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)
« ____ » _____ 2018 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)
« ____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

Оглавление

Введение.....	3
1 Краткое описание установки получения сульфат – нитрата аммония	7
1.1 Химическая установка.....	7
1.2 Система электроснабжения.....	13
1.3 Выводы по главе 1.....	33
2 Обзор и анализ современных энергосберегающих технологий.....	35
2.1 Энергосбережение в химической промышленности.....	35
2.2 Энергосбережение в электроснабжении.....	40
2.3 Выбор мероприятий по энергосбережению	47
2.4 Выводы по главе 2.....	48
3 Разработка мероприятий по внедрению энергосберегающих технологий	50
3.1 Расчет и выбор компенсации реактивной мощности.....	50
3.2 Расчет и выбор частотных преобразователей	63
3.3 Расчет и выбор энергоэффективного технологического оборудования	69
3.5 Анализ распределения нагрузки по фазам	73
3.6 Разработка современной системы учёта расхода электроэнергии	74
3.7 Выводы по главе 3.....	75
Заключение	77
Список используемых источников.....	79

Введение

Одним из способов снижения затрат на производстве является применение энергосберегающих технологий как на основном производстве, так и на вспомогательных производствах.

В современном мире развитие энергосберегающих технологий является приоритетной задачей, как на государственном уровне, так и на различных предприятиях. Причина этого связана со многими причинами. Основными являются необходимость экономии полезных ископаемых, повышение стоимости производства энергоресурсов, возрастающие мировые экологические проблемы [1].

Необходимость экономии энергии в глобальном масштабе было провозглашено на Международной энергетической конференции (МИРЭК) ООН ещё в 1972 году. Одним из важнейших Международных документов в настоящее время является Международная Энергетическая Хартия, принятая 20 мая 2015 года в Гааге, на Министерской Конференции по международной энергетической хартии [2].

Экологическими проблемами, решению которых могут существенно помочь энергосберегающие технологии, являются истощение природных ископаемых, глобальное изменение климата (глобальное потепление как его частный случай), загрязнение атмосферы (выбросами предприятий, в том числе занимающихся производством энергии, отработавшими газами автомобилей и т.д.)

Главным инструментом в сфере экономии энергии принято использование инновационных решений, позволяющих не меняя привычный уклад жизни, внедрить энергосберегающие технологии в повседневную жизнь.

Исследования, проведенные в энергетической сфере, показали, что наибольшие необязательные потери энергии (до 90%) происходят на этапе энергопотребления, и лишь 10% приходится на передачу энергии [3]. Таким

образом, в большинстве случаев энергосбережение сводится к снижению бесполезных потерь и сконцентрировано в сфере потребления.

Повышение эффективности использования энергии ассоциируются с современными энергосберегающими технологиями, под которыми понимается любая технология или процесс с более высоким коэффициентом полезного использования (КПИ) топливно энергетических ресурсов (ТЭР).

Примерами современных технологий, дающих ощутимый энергосберегающий эффект могут служить частотно-регулируемые электропривода (ЭП), внедрение теплообменников, использование в котельных процессов когенерации и тригенерации, альтернативные источники энергии (солнечные электростанции, химические генераторы, ветрогенераторы) и другие.

В условиях промышленного производства большое количество потерь энергии приходится на недогруженные механизмы – станки, конвейеры, вентиляторы, насосы и т.д. Здесь актуально применение конденсаторных установок и частотных ЭП. Например, частотный ЭП с функцией оптимизации энергопотребления в зависимости от нагрузки, позволяет снизить энергозатраты на 30-50%.

Актуальность работы.

Количество электроэнергии, затраченной на производство единицы продукции, называется энергоёмкостью. У химических производств этот показатель один из самых больших среди всех отраслей народного хозяйства. Поэтому внедрение энергосберегающих технологий в химическое производство в целом, и в цех получения сульфат-нитрата аммония в частности, является актуальной задачей.

Цель работы.

Целью данной работы является разработка энергосберегающих мероприятий в цех получения сульфат-нитрата аммония на ПАО «КуйбышевАзот». В том числе разработать мероприятия:

- по экономии потерь активной энергии в питающих линиях;

- по энергопотреблению электродвигателей с непрерывным режимом работы;

- связанные с энергосберегающим освещением;

- по равномерному распределению нагрузки по фазам.

Задачи исследования:

- разработать энергосберегающие мероприятия в цехе получения сульфат-нитрата аммония;

- оценить эффективность внедрения энергосберегающих мероприятий.

Практическая значимость.

Разработанные мероприятия направлены на снижение расхода электроэнергии производственных цехом, а значит обладают определенной практической значимостью.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Энергосберегающие мероприятия в цехе получения сульфат-нитрата аммония.

Новизна магистерской диссертации

1. Новизна работы заключается в разработке энергосберегающих технологий на стадии проектирования нового производственного цеха.

Основные материалы диссертации докладывались на международной научно-практической конференции «Современные технологии в мировом научном пространстве», проходившей 25 августа 2017 года в г. Перми на V Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии», проходившей 1-2 ноября 2017 года в г. Тольятти.

По теме диссертации опубликовано 2 научные статьи [19, 20].

1. Северин А.А., Чистяков С.С. «Причины повышенного расхода электроэнергии на предприятиях и их решения». Сборник статей международной научно-практической конференции «Современные технологии в мировом научном пространстве». 25 августа 2017 года г. Пермь. – В 6 ч. Ч.3 / Уфа: Аэтерна, 2017.- с. 202-204

2. Северин А.А., Чистяков С.С. «Энергосберегающие мероприятия на химическом производстве». Сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии». 1-2 ноября 2017 года г. Тольятти. – Тольятти : Изд-во ТГУ.- 2017.- 1 оптический диск, с. 315-322

3. Чистяков С.С. Энергосбережение при эксплуатации электродвигателей и электроприводов. Сборник статей Международной научно-практической конференции Проблемы современных интеграционных процессов и пути их решения: Вогоград, 5 апреля 2018 года : сборник статей в 2 частях. Часть 2/ - Уфа: Аэтерна, 2017 г. – 190 с

Структура и объём работы.

Структура: введение, 3 раздела, заключение, список использованной литературы, включающий 34 наименования.

Объем: 80 страниц машинописного текста.

1 Краткое описание установки получения сульфат – нитрата аммония

1.1 Химическая установка

Производственная программа определяет содержание и план деятельности проектируемого объекта по производству сульфат-нитрата аммония (СНА) строительство которого предусматривается на территории ОАО «КуйбышевАзот», г. Тольятти и выдаче его потребителям.

«Установка получения сульфат-нитрата аммония» и с учетом технических решений по производству СНА (базового проекта), разработанных холдингом «GFI holdingPte.Ltd», Сингапур.

Таким образом, в объеме производства предусматривается монтаж одной технологической нитки мощностью 366,67 тыс.т/год (1100 т/сутки) гранул сульфат-нитрата аммония или 150 тыс.т/год (450 т/сутки) гранул аммиачной селитры.

Работа основного производства непрерывная - 8000 часов в год.

Готовой продукцией проектируемого производства являются:

- сульфат-нитрат аммония, соответствующий по качеству «Спецификации на материал: на сульфонитрат аммония» фирмы CFH;

- аммиачная селитра (нитрат аммония), соответствующая по качеству «Спецификации на материал: на нитрат аммония» фирмы CFH (аналог марки Б, высший сорт по ГОСТ 2-2013);

Физико-химические свойства аммиачной селитры (нитрат аммония):

- молекулярный вес – 80,04;
- плотность при 25 °С, т/м³ – 1,725;
- насыпная плотность, т/м³ (при 20 °С) – 0,826^{+1,164};
- температура плавления, °С –169,6;
- температура кипения, °С – 238;
- температура начала разложения, °С – 210;
- температура самовоспламенения, °С –350;

- нижний концентрационный предел распространения
пламени, г/м³–175;
- теплота плавления, кДж/кг – 73,21;
- теплопроводность при 20 °С, Вт/м·К –0,419;
- гигроскопическая точка (равновесная относительная влажность),
при 20 °С, % – 66,9;
- температура продукта не более, °С –35;
- растворимость в воде при 20 °С, кг/кг воды – 1,9.

Отрицательным свойством аммиачной селитры является ее способность слеживаться - терять сыпучесть и превращаться в монолитную массу. Для уменьшения влияния гигроскопичности аммиачной селитры на ее слеживаемость наиболее эффективной мерой является упаковка в герметичную тару - влагопрочные мешки

По степени воздействия на организм человека относится к умеренно-опасным веществам (3-й класс опасности по ГОСТ 12.1.007). Предельно-допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны - 10 мг/м³.

Технологический процесс включает следующие основные стадии:

- по отделению синтеза (установка 01):
- испарение и подогрев аммиака;
- синтез раствора нитрата аммония (нейтрализация газообразным аммиаком азотной кислоты в реакторе, при давлении 0,37 МПа (3,7 бар) и температуре до 180 °С);
- концентрирование раствора нитрата аммония до 97,5 % масс, в вертикальном испарителе пленочного типа в вакууме 0,032 МПа (0,32 бар) абс.;
- получение пульпы СНА путем смешивания плава АС с мелкокристаллическим сульфатом аммония;
- охлаждение технологического (сокового) пара, сбор технологического конденсата (конденсата сокового пара);

- очистка технологического конденсата на 4-х ступенчатой выпарной установке с получением раствора АС концентрацией 30% масс, и очищенного конденсата с максимальным содержанием нитрата аммония 50 ppm;
- по отделению гранулирования СНА/АС (установка 02):
- гранулирование и осушка продукта в грануляторе-осушителе барабанного типа;
- сортировка продукта на ситах (грохочение), охлаждение продукта воздухом в холодильнике барабанного типа;
- охлаждение воздуха, используемого для охлаждений гранул в теплое время года, происходит за счет испарения жидкого аммиака;
- финальная обработка продукта в барабане - нанесение антислеживающих добавок;
- выдача готового продукта на склад (корп. 915, 915Б);
- очистка запыленного технологического воздуха;
- подготовка, измельчение сульфата аммония;
- испарение жидкого аммиака в системе кондиционирования воздуха и дополнительно к основному узлу испарения и подогрева аммиака;
- узел получения горячего воздуха с давлением 5-45 мм вод. ст. и температурой 120-160 °С для подачи в воздуховоды основного производства.

Для обеспечения работы вновь проектируемого производства предусматриваются объекты вспомогательного назначения в составе следующих сооружений:

- узел получения насыщенного пара давлением 0,7 МПа (7 бар), температурой 170 °С (РОУ) и сбора парового конденсата;
- узел получения горячего воздуха сжатого с давлением 0,7 МПа (7 бар) и температурой 160 °С для распыления пульпы в грануляторе-осушителе, а также воздуха сжатого технологического и воздуха КИПиА с давлением 0,7 МПа (7 бар) и температурой до 40 °С;
- узел сбора сточных вод.

Для обеспечения безопасности процесса на всех стадиях производства СНА (АС) предусматриваются защитные блокировки, исключающие развитие аварийных ситуаций.

В таблицу 1 сведены данные об электромеханическом оборудовании, применяемом в проектируемом цехе.

Таблица 1- Электромеханическое оборудование проектируемого цеха

Наименование	Кол-во	Электрическая характеристика	Суммарная потребляемая мощность, кВт
1	2	3	4
Мешалка первого и второго резервуара перемешивания	2	Электродвигатель $N_{\text{потр}}=9,0$ кВт Напряжение - 380 В Частота вращения- 1460 об/мин Частота тока - 50 Гц	18
Насос нейтрализатора тип ХМ 10/60 К55А-7,5/2	2 (1 раб)	Электродвигатель $N=5,5$ кВт, $n=3000$ об/мин. Напряжение - 380 В. Частота вращения - 1500 об/мин. Частота тока - 50 Гц	5,5
Насос резервуара перемешивания ХГН035.60-50-1-Е-СД	2 (1 раб)	Электродвигатель, $N_{\text{потр}} = 39,4$ кВт, Напряжение - 380 В. Частота тока - 50 Гц	39,4
Насос конденсата Тип ХМ 20/30 К55А-5,5/2	2 (1 раб)	Электродвигатель, $N= 4,1$ кВт, $n= 3000$ об/мин. Напряжение - 380 В. Частота тока - 50 Гц	4,1

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Насос технологического конденсата ХМ 2/15 K55A-0.55/4	2 (1 раб)	Электродвигатель, N=1,5 кВт, n=2900 об/мин Напряжение - 380 В Частота вращения - 1400 об/мин Частота тока - 50 Гц	1,5
Насос очищенного конденсата ХМ 10/20 K5-1,5/2	2 (1 раб)	Электродвигатель, N= 1,1 кВт, n=3000 об/мин. Напряжение - 380 В. Частота тока - 50 Гц	1,1
Насос упариваемого раствора первой, второй, третьей, четвертой камер NZ-7,4-37-1,5	8 (4 раб)	Электродвигатель N _{потр} = 0,85 кВт, Напряжение - 380 В Частота тока - 50 Гц	3,4
Насос оборотной воды АХП 50-32-200К-2,5а-55	2	Электродвигатель, N _{потр} = 3,8 кВт, n=3000 об/мин. Напряжение - 380 В Частота тока - 50 Гц	7,6
Дозаторы наполнителей	3	электродвигатель, N _{потр} =2,2 кВт. Напряжение - 380 В Частота тока - 50 Гц	6,6
Система пневмотранспорта	1	Электродвигатель, N _{потр} =2,6 кВт. Напряжение - 380 В Частота тока - 50 Гц Вентилятор: электродвигатель: N _{потр} = 158 кВт, Напряжение - 380 В Частота тока - 50 Гц	160,6

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Воздуходувка гранулятора- осушителя	1	Электродвигатель, $N_{\text{потр}} = 18$ кВт. Напряжение - 380 В Частота тока - 50 Гц	18
Вытяжной вентилятор холодильника	1	Электродвигатель, $N_{\text{потр}} = 59$ кВт. Напряжение - 380 В Частота тока - 50 Гц	59
Вытяжной вентилятор скруббера	1	Электродвигатель $N_{\text{потр}} = 274,1$ кВт. Напряжение - 6000 В Частота тока - 50 Гц	274,1
Вытяжной вентилятор гранулятора - осушителя	1	Электродвигатель $N_{\text{потр}} = 54$ кВт. Напряжение - 380 В Частота тока - 50 Гц	54
Вытяжной вентилятор пылевых циклонов	1	Электродвигатель $N_{\text{потр}} = 33$ кВт. Напряжение - 380 В. Частота тока - 50 об/мин	33
Гранулятор - осушитель	1	Электродвигатель $N_{\text{потр}} = 322,7$ кВт. Напряжение - 6000 В Частота вращения - 1488 об/мин Электродвигатель (периодического действия), привод отбора мощности $N_{\text{потр}}$ $= 33,67$ кВт, Напряжение - 380 В Частота вращения - 1480 об/мин Частота тока - 50 Гц	356,3

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Барaban холодильника	1	Электродвигатель $N_{\text{потр}} = 145,45$ кВт. Напряжение - 380 В. Частота вращения - 1483 об/мин Частота тока - 50 Гц	145,5
Барaban для нанесения покрытия	1	Электродвигатель, $N_{\text{потр}} = 18$ кВт. Напряжение - 380 В Частота вращения - 1470 об/мин Частота тока - 50 Гц	
Загрузочный элеватор грохота	1	Электродвигатель $N_{\text{потр}} = 27$ кВт. Напряжение - 380 В. Частота тока - 50 Гц	27
Конвейеры	9	Электродвигатели $N_{\text{потр}} = 1,5$ кВт Напряжение - 380 В. Частота тока - 50 Гц.	13,5
Насос скруббера ХМ 70/55 К55А- 22/2	1	Электродвигатель $N_{\text{потр}} = 20$ кВт, $n = 3000$ об/мин. Напряжение - 380 В. Частота тока - 50 Гц	20
Дробилка сульфата аммония	1	Электродвигатель: питателя $N_{\text{потр}} = 1,8$ кВт, дробилки $N_{\text{потр}} = 150$ кВт, экстракции мешочного фильтра $N_{\text{потр}} = 4,2$ кВт, Частота тока - 50 Гц	163

1.2 Система электроснабжения

Характеристика источников электроснабжения.

В составе производства сульфат-нитрат аммония (СНА) предусматривается сооружение комплектной двухтрансформаторной подстанции 2КТП-2500С/6/0,4-УЗ.

На подстанции предусматривается секционированное РУ-6кВ с вводами от двух независимых источников питания по Техническим условиям №0050/867 от 16.09.2014г (действующая подстанция ГПП-50):

- питание секции №1 РУ-6 кВ осуществляется с секции №1 (ячейка №11) ГПП-50;
- питание секции №2 РУ-6 кВ осуществляется с секции №4 (ячейка №24) ГПП-50.

