

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование электрической части распределительной трансформаторной подстанции РТП-100 установки «Параксилон-Парекс» ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод»

Обучающийся

В.П. Кащеев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

О.В. Федяй

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

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Кириллова

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

Тольятти 2023

Аннотация

Объектом разработки является подстанция РТП-100 установки «Параксиллол-Парекс» ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод».

Цель работы: проектирование электрической части распределительной трансформаторной подстанции РТП-100 установки «Параксиллол-Парекс» ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод».

В работе был произведен расчет электрических нагрузок методом коэффициента спроса, расчет распределительной сети 0,4кВ, в который входил расчет номинальных токов и пусковых токов электрооборудования, выбор пусковых и защитных аппаратов, выбор кабельных линий. Также были рассчитаны токи короткого замыкания на шинах распорядительного устройства. На основании расчетов нагрузок и токов короткого замыкания было выбрано силовое оборудование распорядительного устройства 6кВ, а также кабельные линии отходящих линий.

В работе была рассмотрена и описана работа схемы защиты и управления асинхронным электродвигателем технологического насоса Н-1А.

Выпускная квалификационная работа состоит из 49 страниц, в состав которой входит 13 таблиц, 4 рисунка.

Annotation

The object of following project is the RTP-100 distribution transformer substation of the Paraxylol-Parex unit of JSC Mozyr Oil Refinery.

The objective of the project: designing the electrical part of the distribution transformer substation RTP-100 of the Paraxylol-Parex unit of JSC Mozyr Oil Refinery.

The calculation of electrical loads by the demand factor method, the calculation of the distribution network 0.4 kV, which included the calculation of rated currents and starting currents of electrical equipment, the choice of starting and protective devices, the choice of cable lines, were carried out in the project. The short-circuit currents on the busbars of the control device were also calculated. Based on the calculations of loads and short circuit currents, the power equipment of the control device 6 kV, as well as cable lines of outgoing lines, were selected.

The operation of the protection and control circuit for the asynchronous electric motor of the H-1A process pump was examined and described in the project.

The final qualifying work consists of 49 pages and includes 13 tables, 4 figures.

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 5 |
| 1 Расчет электрических нагрузок 0,4кВ..... | 8 |
| 2 Расчет распределительной сети 0,4кВ. Выбор пусковой и защитной аппаратуры..... | 14 |
| 3 Расчет электрических нагрузок 6кВ..... | 29 |
| 4 Расчет токов короткого замыкания..... | 31 |
| 5 Выбор кабелей и высоковольтного оборудования..... | 35 |
| 6 Релейная защита и автоматика..... | 44 |
| Заключение..... | 47 |
| Список используемых источников..... | 48 |

Введение

Целью данной выпускной работы проектирование электрической части распределительной трансформаторной подстанции РТП-100 установки «Параксиллол-Парекс» ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод»

Процесс «Парекс» - это непрерывный процесс извлечения параксиллола из смеси ксилолов, этилбензола, толуола и неароматических углеводородов методом селективной адсорбции из жидкой фазы на неподвижном слое адсорбента ADS 27/27 L UOP.

Десорбция адсорбированного параксиллола осуществляется парадиетилбензолом, который является десорбентом.

Выделение товарного параксиллола из смеси пара диэтилбензолом осуществляется ректификацией.

В процессе «Парекс» осуществляется разделение смеси изомеров ароматических углеводородов C_8 (ксилолов и других компонентов сырья с выделением параксиллола высокой чистоты. Указанное разделение достигается путем использования свойства селективной адсорбции на цеолитах.

Подлежащая разделению смесь изомеров ароматических углеводородов C_8 вводится в слой адсорбента.

Параксиллол адсорбируется адсорбентом, накапливается в его порах и затем вытесняется оттуда другой жидкостью (десорбентом), имеющей температуру кипения, отличающуюся от температуры кипения параксиллола и других компонентов сырьевой смеси. В качестве десорбента в процессе применяется парадиетилбензол.

Из слоя адсорбента выводится 2 потока:

- экстракт, содержащий параксиллол и десорбент;
- рафинат, содержащий изомеры ароматики C_8 (мета-, ортоксиллолы) и десорбент.

Адсорбент циркулирует в замкнутом контуре в противопотоке вводимой жидкой фазы. Для упрощения принято, что сырье представляет собой бинарную смесь компонентов «А» и «В», в которой компонент «А» адсорбируется селективно по отношению к «В».

По положению ввода потоков и их вывода адсорбционный слой разделяется на 4 зоны, назначение которых следующее:

Зона I – адсорбция компонента «А» из жидкости: она расположена между точками рафината и сырья. Поступающий адсорбент содержит в своих порах только компонента «В» и десорбент «Д». Поднимающийся адсорбент извлекает из подаваемой в противопотоке жидкости (сырье) компонент «А» (ввиду селективных свойств адсорбента); одновременно происходит вытеснение «Д» из пор адсорбента. В зоне 1 происходит адсорбция параксилола, поэтому она является зоной адсорбции.

Зона II – удаление из пор адсорбента компонента «В», она расположена между точками сырья и экстракта. По мере того как адсорбент поднимается вверх, компонент «В» постепенно выводится из пор адсорбента заменяется на «А» и «Д», т.к. жидкость, поступающая с верха зоны II, содержит только компонент «А» и «Д». Путем выбора соответствующего расхода жидкости в этой зоне компонент «В» полностью десорбируется из пор адсорбента (без одновременной десорбции компонента «А», т.к. селективность адсорбента к компоненту «А» выше, чем к «В»).

В зоне II происходит очистка параксилола, поэтому она является зоной очистки.

Зона III – десорбция компонента «А» из пор адсорбента. Она расположена между точками десорбента и экстракта. Поднимающийся вверх адсорбент содержит в порах компонент «А» и «Д», а подаваемая в верхнюю часть зоны жидкость представляет собой чистый десорбент. Компонент «А» вытесняется из пор десорбентом.

В зоне III параксилон десорбируется из адсорбента, поэтому она является зоной десорбции.

Зона IV – буферная зона между зонами I и III, она расположена между точками рафината и десорбента. Адсорбент в верхней части зоны III содержит в своих порах только «Д», а поступающая сверху зоны жидкость содержит компонент «В» и «Д» (рафинат).

Путем поддержания отрицательного отношения между расходом жидкости в этой зоне и циркуляцией адсорбента, создается барьер проникновению компонентов рафината в зону III, т.к. в противном случае будет загрязняться экстракт, выводимый с низа этой зоны.

1 Расчет электрических нагрузок 0,4кВ

Список электроприемников 0,4кВ установки с расчетными данными представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Ведомость электроприемников 0,4кВ

| Поз. обознач. | Тип оборудования | P_n , кВт | $\cos\varphi_n$ | K_n | $\eta, \%$ | K_u |
|---------------|------------------|-------------|-----------------|-------|------------|-------|
| Н-1 | Насос | 40 | 0,9 | 7 | 89 | 0,85 |
| Н-1Р | Насос | 40 | 0,9 | 7 | 89 | 0,85 |
| Н-2 | Насос | 132 | 0,9 | 6,5 | 93,4 | 0,85 |
| Н-2Р | Насос | 132 | 0,9 | 6,5 | 93,4 | 0,85 |
| Н-5 | Насос | 5,5 | 0,88 | 7 | 85 | 0,85 |
| Н-6 | Насос | 30 | 0,9 | 7 | 89 | 0,85 |
| Н-6Р | Насос | 30 | 0,9 | 7 | 89 | 0,85 |
| Н-7 | Насос | 22 | 0,87 | 7 | 90 | 0,85 |
| Н-8 | Насос | 200 | 0,83 | 6,5 | 91,5 | 0,85 |
| Н-8Р | Насос | 200 | 0,83 | 6,5 | 91,5 | 0,85 |
| Н-9 | Насос | 200 | 0,91 | 7 | 94 | 0,85 |
| Н-9Р | Насос | 200 | 0,91 | 7 | 94 | 0,85 |
| Н-10 | Насос | 18,5 | 0,9 | 6,5 | 90 | 0,85 |
| Н-11 | Насос | 17 | 0,89 | 7 | 90 | 0,85 |
| Н-12 | Насос | 22 | 0,87 | 7 | 90 | 0,85 |
| ХВ-1/1 | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 0,85 |
| ХВ-1/1А | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 0,85 |
| ХВ-1/2 | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 0,85 |
| ХВ-1/2А | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 0,85 |
| ХВ-1/3 | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 0,85 |
| ХВ-1/3А | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 0,85 |
| ХВ-1/41 | Вентилятор | 17,5 | 0,9 | 7 | 88 | 0,85 |
| ХВ-1/42 | Вентилятор | 17,5 | 0,9 | 7 | 88 | 0,85 |
| ХВ-1/43 | Вентилятор | 15 | 0,84 | 6,5 | 90 | 0,85 |
| ХВ-1/44 | Вентилятор | 17,5 | 0,9 | 7 | 88 | 0,85 |
| ХВ-2 | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 0,85 |
| ХВ-2А | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 0,85 |
| ХВ-3 | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 0,85 |
| ХВ-4 | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 0,85 |
| ПВ-1 | Насос | 5,5 | 0,81 | 6,5 | 85,5 | 0,85 |
| ПВ-1А | Насос | 5,5 | 0,81 | 6,5 | 85,5 | 0,85 |
| Н-1А | Насос | 132 | 0,9 | 6,5 | 93,4 | 0,85 |
| Н-1В | Насос | 132 | 0,9 | 6,5 | 93,4 | 0,85 |
| Н-9А | Насос | 132 | 0,9 | 6,5 | 93,4 | 0,85 |
| Н-9В | Насос | 132 | 0,9 | 6,5 | 93,4 | 0,85 |
| Н-3А | Насос | 11 | 0,93 | 7 | 86 | 0,85 |
| Н-3Б | Насос | 11 | 0,93 | 7 | 86 | 0,85 |