Ретрофит двух ячеек типа КРУ2-10 на ГПП-50 с использованием вакуумных выключателей типа ВВ/TEL (изготовитель «РК ТАВРИДА ЭЛЕКТРИК»), микропроцессорной защиты типа Seram+1000, счетчиков электроэнергии с телеметрическим выводом типа СЭТ-4М выполняет ПКБ ОАО «КуйбышевАзот».

Обоснование принятой схемы электроснабжения.

Для электроснабжения электроприемников в проекте принята радиальная схема. Согласно нормам технологического проектирования НТП ЭПП п.6.5.6 радиальная схема имеет ряд следующих преимуществ:

- повышенная надежность электроснабжения;
- гибкость сети в отношении расширения.

Скелетная схема электроснабжения показана на рис. 1.

К двум секциям РУ-6кВ подключаются:

- электродвигатели базового проекта, разработанного холдингом «CFI holdingPte. Ltd.»;
- двухтрансформаторная подстанция 2КТП-2500С/6/0,4 -УЗ.

Каждый трансформатор подстанции питается отдельной линией. Принятая однолинейная схема РУ-6 кВ показана на рис. 2. Опросный лист РУ-6кВ показан на рис. 3.

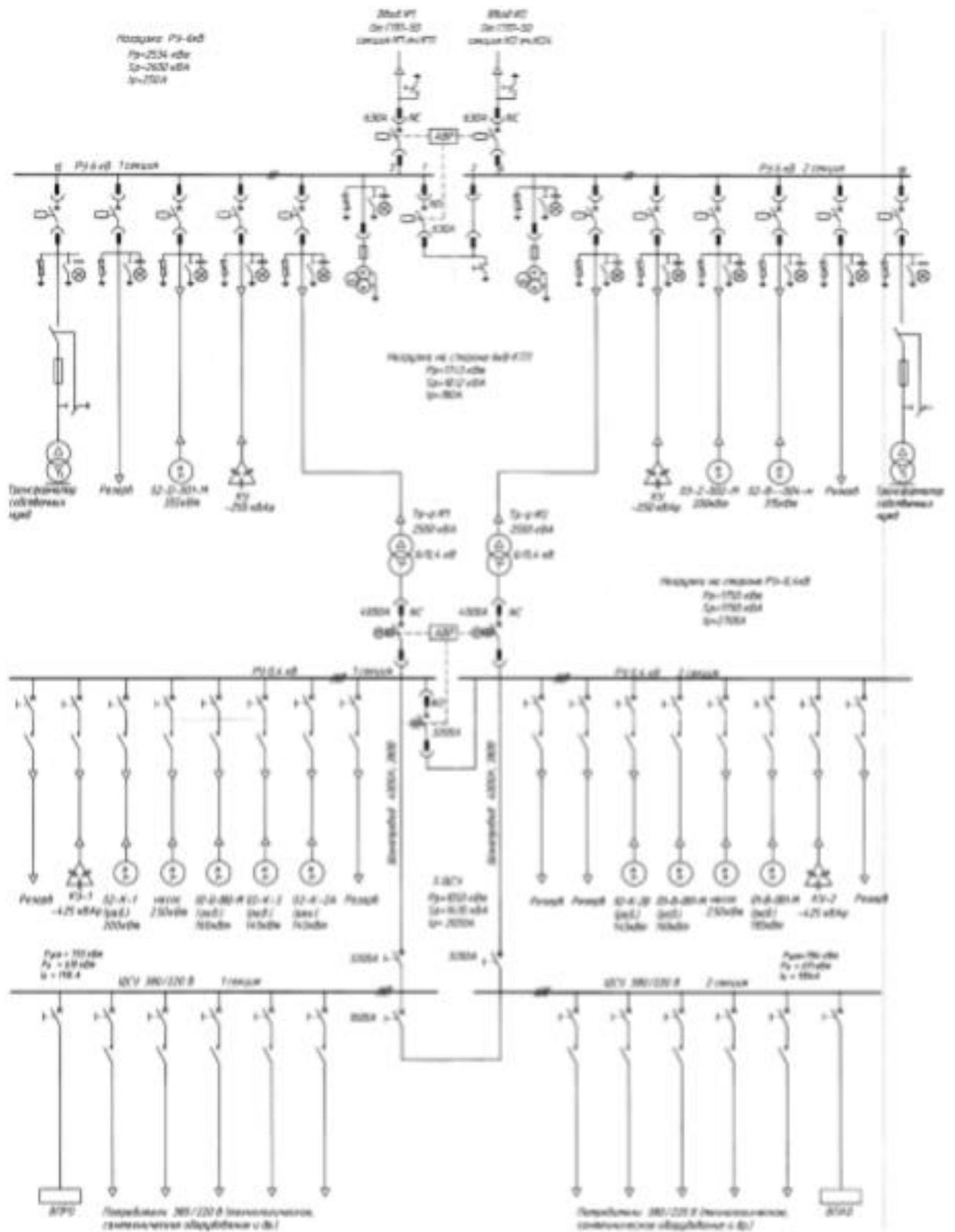


Рисунок 1- Принятая к расчету скелетная схема электроснабжения

каждого трансформатора к своей секции через автоматический выключатель, рассчитанный на выдачу мощности трансформатора с учетом его перегрузочной способности. Секционный автоматический выключатель в нормальном режиме отключен. На сборных шинах предусматривается устройство АВР.

Трансформаторы рассчитаны на питание всей нагрузки в нормальном и послеаварийном режиме, в случае выхода из работы одной линии или трансформатора.

Исходя из противопожарных требований, по способу охлаждения обмоток трансформаторы выбраны сухими.

От РУ-0,4 кВ подстанции (с I и II секций) по двум шинпроводам запитан силовой распределительный щит ЩСУ 0,4 кВ. Щит предназначен для питания силового электрооборудования (электродвигатели технологических механизмов, системы отопления и вентиляции, кондиционирования воздуха) и электроосвещения. Щит выполнен двухсекционным.

Комплектная трансформаторная подстанция размещается в отдельном помещении на первом этаже производственного корпуса 940А.

Сведения о количестве электроприемников, их установленной и расчетной мощности.

Электрическая расчетная мощность и электропотребление определены с учетом технологических нагрузок и режимов работы оборудования по РТМ 36.18.32.4-92 «Руководящий технический материал. Указания по расчету электрических нагрузок».

Выбор силовых трансформаторов.

Исходные данные, с учетом компенсации реактивной мощности на стороне РУ-0,4 кВ: $P_p = 1750$ кВт; $Q_p = 410$ кВАр; $S_p = 1790$ кВА. Расчет и выбор компенсирующих устройств будет выполнен далее в разделе 3.1. Принимаем к установке 2КТП 2500кВА с трансформаторами ТСЗГЛ, тогда коэффициенты загрузки трансформаторов определяются по формулам (1) и (2)

$$K_z(\text{нор}) = S_p / 2S_T = 1790 / 2 \times 2500 = 0,358 \quad (1)$$

$$K_{з(авар)} = S_p/S_T = 1790/2500 = 0,716 < 1,2, \quad (2)$$

где $K_{зн}$ – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме работы;

$K_{зав}$ - коэффициент загрузки трансформаторов в аварийном режиме работы

Потери в трансформаторе ТСЗГЛ 2500 кВА: каталожные данные: $I_{xx}=0,5\%$; $P_{xx}=4,4$ кВт; $P_{кз}=16$ кВт; $U_k=6\%$. Определим активные и реактивные потери по формулам (3, 4)

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + \Delta Q_{кз} * \beta^2 \quad (3)$$

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} * \beta^2 \quad (4)$$

где ΔQ_{xx} – потери холостого хода (5);

$\Delta Q_{кз}$ – потери короткого замыкания (6);

β - коэффициент загрузки (7).

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx} * S_T}{100} \quad (5)$$

$$\Delta Q_{кз} = \frac{U_k * S_T}{100} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{S_p}{S_T} \quad (7)$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{0.5 * 2500}{100} = 12.5 \text{ kVAp}$$

$$\Delta Q_{кз} = \frac{6 * 2500}{100} = 150 \text{ kVAp}$$

$$\beta = \frac{1790}{2500} = 0.716$$

Исходя из полученных данных, потери составили:

$$\Delta Q_T = 12.5 + 150 * 0.716^2 = 90 \text{ kVAp}$$

$$\Delta P_T = 4.4 + 16.4 * 0.716^2 = 12.8 \text{ kVAp}$$

Тогда, согласно расчетов (с учетом потерь в трансформаторах) нагрузка на шинах 6 кВ подстанции составит:

$$P_p = 1763 \text{ кВт}; Q_p = 500 \text{ кVAp}; S_p = 1832 \text{ кВА}.$$

Сведения о количестве электроприемников, их установленной и расчетной мощности см. рис. 1 и табл. 1.

Подсчёт электрических нагрузок и расхода электроэнергии сведен в таблицу 2 «Основные технические показатели».

Таблица 2- Основные технические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Показатель	Примечание
1. Напряжение сетей питания силовых электроприёмников и электрического освещения	В	6000	
	В	380/220	
2. Общая установленная мощность электроприёмников, в том числе: - технологических: а) 6000 В; б) 380/220 В; - сантехнических; - электроосвещения.	кВт	3230	
	кВт	870	
	кВт	1787,108	
	кВт	504,248	
	кВт	68,644	
3. Расчетная максимальная нагрузка электроприёмников, в том числе: - технологических: а) 6000 В; б) 380/220 В; - сантехнических; - электроосвещения.	кВт	2534	
	кВт	784,4	
	кВт	1422,6	
	кВт	247,7	
	кВт	79,292	
4. Годовой расход электроэнергии, в том числе: - технологического оборудования; - сантехнического оборудования; - электроосвещения.	тыс.кВт·ч	19956,8	
	тыс.кВт·ч	17728,0	
	тыс.кВт·ч	1903,8	
	тыс.кВт·ч	325	

По характеристике окружающей среды, согласно ПУЭ: - производственный корпус (корпус 940А) в составе:

- установка 01 (стадия синтеза) - относится к помещениям со взрывоопасной зоной класса В-І6, с категорией и группой взрывоопасной смеси ПА-Т1 (аммиак);

- установка 02 (стадия гранулирования) — относится к помещениям с пожароопасной зоной класса П-1;

- блочная установка воздушной компрессии (корпус 940Б); наружная установка в составе двух ресиверов для технологического воздуха и воздуха КИП (корпус 940Г) по ПУЭ неклассифицируются;

- склад реагентов (корпус 921) в составе;

- склад покрывающего реагента - относится к помещениям с пожароопасной зоной класса П-1;

- склад талька и магнезитовой добавки - относится к помещениям с пожароопасной зоной класса П-Па;

- ЭРП, мехмастерская, помещение для размещения штабелера, вспомогательно-бытовые помещения по ПУЭ не классифицируются;

- конвейерная галерея с башней пересыпки Б-1 — относится к помещениям с пожароопасной зоной класса П-1.

Расчет критериев взрывопожарной и пожарной опасности и определение категории помещений КТП, РУ-6 кВ будет выполнен на стадии рабочего проектирования

Требования к надёжности электроснабжения и качеству электроэнергии.

Согласно ПУЭ п. 1.2.17 по степени надёжности электроснабжения электроприемники относятся:

- к 1-ой категории - электродвигатели компрессоров, насосов жидкого аммиака, воздуходувок, осушителя гранулятора, аварийной вентиляции, средства АСУ ТП (3-й ввод - байпас);

- ко 2-ой категории - электродвигатели конвейеров, насосов, приточных установок и общеобменной вентиляции, грузоподъемного оборудования;

- к 3-ей категории - электродвигатели погружных насосов, бытовые электроприемники, электрическое освещение.

Электроприемники 1-ой категории в нормальных режимах обеспечиваются электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания и перерыв их электроснабжения от одного из источников питания допускается лишь на время автоматического восстановления питания (секционирование шин распределительного щита 0,4кВ КТП через устройство автоматического включения резерва - АВР).

Надежность электроснабжения по 1-ой категории обеспечивается схемой электроснабжения на напряжение 6/0,4 кВ.

Электроприемники 2-ой категории в нормальных режимах обеспечиваются электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. При нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала.

Питание электроприемников 3-ей категории по надежности электроснабжения допускается от одного источника при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают 1 суток (ПУЭ п. 1.2.20).

Установившиеся значения нормального предельного отклонения напряжения $\pm 5\%$ и максимального предельного отклонения напряжения $\pm 10\%$ нормируются согласно ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в сетях общего назначения».

В переходных режимах отклонения напряжения не нормируются, но во всех случаях пуск мощного двигателя не приводит к нарушению работы других электроприемников.

Электроприемники срезкопеременным графиком нагрузки в схеме электроснабжения отсутствуют.

Несимметричные режимы токов и напряжений, связанные с подключением однофазных нагрузок (электрического освещения,

нагревателей), устраняются рассредоточением их равномерно по фазам питающей сети.

Решения но обеспечению электроэнергией электроприемников в соответствии с установленной классификацией в рабочем и аварийных режимах.

Для питания электроприемников принят переменный ток промышленной частоты 50 Гц напряжением ~6000 В, ~380 В и ~220 В. Цепи управления ~220 В.

Для обеспечения электроэнергией электроприемников установки получения сульфат-нитрата аммония предусматривается секционированное РУ-6 кВ с рабочими вводами от двух независимых источников питания (ГПП-50). К двум секциям РУ-6 кВ подключаются электродвигатели вытяжного вентилятора скруббера, осушителя гранулятора, дробилки (электродвигатели базового проекта «CFIholdingPte. Ltd.», а также двухтрансформаторная подстанция 6/0,4 кВ. Трансформаторная подстанция, РУ-6 кВ размещены в корпусе 940А (производственный корпус). Помещение РУ-6 кВ имеет два выхода с противоположных сторон.

От 2КТП-2500/6/0,4 кВ электроэнергия поступает к потребителям с помощью распределительного щита РУ-0,4 кВ,

В рабочем режиме основная электрическая нагрузка обеспечивается от двух линий 6 кВ.

В аварийном режиме, при отключении одной линии 6 кВ питание предусматривается от второй линии 6 кВ с включением АВР на стороне 6 кВ.

В аварийном режиме, при потере напряжения на одной из секций шин РУ, срабатывает АВР на стороне 0,4 кВ и вся нагрузка распределительного щита питается от одной секции шин до устранения аварийного режима.

При нехватке мощности одного трансформатора для электроснабжения всех потребителей данной КТП 6/0,4 кВ могут быть отключены потребители сначала третьей, а также второй категорий надежности электроснабжения до устранения аварийного режима.

Электроснабжение потребителей электроэнергии на напряжение 0,4 кВ предусмотрено от РУ-0,4 кВ КТП и низковольтных комплектных устройств (НКУ) шкафного типа - ЩСУ, установленного в помещении КТП (корпус 940А «Производственный корпус») и ЩР-921, установленного в помещении ЭРП (корпус 921 «Склад реагентов с АБК»).

Панели НКУ укомплектованы пускорегулирующей аппаратурой фирмы «SchneiderElectric»

Щиты ЩСУ. ЩР-921 выполнены двухсекционными с ручным переключением между секциями. В нормальном режиме электроснабжение щитов осуществляется по двум независимым вводам, секционный выключатель разомкнут. В аварийном режиме выполняется ручное секционирование между секциями, электроснабжение щитов осуществляется по одному вводу.

Ввод на ЩСУ осуществляется шинами на каждую секцию от РУ-0,4 кВ, ввод на ЩР-921 осуществляется двумя кабельными вводами с разных секций ЩСУ.

Тип и степень защиты электрооборудования выбраны в соответствии с характеристикой среды, в которой оно устанавливается. Степень пылевлагозащиты не ниже IP44.

Сечения силовых кабелей 6 кВ выбраны по нагреву, по экономической плотности тока и термической устойчивости к токам 3- фазного короткого замыкания.

Силовые кабели 0,4 кВ выбраны по нагреву с проверкой по потере напряжения, термической стойкости и кратности токов однофазного короткого замыкания для надежного и быстрого отключения

Сведения о мощности сетевых и трансформаторных объектов.

Для электроснабжения потребителей 0,4 кВ установки получения сульфат-нитрата аммония принята комплектная двухтрансформаторная промышленная подстанция 2КТП-2500С/6/0,4 -УЗ, состоящая из:

- сухих силовых трансформаторов (двух) с литой изоляцией на напряжение 6/0,4 кВ, мощностью 2500 кВА - ТСЗГЛ-2500/6/0,4;

- УВН (устройство ввода со стороны высшего напряжения) - шкаф 1ПВВ-2Р, в котором установлены выключатель нагрузки и предохранители;

- щита РУНН КТП двухсекционного исполнения с выдвижными автоматическими выключателями на вводных, секционных присоединениях и присоединениях отходящих линий, двухстороннего обслуживания, с выводом кабелей снизу.

Для подключения кабелей в КТП предусматриваются шинные конструкции с учетом количества и сечения кабеля.

В КТП предусмотрены шины - отдельные шины РЕ и N. На подстанции предусматривается следующая автоматика:

- автоматическое включение резервного питания на секционном автомате 0,4 кВ с восстановлением схемы при появлении напряжения на обоих вводах;

- защиту от перегрузки, коротких замыканий и однофазных замыканий на землю. На подстанции предусматривается установка следующих измерительных приборов:

- вольтметров на секциях шин 0,4 кВ;
- амперметров на отходящих линиях 0,4 кВ;
- счетчиков активной и реактивной энергии в цепях силовых трансформаторов.

Со стороны секции силовых трансформаторов предусмотрены выкатные ворота.

План расположения электрооборудования в помещении КТП (см. рис. 4) и РУ-6 кВ (см. рис. 5).

Мероприятия по заземлению и молниезащите.

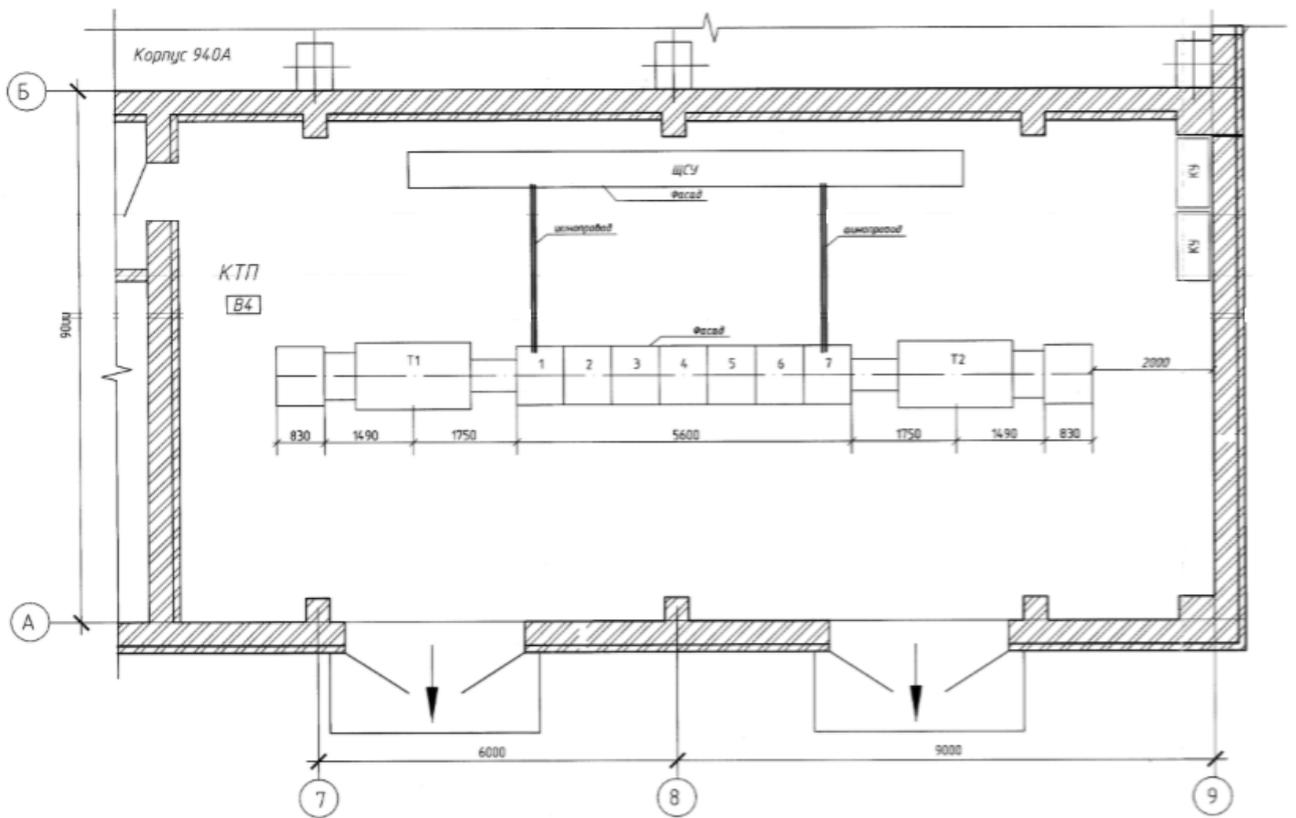


Рисунок 4- План КТП. Расстановка оборудования

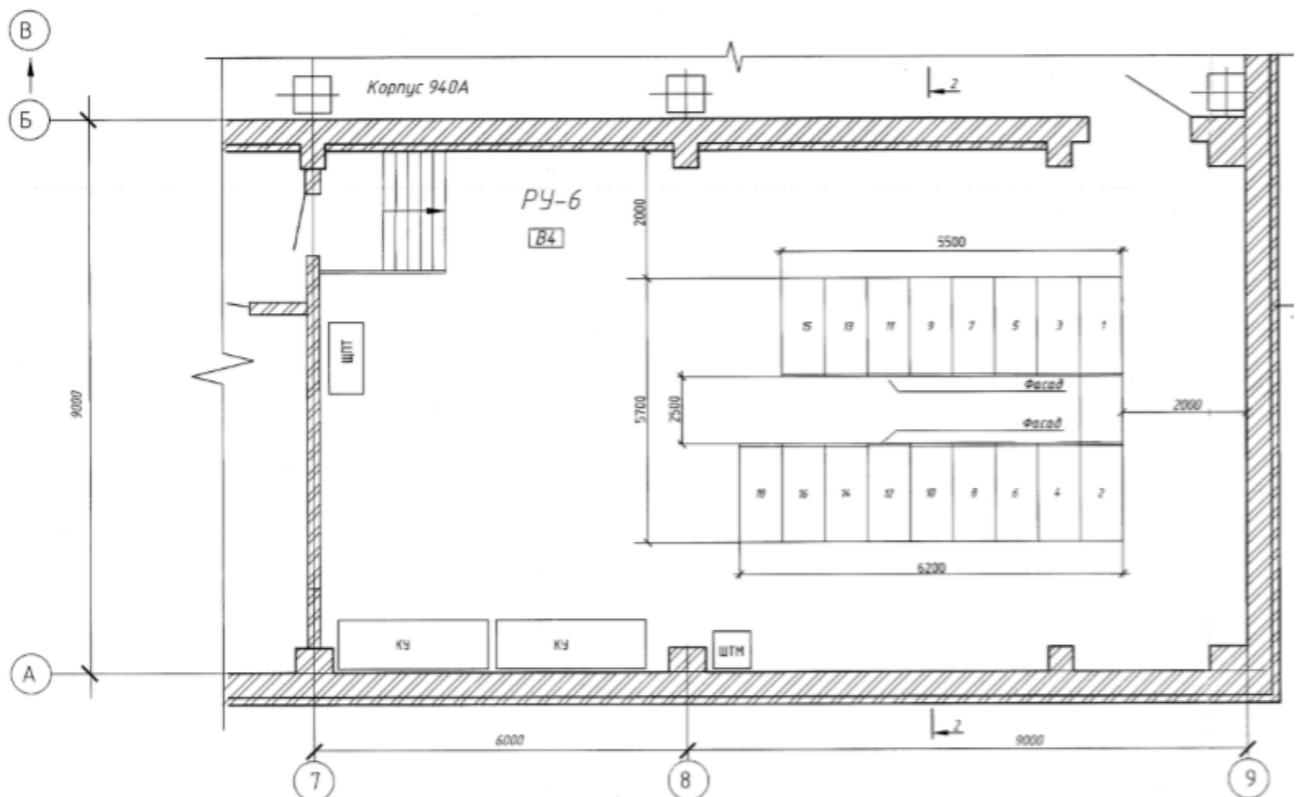


Рисунок 5- План РУ-6 кВ. Расстановка оборудования

Защитное заземление выполнено согласно главе 1-7 ПУЭ, ГОСТ Р50571.10-96.

Система заземления TN-C-S.

Сопротивление заземляющего устройства.

Техническими решениями предусматриваются следующие защитные мероприятия:

- защитное заземление электроустановок;
- защита от прямых ударов молний и вторичных воздействий молнии;
- защита от статического электричества;
- система уравнивания потенциалов;
- защита от заноса высокого потенциала.

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме применяются следующие меры защиты от прямого прикосновения:

- основная изоляция токоведущих частей;
- ограждения оболочки;
- размещение вне зоны досягаемости;
- применение малого напряжения.

Для защиты от поражения электрическим током при повреждении изоляции при косвенном прикосновении применяются следующие меры защиты:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- малое напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей.

С целью защиты людей от поражения электрическим током предусматривается зануление электрооборудования отдельной жилой РЕ питающего кабеля.

Заземляющее устройство является общим для системы уравнивания потенциалов, защитного заземления, молниезащиты.

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ соединяет между собой следующие проводящие части:

- нулевой защитный РЕ проводник;
- металлические трубы коммуникаций, входящих в здание;
- металлические части каркаса здания;
- металлические части централизованных систем вентиляции;
- заземляющее устройство системы молниезащиты.

Соединение указанных проводящих частей между собой выполнено при помощи главных заземляющих шин (ГЗШ), установленных в КТП.

Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все строительные конструкции, металлические корпуса технологического оборудования присоединены к главной заземляющей шине при помощи проводников системы уравнивания потенциалов.

Голые проводники системы уравнивания потенциалов в местах их присоединения к сторонним проводящим частям обозначены желто-зелеными полосами, выполненными краской или клейкой двухцветной лентой.

Для защиты от коррозии сварные швы заземляющих, защитных проводников и проводников системы уравнивания потенциалов покрываются слоем мастики изоляционной битумно-резиновой по слою грунтовки.

Проектом предусматривается выполнение дополнительной системы уравнивания потенциалов в соответствии с п. 1.7.83 ПУЭ. Все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические части строительных конструкций, а также нулевые защитные проводники необходимо соединить между собой.

Для уравнивания потенциалов объединены между собой болтовым или сварным соединением нулевые защитные проводники, заземляющие проводники, присоединенные к заземлителям, металлические конструкции

кабельных эстакад, металлические корпуса и шины РЕ низковольтных комплектных устройств, ГЗШ в единую электрическую цепь.

Защита от статического электричества оборудования и коммуникаций выполняется в соответствии с «Правилами защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности» путем присоединения корпусов оборудования, коммуникаций к внутреннему контуру защитного заземления и заземлителям защиты от прямых ударов.

Защита от заноса высокого потенциала по внешним наземным (надземным) коммуникациям выполнена путём их присоединения на вводе в здание к заземлителю.

Металлические корпуса светильников заземлены отдельной жилой питающего кабеля, согласно требованиям ПУЭ раздел 6, глава 6.1, п.6.1.38.

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в сети 380/220В в некоторых случаях (согласно ПУЭ) применены устройства защитного отключения (УЗО), реагирующие на дифференциальный ток.

Для защитного заземления предусматривается внутренний контур заземления, выполненный полосовой сталью 5х40 мм, 4х40 мм на высоте 0,4 м от пола и наружный контур заземления, выполненный полосовой сталью 5х40 мм на отметке -0,7 м от уровня земли. Контур соединен между собой путем сварки. Отпайки от внутреннего контура защитного заземления к корпусам электрооборудования выполняются полосовой сталью 5х25 мм, 4х25 мм.

Заземлители- вертикальные электроды (круг В18, L=5 м), соединенные путем сварки полосовой сталью 5х40 мм.

В конвейерной галерее с башней пересыпки, в узле погрузки биг-бегов в ж.д. вагоны, в узле фасовки продуктов в биг-беги в качестве контура заземления используются металлические строительные конструкции (фермы, колонны).

Для снижения влияния на измерительные цепи наведенных (индуцированных) помех, проектом предусматривается выполнение

информационного контура заземления системы АСУ ТП, в соответствии с ГОСТ Р 50571.21-2000 и ПУЭ (гл.1.7).

Объединительная шина информационного заземления выполнена из меди сечением 4x20 мм, L=2 м и устанавливается в помещении контроллерной (корпус 921) на стене на 3-х изоляторах SM30 на расстоянии не менее 1 м от контура защитного заземления. Объединительная шина соединяется с контуром контроллерной только на выделенном заземляющем устройстве (заземлителе). Сопротивление информационного контура заземления должно быть не более 3 Ом.

Для проведения замеров сопротивления заземления с заземлителями изолированными защищенными проводниками (бронированный кабель ВБбШв 2x25 мм²) вывести в соединительную коробку на изоляторы SM30 контакты линий Z1-Z4. Контакты заизолировать.

Выделенное заземляющее устройство АСУ ТП (заземлители - круг В18, L=5 м, соединенные между собой полосовой сталью 4x40 мм) должно находиться вне зоны растекания токов короткого замыкания от устройств заземления силовых установок в соответствии с рекомендациями РМ 14-11-95, п.4.3.1.

Молниезащитавновь проектируемых зданий, сооружений и наружных установок, выполнена в соответствии с «Инструкцией по устройству молниезащит зданий и сооружений» РД 34.21.122-87, с учетом требований СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций».

Согласно РД 34.21.122-87 (таблица 1), технологические зоны:

- производственный корпус (940А):
- установка 01 (стадия синтеза) - относится ко II категории молниезащиты (зоны класса В-Іб);
- установка 02 (стадия гранулирования) - относится к III категории молниезащиты(зоны класса П-1);
- склад реагентов (корпус 921):

- склад покрывающего реагента - относится к III категории молниезащиты (зоны класса П-1);

- склад талька и магнезитовой добавки - относится к III категории молниезащиты (зоны класса П-Па);

- конвейерная галерея с башней пересыпки Б-1 - относится к III категории молниезащиты (зоны класса П-1).

Молниезащита производственного корпуса, склада реагентов осуществляется молниеприемной сеткой уложенной на кровле здания.

Для защиты от вторичных проявлений молнии металлические корпуса всего оборудования и аппаратов присоединены к заземлителю молниезащиты.

Сведения о типе, классе проводов и осветительной арматуре.

Проектом предусмотрены следующие марки кабелей с медными жилами:

- для электрической сети 6 кВ - силовые кабели с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридных композиций пониженной пожароопасности ВВГнг(А)-LS;

- для электрических сетей до 1 кВ - силовые кабели с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридных композиций пониженной пожарной опасности ВВГнг(А)-LS, ВВГнг(А), ВВГЭнг(А)-LS, ВВГнг(А)-FRLS (для систем дымоудаления), КГН (кабельные вводы для электродвигателей на виброизоляторах);

- для цепей управления – контрольные кабели с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридного пластиката пониженной пожарной опасности КВВГнг(А), КВВГнг(А)-LS, КВВГнг(А)-FRLS.

Сечение силовых кабелей 6 кВ выбирается по нагреву, по экономической плотности тока и термической устойчивости к токам 3-х фазного короткого замыкания.

Сечения силовых кабелей 0,4 кВ выбираются по нагреву с проверкой по потере напряжения, термической стойкости и кратности токов однофазного короткого замыкания для надежного и быстрого отключения.

После прокладки всех кабелей зазоры между кабелями и трубами при проходе через стены должны быть плотно заделаны легко удаляемым несгораемым материалом. Во взрывоопасных зонах выполняется ввод трубных проводок в машины и аппараты

Прокладка кабелей предусматривается по вновь проектируемым кабельным конструкциям, в трубе.

В качестве металлических кабельных конструкций используются кабельные стойки, полки, лотки из нержавеющей стали (среда нитрата аммония и его производных является чрезвычайно коррозионной, в которой запрещается использовать цветные металлы), во вспомогательно-бытовых помещениях предусматриваются оцинкованные кабельные конструкции.

Взаиморезервируемые кабели прокладываются на разных уровнях кабельных трасс.

Типы светильников выбраны в соответствии с назначением и средой установки.

Для сети электроосвещения используются светильники со светодиодными, энергосберегающими и люминесцентными лампами..

С целью создания необходимой освещенности, а также в соответствии с условиями окружающей среды, освещенность принята согласно Своду правил СП52.13330.2011 «СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение».

В производственных помещениях используются светильники в исполнении по пылевлагозащите не ниже IP54, во вспомогательно-бытовых помещениях используются светильники в исполнении по пылевлагозащите не ниже IP20.

Класс защиты светильников от поражения электрическим током по ГОСТ 12.2.007.0 принят I.