Продолжение таблицы 1

| Поз. обознач. | Тип оборудования | P_n , кВт | $\cos\varphi_n$ | K_n | $\eta, \%$ | K_u |
|---------------|-------------------------------|-------------|-----------------|-------|------------|-------|
| П-1 | Вентилятор приточный | 2,2 | 0,83 | 6,5 | 81 | 0,85 |
| П-2 | Вентилятор приточный | 2,2 | 0,83 | 6,5 | 81 | 0,85 |
| В-1 | Вентилятор вытяжной | 0,37 | 0,84 | 5,9 | 73,2 | 0,85 |
| В-2 | Вентилятор вытяжной | 0,37 | 0,84 | 5,9 | 73,2 | 0,85 |
| ЦСП | Центральный сварочный пост | 200 | 0,9 | - | - | 0,3 |
| ЩСУ-1 | Щит станций управления | 50 | 0,9 | - | - | 0,7 |
| ШОТ | Шкаф оперативного тока | 8,1 | 0,9 | - | - | 0,7 |
| ЩО | Щит освещения | 150 | 0,95 | - | - | 0,85 |
| К-1 | Кондиционер | 4,5 | 0,71 | - | - | 0,78 |
| К-2 | Кондиционер | 4,5 | 0,71 | - | - | 0,78 |
| ШУВ-1 | Шкаф вентиляторов | 32 | 0,9 | - | - | 0,85 |
| ШУВ-2 | Шкаф вентиляторов | 32 | 0,9 | - | - | 0,85 |
| ЩРО | Щит рабочего освещения | 3 | 0,95 | - | - | 0,85 |
| ЩАО | Щит аварийного освещения | 2,5 | 0,95 | - | - | 0,85 |
| МССА, МССВ | Секция МССА, МССВ | 687 | 0,9 | - | - | - |
| БПН РШ-1 | Питание цепей управление РШ-1 | 3 | 0,5 | - | - | 0,1 |
| БПН РШ-2 | Питание цепей управление РШ-2 | 3 | 0,5 | - | - | 0,1 |

Так как установка имеет большое количество электрооборудования 0,4кВ, то для их питания будет предусмотрено две трансформаторные подстанции ТП-100 и ТП-100а. Оборудование 0,4кВ получает питание комплектного распределительного устройства MNS iS, которое состоит из двух секций сборных шин СШ-1 и СШ-2. Питающие и распределительные линии осуществляется преимущественно кабелем марки АВББШвнг.

Определим нагрузку по секциям и ТСН в целом по форме Ф636-92 согласно РТМ 36.18.32.4-92 [12] и [9].

«Расчетная активная мощность подключенных к узлу питания ЭП напряжением до 1кВ определяется по выражению:

$$P_p = K_p \cdot \sum K_{ui} \cdot P_{ni}, \quad (1)$$

где K_p – коэффициент расчетной нагрузки.

В случаях, когда расчетная мощность P_p окажется меньше номинальной наиболее мощного электроприемника, следует принимать $P_p = p_{н.макс.}$ » [12].

«Коэффициент расчетной мощности зависит от эффективного числа электроприемников, средневзвешенного коэффициента использования, а также от постоянной времени нагрева сети, для которой рассчитываются электрические нагрузки» [12].

«Эффективное число электроприемников $n_э$ - это такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа различных по мощности электроприемников. Величину $n_э$ рекомендуется определять по следующему выражению:

$$n_э = \frac{(\sum P_{ni})^2}{\sum n \cdot P_{ni}^2} \gg [12]. \quad (2)$$

«Для группы, состоящей из ЭП различных категорий (т. е. с разными K_u), средневзвешенный коэффициент использования определяется по формуле:

$$K_u = \frac{\sum P_{ni} \cdot K_{ui}}{\sum P_{ni}} \gg [12]. \quad (3)$$

«Расчетная силовая реактивная нагрузка для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций, а также при определении реактивной мощности в целом по цеху, корпусу, предприятию:

$$Q_p = K_p \cdot \sum P_{ni} \cdot K_{ui} \cdot tg\varphi_i \gg [12]. \quad (4)$$

Расчетный ток нагрузки:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (5)$$

Произведем расчет нагрузок для ТП-100а. Эффективное число электроприемников:

$$n_э = \frac{(132 \cdot 1 + 132 \cdot 1 + 11 \cdot 1 + 2,2 \cdot 1 + 0,37 \cdot 1 + 4,5 \cdot 1 + 4,5 \cdot 1 + 32 \cdot 1 + 3 \cdot 1 + 2,5 \cdot 1 + 687 \cdot 1 + 3 \cdot 1 + 3 \cdot 2)^2}{1 \cdot 132^2 + 1 \cdot 132^2 + 1 \cdot 11^2 + 1 \cdot 2,2^2 + 1 \cdot 0,37^2 + 1 \cdot 4,5^2 + 1 \cdot 4,5^2 + 1 \cdot 32^2 + 1 \cdot 3^2 + 1 \cdot 2,5^2 + 1 \cdot 687^2 + 2 \cdot 3^2} = 2,2.$$

Групповой коэффициент использования:

$$K_u = \frac{0,85 \cdot (132 + 132 + 11 + 2,2 + 0,37 + 4,5 + 4,5 + 32 + 3 + 2,5 + 687) + 0,1 \cdot 3}{132 + 132 + 11 + 2,2 + 0,37 + 4,5 + 4,5 + 32 + 3 + 2,5 + 687 + 3 \cdot 2} = 0,85.$$

По [12, таблица 2] при $n_э = 2,2$ и $K_u = 0,85$ $K_p = 1$.

Расчетная мощность группы:

$$P_p = 1 \cdot (0,85 \cdot (132 + 132 + 11 + 2,2 + 0,37 + 4,5 + 4,5 + 32 + 3 + 2,5 + 687) + 0,1 \cdot 3) = 860 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная нагрузка:

$$Q_p = 1 \cdot (0,85 \cdot (132 \cdot 0,48 + 132 \cdot 0,48 + 11 \cdot 0,54 + 2,2 \cdot 0,46 + 0,37 \cdot 0,57 + 4,5 \cdot 0,67 + 4,5 \cdot 0,46 + 32 \cdot 0,48 + 3 \cdot 0,51 + 2,5 \cdot 0,57 + 687 \cdot 0,86) + 0,1 \cdot 3 \cdot 1,73) = 635 \text{ кВт.}$$

Расчетный ток нагрузки ТП-100а:

$$I_p = \frac{\sqrt{860^2 + 635^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1624 \text{ А.}$$

Расчет нагрузок для остальных узлов производится аналогично.

Результаты расчетов нагрузки представлены в форме Ф636-92 в таблице 2.

Таблица 2 – Определение расчетных нагрузок цехов

| Исходные данные | | | | Расч. величины | | n_3 | K_p | Расч. мощность | | | I_p , кВА | | |
|-----------------------|--------------------------|--|------------------|----------------|--------------------|-------|-------|-----------------|--|-------------|-------------|--------------|-------------|
| по заданию технологов | | | по справ. данным | | | | | $K_u \cdot P_n$ | $K_u \cdot P_n \cdot \text{tg}\varphi$ | P_p , кВт | | Q_p , кВАр | S_p , кВА |
| Наименование ЭП | Кол-во ЭП раб/рез, n шт. | Ном. мощность, кВт одного p_n общая $P_n = n \cdot p_n$ | k_u | $\cos\varphi$ | $\text{tg}\varphi$ | | | | | | | | |
| ТП-100 | | | | | | | | | | | | | |
| Насос Н-1,1Р | 1/1 | 40 40 | 0,85 | 0,9 | 0,48 | 34 | 16 | - | - | - | - | | |
| Насос Н-2,2Р | 1/1 | 132 132 | 0,85 | 0,9 | 0,48 | 112 | 54 | - | - | - | - | | |
| Н-5 | 1 | 5,5 5,5 | 0,85 | 0,88 | 0,54 | 5 | 3 | - | - | - | - | | |
| Насос Н-6,6Р | 1/1 | 30 30 | 0,85 | 0,91 | 0,46 | 26 | 12 | - | - | - | - | | |
| Н-7 | 1 | 22 22 | 0,85 | 0,87 | 0,57 | 19 | 11 | - | - | - | - | | |
| Насос Н-8,8Р | 1/1 | 200 200 | 0,85 | 0,83 | 0,67 | 170 | 114 | - | - | - | - | | |
| Насос Н-9,9Р | 1/1 | 200 200 | 0,85 | 0,91 | 0,46 | 170 | 77 | - | - | - | - | | |
| Н-10 | 1 | 18,5 18,5 | 0,85 | 0,9 | 0,48 | 16 | 8 | - | - | - | - | | |
| Н-11 | 1 | 17 17 | 0,85 | 0,89 | 0,51 | 14 | 7 | - | - | - | - | | |
| Н-12 | 1 | 22 22 | 0,85 | 0,87 | 0,57 | 19 | 11 | - | - | - | - | | |
| ХВ-1/1, 1/1А | 1/1 | 37 37 | 0,85 | 0,76 | 0,86 | 31 | 27 | - | - | - | - | | |
| ХВ-1/2, 1/2А | 1/1 | 37 37 | 0,85 | 0,76 | 0,86 | 31 | 27 | - | - | - | - | | |
| ХВ-1/3, 1/3А | 1/1 | 37 37 | 0,85 | 0,76 | 0,86 | 31 | 27 | - | - | - | - | | |
| ХВ-1/41 | 1 | 17,5 17,5 | 0,85 | 0,9 | 0,48 | 15 | 7 | - | - | - | - | | |
| ХВ-1/42 | 1 | 17,5 17,5 | 0,85 | 0,9 | 0,48 | 15 | 7 | - | - | - | - | | |
| ХВ-1/43 | 1 | 15 15 | 0,85 | 0,84 | 0,65 | 13 | 8 | - | - | - | - | | |
| ХВ-1/44 | 1 | 17,5 17,5 | 0,85 | 0,9 | 0,48 | 15 | 7 | - | - | - | - | | |
| ХВ-2, 2А | 1/1 | 37 37 | 0,85 | 0,76 | 0,86 | 31 | 27 | - | - | - | - | | |
| ХВ-3 | 1 | 37 37 | 0,85 | 0,76 | 0,86 | 31 | 27 | - | - | - | - | | |
| ХВ-4 | 1 | 37 37 | 0,85 | 0,76 | 0,86 | 31 | 27 | - | - | - | - | | |
| ПВ-1, 1А | 1/1 | 5,5 5,5 | 0,85 | 0,81 | 0,72 | 5 | 3 | - | - | - | - | | |