Групповые и питающие сети освещения выполняются кабелями с медными жилами марки ВВГнг(А)-LS, ВВГнг(А) с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридных композиций пониженной пожарной опасности.

Кабели прокладываются по кабельным конструкциям, в кабель-каналах, в трубах.

Система рабочего и аварийного освещения.

В проекте предусматривается внутреннее (рабочее, аварийное и ремонтное) освещение и наружное освещение наружных установок.

Для питания рабочего, аварийного и наружного освещения принят переменный ток промышленной частоты 50 Гц, с напряжением на лампах - 220В. Для ремонтного освещения используется переносной светильник, подключаемый к ящику с понижающим трансформатором ЯТП-0,25-220/12 В и переносные светильники на аккумуляторных батареях.

Светильники аварийного освещения выделены из числа светильников рабочего освещения

В нормальном режиме светильники аварийного освещения создают нормированную освещенность совместно со светильниками рабочего освещения. При отключении светильников рабочего освещения они продолжают работать.

Питание светильников рабочего и аварийного освещения осуществляется от щитков рабочего и аварийного освещения. Щитки рабочего освещения запитываются от вводного пункта рабочего освещения ВПРО, щитки аварийного освещения запитываются от вводного пункта аварийного освещения ВПАО (производственный корпус), от щита ЩР-921 с разных секций (склад реагентов). Электроснабжение вводных пунктов ВПРО и ВПАО осуществляется с разных секций ЩСУ. ВПРО и ВПАО устанавливаются в помещении КТП.

Управление групповыми линиями сети освещения осуществляется по месту выключателями в исполнении, соответствующим среде, в которой они устанавливаются, или со щитков освещения автоматическими выключателями.

Защита групповых линий освещения осуществляется автоматическими выключателями в составе щитков освещения.

Розеточная сеть выполняется с защитой от токов утечки через устройство защитного отключения (УЗО).

Обслуживание светильников в помещениях и светильников наружных установок осуществляется со стремянок и приставных лестниц.

В данном проекте предусматривается наружное освещение территории установки получения сульфат-нитрата аммония. Трасса наружного освещения выполняется с использованием технологических эстакад и на железобетонных опорах ВЛИ 0,38 кВ с самонесущими изолированными проводами СИП-2.

Для управления наружным освещением предусматривается:

- ящик управления типа ЯОУ 9602С, который устанавливается в помещении КТП;

- пост управления типа ПКУ15, установленный в помещении операторной (корпус 921).

Включение наружного освещения осуществляется автоматически через реле времени, программируемое астрономическое типа РСZ-525.

Дополнительные и резервные источники электроэнергии.

В качестве резервных источников используются независимые взаиморезервируемые секции шин 0,4 кВ КТП и РУ-6 кВ (корпус 940А).

Мероприятия по резервированию электроэнергии.

Резервирование электроэнергии осуществляется:

- на стороне 0,4 кВ - предусмотрена установка двухтрансформаторной подстанции с АВР на стороне 0,4 кВ;

- на стороне 6 кВ - секционированное РУ-6 кВ с рабочими вводами от двух независимых источников питания (ГПП-50).

1.3 Выводы по главе 1

Анализ электрических нагрузок показал наличие следующих основных потребителей электрической энергии:

- электродвигатели компрессоров, насосов жидкого аммиака, воздуходувок, осушителя гранулятора, аварийной вентиляции, средства АСУ ТП, относящихся к 1-ой категории потребителей;

- электродвигатели конвейеров, насосов, приточных установок и общеобменной вентиляции, грузоподъемного оборудования, относящихся ко 2-ой категории потребителей;

- электродвигатели погружных насосов, бытовые электроприемники, электрическое освещение, относящихся к 3-й категории потребителей.

Суммарная нагрузка на шинах 6 кВ подстанции составила согласно выполненных расчетов:

- активная 1763 кВт;
- реактивная 500 кВАр;
- общая 1832 кВА.

Таким образом, основная электрическая нагрузка представлена асинхронными двигателями и их системами управления. Другими потребителями реактивной мощности являются трансформаторы, линии электропередач и другое оборудование.

Большое значение величины реактивной мощности требует обязательного проведения мероприятий по её компенсации.

Большое значение общей потребленной мощности требует:

- применение на проектируемом производстве современного электропотребляющего оборудования, сертифицированного в установленном законодательством Российской Федерации порядке, с учетом показателей энергоэффективности;

- энергосберегающего освещения (светодиодные светильники, применение датчиков освещенности и движения и т.п.);
- равномерное распределение нагрузки по фазам;
- современную систему учета электрической энергии.

2 Обзор и анализ современных энергосберегающих технологий

2.1 Энергосбережение в химической промышленности

Энергосбережение в масштабе государства рассматривается с применением инструментов системного подхода. Системный подход сформировал три системных принципа:

- применение рециркуляции вторичного сырья (производственных отходов) и энергетических потоков;
- энергосберегающие технологии должны применяться на всех этапах жизненного цикла продукции (потребление, передача, производство);
- наилучшие результаты энергосберегающие технологии в плане экономии энергии приносят в промышленности, особенно в металлургической и химической.

Некоторые энергосберегающие технологии применимы не только в химической, но и других отраслях промышленности. К таким прежде всего относятся принцип рекуперации и ресурсосбережения, переработка низкопотенциальных энергосбросов).

К примеру, реализуется концепция обеспечения энергетической малоотходности не столько за счет утилизации энергетических отходов или ресурсосбережения, сколько за счет повышения селективности, т.е. выхода высокопотенциального целевого продукта или отходов. В конце концов, эта концепция сводится к стремлению не бороться с энергетическими низкопотенциальными отходами, а вести процесс так, чтобы они образовывались в минимальном количестве.

Современная энергетическая оптимизация технологии предусматривает также не утилизацию или обезвреживание предварительно смешанных выбросов энергии, а локальную обработку выбросов по возможности как можно ближе к источнику их образования. Этот подход является альтернативой принятому у нас принципу

создания глобальных сооружений утилизации или нейтрализации сразу всей смеси отходов энергии. Локальная обработка, максимально приближенная к источникам выбросов, как показал мировой опыт, оказалась гораздо более эффективным направлением, особенно в сочетании с концепцией индустриального симбиоза. Дороговизна локальных установок оказывается кажущейся, если принять во внимание затраты не только на производство энергии, но и на природоохранные мероприятия, в частности на утилизацию энергетических выбросов, предотвращение ущерба окружающей среде и т.д. Следует заметить, что принятое у нас раздельное финансирование и отдельное проектирование технологических, энергетических установок и установок природоохранного назначения является анахронизмом, приводящим к появлению промышленных объектов с "забытыми" установками утилизации и очистки энергетических низкопотенциальных выбросов. Этому способствует также упомянутый остаточный принцип финансирования таких природоохранных и энергосберегающих объектов. При современном подходе установки утилизации должны быть составной частью промышленного объекта, включенной в основную технологическую линию.

Наиболее энергоемко производство в основном четырнадцати продуктов: аммиака, каустической соды, химических волокон, желтого фосфора, пластмасс, метанола, капролактама, ацетата, хлора, этилена, дивинила, полиэтилена. Поэтому при решении вопросов энергосбережения надо в первую очередь уделять внимание этим производствам. Основными проблемами энергосбережения на предприятиях химической промышленности являются: совершенствование существующих технологических процессов и оборудования в производствах кальцинированной и каустической соды; внедрение крупных агрегатов по производству метанола; использование газо-фазного метода полимеризации этилена в производстве полиэтилена; совершенствование и укрупнение единичной мощности агрегатов в производстве химического волокна; развитие мембранной технологии разделения жидких и газообразных

сред; разработка и внедрение производства хлора и каустической соды в мембранных электролизерах; увеличение доли диафрагменного метода в производстве каустической соды: применение высокоактивных катализаторов; производство ацетальдегида прямым окислением этилена кислородом; широкое внедрение автоматизации технологических процессов.

В промышленности синтетического каучука снижение расхода энергии может быть достигнуто внедрением новых технологических схем с меньшими удельными расходами энергоресурсов, абсорбционных машин и реконструкцией существующих технологических схем с применением новых высокоэффективных катализаторов и др.

В шинной промышленности значительной экономии энергии можно добиться за счет повышения загрузки технологического оборудования, снижения брака и возвратных расходов, сокращения режимов вулканизации, широкого внедрения автоматизации в процесс приготовления резиновой смеси, внедрение микроволнового нагрева и др.

Отличительной особенностью предприятий химической промышленности является то, что большое количество используемых энергоресурсов позволяет покрыть 50% собственных нужд в теплоте. Для решения данной проблемы необходима разработка и реализация комбинированных энерготехнологических систем (КЭТС),

Высокая доля энергии в себестоимости химической продукции обусловила необходимость ее рационального и экономичного использования в производстве. Критерием экономичности использования энергии всех видов является коэффициент использования энергии η , равный отношению количества энергии, теоретически необходимой на производство единицы продукции (W_T), к количеству энергии, практически затраченной на это (W_{Π}):

$$\eta = \frac{W_T}{W_{\Pi}} \quad (8)$$

Для высокотемпературных эндотермических процессов коэффициент использования тепловой энергии не превышает 0,7, то есть до 30% энергии уходит с продуктами реакции в виде тепловых потерь.

Рациональное использование энергии в химическом производстве означает применение методов, повышающих коэффициент использования энергии. Эти методы могут быть сведены к двум группам: разработке энергосберегающих технологий и улучшению использования энергии в производственных процессах. К первой группе методов относятся:

- разработка новых энергоэкономных технологических схем;
- повышение активности катализаторов;
- замена существующих методов разделения продуктов производства на менее энергоемкие (например, ректификации на экстракцию и т. п.);
- создание комбинированных энерготехнологических схем, объединяющих технологические операции, протекающие с выделением и поглощением энергии (теплоты). Подобное сочетание в одном производстве энергетики и технологии позволяет значительно полнее использовать энергию химических процессов, другие энергоресурсы и повысить производительность энерготехнологических агрегатов.

Ко второй группе энергосберегающих методов относятся:

- уменьшение тепловых потерь за счет эффективной теплоизоляции и уменьшения излучающей поверхности аппаратуры;
- снижение потерь на сопротивление в электрохимических производствах;
- использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР).

ВЭР подразделяются на горючие (топливные), представляющие химическую энергию отходов технологических процессов переработки топлива и горючих газов металлургии; тепловые ВЭР, представляющие физическую теплоту отходящих газов и жидкостей технологических агрегатов и отходов основного производства, и ВЭР избыточного давления, представляющие

потенциальную энергию газов и жидкостей, выходящих из технологических агрегатов, работающих под избыточным давлением.

В зависимости от вида и параметров состояния ВЭР различают четыре направления их использования в производстве:

- топливное направление в виде непосредственного использования горючих компонентов ВЭР в качестве топлива;
- тепловое направление в виде использования тепловых ВЭР;
- силовое направление в виде использования ВЭР для выработки механической или электрической энергии;
- комбинированное направление.

Наряду с традиционными для любой области техники методами (замкнутость структуры и многофункциональность оборудования, интенсификация) особенности перерабатывающих отраслей определяют использование некоторых специальных методов энергосбережения. Среди них:

- минимизация времени обработки и избыток одного из реагентов, приводящие чаще всего к повышению селективности и уменьшению образования побочных потоков вещества и энергии,
- рекуперация, замкнутость потоков вещества и энергии, приводящие, как показал еще М.Ф.Нагиев, к "идеализации" режимов синтеза и значительному уменьшению скорости побочных процессов,
- совмещение синтеза и разделения, гетерогенизация, позволяющие существенно уменьшить образование побочных продуктов за счет отвода целевого продукта из реакционной зоны в момент его образования,
- адаптивность технологии и оборудования, позволяющая обеспечить надежную работу технической системы за счет "внутренних" резервов (гибкости) установки, что уменьшает возможность залповых выбросов энергии или вредных веществ или получения некондиционного продукта.

2.2 Энергосбережение в электроснабжении

От реактивной мощности, помимо потерь электрической энергии и $\text{tg}\varphi$, зависит также и напряжение у конечного потребителя $U_{\text{П}}$, в соответствии с формулой (9)

$$U_{\text{П}} = U_{\text{ЦП}} - \frac{(P_{\text{Н}} * R_{\text{Э}} + Q_{\text{Н}} * X_{\text{Э}})}{U_{\text{ЦП}}} \quad (9)$$

где $U_{\text{ЦП}}$ - напряжение распределительного устройства вторичного напряжения;

$P_{\text{Н}}$ - суммарная активная потребляемая мощность;

$R_{\text{Э}}$ - эквивалентное активное сопротивление между выходом распределительного устройства вторичного напряжения и потребителем;

$Q_{\text{Н}}$ - суммарная реактивная потребляемая мощность;

$X_{\text{Э}}$ - эквивалентное реактивное сопротивление между выходом распределительного устройства вторичного напряжения и потребителем.

Формула (9) показывает, что можно влиять на напряжение у потребителя электроэнергии, за счет изменения суммарной реактивной потребляемой мощности.

Различают компенсацию реактивной мощности трёх видов:

- централизованная;
- групповая;
- индивидуальная.

В случае если индивидуальные потребители электрической энергии имеют большую мощность, рационально применять индивидуальную компенсацию, подключаемую непосредственно к зажимам электроприемников (см. рис. 6, а). При этом желательно выполнение условия, что в течении времени нагрузка электроприемника не будет меняться.

При большом количестве электроприемников, отличающихся друг от друга, как мощностью, так и коэффициентом использования (по сути это переменные нагрузки) индивидуальный подход не приемлем в связи с

повышением общей стоимости компенсации и возможной перекомпенсацией. В этом случае применяется централизованная компенсация с расположением в распределительном устройстве вторичного напряжения (см. рис. 6, в).

Если потребители территориально расположены близко друг от друга, их включение/выключение происходит синхронно, в этом случае допустимо использовать групповую компенсацию (см. рис. 6, б), устанавливаемую в узлах нагрузки.

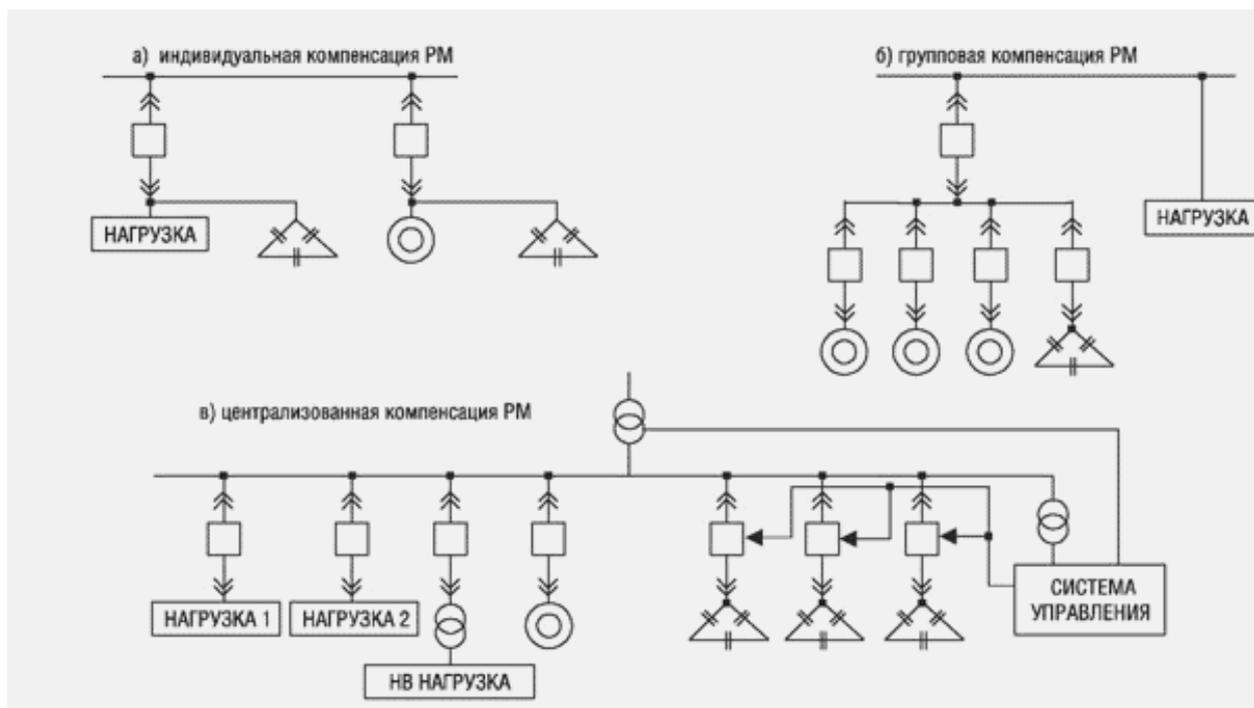


Рисунок 6- Виды компенсации

Компенсирующие устройства (КУ) бывают четырех основных типов:

- синхронные двигатели;
- синхронные компенсаторы;
- фильтро-компенсирующие устройства;
- батареи статических конденсаторов (БСК).