Продолжение таблицы 2

| Исходные данные | | | | | | | Расч. величины | | n_3 | K_p | Расч. мощность | | | I_p , кВА |
|-----------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|------------------|---------------|-------------|-----------------|---------------------------------|-------|-------|----------------|--------------|-------------|-------------|
| по заданию технологов | | | | по справ. данным | | | $K_u \cdot P_n$ | $K_u \cdot P_n \cdot tg\varphi$ | | | P_p , кВт | Q_p , кВАр | S_p , кВА | |
| Наименование ЭП | Кол-во ЭП раб/рез, n шт. | Ном. мощность, кВт | | k_u | $\cos\varphi$ | $tg\varphi$ | | | | | | | | |
| | | одного p_n | общая $P_n = n \cdot p_n$ | | | | | | | | | | | |
| ЦСП | 1 | 200 | 200 | 0,3 | 0,9 | 0,48 | 60 | 29 | - | - | - | - | - | - |
| ЩСУ-1 | 1 | 50 | 50 | 0,70 | 0,9 | 0,48 | 35 | 17 | - | - | - | - | - | - |
| ШОТ | 1 | 8,1 | 8,1 | 0,7 | 0,9 | 0,48 | 6 | 3 | - | - | - | - | - | - |
| ЩО | 1 | 150 | 150 | 0,85 | 0,95 | 0,33 | 128 | 42 | - | - | - | - | - | - |
| Итого ТП-100 | - | - | 1430,1 | 0,77 | - | 0,57 | 1097 | 627 | 13 | 1 | 1097 | 627 | 1264 | 1920 |
| ТП-100а | | | | | | | | | | | | | | |
| Н-1А, 1В | 1/1 | 132 | 132 | 0,85 | 0,9 | 0,48 | 112,2 | 54 | - | - | - | - | - | - |
| Н-9А, 9В | 1/1 | 132 | 132 | 0,85 | 0,9 | 0,48 | 112,2 | 54 | - | - | - | - | - | - |
| Н-3А, 3В | 1/1 | 11 | 11 | 0,85 | 0,88 | 0,54 | 9,4 | 5 | - | - | - | - | - | - |
| П-1, 2 | 1/1 | 2,2 | 2,2 | 0,85 | 0,91 | 0,46 | 1,9 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| В-1, 2 | 1/1 | 0,37 | 0,37 | 0,85 | 0,87 | 0,57 | 0,3 | 0 | - | - | - | - | - | - |
| К1 | 1 | 4,5 | 4,5 | 0,85 | 0,83 | 0,67 | 3,8 | 3 | - | - | - | - | - | - |
| К2 | 1 | 4,5 | 4,5 | 0,85 | 0,91 | 0,46 | 3,8 | 2 | - | - | - | - | - | - |
| ШУВ-1, 2 | 1/1 | 32 | 32 | 0,85 | 0,9 | 0,48 | 27,2 | 13 | - | - | - | - | - | - |
| ШРО | 1 | 3 | 3 | 0,85 | 0,89 | 0,51 | 2,6 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| ЩАО | 1 | 2,5 | 2,5 | 0,85 | 0,87 | 0,57 | 2,1 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| МССА, МССВ | 1 | 687 | 687 | 1 | 0,9 | 0,48 | 687 | 333 | - | - | - | - | - | - |
| БПН РШ-1, РШ-2 | 1 | 3 | 6 | 0,1 | 0,5 | 1,73 | 0,6 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| Итого ТП-100а | - | - | 1017 | 0,85 | - | 0,74 | 963 | 469 | 2,2 | 1 | 963 | 469 | 1071 | 1627 |

Вывод по разделу 1.

В данном разделе был произведен расчет электрических нагрузок 0,4кВ установки «Параксиллол-Парекс». Так как установка имеет большое количество электрооборудования 0,4кВ, то для их питания было предусмотрено две трансформаторные подстанции ТП-100 и ТП-100а. Большинство технологического электрооборудование имеет резервные позиции, что было учтено при расчете электрических нагрузок. На основании данных расчетов в последующем будет производиться выбор питающих трансформаторов, распределительного устройства, а также проводникового материала и защитного оборудования.

2 Расчет распределительной сети 0,4кВ. Выбор пусковой и защитной аппаратуры

Сперва необходимо определить номинальные и пусковые токи электрооборудования, что позволит в последующем подобрать аппараты защиты и управления.

Расчетный ток трехфазного электроприемника [15]:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_n \cdot \eta_n}. \quad (6)$$

Пусковой ток электродвигателя [15]:

$$I_{\text{пуск}} = I_p \cdot K_n, \quad (7)$$

где K_n – кратность пускового тока, определяется по паспортным данным ЭП.

Определим номинальный и пусковой токи насоса Н-1.

$$I_n = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,89} = 76 \text{ А},$$

$$I_{\text{пуск}} = 76 \cdot 7 = 531 \text{ А}.$$

Результаты вычислений и пусковых токов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Ведомость электроприемников

| Поз. обознач. | Тип оборудования | P_n , кВт | $\cos\varphi_n$ | K_n | η , % | I_p , А | I_n , А |
|---------------|------------------|-------------|-----------------|-------|------------|-----------|-----------|
| Н-1 | Насос | 40 | 0,9 | 7 | 89 | 76 | 531 |
| Н-1Р | Насос | 40 | 0,9 | 7 | 89 | 76 | 531 |

Продолжение таблицы 3

| Поз. обознач. | Тип оборудования | P_n , кВт | $\cos\varphi_n$ | K_n | η , % | I_p , А | I_n , А |
|---------------|----------------------|-------------|-----------------|-------|------------|-----------|-----------|
| Н-2 | Насос | 132 | 0,9 | 6,5 | 93,4 | 239 | 1551 |
| Н-2Р | Насос | 132 | 0,9 | 6,5 | 93,4 | 239 | 1551 |
| Н-5 | Насос | 5,5 | 0,88 | 7 | 85 | 11 | 78 |
| Н-6 | Насос | 30 | 0,9 | 7 | 89 | 57 | 398 |
| Н-6Р | Насос | 30 | 0,9 | 7 | 89 | 57 | 398 |
| Н-7 | Насос | 22 | 0,87 | 7 | 90 | 43 | 299 |
| Н-8 | Насос | 200 | 0,83 | 6,5 | 91,5 | 400 | 2601 |
| Н-8Р | Насос | 200 | 0,83 | 6,5 | 91,5 | 400 | 2601 |
| Н-9 | Насос | 200 | 0,91 | 7 | 94 | 355 | 2487 |
| Н-9Р | Насос | 200 | 0,91 | 7 | 94 | 355 | 2487 |
| Н-10 | Насос | 18,5 | 0,9 | 6,5 | 90 | 35 | 226 |
| Н-11 | Насос | 17 | 0,89 | 7 | 90 | 32 | 226 |
| Н-12 | Насос | 22 | 0,87 | 7 | 90 | 43 | 299 |
| ХВ-1/1 | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 81 | 406 |
| ХВ-1/1А | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 81 | 406 |
| ХВ-1/2 | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 81 | 406 |
| ХВ-1/2А | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 81 | 406 |
| ХВ-1/3 | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 81 | 406 |
| ХВ-1/3А | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 81 | 406 |
| ХВ-1/41 | Вентилятор | 17,5 | 0,9 | 7 | 88 | 30 | 235 |
| ХВ-1/42 | Вентилятор | 17,5 | 0,9 | 7 | 88 | 34 | 235 |
| ХВ-1/43 | Вентилятор | 15 | 0,84 | 6,5 | 90 | 30 | 196 |
| ХВ-1/44 | Вентилятор | 17,5 | 0,9 | 7 | 88 | 34 | 235 |
| ХВ-2 | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 81 | 406 |
| ХВ-2А | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 81 | 406 |
| ХВ-3 | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 81 | 406 |
| ХВ-4 | Вентилятор | 37 | 0,76 | 5 | 91 | 81 | 406 |
| ПВ-1 | Насос | 5,5 | 0,81 | 6,5 | 85,5 | 12 | 78 |
| ПВ-1А | Насос | 5,5 | 0,81 | 6,5 | 85,5 | 12 | 78 |
| Н-1А | Насос | 132 | 0,9 | 6,5 | 93,4 | 239 | 1551 |
| Н-1В | Насос | 132 | 0,9 | 6,5 | 93,4 | 239 | 1551 |
| Н-9А | Насос | 132 | 0,9 | 6,5 | 93,4 | 0,2 | 2 |
| Н-9В | Насос | 132 | 0,9 | 6,5 | 93,4 | 239 | 1551 |
| Н-3А | Насос | 11 | 0,93 | 7 | 86 | 21 | 146 |
| Н-3Б | Насос | 11 | 0,93 | 7 | 86 | 21 | 146 |
| П-1 | Вентилятор приточный | 2,2 | 0,83 | 6,5 | 81 | 5 | 32 |
| П-2 | Вентилятор приточный | 2,2 | 0,83 | 6,5 | 81 | 5 | 32 |
| В-1 | Вентилятор вытяжной | 0,37 | 0,84 | 5,9 | 73,2 | 1 | 5 |
| В-2 | Вентилятор вытяжной | 0,37 | 0,84 | 5,9 | 73,2 | 1 | 5 |

Продолжение таблицы 3

| Поз. обознач. | Тип оборудования | P_n , кВт | $\cos\varphi_n$ | K_n | $\eta, \%$ | I_p , А | I_n , А |
|---------------|-------------------------------|-------------|-----------------|-------|------------|-----------|-----------|
| ЦСП | Центральный сварочный пост | 200 | 0,9 | - | - | 338 | - |
| ЩСУ-1 | Щит станций управления | 50 | 0,9 | - | - | 84 | - |
| ШОТ | Шкаф оперативного тока | 8,1 | 0,9 | - | - | 14 | - |
| ЩО | Щит освещения | 150 | 0,95 | - | - | 240 | - |
| К-1 | Кондиционер | 4,5 | 0,71 | - | - | 10 | - |
| К-2 | Кондиционер | 4,5 | 0,71 | - | - | 10 | - |
| ШУВ-1 | Шкаф вентиляторов | 32 | 0,9 | - | - | 54 | - |
| ШУВ-2 | Шкаф вентиляторов | 32 | 0,9 | - | - | 54 | - |
| ЩРО | Щит рабочего освещения | 3 | 0,95 | - | - | 5 | - |
| ЩАО | Щит аварийного освещения | 2,5 | 0,95 | - | - | 4 | - |
| МССА, МССВ | Секция МССА, МССВ | 687 | 0,9 | - | - | 1160 | - |
| БПН РШ-1 | Питание цепей управление РШ-1 | 3 | 0,5 | - | - | 9 | - |
| БПН РШ-2 | Питание цепей управление РШ-2 | 3 | 0,5 | - | - | 9 | - |

Низковольтные комплектные устройства (НКУ) должны соответствовать ряду требований.

Панели распределительных устройств должны иметь четкие надписи, указывающие порядковый номер, название присоединения, к которому относится панель (ячейка), а установленная на панелях аппаратура должна иметь надписи или маркировку согласно схемам. Надписи должны выполняться на лицевой стороне устройства, а при обслуживании с двух сторон – также на задней стороне устройства.

Взаимное расположение фаз и полюсов в пределах всего устройства должно быть одинаковым. В РУ должна быть обеспечена возможность установки переносных защитных заземлений.

Распределительные устройства и НКУ должны быть выполнены так,

чтобы вибрации, возникающие при действии аппаратов, а также от сотрясений, вызванных внешними воздействиями, не нарушали контактных соединений и не вызывали разрегулировки аппаратов и приборов.

«Конструкции РУ и НКУ должны предусматривать ввод кабелей без нарушения степени защиты оболочки, места для прокладки разделки внешних присоединений, а также наименьшую в данной конструкции длину разделки кабелей. Должен быть обеспечен доступ ко всем обслуживаемым аппаратам, приборам, устройствам и их зажимам. Распределительное устройство должно иметь устройства для подключения нулевых рабочих (N), заземляющих (PE) и совмещенных (PEN) проводников внешних кабелей и проводов. В случае, если внешние кабели по сечению или количеству не могут быть подключены непосредственно к зажимам аппаратов, конструкция РУ должна предусматривать дополнительные зажимы или промежуточные шины с устройствами для присоединения внешних кабелей» [14].

В качестве распределительного устройства для ТП-100 будет использовано MNS iS фирмы АВВ, где каждый отходящий фидер выполнен в виде выдвижной ячейки. Основное отличие НКУ MNS iS от традиционного НКУ - возможность контроля и диагностики электроснабжения за счет встроенной в НКУ системы управления.

Выдвижной модуль коммутирует силовые цепи с помощью контактора, и защищает их от короткого замыкания с помощью автоматического выключателя. Все остальные функции защит, управления и мониторинга реализуются блоком управления Mcontrol.

«Блок управления модулем Mcontrol обрабатывает информацию с датчика, при необходимости активируя защиту (отключая контактор). Если параметры вернулись в нормальное состояние, Mcontrol может выполнить самозапуск линии. Блок управления выключателем Mconnect считывает данные с электронного расцепителя выключателя. Взаимодействие блока управления с другим оборудованием возможно за счет встроенных дискретных и аналоговых входов/выходов. Обработка информации от входов

и выходов, логика управления и другие функции задаются настройкой блока управления. Благодаря этому, параметры можно настраивать на работающей НКУ, а смену логики управления осуществлять программным путем без изменения аппаратной части» [20].

«Автоматические выключатели служат для нечастых коммутаций (несколько раз в смену) и защиты электрических цепей от токов аномальных режимов. Они являются более совершенными аппаратами по сравнению с предохранителями, так как отключают одновременно три фазы защищаемой цепи, что особенно важно для электродвигателей, готовы к быстрому восстановлению электроснабжения. после аварийных отключений, имеют более точные защитные характеристики и т.д.

Наиболее часто применяются автоматические выключатели с тепловыми, электромагнитными и комбинированными расцепителями. Тепловые расцепители защищают от перегрузок, а электромагнитные – от токов КЗ. Комбинированный расцепитель представляет собой сочетание теплового и электромагнитного расцепителя» [10, страница 157].

Автоматический выключатель - контактное коммутационное устройство, способное включать, проводить и отключать электрические токи при нормальных условиях электрической цепи, а также включать, проводить в течение установленного времени и отключать электрические токи при определенных аномальных условиях электрической цепи, таких как короткое замыкание [9].

Условия выбора автоматического выключателя [8]:

$$I_{ном.р} \geq I_p. \quad (8)$$

где $I_{ном.р}$ – номинальный ток расцепителя автомата, А.

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя [13]:

$$I_{ср..р} \geq 1,25 \cdot I_{пуск}, \quad (9)$$

Ток срабатывания автоматического выключателя:

$$I_{ср..р} = K_{ТО} \cdot I_{ном.р}, \quad (10)$$

где $K_{ТО}$ – кратность тока отсечки.

Для ТП-100 примем специализированные автоматические выключатели типа Т2S, для ТП-100а – автоматы типа S5 и S2 фирмы АВВ.

Выбор автоматического выключателя для насоса Н-3Б. Номинальный ток расцепителя должен быть не менее номинального тока насоса:

$$I_{ном.р} \geq 21 \text{ А.}$$

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя должен быть не менее:

$$I_{ср..р} \geq 1,25 \cdot 146 = 183 \text{ А.}$$

Для данного насоса примем автоматический выключатель типа S2X80 с номинальным током расцепителя $I_{ном.р} = 25 \text{ А}$ и током отсечки $I_{ср.р} = 250 \text{ А}$. Для остальных позиций выбор происходит аналогично. Результаты выбора сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Выбор аппаратов защиты

| № на плане | Наименование защищаемого объекта (линии) | $I_p, \text{ А}$ | $I_{пуск}, \text{ А}$ | Тип ВЫК-ЛЯ | $I_{ном.а}, \text{ А}$ | $I_{ном.р}, \text{ А}$ | $I_{ср.р}, \text{ А}$ |
|------------|--|------------------|-----------------------|------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Н-1 | Насос | 76 | 531 | T2S250FF | 250 | 100 | 1000 |
| Н-1Р | Насос | 76 | 531 | T2S250FF | 250 | 100 | 1000 |

Продолжение таблицы 4

| № на плане | Наименование защищаемого объекта (линии) | I_p , А | $I_{пуск}$, А | Тип вык-ля | $I_{ном.а}$, А | $I_{ном.р}$, А | $I_{ср.р}$, А |
|------------|--|-----------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Н-2 | Насос | 239 | 1551 | T2S630FF | 630 | 300 | 3000 |
| Н-2Р | Насос | 239 | 1551 | T2S630FF | 630 | 300 | 3000 |
| Н-5 | Насос | 11 | 78 | T2S160FF | 160 | 25 | 250 |
| Н-6 | Насос | 57 | 398 | T2S160FF | 160 | 80 | 800 |
| Н-6Р | Насос | 57 | 398 | T2S160FF | 160 | 80 | 800 |
| Н-7 | Насос | 43 | 299 | T2S160FF | 160 | 50 | 500 |
| Н-8 | Насос | 400 | 2601 | T2S630FF | 630 | 500 | 5000 |
| Н-8Р | Насос | 400 | 2601 | T2S630FF | 630 | 500 | 5000 |
| Н-9 | Насос | 355 | 2487 | T2S630FF | 630 | 500 | 5000 |
| Н-9Р | Насос | 355 | 2487 | T2S630FF | 630 | 500 | 5000 |
| Н-10 | Насос | 35 | 226 | T2S160FF | 160 | 50 | 500 |
| Н-11 | Насос | 32 | 226 | T2S160FF | 160 | 50 | 500 |
| Н-12 | Насос | 43 | 299 | T2S160FF | 160 | 50 | 800 |
| ХВ-1/1 | Вентилятор | 81 | 406 | T2S160FF | 160 | 100 | 1000 |
| ХВ-1/1А | Вентилятор | 81 | 406 | T2S160FF | 160 | 100 | 1000 |
| ХВ-1/2 | Вентилятор | 81 | 406 | T2S160FF | 160 | 100 | 1000 |
| ХВ-1/2А | Вентилятор | 81 | 406 | T2S160FF | 160 | 100 | 1000 |
| ХВ-1/3 | Вентилятор | 81 | 406 | T2S160FF | 160 | 100 | 1000 |
| ХВ-1/3А | Вентилятор | 81 | 406 | T2S160FF | 160 | 100 | 1000 |
| ХВ-1/41 | Вентилятор | 34 | 235 | T2S160FF | 160 | 50 | 500 |
| ХВ-1/42 | Вентилятор | 34 | 235 | T2S160FF | 160 | 50 | 500 |
| ХВ-1/43 | Вентилятор | 30 | 196 | T2S160FF | 160 | 50 | 500 |
| ХВ-1/44 | Вентилятор | 34 | 235 | T2S160FF | 160 | 50 | 500 |
| ХВ-2 | Вентилятор | 81 | 406 | T2S160FF | 160 | 100 | 1000 |
| ХВ-2А | Вентилятор | 81 | 406 | T2S160FF | 160 | 100 | 1000 |
| ХВ-3 | Вентилятор | 81 | 406 | T2S160FF | 160 | 100 | 1000 |
| ХВ-4 | Вентилятор | 81 | 406 | T2S160FF | 160 | 100 | 1000 |
| ПВ-1 | Насос | 12 | 78 | T2S160FF | 160 | 25 | 250 |
| ПВ-1А | Насос | 12 | 78 | T2S160FF | 160 | 25 | 250 |
| Н-1А | Насос | 239 | 1551 | S5H400FEFP R211-1 | 400 | 250 | 2500 |
| Н-1В | Насос | 239 | 1551 | S5H400FEFP R211-1 | 400 | 250 | 2500 |
| Н-9А | Насос | 0,2 | 2 | S5H400FEFP R211-1 | 400 | 250 | 2500 |
| Н-9В | Насос | 239 | 1551 | S5H400FEFP R211-1 | 400 | 250 | 2500 |
| Н-3А | Насос | 21 | 146 | S2X80 | 80 | 25 | 250 |
| Н-3Б | Насос | 21 | 146 | S2X80 | 80 | 25 | 250 |
| П-1 | Вентилятор приточный | 5 | 32 | S2X80 | 80 | 6,5 | 65 |
| П-2 | Вентилятор приточный | 5 | 32 | S2X80 | 80 | 6,5 | 65 |