Как известно, особенностью синхронных двигателей (СД) является потребление реактивной мощности в режиме недовозбуждения и генерация реактивной мощности в режиме перевозбуждения, что позволяет их использовать для компенсации реактивной мощности. Для повышения

эффективности разработаны специальные синхронные электрические машины – синхронные компенсации, основное назначение которых воспроизводить реактивную мощность.

Для принятия решения о целесообразности применения СД для компенсации реактивной мощности используется формула (1)

$$Q_{\text{СД}} = P_{\text{ном.СД}} * K_{\text{СД}} * \text{tg}\varphi_{\text{ном}} \quad (10)$$

где $Q_{\text{СД}}$ – минимальная реактивная мощность, при которой СД работает в устойчивом режиме;

$K_{\text{СД}}$ – коэффициент загрузки СД. Формула применима, если $K_{\text{СД}} < 1$;

$P_{\text{ном.СД}}$ – мощность номинальная;

$\text{tg}\varphi_{\text{ном}}$ – номинальный коэффициент реактивной мощности.

Нормограмма соответствия располагаемой реактивной мощности СД, коэффициентом загрузки и $\text{tg}\varphi$ показана на рис. 7.

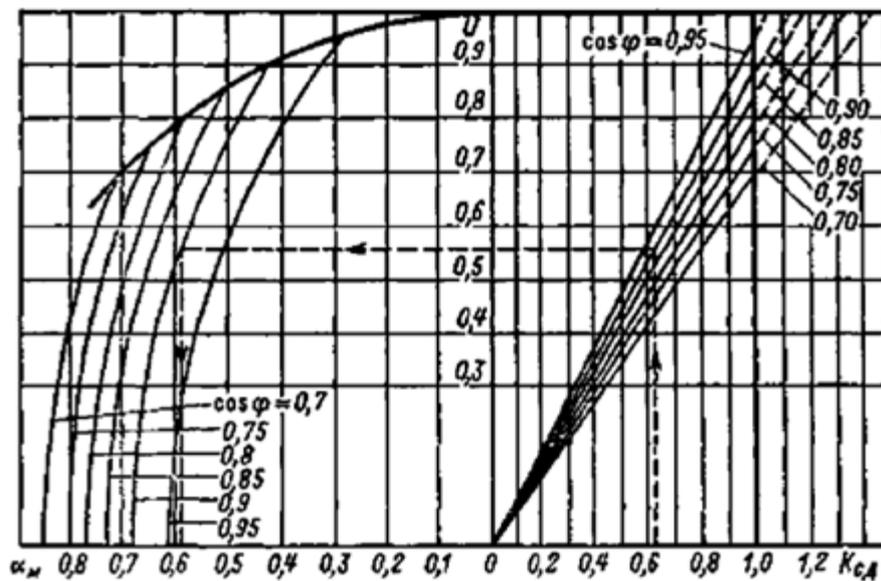


Рисунок 7- Нормограмма соответствия располагаемой реактивной мощности СД, коэффициентом загрузки и $\text{tg}\varphi$

Достоинством применения СД для компенсации реактивной мощности является возможность быстродействующего плавного регулирования напряжения у потребителя (например, во время аварийного понижения

напряжения сети), плавность регулирования мощности компенсации (можно сказать что СК объединяет в себе и БСК и реактора). К недостаткам следует отнести наличие вращающихся (трущихся) частей, высокую стоимость и большие потери на нагрев при работе с максимальным током возбуждения.

Логичным развитием применения СД для компенсации реактивной мощности стало появление синхронных компенсаторов (СК) – облегченные СД, работающие без нагрузки на валу (т.е. в режиме холостого хода) (см. рис. 8). Собственное потребление энергии СК связано с трением подшипников и потерями в обмотках.



Рисунок 8- Пример синхронного компенсатора

Устанавливают СК обычно на конечных и промежуточных подстанциях напряжением 220, 330 и 500 кВ.

Рассмотрим устройство батареи статических конденсаторов. Их центральным элементом являются силовые конденсаторы (СК) различного номинального напряжения, мощностью от 5 до 100 квар, приходящейся на одну батарею (см. рис. 9). Внутри батареи СК можно соединить параллельно (для возрастания мощности), последовательно (для возрастания номинального

напряжения) или смешанно. СК относятся к экономичным источникам реактивной мощности, с невысокой удельной стоимостью.



Рисунок 9- Силовые конденсаторы

В БСК возможно применять соединение СК как треугольником, так и звездой (см. рис. 10). Это зависит от режима работы электрической нейтрали.

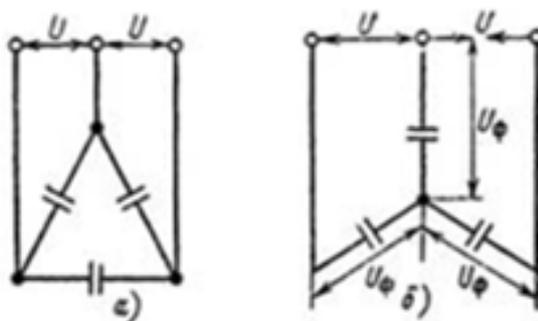


Рисунок 10- Способы соединения БСК: а) треугольником; б) звездой

В зависимости от способа соединения изменяется реактивная мощность БСК:

$$Q_Y = 3 * U_{\Phi}^2 * w * C \quad (11)$$

$$Q_{\Delta} = 3 * U^2 * w * C = 3 * Q_Y \quad (12)$$

Формулы (11) и (12) показывают прямую квадратичную зависимость напряжения и вырабатываемой реактивной мощности. БСК выполняются в двух исполнениях:

- нерегулированном исполнении, при котором количество СК постоянно, генерируемая реактивная мощность также постоянна и зависит исключительно от напряжения. Применение данного типа БСК ограничивается условием, что минимальная реактивная нагрузка сети должна быть больше суммарной мощности СК, что обеспечивает переток реактивной энергии в нужном направлении;

- регулируемом исполнении, при котором количество СК изменяется вручную или автоматически.

Недостатки БСК:

- прямая квадратичная зависимость напряжения и вырабатываемой реактивной мощности, может привести к лавине напряжения;

- так называемый «отрицательный регулирующий эффект», проявляющийся в том, что при снижении напряжения в сети, БСК ещё больше способствует его снижению, и, наоборот, при повышении напряжения сети (например в ночное время суток) способствует его повышению.

Достоинства БСК:

- незначительные потери активной мощности, лежащие в пределах 0,3-0,45 кВт на 100 квар;

- относительно небольшая масса и удобство монтажа;

- относительно простая и дешевая эксплуатация.

Сравним два самых популярных способа компенсации реактивной мощности по наиболее значимым параметрам (см. таблицу3)

Таблица 3- Сравнение СК и БСК

Характеристика	Синхронный компенсатор	Блок статических компенсаторов
1	2	3
Конструкция	Сложная	Простая
Зависимость количества вырабатываемой реактивной мощности от напряжения	Нет	Прямая квадратичная
Система включения	Сложная	Простая
Регулирование количества генерируемой реактивной мощности	Плавное	Ступенчатое
	Реактивную мощность может и производить и потреблять	Реактивную мощность может только производить
Срок службы	15-20 лет	8-10 лет
Для генерации 1 квар реактивной мощности, потери активной мощности составляют	0,013-0,015 кВт	0,003-0,005 кВт
Чувствительность к высшим гармоникам	Низкая	Высокая

Для снижения чувствительности БСК к высшим гармоникам, разработаны специальные фильтро-компенсирующие устройства, способные работать в сетях, в которых присутствуют высшие гармонические составляющие напряжения. Если рассматривать конструкцию фильтро-компенсирующего устройства. То можно увидеть, что фильтро-компенсирующее устройство является батареей силовых конденсаторов, в схему которых добавлены специальные фильтры.

Шунтирующий реактор (ШР) — это устройство, обладающее большой индуктивностью и малым активным сопротивлением (см. рисунок 11). Реактор потребляет реактивную мощность, тем самым снижает напряжение в сети. Шунтирующий реактор применяют для повышения пропускной способности линий сверхвысокого напряжения разгружая их по реактивной мощности, а также для регулирования реактивной мощности и напряжения. Шунтирующие реакторы рассчитаны на высокие и сверхвысокие напряжения и могут присоединяться как к линии, так и подключаться к шинам подстанции.



Рисунок 11- Шунтирующий реактор

2.3 Выбор мероприятий по энергосбережению

В целях обеспечения экономии электроэнергии в настоящем проекте выбираем для применения в проектируемом цехе следующие энергосберегающие мероприятия:

- применение компенсации реактивной мощности, что позволяет уменьшить потери активной энергии в питающих линиях;
- применение частотных преобразователей для регулирования

частоты вращения и мощности электродвигателей с непрерывным режимом работы;

- предусматривается современное электропотребляющее оборудование заводов изготовителей, сертифицированное в установленном законодательством Российской Федерации порядке, с учетом показателей энергоэффективности;

- применение светильников с энергосберегающими, светодиодными лампами, что позволяет уменьшить электропотребление в сетях освещения;

- применение выключателей, обеспечивающих выключение освещения при отсутствии людей в помещениях;

- распределение нагрузки на трехфазных вводах по фазам с неравномерностью, не превышающей 15%;

- предусматривается учет расхода электроэнергии в соответствии с установленными государственными стандартами и нормами точности измерений

2.4 Выводы по главе 2

Энергосберегающие технологии в настоящее время являются «обязательными» как с точки зрения экономических реалий, так и с точки зрения большого количества законодательных актов различного уровня. В химической промышленности к таковым относятся:

- новые энергоэкономные технологические процессы;
- увеличение скорости работы катализаторов;
- замена действующих методов разделения продуктов производства на менее энергоемкие (например, ректификации на экстракцию и т. п.);
- создание комбинированных энерготехнологических схем, объединяющих технологические операции, протекающие с выделением и поглощением энергии (теплоты);

- уменьшение тепловых потерь за счет эффективной теплоизоляции и уменьшения излучающей поверхности аппаратуры;
- снижение потерь на сопротивление в электрохимических производствах;
- использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР).

Для экономии электрической энергии, потребляемой многочисленным электромеханическим оборудованием, на химическом производстве рекомендуется применять различные компенсирующие устройства, в зависимости от специфики применения это могут быть синхронные двигатели, синхронные компенсаторы, фильтро-компенсирующие устройства, батареи статических конденсаторов.

3 Разработка мероприятий по внедрению энергосберегающих технологий

3.1 Расчет и выбор компенсации реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности (повышение эффективности использования электрической энергии с целью минимизации потерь в линиях, повышение $\cos\varphi$ до заданных) выполняется на стороне 6 кВ и 0,4 кВ.

Расчет компенсации реактивной мощности на стороне 0,4 кВ.

Исходные данные:

- нагрузка 380/220 В силового щита плюс нагрузка РУ-0,4 кВ подстанции.

Нагрузка пожарных насосов 2x250 кВт в расчете не учитывается. Данные принятые к расчету:

- $P_{\text{рас}}=1750$ кВт;
- $Q_{\text{рас}}=1260$ кВАр;
- $S_{\text{рас}}=2167$ кВА;
- $\cos\varphi_{\text{рас}}=0,8$ ($\text{tg}\varphi_{\text{рас}}=0,72$);
- требуемый $\text{tg}\varphi_{\text{рас}}=0,21$.

Расчетная мощность конденсаторных устройств (13):

$$Q_{\text{рас}}=P_{\text{рас}}(\text{tg}\varphi_{\text{рас}}-\text{tg}\varphi), \quad (13)$$

$$Q_{\text{рас}}= 1750 \cdot (0,72-0,21) = 892 \text{ кВАр.}$$

Принимаем конденсаторную установку (КУ) УКМ 58-0,4-425-25-6 УЗ - 2 шт.

Окончательная нагрузка на стороне 0,4 кВ, с учетом компенсации реактивной мощности:

$$P_{\text{рас}} = 1750 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{рас}}=1260-(2 \times 425)=410 \text{ кВАр};$$

$$S_{\text{рас}}=1790 \text{ кВА};$$

$$\cos\varphi=0,97.$$

В качестве КУ выбираем продукцию производителя из РФ ООО «ХомовЭлектро». Выбор в пользу данного производителя сделан исходя из следующих критериев:

- в данных КУ на ответственных «местах» используются импортные комплектующих известных мировых производителей электротехнической продукции, такие как SchneiderElectric, Lovato, GruppoEnergia, Vmtec, Epcos, Nukon, Beluk, Novar и др.;

- конкурентоспособная цена – 149500 руб;

- хороший сервис – скидка на монтаж и пуско/наладку, бесплатное гарантийное обслуживание в течении 24 месяцев;

- хорошие отзывы о продукции ООО «ХомовЭлектро» в интернете и специализированной прессе.

В обозначении КУ приведена следующая информация:

- УKM – установка конденсаторная модернизированная;

- 58 – номер модели;

- 0,4 – класс напряжения номинальный;

- 425 – номинальная мощность (мощности всех конденсаторов, входящих в КУ);

- 25 – мощность, соответствующая минимальной ступени регулирования;

- 6 – общее количество ступеней регулирования;

- УЗ – климатическое исполнение (данное оборудование требует установки внутри помещения, диапазон рабочих температур от -10 до +40 °С).

Технические характеристики УKM 58-0,4-425-25-6 УЗ сведены в таблицу 4, внешний вид показан на рисунке12, смонтированное внутри шкафа оборудование – на рисунке13.

Таблица 4- Технические характеристики УKM 58-0,4-425-25-6 УЗ

Техническая характеристика	Величина
1	2
Входные параметры	
Сеть	3-фазная
Частота сети	50 Гц $\pm 2\%$
Входное напряжение	0,4 кВ
Допустимый разброс входного напряжения	304-437 В
Рабочее входное напряжение	323-418 В
Выходные параметры	
$\cos\varphi$	0,8-0,98
Принцип регулирования	Конденсаторы / дискретный
Тип переключателей	Тиристоры/ контакторы
Мощность номинальная	425 кВАр
Диапазон системы регулирования	0...100%
Рекомендуемый диапазон изменения нагрузки	0...100%
Число ступеней регулирования	Стандартное 9, возможно любое другое значение под заказ
Ток КУ номинальный	612 А
Рекомендуемый для выбора сечения кабеля ток	795 А
Одна ступень регулирования	Стандартная 25 кВАр, возможно любое другое значение под заказ
Быстродействие системы регулирования, сек	60/1-250
Рекомендуемый материал для питающего кабеля	Медь
Сечение питающего кабеля	2x240 мм

Продолжение таблицы 4

1	2
Конструктивное исполнение	
Степень защиты	IP31. Опционно возможно исполнение IP54, IP44, IP20 и др.
Присоединение к электросети	Колодка клеммная
Рабочий диапазон температур	-25°C...+45°C
Допустимый температурный диапазон для транспортировки и хранения	-25°C...+60°C
Размещение	В помещении
Относительная влажность	до 95%
Ввод кабеля	Стандартно сверху. Опционно возможен ввод снизу
Способ охлаждения	Естественная циркуляция воздуха
Климатическое исполнение	УЗ
Цвет шкафа	Светло-бежевый (RAL7035)
Габариты	Высота – 1600 мм, ширина – 800 мм, глубина – 400 мм.
Вес	220 кг
Гарантийная эксплуатация	2 года
Цена	149500 руб
Сервисные функции	
Интерфейс RS485/RS232	Под заказ
Ручное регулирование	Предусмотрено

Продолжение таблицы 4

1	2
Автоматическое регулирование	Предусмотрено
Индикация основных параметров	Предусмотрена



Рисунок 12- Внешний вид УКМ 58-0,4-425

Подключение главных цепей (напряжением 400В, частотой 50Гц) к энергосистеме осуществляется непосредственно к выводам выключателя-разъединителя и клемме нулевого рабочего проводника. Совмещенные структурные и схемы подключения УКМ 58-0,4-425-25-6 УЗ показаны на рисунке 14 и 15. [14]



Рисунок 13- Вид на оборудование, смонтированное внутри шкафа КУ
УКМ 58-0,4-425

Конструктивные исполнения установки – моноблочное (рекомендуется для мощности до 450 кВар).

Моноблок конструктивно выполнен в виде напольного шкафа. Дверь одна, с лицевой стороны. На двери закреплен индикатор параметров регулирования и регулятор реактивной мощности (для ручного регулирования). В верхней части шкафа имеются четыре рым-болта для подъемных операций.