Продолжение таблицы 4

| № на плане | Наименование защищаемого объекта (линии) | I_p , А | $I_{пуск}$, А | Тип вык-ля | $I_{ном.а}$, А | $I_{ном.р}$, А | $I_{ср.р}$, А |
|------------|--|-----------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| В-1 | Вентилятор вытяжной | 1 | 5 | S2X80 | 80 | 1,6 | 16 |
| В-2 | Вентилятор вытяжной | 1 | 5 | S2X80 | 80 | 1,6 | 16 |
| ЦСП | Центральный сварочный пост | 338 | 338 | T6S630FF | 630 | 500 | 5000 |
| ЩСУ-1 | Щит станций управления | 84 | 84 | T2S160FF | 160 | 160 | 1600 |
| ШОТ | Шкаф оперативного тока | 14 | 14 | T2S160FF | 160 | 50 | 500 |
| ЩО | Щит освещения | 240 | 240 | T6S630FF | 630 | 500 | 5000 |
| К-1 | Кондиционер | 10 | 10 | S2X80 | 80 | 20 | 200 |
| К-2 | Кондиционер | 10 | 10 | S2X80 | 80 | 20 | 200 |
| ШУВ-1 | Шкаф вентиляторов | 54 | 54 | S2X80 | 80 | 63 | 630 |
| ШУВ-2 | Шкаф вентиляторов | 54 | 54 | S2X80 | 80 | 63 | 630 |
| ЩРО | Щит рабочего освещения | 5 | 5 | S2X80 | 80 | 25 | 250 |
| ЩАО | Щит аварийного освещения | 4 | 4 | S2X80 | 80 | 25 | 250 |
| МССА, МССВ | Секция МССА, МССВ | 1160 | 1160 | EMAX E2N 1600 | 1600 | 1600 | 5000 |
| БПН РШ-1 | Питание цепей управление РШ-1 | 9 | 9 | S2X80 | 80 | 20 | 200 |
| БПН РШ-2 | Питание цепей управление РШ-2 | 9 | 9 | S2X80 | 80 | 20 | 200 |

«Контакты переменного и постоянного тока предназначены для замыкания и размыкания электрических цепей, а в комбинации с соответствующими реле и для защиты этих цепей от возможных рабочих перегрузок» [3].

В нашем случае пускатели предназначены для пуска двигателя, разгона его до номинальной скорости, защиты двигателя и подключенных к нему цепей от рабочих перегрузок и отключения питания двигателя.

«Электромагнитный контактор - контактор, в котором сила, необходимая для замыкания или размыкания главных контактов, создается электромагнитом» [3].

Условие выбора магнитного пускателя [13]:

$$I_{ном.п} \geq I_p, \quad (11)$$

где $I_{ном.п}$ – номинальный ток пускателя, А.

Условие выбора пускателя с тепловым реле [13]:

$$I_{ном.т} \geq I_{ном}, \quad (12)$$

$$I_{min} < I_p < I_{max}, \quad (13)$$

где $I_{ном.т}$ – номинальный ток теплового реле, А;

I_{min} и I_{max} – пределы регулирования тока несрабатывания теплового реле, А.

Условие выбор магнитного пускателя с тепловым реле для насоса Н-ЗБ:

$$I_{ном.п} \geq 21 \text{ А},$$

$$I_{min} < 21 < I_{max},$$

К эксплуатации примем магнитный пускатель типа А30-30-32 с номинальным током $I_{ном.п} = 30 \text{ А}$ с тепловым реле типа ТА25ДУ25 с диапазоном уставки 18-25 А. Для остальных позиций выбор происходит аналогично. Результаты выбора сведены в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор магнитных пускателей

| № на плане | Наименование защищаемого объекта | I_P, A | Магнитный пускатель | | Тепловое реле | |
|------------|----------------------------------|----------|---------------------|----------------|---------------|-------------------|
| | | | Тип | $I_{ном.п}, A$ | Тип | Пределы регул., A |
| Н-1 | Насос | 76 | A210-30-32 | 210 | - | - |
| Н-1P | Насос | 76 | A210-30-32 | 210 | - | - |
| Н-2 | Насос | 239 | AF300-30-32 | 300 | - | - |
| Н-2P | Насос | 239 | AF300-30-32 | 300 | - | - |
| Н-5 | Насос | 11 | A26-30-32 | 26 | - | - |
| Н-6 | Насос | 57 | A75-30-32 | 75 | - | - |
| Н-6P | Насос | 57 | A75-30-32 | 75 | - | - |
| Н-7 | Насос | 43 | A75-30-32 | 75 | - | - |
| Н-8 | Насос | 400 | AF580-30-32 | 580 | - | - |
| Н-8P | Насос | 400 | AF580-30-32 | 580 | - | - |
| Н-9 | Насос | 355 | AF580-30-32 | 580 | - | - |
| Н-9P | Насос | 355 | AF580-30-32 | 580 | - | - |
| Н-10 | Насос | 35 | A50-30-32 | 50 | - | - |
| Н-11 | Насос | 32 | A50-30-32 | 50 | - | - |
| Н-12 | Насос | 43 | A75-30-32 | 75 | - | - |
| ХВ-1/1 | Вентилятор | 81 | A110-30-32 | 110 | - | - |
| ХВ-1/1А | Вентилятор | 81 | A110-30-32 | 110 | - | - |
| ХВ-1/2 | Вентилятор | 81 | A110-30-32 | 110 | - | - |
| ХВ-1/2А | Вентилятор | 81 | A110-30-32 | 110 | - | - |
| ХВ-1/3 | Вентилятор | 81 | A110-30-32 | 110 | - | - |
| ХВ-1/3А | Вентилятор | 81 | A110-30-32 | 110 | - | - |
| ХВ-1/41 | Вентилятор | 34 | A50-30-32 | 50 | - | - |
| ХВ-1/42 | Вентилятор | 34 | A50-30-32 | 50 | - | - |
| ХВ-1/43 | Вентилятор | 30 | A50-30-32 | 50 | - | - |
| ХВ-1/44 | Вентилятор | 34 | A50-30-32 | 50 | - | - |
| ХВ-2 | Вентилятор | 81 | A110-30-32 | 110 | - | - |
| ХВ-2А | Вентилятор | 81 | A110-30-32 | 110 | - | - |
| ХВ-3 | Вентилятор | 81 | A110-30-32 | 110 | - | - |
| ХВ-4 | Вентилятор | 81 | A110-30-32 | 110 | - | - |
| ПВ-1 | Насос | 12 | A26-30-32 | 26 | - | - |
| ПВ-1А | Насос | 12 | A26-30-32 | 26 | - | - |
| Н-1А | Насос | 239 | AF400-30-22 | 400 | E320DU | 105-320 |
| Н-1В | Насос | 239 | AF400-30-22 | 400 | E320DU | 105-320 |
| Н-9А | Насос | 239 | AF400-30-22 | 400 | E320DU | 105-320 |
| Н-9В | Насос | 239 | AF400-30-22 | 400 | E320DU | 105-320 |
| Н-3А | Насос | 21 | A30-30-32 | 30 | TA25DU25 | 18-25 |
| Н-3Б | Насос | 21 | A30-30-32 | 30 | TA25DU25 | 18-25 |
| П-1 | Вентилятор приточный | 5 | A26-30-32 | 26 | TA25DU6,5 | 4,5-6,5 |
| П-2 | Вентилятор приточный | 5 | A26-30-32 | 26 | TA25DU6,5 | 4,5-6,5 |
| В-1 | Вентилятор вытяжной | 1 | A9-30-32 | 9 | TA25DU1,4 | 1-1,4 |
| В-2 | Вентилятор | 1 | A9-30-32 | 9 | TA25DU1,4 | 1-1,4 |

«Проводники электрических сетей всех видов и назначений выбираются или проверяются по допустимому нагреву длительным расчетным током по условию:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p / K_n, \quad (14)$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток кабеля, А;

K_n – поправочный коэффициент на фактические условия прокладки проводов и кабелей.

Для электрических сетей до 1кВ, как правило, поправочный коэффициент K_n определяется как:

$$K_n = K_1 \cdot K_2, \quad (15)$$

где K_1, K_2 – коэффициенты, учитывающие фактическую температуру окружающей среды и количество совместно проложенных проводников» [10, страница 187].

Выбранные сечения проводников должны соответствовать их защитным аппаратам:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{ном.з}} \quad (16)$$

где $I_{\text{ном.з}}$ – номинальный ток устройства защиты.

Допустимый ток нагрева кабеля насоса Н-1:

$$I_{\text{доп}} \geq 76 / (1 \cdot 0,75) = 101 \text{ А.}$$

Проверка соответствия кабеля на ток расцепителя автомата:

$$I_{\text{доп}} \geq 100 \text{ А.}$$

По [8, таблица ПЗ.4] выбираем кабель ВВГ 4×50 с $I_{доп} = 110\text{А}$.

Для остальных электроприемников кабель выбирается аналогично.

Результаты выбора кабелей сведены в таблице 6.