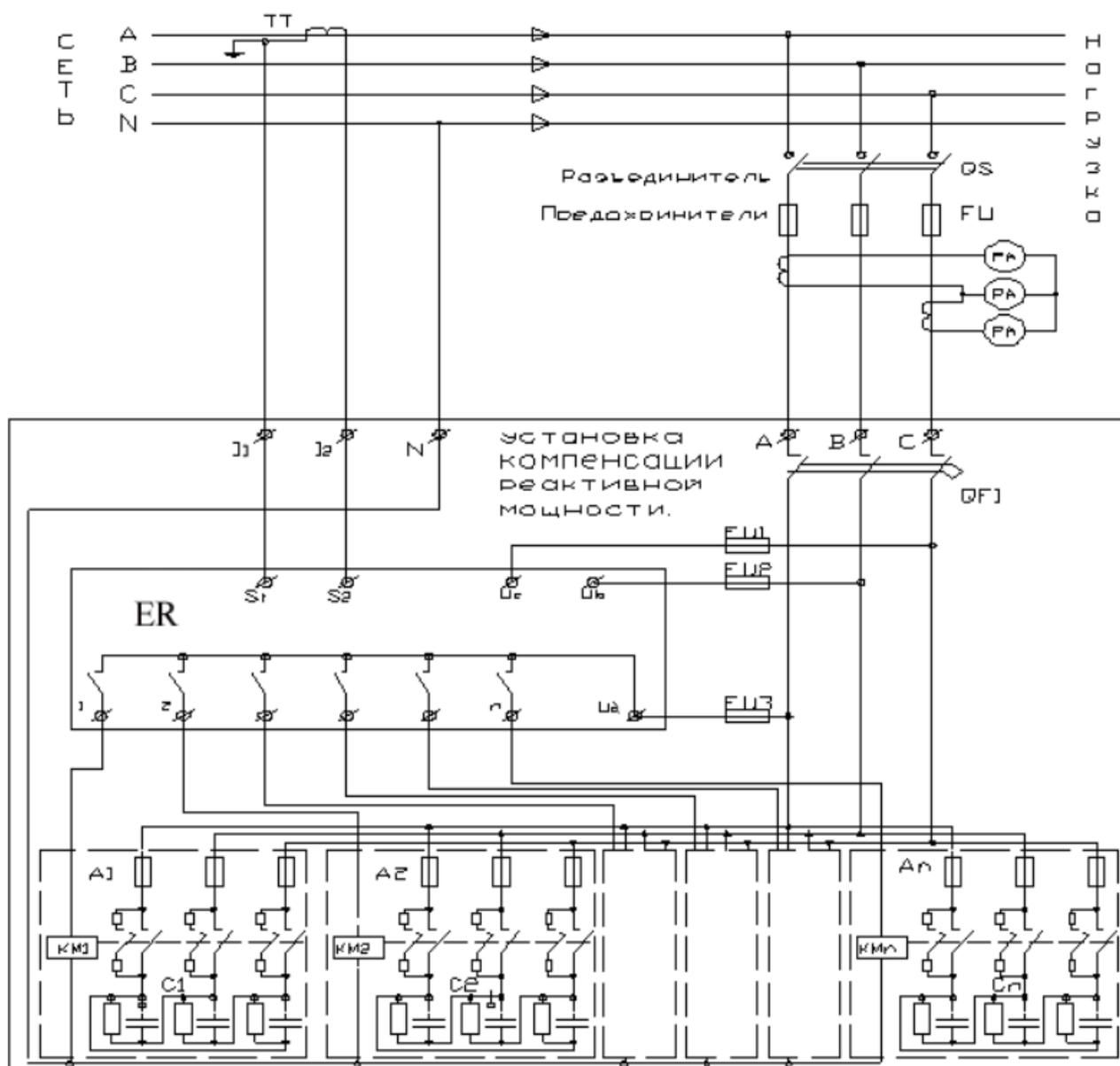


Рисунок 14- Схема подключения управляющих цепей напряжением 220В

Данная КУ может работать как в автоматическом режиме (автоматическое поддержание установленного $\cos\varphi$), так и в ручном режимах. Изменение $\cos\varphi$ происходит при изменении количества ступеней конденсаторов. Три конденсатора, электрически соединенных между собой в «Δ», подключенных через блок управления к блоку разрядных резисторов, конструктивно объединенных в один корпус, образуют одну ступень регулирования. Переключение с одной ступени на другую выполняется тиристорами (при малой мощности) или контакторами (при большой мощности, как в нашем случае).

В качестве измерительного внешнего трансформатора тока ТТ (см. схему на рисунке 15) необходимо использовать ТТ мощностью не менее $0,27\text{В}\cdot\text{А}$. Подбор по току выполняется таким образом (индивидуально, по месту использования КУ), чтобы выходной ток не превышал 5 А.

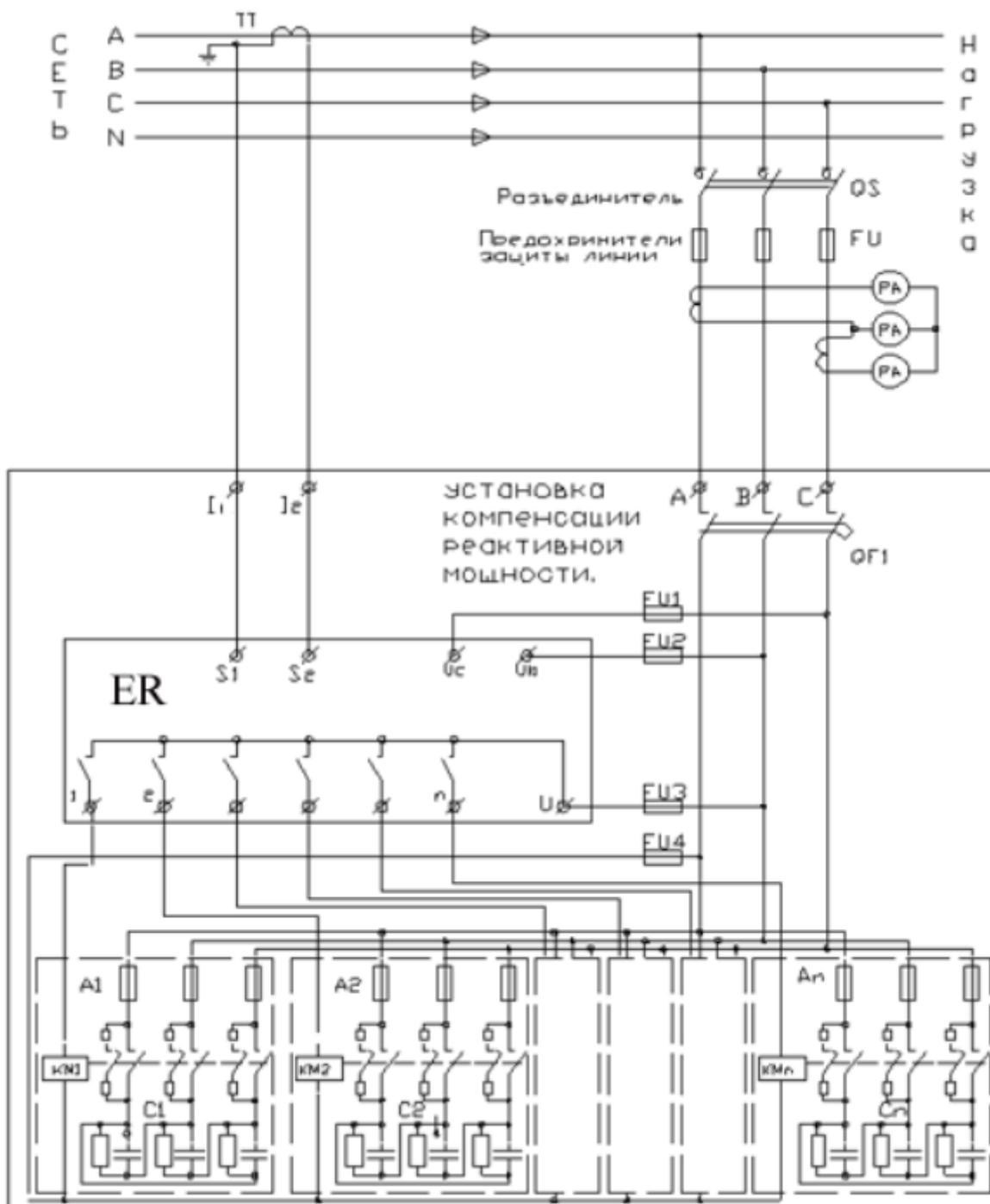


Рисунок 15- Схема подключения управляющих цепей напряжением 380В

Расчет компенсации реактивной мощности на стороне 6 кВ.

Исходные данные:

а) нагрузка на шинах 6 кВ подстанции:

- $P_{рас}=1763$ кВт;
- $Q_{рас}=500$ кВАр;
- $S_{рас}=1832$ кВА;

б) нагрузка РУ-6 кВ:

- электродвигатель поз. 02-D-001-М ($P_{рас}=335$ кВт; $Q_{рас}=225$ кВАр;
 $S_{рас}=404$ кВА; $\cos\varphi=0,91$;
- электродвигатель поз. 03-Z-GQ2-М ($P_{рас}=152$ кВт; $Q_{рас}=115$ кВАр;
 $S_{рас}=196$ кВА; $\cos\varphi=0,75$;
- электродвигатель поз. 02-B-004-М ($P_{рас}=284$ кВт; $Q_{рас}=207$ кВАр;
 $S_{рас}=353$ кВА; $\cos\varphi=0,87$).

Итого нагрузка 6 кВ:

- $P_{рас}= 2534$ кВт;
- $Q_{рас}=1047$ кВАр;
- $S_{рас}= 2785$ кВА;

$\cos\varphi_{рас}= 0,91$; ($\text{tg}\varphi_{рас}=0,46$); требуемый $\text{tg}\varphi=0,21$

Расчетная мощность конденсаторных устройств:

$$Q_{рас}=P_{рас}(\text{tg}\varphi_{рас}- \text{tg}\varphi) = 2543(0,46-0,21) = 635 \text{ кВАр.}$$

Принимаем конденсаторную установку УКРМ 58-6,3-250-50 УЗ - 2 шт.

Здесь:

- УКРМ – установка компенсации реактивной мощности регулируемая;
- 58 – номер модели;
- 6,3 – класс напряжения номинальный, кВ;
- 250 – номинальная мощность, кВАр;
- 50 – мощность, соответствующая минимальной ступени регулирования;
- УЗ – климатическое исполнение (в помещении).

Окончательная нагрузка на стороне 6 кВ, с учетом компенсации реактивной мощности:

$$P_{\text{рас}} = 2534 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{рас}} = 1047 - (2 \times 250) = 547 \text{ кВАр};$$

$$S_{\text{рас}} = 2600 \text{ кВА};$$

$$\cos\varphi = 0,98.$$

Технические характеристики УКРМ 58-6,3-250-50 УЗ сведены в таблицу 5, внешний вид показан на рисунке 16.

Схема подключения КУ УКРМ 58-6,3-250-50 УЗ к электросети – на рисунке 17.

Таблица 5- Технические характеристики УКРМ 58-6,3-250-50 УЗ

Техническая характеристика	Величина
1	2
Входные параметры	
Сеть	3-фазная
Частота сети	50 Гц $\pm 2\%$
Входное напряжение	6,3 кВ
Выходные параметры	
$\cos\varphi$	0,88-0,98
Контроллер реактивной помощи	GruppoEnergia
Тип переключателей	Контакты
Мощность номинальная	250кВАр
Допустимая перегрузка по мощности	1,43*Q
Допустимая перегрузка по напряжению	1.1*U
Допустимая перегрузка по току	1.3*I _n
Общие потери в КУ	<1 Вт/квар

Продолжение таблицы 5

1	2
Число ступеней регулирования	Стандартное 5, возможно любое другое значение под заказ
THDu	≤2%
Общие потери в комплектующих	<1,5Вт/квар
Одна ступень регулирования	Стандартная 50 кВАр, возможно любое другое значение под заказ
Быстродействие системы регулирования, мин	1...10
Потери в диэлектрике конденсатора	<0,15Вт/квар
Конструктивное исполнение	
Степень защиты	IP21. Опционно возможно исполнение IP31, IP54, IP44 и др.
Рабочий диапазон температур	-25°С...+45°С
Разрядные устройства	Резисторы встроены в конденсаторные модули. Скорость разряда 10 мин до 75В
Высота над уровнем моря	До 2000 м
Размещение	В помещении
Реакторы	Воздушный токоограничивающий реактор
Относительная влажность	до 95%

Продолжение таблицы 5

1	2
Соединение ступеней	Батареи с 3-фазными модулями, соединенными в треугольник
Ввод кабеля	Стандартно справа или слева
Конденсаторные модули	Пленочные, с экологически-безопасным жидким диэлектриком
Климатическое исполнение	УЗ
Способ охлаждения	Естественное воздушное
Цвет шкафа	Светло-бежевый (RAL7035)
Тип батареи	С фиксированной мощностью
Габариты	Высота – 1800 мм, ширина – 2400 мм, глубина – 800 мм.
Вес	620 кг
Гарантийная эксплуатация	2 года
Цена	165800 руб
Сервисные функции	
Обслуживание	Одностороннее
Ручное регулирование	Предусмотрено
Автоматическое регулирование	Предусмотрено
Индикация основных параметров	Предусмотрена



Рисунок 16- Внешний вид УКРМ 58-6,3-250-50 УЗ

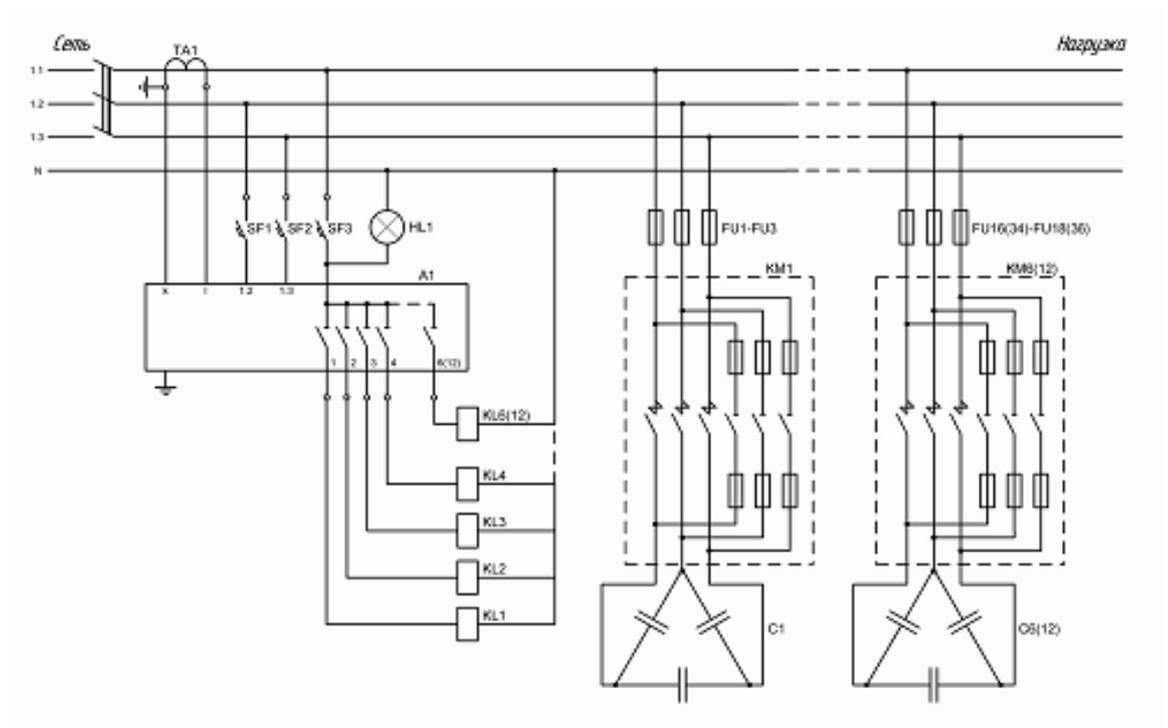


Рисунок 17- Схема подключения КУ УКРМ 58-6,3-250-50 УЗ к электросети

3.2 Расчет и выбор частотных преобразователей

Главной особенностью электрических приводов, применяемых в химической промышленности является их большая мощность. Например, воздуходувка – 18 кВт, жидкостный насос – 40 кВт, вентилятор – 54 кВт, электродвигатель барабана холодильника – 145 кВт, электродвигатель гранулята-осушителя – 322 кВт.