Таблица 6 – Выбор кабелей для ЭП

| № на плане | Наименование защищаемого объекта (линии) | I_p , А | K_1 | K_2 | $I_{ном.р.}$, А | Марка и сечение кабеля | $I_{доп}$, А |
|------------|--|-----------|-------|-------|------------------|------------------------|---------------|
| Н-1 | Насос | 76 | 1 | 0,75 | 100 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| Н-1Р | Насос | 76 | 1 | 0,75 | 100 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| Н-2 | Насос | 239 | 1 | 0,75 | 300 | АВББШвнг 2(4×95) | 315 |
| Н-2Р | Насос | 239 | 1 | 0,75 | 300 | АВББШвнг 2(4×95) | 315 |
| Н-5 | Насос | 11 | 1 | 0,75 | 25 | АВББШвнг (4×6) | 32 |
| Н-6 | Насос | 57 | 1 | 0,75 | 80 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| Н-6Р | Насос | 57 | 1 | 0,75 | 80 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| Н-7 | Насос | 43 | 1 | 0,75 | 50 | АВББШвнг (4×25) | 75 |
| Н-8 | Насос | 400 | 1 | 0,75 | 500 | АВББШвнг 2(4×150) | 500 |
| Н-8Р | Насос | 400 | 1 | 0,75 | 500 | АВББШвнг 2(4×150) | 500 |
| Н-9 | Насос | 355 | 1 | 0,75 | 500 | АВББШвнг 2(4×150) | 500 |
| Н-9Р | Насос | 355 | 1 | 0,75 | 500 | АВББШвнг 2(4×150) | 500 |
| Н-10 | Насос | 35 | 1 | 0,75 | 50 | АВББШвнг (4×16) | 60 |
| Н-11 | Насос | 32 | 1 | 0,75 | 50 | АВББШвнг (4×16) | 60 |
| Н-12 | Насос | 43 | 1 | 0,75 | 50 | АВББШвнг (4×25) | 75 |
| ХВ-1/1 | Вентилятор | 81 | 1 | 0,75 | 100 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| ХВ-1/1А | Вентилятор | 81 | 1 | 0,75 | 100 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| ХВ-1/2 | Вентилятор | 81 | 1 | 0,75 | 100 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| ХВ-1/2А | Вентилятор | 81 | 1 | 0,75 | 100 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| ХВ-1/3 | Вентилятор | 81 | 1 | 0,75 | 100 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| ХВ-1/3А | Вентилятор | 81 | 1 | 0,75 | 100 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| ХВ-1/41 | Вентилятор | 34 | 1 | 0,75 | 50 | АВББШвнг (4×35) | 90 |
| ХВ-1/42 | Вентилятор | 34 | 1 | 0,75 | 50 | АВББШвнг (4×35) | 90 |
| ХВ-1/43 | Вентилятор | 30 | 1 | 0,75 | 50 | АВББШвнг (4×35) | 90 |
| ХВ-1/44 | Вентилятор | 34 | 1 | 0,75 | 50 | АВББШвнг (4×35) | 90 |
| ХВ-2 | Вентилятор | 81 | 1 | 0,75 | 100 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| ХВ-2А | Вентилятор | 81 | 1 | 0,75 | 100 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| ХВ-3 | Вентилятор | 81 | 1 | 0,75 | 100 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| ХВ-4 | Вентилятор | 81 | 1 | 0,75 | 100 | АВББШвнг (4×50) | 110 |
| ПВ-1 | Насос | 12 | 1 | 0,75 | 25 | АВББШвнг (4×6) | 32 |
| ПВ-1А | Насос | 12 | 1 | 0,75 | 25 | АВББШвнг (4×6) | 32 |
| Н-1А | Насос | 239 | 1 | 0,75 | 250 | ВББШв (4×120) | 260 |
| Н-1В | Насос | 239 | 1 | 0,75 | 250 | ВББШв (4×120) | 260 |

Продолжение таблицы 6

| № на плане | Наименование защищаемого объекта (линии) | I_p, A | K_1 | K_2 | $I_{ном.р.}, A$ | Марка и сечение кабеля | $I_{доп.}, A$ |
|------------|--|----------|-------|-------|-----------------|------------------------|---------------|
| Н-9А | Насос | 239 | 1 | 0,75 | 250 | ВБбШв (4×120) | 260 |
| Н-9В | Насос | 239 | 1 | 0,75 | 250 | ВБбШв (4×120) | 260 |
| Н-3А | Насос | 21 | 1 | 0,75 | 25 | ВБВ (4×4) | 35 |
| Н-3Б | Насос | 21 | 1 | 0,75 | 25 | ВБВ (4×4) | 35 |
| П-1 | Вентилятор приточный | 5 | 1 | 0,75 | 6,5 | ВБбШв (4×4) | 35 |
| П-2 | Вентилятор приточный | 5 | 1 | 0,75 | 6,5 | ВБбШв (4×4) | 35 |
| В-1 | Вентилятор вытяжной | 1 | 1 | 0,75 | 1,6 | ВБбШв (4×4) | 35 |
| В-2 | Вентилятор вытяжной | 1 | 1 | 0,75 | 1,6 | ВБбШв (4×4) | 35 |
| ЦСП | Центральный сварочный пост | 338 | 1 | 0,75 | 500 | АВВГнг 2(4×150) | 500 |
| ЩСУ-1 | Щит станций управления | 84 | 1 | 0,75 | 160 | АВВГнг (4×120) | 200 |
| ШОТ | Шкаф оперативного тока | 14 | 1 | 0,75 | 50 | ВВГнг (4×10) | 55 |
| ЩО | Щит освещения | 240 | 1 | 0,75 | 500 | АВВГнг 2(4×150) | 500 |
| К-1 | Кондиционер | 10 | 1 | 0,75 | 20 | АВБбШв (4×4) | 27 |
| К-2 | Кондиционер | 10 | 1 | 0,75 | 20 | АВБбШв (4×4) | 27 |
| ШУВ-1 | Шкаф вентиляторов | 54 | 1 | 0,75 | 63 | АВБбШв (3×25+1×16) | 75 |
| ШУВ-2 | Шкаф вентиляторов | 54 | 1 | 0,75 | 63 | АВБбШв (3×25+1×16) | 75 |
| ЩРО | Щит рабочего освещения | 5 | 1 | 0,75 | 25 | АВБбШв (4×16) | 60 |
| ЩАО | Щит аварийного освещения | 4 | 1 | 0,75 | 25 | АВБбШв (4×16) | 60 |
| БПН РШ-1 | Питание цепей управление РШ-1 | 9 | 1 | 0,75 | 20 | АВВГ (4×6) | 32 |
| БПН РШ-2 | Питание цепей управление РШ-2 | 9 | 1 | 0,75 | 20 | АВВГ (4×6) | 32 |

Далее необходимо подобрать питающие силовые трансформаторы для каждой из ТП.

К установке примем сухие трансформаторы. По сравнению с масляными они имеют ряд преимуществ:

- не требуют дополнительных сооружений и затрат, таких как наличие маслохозяйства и др.;

- являются взрыво- и пожаробезопасными;
- имеют более низкие потери короткого замыкания;
- минимальные требования к обслуживанию.

Номинальная мощность трансформатора:

$$S_{HT} = \frac{S_{PH}}{\beta_T \cdot N_T}, \quad (17)$$

где β_T - коэффициент загрузки трансформатора;

N_T - количество трансформатора.

Вид ТП и коэффициентов загрузки β_T зависит от категории электроприемников питаемой нагрузки. Так как установка находится во взрывоопасной зоне, то при аварийных ситуациях не должен происходить перегрев трансформатора. При отключении одного из трансформаторов оставшийся в работе трансформатор должен нести на себе всю нагрузку без перегрузки. В таком случае коэффициент загрузки трансформатора принимается равным $\beta_T = 0,5$ [6].

Необходимая мощность трансформаторов для ТП-100:

$$S_T = \frac{1264}{0,5 \cdot 2} = 1264 \text{ кВА.}$$

К монтажу выберем трансформатор типа аТСЕ-1600/6.

Необходимая мощность трансформаторов для ТП-100а:

$$S_T = \frac{1071}{0,5 \cdot 2} = 1071 \text{ кВА.}$$

К монтажу выберем трансформатор типа аТСЕ-1600/6.

Вывод по разделу 2.

В данном разделе был произведен расчет распределительной сети напряжением 0,4кВ. Данный расчет включает в себя выбор распределительных устройств, выбор аппаратов пуска и защиты, выбор кабельных изделий. Для ТП-100а было принято принята низковольтное комплектное устройство типа MNS, для ТП-100 приняли НКУ типа MNS iS фирмы ABB.

В качестве коммутационного и защитного оборудования были подобраны автоматические выключатели, магнитные пускатели и тепловые реле этой же фирмы, входящие в комплект выбранного НКУ.

Так же в данном разделе были выбраны сухие трансформаторы 6/0,4кВ типа aTSE-1600/6. Достоинствами сухих трансформаторов являются пожарная безопасность, отсутствие дополнительных затрат на монтаж, отсутствие выбросов CO₂, простота обслуживания.

3 Расчет электрических нагрузок 6кВ

Электрические нагрузки выше 1000В рекомендуется рассчитывать по РТМ 36.18.32.4-92 [12].

Расчетное значение высоковольтной нагрузка:

$$P_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m (K_{ui} \cdot P_{ni}), \quad (18)$$

$$Q_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m (K_{ui} \cdot P_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi), \quad (19)$$

где K_o – коэффициент одновременности максимумов нагрузок.

Коэффициент одновременности K_o определяется по [12, таблица 3].

Групповой коэффициент использования силовой нагрузки:

$$K_u = \frac{0,88 \cdot 400 + 0,88 \cdot 320}{400 + 320} = 0,88$$

По [12, таблица 3] принимаем коэффициент одновременности $K_o = 1$.

Расчетная силовая нагрузка установки:

$$P_p = 1 \cdot (0,88 \cdot 400 + 0,88 \cdot 320) + 1097 + 963 = 2694 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 1 \cdot (0,88 \cdot 0,48 \cdot 400 + 0,88 \cdot 0,48 \cdot 320) + 627 + 469 = 1400 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{2694^2 + 1400^2} = 3036 \text{ кВт}.$$

Расчет нагрузок на шинах распределительного устройства 6кВ оформлен в таблице 7.