Для подобного технологического оборудования наилучшим образом подходят специализированные линейки электроприводов повышенной мощности для технологического оборудования химических производств.

Привода большой мощности все поставляются с собственной системой управления, интегрированной в химическое производство. По-этому выбор электроприводов ограничивается мощностью до 100 кВт. Причем большинство электродвигателей свыше 50 кВт также уже имеют встроенную систему управления.

Для снижения затрат на монтаж, настройку и эксплуатацию электроприводов было принято решение использовать для большинства приводов одну линейку частотных преобразователей, рассчитанных на мощность от 0 до 100 кВт. Этому условию удовлетворяют большинство крупных производителей электроприводов: европейские компании: Siemens, ABB, SEW Eurodrive, ControlTechniques (корпорация Emerson), SchneiderElectric, Danfoss, K.E.B., Lenze, Allen-Breadly (корпорация RockwellAutomation), BoschRexroth и компании из Японии: MitsubishiElectric, Omron-Yaskawa, Panasonic, Hitachi, Toshiba, FujiElectric.

При выборе использовали несколько критериев:

- экономия электроэнергии;
- надежность при эксплуатации в тяжелых условиях химического производства;
- высокая перегрузочная способность в условиях переменной нагрузки;
- наличие документации на русском языке;

- наличие техподдержки на русском языке;
- относительно низкая стоимость при высоком качестве обслуживания.

По отдельности наиболее подходящие частотные преобразователи есть практически у каждого производителя. Но так как надо было использовать по возможности одну линейку частотных преобразователей, выбрали серию частотных преобразователей BoschRexroth серии Fe 2014 года.

Производитель гарантирует экономию 10% электроэнергии по сравнению с частотных преобразователей BoschRexroth выпуска до 2014 года, и экономию до 80% энергии, если электродвигатель не использует частотный принцип управления.

На использование в химической промышленности ориентированы два варианта исполнения преобразователя частоты серии Fe:

- G-серия инверторов — для использования в промышленном оборудовании, подверженному более высокой перегрузочной способностью (ленточные конвейеры, транспортеры, мешалки или экструдеры);
- P-серия инверторов — для применения в промышленном оборудовании с более высокой длительной нагрузочной способностью (в насосах, вентиляторах или дробилках).

Достоинства преобразователей серии Fe:

- несколько вариантов пультов оператора, в том числе и встроенный;
- русскоязычное программное обеспечение и документация;
- гарантийное и постгарантийное сервисное обслуживание;
- относительно низкая цена на инверторы при высоком немецком качестве. Снижение цены произошло из-за переноса производства в КНР в 2006 году. Причем поставки потребителям начались только после внедрения на производстве европейской системы качества;
- простота монтажа и эксплуатации;
- встроенный тормозной транзистор (до 15 кВт).

Внешний вид частотного преобразователя BoschRexroth серии Fe 2014 года показан на рисунке 18.



Рисунок 18- частотного преобразователя BoschRexroth серии Fe 2014 года

Система преобразователя частоты Fe компании Rexroth состоит из отдельных частей (компонентов) для применения в различных условиях:

- Fe: преобразователь частоты RexrothFe;
- FSWA: программное обеспечение технических задач;
- FRKB: кабель адаптера интерфейса;
- FELR: тормозной резистор;
- FECC: пульт управления Fe;
- FEAA: интерфейсный адаптер;
- FRKS: кабель панели управления;
- FENF: фильтр ЭМС;
- FELB: внешний тормозной прерыватель.

Каждая система имеет свою понятную систему кодировки продукта.

Например, для преобразователя частоты RexrothFe она показана на рис. 19.

Рассмотрим основные параметры.

Монтаж частотного преобразователя выполняется внутри шкафа управления (класс защиты IP 20).

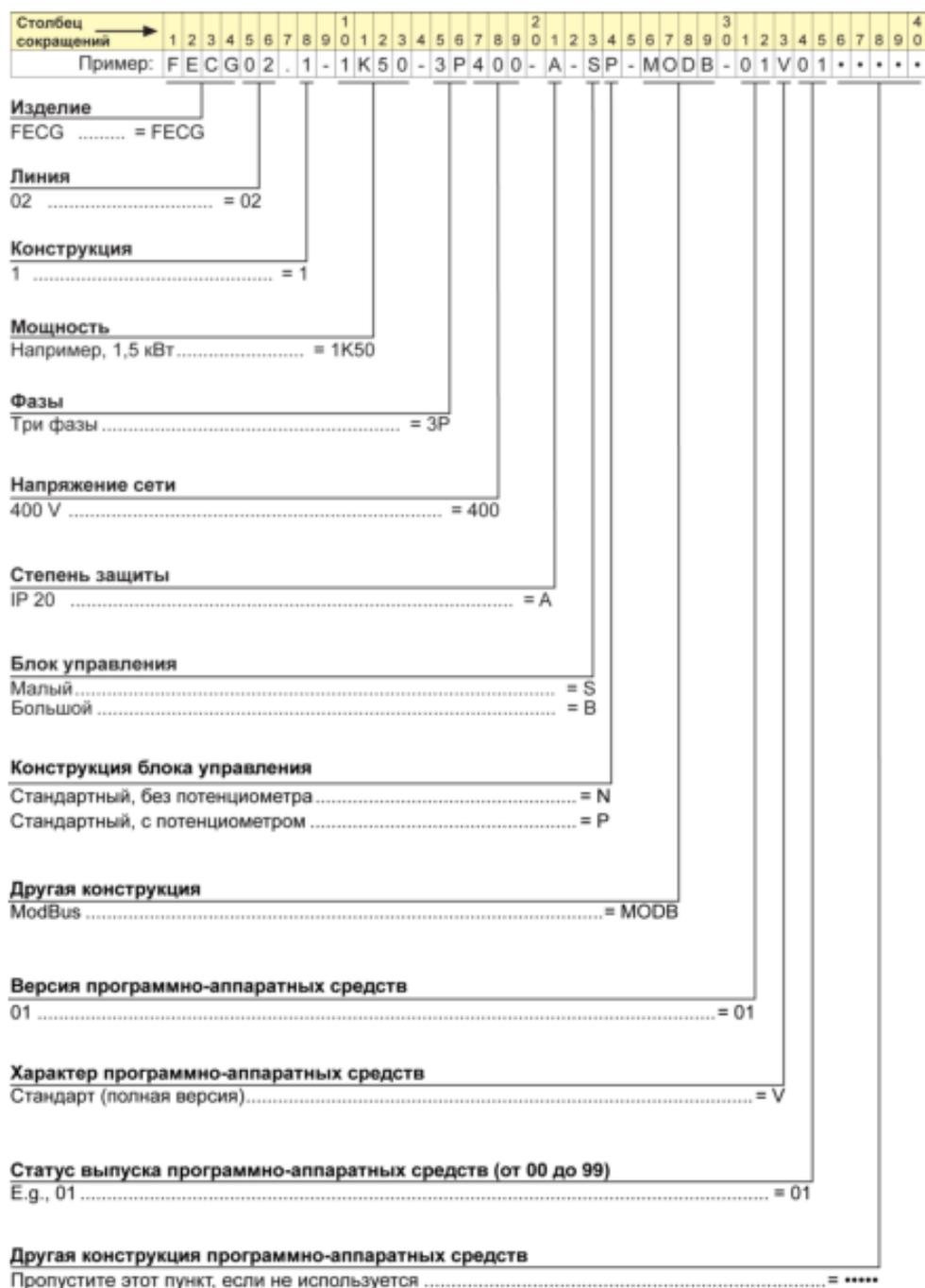


Рисунок 19- Система кодировки преобразователя частоты RexrothFe

Эксплуатационная температура от –10 до 40 °С. Минимальная мощность электродвигателя 0,75 кВт, максимальная мощность электродвигателя 160 кВт. Рабочий диапазон напряжений 380...480 В. Частота на выходе преобразователя от 0 до 650 Гц (см. табл. 6). Режим управления: V/F. Способность к перегрузкам:

а) серия G:

- 1 с. выдерживает 200% от $I_{НОМ}$;
- 60 с. выдерживает 150% от $I_{НОМ}$;
- б) серия Р:
 - 60 с. выдерживает 120% от $I_{НОМ}$;
 - 60 мин. выдерживает 105% от $I_{НОМ}$;

Таблица 6- Значения ШИМ Fe

Модель	Диапазон настройки ШИМ, кГц, с шагом 1 кГц
OK75 – 7K50	1 – 15
11КО – 45КО	1 – 8
55КО – 160К	1 - 6

Блок-схема подключения частотного преобразователя к приводу показана на рисунке 20.

Панель управления представляет собой сочетание информационной части (дисплея) и задающих инструментов (клавиш) (см. рис. 21). Клавиши позволяют пользователю программировать преобразователь. Дисплей показывает настройки режима и состояние преобразователя частоты.

Разработчики преобразователя особое внимание уделили доступности и понятности навигации по системе. Меню имеет трехуровневую структуру (см. рис. 22):

- на высшей иерархической ступени расположено отображение функциональных групп (основных, расширенных, программируемых и др);
- затем отображается функциональный признак соответствующей функциональной группы;
- на третьем уровне отображается значение параметра.

Работа панели управления поясняется рисунком 23. Для перехода от одной функциональной группы меню к другой используется клавиша Set. Для выбора параметра внутри группы – стрелки «вверх» и «вниз».

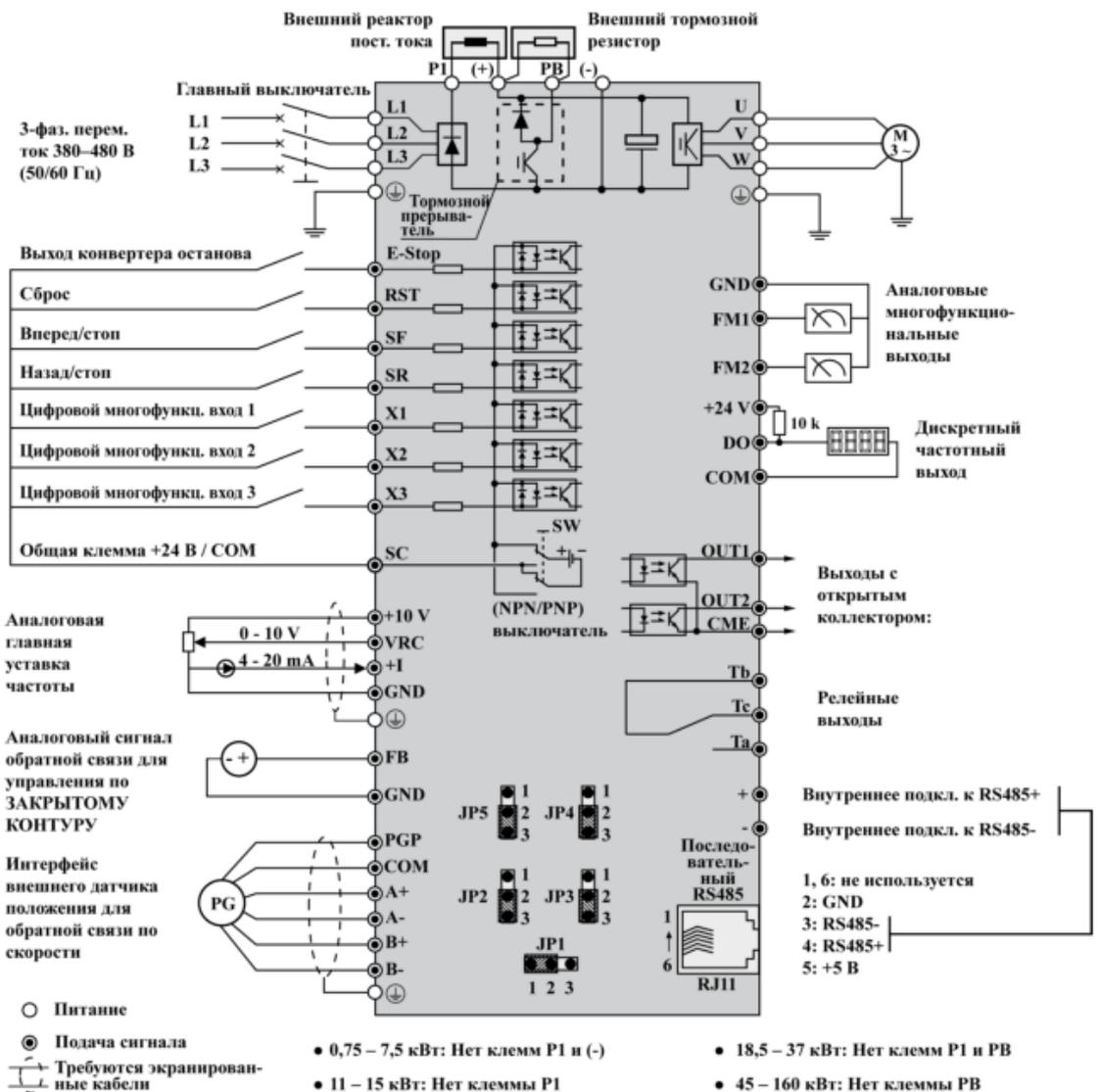


Рисунок 20- Блок-схема подключения частотного преобразователя к приводу



Рисунок 21- Панель управления частотным преобразователем



Рисунок 22- Структура меню управления

3.3 Расчет и выбор энергоэффективного технологического оборудования

Для вводных и секционных выключателей КТП в качестве устройств защиты предусматриваются расцепители.

Защита отходящих линий предусматривается в основном при помощи электромагнитных и тепловых расцепителей автоматических выключателей.

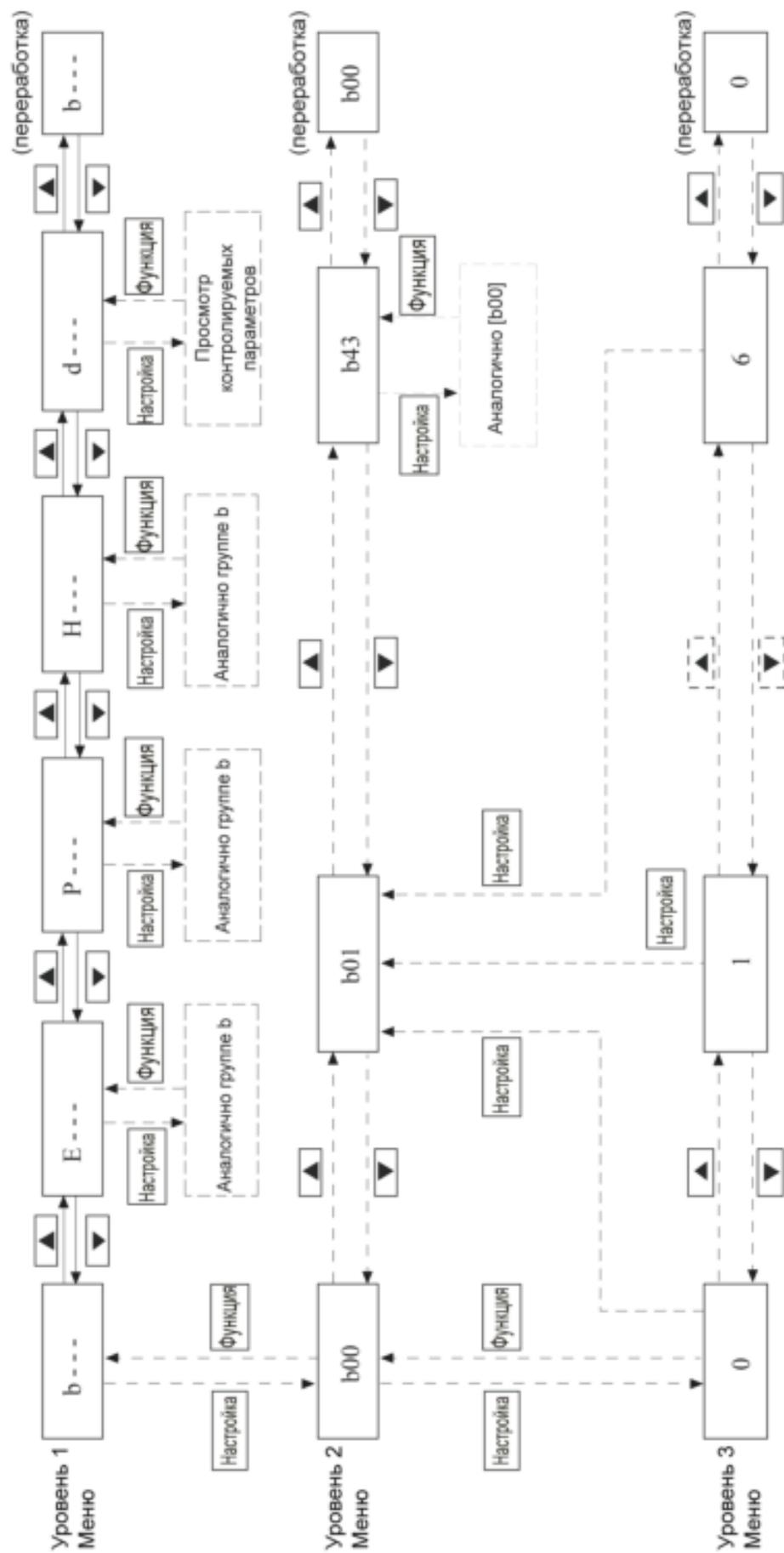


Рисунок 23- Работа панели управления

На секционном выключателе КТП выполняется АВР с пуском по минимальному напряжению. Управление вводными и секционным выключателями предусматривается при помощи органов управления на дверях шкафов.

Для подключения электродвигателей напряжением 0,4 кВ к шинам распределительных устройств применяются автоматические выключатели и магнитные контакторы (пускатели).

Согласно ПУЭ гл.3.1 предусматриваются следующие защиты:

- от коротких замыканий - электромагнитными расцепителями автоматических выключателей;

- от перегрузки - трехфазными тепловыми расцепителями автоматических выключателей, тепловыми реле магнитных пускателей;

- защита двигателя от обрыва фаз;

- защита цепи управления от к.з. - расцепителем автоматического выключателя в цепи управления.

Управление токоприемниками предусматривается:

- с силовых щитов, поставляемых комплектно с технологическим оборудованием;

- с местных постов управления;

- дистанционно из операторной (корпус 921) от АСУ ТП.

Для регулирования частоты вращения технологического и сантехнического оборудования предусматриваются частотные преобразователи.

Проектом предусматривается отключение вентиляции при пожаре от автоматической пожарной сигнализации и от кнопки снаружи у входа в здание.

Релейная защита и автоматика шкафов РУ-6 кВ выполнена в следующем объеме:

- на секционном выключателе — максимальная токовая защита без выдержки времени, блокируемая через 0,5 сек. после включения секционного

выключателя;

- на фидерах к трансформаторам КТП - токовая отсечка, максимальная токовая защита. Все защиты действуют на отключение выключателя 6 кВ.

Кроме вышеперечисленных защит, предусматривается:

- на фидерах к трансформаторам предусматривается защита от замыкания на землю с действием на сигнал и на отключение выключателей 6 кВ;

- на фидерах к конденсаторным установкам — максимальная токовая защита с действием на отключение выключателей 6 кВ, защита от перегрузки с действием на отключение выключателей, защита от замыкания на землю с действием на сигнал;

- на фидерах к асинхронным двигателям - токовая отсечка с действием на отключение выключателей 6 кВ, защита от перегрузки с действием на сигнал, защита минимального напряжения с действием на отключение выключателей 6 кВ, защита от замыкания на землю с действием на сигнал и на отключение выключателей 6 кВ

- во всех шкафах РУ-6 кВ предусмотрена защита от дуговых замыканий.

РУ-6 кВ состоит из комплектных распределительных устройств серии «Nexima» с вакуумными выключателями типа Evolis Ишелейского завода высоковольтной аппаратуры (ИЗВА).

Релейная защита комплектуется на базе микропроцессорных устройств защиты типа Sepam (SchneiderElectric).

На подстанции выполняется АВР с пуском по напряжению.

На вводных шкафах РУ-6 кВ установлены счетчики, обеспечивающие технический учет с функцией передачи сигнала в АСУ ТП. В РУ-6 кВ установлен шкаф телемеханики.

Напряжение питания оперативных цепей =220 В. Питание оперативных шин предусмотрено со щита постоянного тока.

3.5 Анализ распределения нагрузки по фазам

Электрические нагрузки распределены между РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ. Нагрузка на стороне 6 кВ составляет $P_p=1763$ кВт. Она распределена между двумя секциями: 1 секция $P_p=852$ кВт, 2 секция $P_p=911$ кВт. Отличие составляет 6,47%. Нагрузка на стороне 0,4 кВ составляет 1577 кВт. Она распределена между двумя секциями: 1 секция $P_p=793$ кВт, 2 секция $P_p=784$ кВт. Отличие составляет 1,14%. Для устранения перекоса фаз необходимо равномерно распределить потребителей энергии между фазами источника питания. Для электромеханических потребителей распределение приведено в таблице 7.

Таблица 7- Распределение электромеханических потребителей

Потребитель	Фаза АВ, кВт	Фаза ВС, кВт	Фаза АС, кВт
1	2	3	4
Мешалка первого и второго резервуара перемешивания	18		
Насос нейтрализатора		5,5	
Насос резервуара перемешивания			39,4
Насос конденсата		4,1	
Насос технологического конденсата		1,5	
Насос очищенного конденсата		1,1	
Насос упариваемого раствора		3,4	
Насос оборотной воды		7,5	
Дозаторы наполнителей		6,6	
Система пневмотранспорта	160,6		
Воздуходувка гранулятора-осушителя		18	

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4
Вытяжной вентилятор холодильника		59	
Вытяжной вентилятор скруббера			274,1
Вытяжной вентилятор гранулятора - осушителя		54	
Вытяжной вентилятор пылевых циклонов		33	
Гранулятор - осушитель		33,67	
Барaban холодильника		145,5	
Барaban для нанесения покрытия			18
Загрузочный элеватор грохота	27		
Конвейеры			13,5
Насос скруббера			20
Дробилка сульфата аммония	163		
Итого, кВт:	368,6	372,87	365
Итого, %	100	98,85	100,9

3.6 Разработка современной системы учёта расхода электроэнергии

Система учета расхода электроэнергии будет построена с использованием современных многофункциональных счетчиков электрической энергии СЭТ-4ТМ.03М производства АО «ННПО им. М.В. Фрунзе», г. Нижний Новгород. Будет создана автоматизированная система контроля и учета электрической энергии (АСКУЭ).

Счетчики серии СЭТ-4ТМ позволяют учитывать:

- активную электрическую энергию прямого направления;
- реактивную электрическую энергию от индуктивной нагрузки;
- реактивную электрическую энергию от емкостной нагрузки.

Для передачи данных используются независимые равно приоритетные каналы связи: один через RS-485, второй через оптический интерфейс ГОСТ Р МЭК 61107-2001.

3.7 Выводы по главе 3

В результате расчета компенсации реактивной мощности на стороне 0,4 кВ были выбраны две конденсаторные установки УКМ 58-0,4-425-25-6 УЗ стоимостью по 149500 руб. Расчетная величина компенсируемой энергии 892 кВАр. Исходный $\text{tg}\varphi_{\text{рас}}=0,72$, требуемый $\text{tg}\varphi_{\text{рас}}=0,21$.

В результате расчета компенсации реактивной мощности на стороне 6кВ были выбраны две конденсаторные установки УКРМ 58-6,3-250-50 УЗ стоимостью по 165800 руб. Расчетная величина компенсируемой энергии 635 кВАр. Исходный $\text{tg}\varphi_{\text{рас}}=0,46$, требуемый $\text{tg}\varphi_{\text{рас}}=0,21$.

Срок окупаемости ТОК, лет, внедренных КУ можно приближенно оценить по формуле (14)

$$\text{ТОК} = \frac{\text{ККУ}}{\text{Сср} * \Delta \text{Э}} \quad (14)$$

где Сср – стоимость электроэнергии;

ККУ- цена приобретаемой КУ;

$\Delta \text{Э}$ – годовая экономия электроэнергии, определяемая по формуле (15)

$$\Delta \text{Э} = \text{К} * Q_{\text{КУ}} * \text{Т} \quad (15)$$

где К- экономический эквивалент реактивной мощности.

Ориентировочно принимаем его равным 0,05 для КУ на стороне 6 кВ и равным 0,08 для КУ на стороне 0,4 кВ;

$Q_{\text{КУ}}$ – мощность КУ;

Т- эксплуатационное время. Принимаем 5000 час.

Для КУ на стороне 6 кВ:

$$\Delta \text{Э} = 0,05 * 250 * 2 * 5000 = 125000 \text{ кВт} * \text{ч}$$

$$\text{ТОК} = \frac{165800 * 2}{6 * 125000} = 0,44 \text{ год или 6 месяцев}$$

Для КУ на стороне 0,4 кВ:

$$\Delta \mathcal{E} = 0,08 * 425 * 2 * 5000 = 340000 \text{ кВт} * \text{ч}$$

$$\text{ТОК} = \frac{149500 * 2}{6 * 340000} = 0,14 \text{ год или 2 месяца}$$

Для экономной эксплуатации электроприводов была подобрана линейка частотных преобразователей Bosch Rexroth серии Fe 2014 года, позволяющая значительно экономить электроэнергию при эксплуатации электродвигателей.

Заключение

Настоящая магистрантская работа посвящена разработке мероприятий по энергосбережению электромеханического оборудования, применяемого в химическом производстве.

Анализ электрических нагрузок показал наличие следующих основных потребителей электрической энергии:

- электродвигатели компрессоров, насосов, воздуходувок, осушителя гранулятора, конвейеров, насосов, приточных установок и общеобменной вентиляции, грузоподъемного оборудования, погружных насосов.

Суммарная нагрузка на шинах 6 кВ подстанции составила согласно выполненных расчетов: активная 1763 кВт; реактивная 500 кВАр; общая 1832 кВА. Большое значение величины реактивной мощности потребовало обязательного проведения мероприятий по её компенсации.

Были проанализированы технологии энергосбережения в химической промышленности, показавшие системный подход, т.е. применение энергосбережения на всех стадиях производства.

В целях обеспечения экономии электроэнергии в настоящем проекте выбрали для применения в проектируемом цехе следующие энергосберегающие мероприятия:

- применение компенсации реактивной мощности, что позволяет уменьшить потери активной энергии в питающих линиях;

- применение частотных преобразователей для регулирования частоты вращения и мощности электродвигателей с непрерывным режимом работы;

- применение современного электропотребляющего оборудования заводов изготовителей, сертифицированное в установленном законодательством Российской Федерации порядке, с учетом показателей энергоэффективности;

- распределение нагрузки на трехфазных вводах по фазам с

неравномерностью, не превышающей 10%;

- применение учета расхода электроэнергии в соответствии с установленными государственными стандартами и нормами точности измерений.

Для экономии электрической энергии, потребляемой многочисленным электромеханическим оборудованием, на химическом производстве рекомендуется применять различные компенсирующие устройства, в зависимости от специфики применения это могут быть синхронные двигатели, синхронные компенсаторы, фильтро-компенсирующие устройства, батареи статических конденсаторов.

По результатам расчета и анализа мной были выбраны: на стороне 0,4 кВ конденсаторная установка УКМ 58-0,4-425-25-6 УЗ - 2 шт; на стороне 6 кВ конденсаторную установку УКРМ 58-6,3-250-50 УЗ - 2 шт.

Срок окупаемости КУ на стороне 6 кВ составил 6 месяцев, на стороне 0,4 кВ - 2 месяца.

Для экономной эксплуатации электроприводов была подобрана линейка частотных преобразователей BoschRexroth серии Fe 2014 года, позволяющая значительно экономить электроэнергию при эксплуатации электродвигателей.

Электрическая нагрузка 6 кВ распределена между двумя секциями: 1 секция $P_p=852$ кВт, 2 секция $P_p=911$ кВт. Отличие составляет 6,47%. Нагрузка на стороне 0,4 кВ распределена между двумя секциями: 1 секция $P_p=793$ кВт, 2 секция $P_p=784$ кВт. Отличие составляет 1,14%. Для устранения перекоса фаз потребители энергии равномерно распределены между фазами источника питания.

Система учета расхода электроэнергии будет построена с использованием современных многофункциональных счетчиков электрической энергии СЭТ-4ТМ.03М производства АО «ННПО им. М.В. Фрунзе», г. Нижний Новгород. Будет создана автоматизированная система контроля и учета электрической энергии.

Список используемых источников

1. Энергосбегающие технологии и способы энергосбережения. Справка. [Электронный ресурс] / Электронные СМИ РИА НОВОСТИ. URL: <https://ria.ru/eco/20081205/156573930.html> Дата обращения 05.02.2018
2. Международная Энергетическая Хартия [Электронный ресурс] / URL:https://energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Legal/IEC_RU.pdf Дата обращения 06.02.2018
3. Клер, А.М. Оптимизационные исследования энергетических установок и комплексов / Под ред. А.М. Клер, Э.А. Тюриной. – Новосибирск: ГЕО, 2016. - 414 с.[Электронный ресурс] / URL:http://isem.irk.ru/institute/results/res2016_thermo/ Дата обращения 06.02.2018
4. Экономика электроэнергетики : учеб. для студентов вузов, обуч. по направлению "Электротехника" / А. В. Пилюгин [и др.]. - 3-е изд., стер. - Старый Оскол : ТНТ, 2016. - 358 с.
5. Быстрицкий Г. Ф. Основы энергетики : учеб. для студентов вузов, обуч. по направлениям "Электромеханика, электротехника и электротехнологии" и "Электроэнергетика" / Г. Ф. Быстрицкий. - 4-е изд., стер. ; гриф УМО. - Москва : Кнорус, 2017. - 350 с.
6. Москаленко В. В. Электрический привод [Электронный ресурс] : учебник / В. В. Москаленко. - Москва : ИНФРА-М, 2015. - 400 с.
7. Алиев И. И. Электротехника и электрооборудование [Электронный ресурс] : справочник : учебное пособие для вузов / И. И. Алиев. - Саратов : Вузовское образование, 2014. - 1199 с.
8. Гурина И. А. Инженерные расчеты в электротехнике [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие для выполнения контрольных работ по дисциплине «Инженерные расчеты в электротехнике» для студентов направления подготовки 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» / И. А. Гурина. - Черкесск : БИЦ СевКавГГТА, 2014. - 29 с.

9. Данилов М. И. Инженерные системы зданий и сооружений [Электронный ресурс] : (электроснабжение с основами электротехники) : учеб. пособие / М. И. Данилов, И. Г. Романенко ; Сев.-Кавказ. федерал. ун-т. - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с.

10. Миленина С. А. Электротехника, электроника и схемотехника : учеб. и практикум для акад. бакалавриата / С. А. Миленина ; под ред. Н. К. Миленина. - Гриф УМО. - Москва : Юрайт, 2016. - 398 с.

11. Климова Г. Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение : учеб. пособие для приклад. бакалавриата / Г. Н. Климова ; Томский политехн. ун-т. - 2-е изд. ; гриф УМО. - Москва : Юрайт, 2016. - 179 с.

12. Энергосбережение в низковольтных электрических сетях при несимметричной нагрузке [Электронный ресурс] : монография / Ф. Д. Косоухов [и др.] ; под ред. Ф. Д. Косоухова. - Санкт-Петербург : Лань, 2016. - 280 с.

13. Шукуров И. С. Инженерные сети [Электронный ресурс] : учебник / И. С. Шукуров, И. Г. Дьяков, К. И. Микири. - Москва : МГСУ : ЭБС АСВ, 2016. - 278 с.

14. Шадрина Е. М. Расчет энергосберегающих технологических установок [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е. М. Шадрина, Н. А. Маркичев ; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново : [ИГХТУ], 2016. - 98 с.

15. Ушаков В. Я. Потенциал энергосбережения и его реализация в секторах конечного потребления энергии [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Я. Ушаков, П. С. Чубик ; Томский политехнический университет. - Томск : ТПУ, 2015. - 388 с.

16. Ушаков В. Я. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Я. Ушаков, Н. Н. Харлов, П. С. Чубик ; Томский политехнический университет. - Томск : ТПУ, 2015. - 283 с.

17. Климова Г. Н. Энергосбережение на промышленных предприятиях [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. Н. Климова ; Томский политехнический университет. - Томск : ТПУ, 2014. - 179 с.

18. Мархоцкий Я. Л. Основы экологии и энергосбережения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Я. Л. Мархоцкий. - Минск : Вышэйшая школа, 2014. - 287 с.

19. Стрельников Н. А. Энергосбережение [Электронный ресурс] : учебник / Н. А. Стрельников ; Новосибирский государственный технический университет. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 176 с.

20. Установка компенсации реактивной мощности УКМ 54-04 кВ. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс] / URL: <http://energozapad.ru/files/uploads/File/RK.pdf> Дата обращения 08.02.2018

21. Kler A.M., Zharkov P.V., Epishkin N.O. An effective approach to optimizing the parameters of complex thermal power plants // Thermophysics and Aeromechanics. - 2016. - Т.23. - №2. - С.289-296. DOI: 10.1134/S0869864316020165.