Таблица 7 – Определение расчетных нагрузок установки

| Исходные данные | | | | Расч. величины | | n_3 | K_p | Расч. мощность | | | I_p , кВА | | | |
|-----------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|----------------|---------------|-------|-------|-----------------|--|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------------|
| по заданию технологов | | | по справ. данным | | | | | $K_u \cdot P_n$ | $K_u \cdot P_n \cdot \text{tg}\varphi$ | P_p , кВт | | Q_p , кВАр | S_p , кВА | |
| Наименование ЭП | Кол-во ЭП раб/рез, n шт. | Ном. мощность, кВт | | k_u | $\cos\varphi$ | | | | | | | | | $\text{tg}\varphi$ |
| | | одного p_n | общая $P_n = n \cdot p_n$ | | | | | | | | | | | |
| Насосы Р-5 (Р-5а) | 1/1 | 400 | 400 | 0,88 | 0,9 | 0,48 | 352 | 169 | - | - | - | - | - | |
| Насосы Н-4 (Н-4а) | 1/1 | 320 | 320 | 0,88 | 0,9 | 0,48 | 282 | 135 | - | - | - | - | - | |
| Итого эл. двигатели | 2 | - | 720 | 0,88 | 0,9 | 0,48 | 634 | 304 | 2 | 1 | 634 | 304 | 703 | 68 |
| ТП-100 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1097 | 627 | 1264 | 122 |
| ТП-100а | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 963 | 469 | 1071 | 103 |
| Итого РТП-100 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2694 | 1400 | 3036 | 292 |

Вывод по разделу 3.

В данном разделе был произведен расчет электрических нагрузок на стороне 6кВ установки «Параксиллол-Парекс». Расчет проводился согласно РТМ 36.18.32.4-92. Высоковольтные насосы имеют резервные позиции, что было учтено при расчете электрических нагрузок. На основании данных расчетов в последующем будет производиться выбор высоковольтного оборудования (распределительного устройства, выключателей, трансформаторы тока и напряжения и др.), а также проводникового материала.

4 Расчет токов короткого замыкания

Для расчета токов КЗ в сети выше 1000В используется ГОСТ 27514-87 [2] и РД 153-34.0-20.527-98 [11].

Питание рассматриваемой установки производится по существующему кабелю марки ААШв-2(3×185) от районной ТЭЦ. На рисунке 1 изображена расчетная схемы питающей сети.

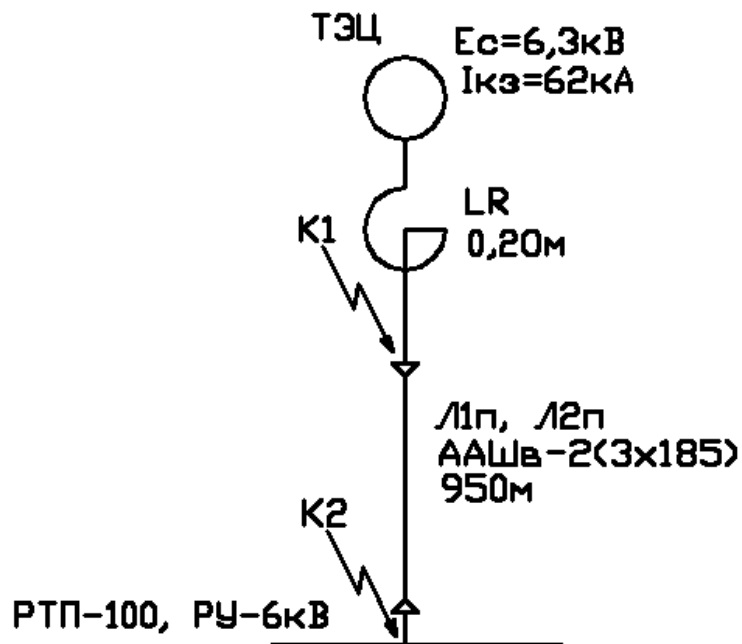


Рисунок 1 – Расчетная схема сети

Затем определим параметры схемы замещения сети.

«Если для конкретного узла сети известно значение тока трехфазного КЗ от системы $I_{кз.с}$ или мощности трехфазного КЗ от системы $S_{кз.с}$, то эквивалентное индуктивное сопротивление системы может быть определено по выражению:

$$X_c = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{кз.с}}, \quad (20)$$

где $U_{ср.ном}$ – среднее номинальное напряжение сети, соответствующее ступени КЗ» [2].

Активное и реактивное сопротивление кабельной линии:

$$R_k = R_{y\partial} \cdot L, \quad (21)$$

$$X_k = X_{y\partial} \cdot L, \quad (22)$$

где $R_{y\partial}$ и $X_{y\partial}$ – удельное активное и реактивное сопротивления соответственно, Ом/км;

L – длина кабельной линии, км.

Рассчитаем сопротивления элементов сети. Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 62} = 0,1 \text{ Ом.}$$

Активное и реактивное сопротивление питающей кабельной линии:

$$R_k = \frac{0,17}{2} \cdot 0,95 = 0,08 \text{ Ом,}$$

$$X_k = \frac{0,078}{2} \cdot 0,95 = 0,37 \text{ Ом.}$$

По найденным значениям составим схему замещения сети (рисунок 2).

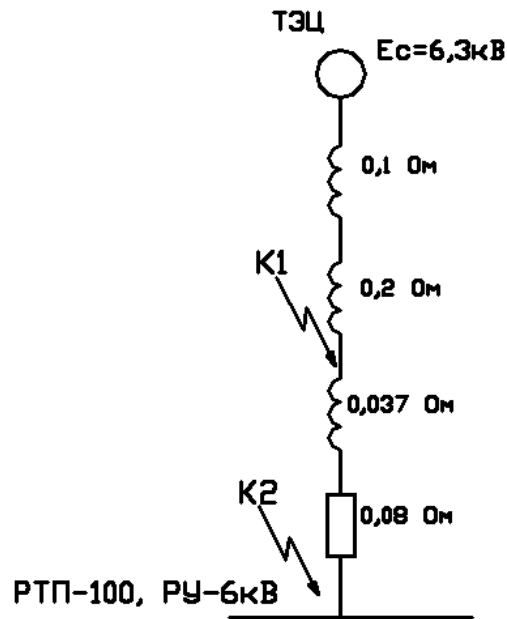


Рисунок 2 – Схема замещения сети

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ:

$$I_{n0}^{(3)} = \frac{E_{\text{экв}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\text{экв}}^2 + X_{\text{экв}}^2}}, \quad (23)$$

где $E_{\text{экв}}$ – эквивалентная ЭДС сети;

$R_{\text{экв}}$ и $X_{\text{экв}}$ – эквивалентные активное и реактивное сопротивления сети соответственно, Ом.

Ударный ток короткого замыкания:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot K_{y\partial}, \quad (24)$$

где $K_{y\partial}$ - ударный коэффициент [1, таблица 2.3].

Тепловой импульс (интеграл Джоуля) в A^2c :

$$B_k = I_{n0}^2 \cdot t_{отк}, \quad (25)$$

где $t_{отк}$ – время действия тока КЗ, с.

Время действия тока КЗ определяется временем действия уставки релейной защиты для данного участка. Время отключения ввода РТП-100 составляет 0,4 с, время отключения на шинах ТЭЦ – 0,8 с.

Действующие значения тока КЗ, ударный ток КЗ и импульс квадратичного тока для точки $K1$:

$$I_{n0(K1)} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0^2 + (0,1 + 0,2)^2}} = 20,4 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial(K1)} = \sqrt{2} \cdot 18,9 \cdot 1,6 = 46,2 \text{ кА},$$

$$B_{\kappa(K1)} = 20,4^2 \cdot (0,8 + 0,04) = 350 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Действующие значения тока КЗ, ударный ток КЗ и импульс квадратичного тока для точки $K2$:

$$I_{n0(K2)} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,08^2 + (0,1 + 0,2 + 0,039)^2}} = 17,6 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial(K2)} = \sqrt{2} \cdot 17,6 \cdot 1,6 = 39,9 \text{ кА},$$

$$B_{\kappa(K2)} = 17,6^2 \cdot (0,4 + 0,04) = 137 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Вывод по разделу 4.

В текущем разделе производилось определение токов короткого замыкания в сети питания установки. Знание значений токов КЗ в системе необходимы для выбора высоковольтного силового оборудования, такого как выключатели, распределительные устройства, трансформаторы тока, заземляющие ножи и т.п.

5 Выбор кабелей и высоковольтного оборудования

Трансформаторы, питающие нагрузку с электроприемниками I и II категории должны питаться от двух независимых источников питания (от разных секций РУ-6кВ). При распределении нагрузки по секциям РТП необходимо стремиться к их равномерной загрузке.

На рисунке 3 приведена план схема распределительной сети установки на напряжении 6кВ.

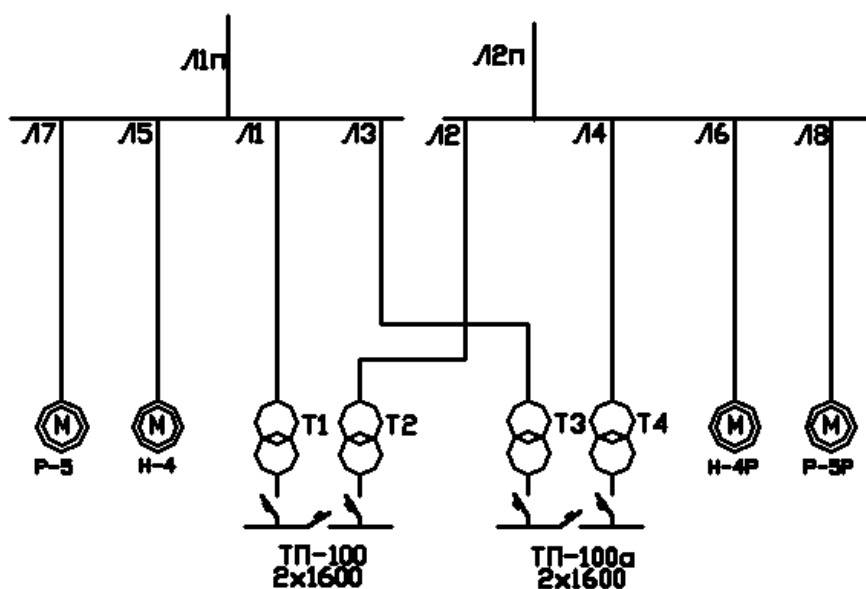


Рисунок 3 – Предварительная схема распределительной сети

Сперва необходимо определить нагрузки кабельных линий.

Расчетный ток для линий ТП:

$$I_{p(III)} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (26)$$

Расчетный ток в линии к РТП:

$$I_{p(PTI)} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (27)$$

Расчетный ток в линии к высоковольтному двигателю:

$$I_{p(дв)} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (28)$$

Определим значения токов для всех линий РТП-100. Расчетный ток линий с трансформаторами 1600кВА:

$$I_p = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 6} = 154 \text{ А.}$$

Расчетный ток для двигателей Н-4, Н-4Р:

$$I_{p(дв)} = \frac{320}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,89} = 38 \text{ А.}$$

Расчетный ток для двигателей Н-5, Н-5Р:

$$I_{p(дв)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,91} = 47 \text{ А.}$$

Расчетной ток питающей линии РТП:

$$I_{p(PTI)} = \frac{3036}{\sqrt{3} \cdot 6} = 292 \text{ А.}$$

«Проводники любого назначения должны удовлетворять требованиям в

отношении предельно допустимого нагрева с учетом не только нормальных, но и послеаварийных режимов, а также режимов в период ремонта и возможных неравномерностей распределения токов между линиями, секциями шин и т. п. При проверке на нагрев принимается получасовой максимум тока, наибольший из средних получасовых токов данного элемента сети» [7, п.1.3.2].

«Сечения проводников должны быть проверены по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение $F_{\text{э}}$, мм, определяется из соотношения:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}}, \quad (29)$$

где I_p – расчетный ток в час максимума энергосистемы, А;

$j_{\text{э}}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм², для заданных условий работы, выбираемое по таблице 1.3.36.

Сечение, полученное в результате указанного расчета, округляется до ближайшего стандартного сечения. Расчетный ток принимается для нормального режима работы, т. е. увеличение тока в послеаварийных и ремонтных режимах сети не учитывается» [7, п.1.3.25].

Сечения кабелей должны пройти проверку по допустимому току нагрева и на термическую стойкость току КЗ.

Кабель должен выдерживать расчетный ток утяжеленного режима:

$$I_{\text{дон}} \geq I_{\text{ра}} \quad (30)$$

где $I_{\text{дон}}$ – длительно допустимый ток проводника, А;

$I_{\text{ра}}$ – ток в послеаварийном режиме, А.

«Проверка кабелей на нагрев токами КЗ должна производиться для:

- одиночных кабелей одной строительной длины, исходя из КЗ в начале кабеля;

- одиночных кабелей со ступенчатыми сечениями по длине, исходя из КЗ в начале каждого участка нового сечения;

- пучка из двух и более параллельно включенных кабелей, исходя из КЗ непосредственно за пучком (по сквозному току КЗ)» [7, п.1.4.17].

Сечение кабеля по термической устойчивости:

$$F \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C_T}, \quad (31)$$

где B_k – тепловой импульс тока КЗ, A^2c ;

C_T – коэффициент проводника, $A \cdot c^{0,5}/mm^2$.

Произведем проверку пи тающего кабеля. Для питания установки проложен кабель ААШв 2(3×185) с $I_{дон} = 590$ А. Время использования максимальной нагрузки для установки составляет $T_{max} = 7650$ ч.

Кабель ААШв 2(3×185) проходит проверку по нагреву током утяжеленного режима:

$$590A \geq 292A$$

Условие проверки по термической стойкости:

$$F \geq \frac{\sqrt{350 \cdot 10^6}}{90} = 208 \text{ мм}^2$$

Существующий кабель проходит проверку. Произведем выбор сечения кабеля линии Л1, Л2 (ТП-100). Для данного участка используется кабель ВББШв.

Сечение по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}} = \frac{154}{2} = 77 \text{ мм}^2.$$

Примем кабель ВБбШв (3×70) с $I_{\text{доп}} = 211 \text{ А}$.

Выбранный кабель проходит проверку током нагрева:

$$211 \text{ А} \geq 154 \text{ А}$$

Тепловой импульс тока КЗ:

$$B_{\text{к}} = 17,6^2 \cdot 0,2 = 74,7 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

Минимальное сечение по термической стойкости:

$$F_{\text{т}} = \frac{\sqrt{74,7 \cdot 10^6}}{140} = 62 \text{ мм}^2.$$

Кабель ВБбШв (3×70) допускается к прокладке. Для остальных линий проверка производится аналогично. Выбор проводников произведен в таблице 8.

Таблица 8 – Выбор кабельных линий 6кВ

| Линия | Расчетные токи | | Расчетные сечения | | Выбранный кабель | | |
|--------------------|----------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|---------------------|----------------------|
| | I_p , А | I_{pa} , А | $F_{\text{э}}$, мм ² | $F_{\text{т}}$, мм ² | Марка | Число и сечение жил | $I_{\text{доп}}$, А |
| Л1, Л2 (ТП-100) | 154 | 154 | 77 | 62 | АПвП | 3×70 | 211 |
| Л3, Л4 (ТП-100а) | 154 | 154 | 77 | 62 | АПвП | 3×70 | 211 |
| Л5, Л6 (Н-4, Н-4Р) | 38 | - | 19 | 62 | АПвП | 3×70 | 211 |
| Л7, Л8 (Р-5, Р-5Р) | 47 | - | 23,5 | 62 | АПвП | 3×70 | 211 |

В общем случае силовое оборудование выбирается по условиям его соответствию номинальному напряжению сети и расчетному току, который протекает через данный аппарат. Помимо этого, в электроустановках выше 1кВ по режиму КЗ должны проверяться электрические аппараты, токопроводы, кабели и другие проводники [18].

Во всех цепях РУ должна быть предусмотрена установка разъединяющих устройств с видимым разрывом, обеспечивающих возможность отсоединения всех аппаратов (выключателей, предохранителей, трансформаторов тока, трансформаторов напряжения и т. д.) каждой цепи со всех ее сторон, откуда может быть подано напряжение.

«Видимый разрыв может отсутствовать в комплектных распределительных устройствах заводского изготовления (в том числе с заполнением элегазом – КРУЭ) с выкатными элементами и/или при наличии надежного механического указателя гарантированного положения контактов.

Распределительные устройства 3кВ и выше должны быть оборудованы оперативной блокировкой от неправильных действий при переключениях в электрических установках (далее – оперативной блокировкой), предназначенной для предотвращения неправильных действий с разъединителями, заземляющими ножами, отделителями, короткозамыкателями и выключателями-разъединителями» [17].

Оперативная блокировка должна исключать:

- подачу напряжения разъединителем или выключателем-разъединителем на участок электрической схемы, заземленной включенным заземлителем, а также на участок электрической схемы, отделенной от включенных заземлителей только выключателем;
- включение заземлителя на участке схемы, не отделенном разъединителем (или выключателем-разъединителем) от других участков, которые могут быть как под напряжением, так и без напряжения;
- отключение и включение разъединителями токов нагрузки.

Распределительные устройства и ПС должны быть оборудованы стационарными заземлителями, обеспечивающими в соответствии с требованиями безопасности заземление аппаратов и ошиновки. В РУ 3кВ и выше стационарные заземлители должны быть размещены так, чтобы были не нужны переносные заземления и чтобы персонал, работающий на токоведущих частях любых участков присоединений и сборных шин, был защищен заземлителями со всех сторон, откуда может быть подано напряжение.

Распределительные устройства и ПС должны быть оборудованы электрическим освещением. Осветительная арматура должна быть установлена таким образом, чтобы было обеспечено ее безопасное обслуживание [14].

РУ-6кВ будет представлено комплектным распределительным устройством. Выбор ячеек КРУ приведен в таблице 9 [16].

Таблица 9 – Выбор и проверка КРУ

| Условие выбора и проверки | Расчетные данные | Паспортные данные ZS1: |
|---|------------------|------------------------|
| Выбор КРУ | | |
| $U_n \geq U_p$, кВ | 6 | 12 |
| $I_n \geq I_p$, А | 292 | 1250 |
| Проверка на электродинамическую стойкость | | |
| $i_{дин} \geq i_{уд}$, кА | 39,9 | 51 |
| Проверка на термическую стойкость | | |
| $I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$, кА ² с | 137 | 1200 |

Сравнительный выбор выключателя оформлен в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор и проверка выключателей

| Условие выбора и проверки | Расчетные данные | Паспортные данные: VD4.12.20 |
|---------------------------|------------------|------------------------------|
| Выбор выключателя | | |
| $U_n \geq U_p$, кВ | 6 | 12 |
| $I_n \geq I_p$, А | 292 | 630 |

Продолжение таблицы 10

| Условие выбора и проверки | Расчетные данные | Паспортные данные: VD4.12.20 |
|---|------------------|------------------------------|
| Проверка на отключающую способность | | |
| $I_{откл} \geq I_n$, кА | 17,6 | 31,5 |
| Проверка на электродинамическую стойкость | | |
| $i_{дин} \geq i_{уд}$, кА | 39,9 | 50 |
| Проверка на термическую стойкость | | |
| $I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$, кА ² с | 137 | 1400 |

Сравнительный выбор заземляющих ножей оформлен в таблице 11.

Таблица 11 – Выбор и проверка ЗН

| Условие выбора и проверки | Расчетные данные | Паспортные данные: ЕК-6 |
|---|------------------|-------------------------|
| Выбор ЗН | | |
| $U_n \geq U_p$, кВ | 6 | 12 |
| Проверка на электродинамическую стойкость | | |
| $i_{дин} \geq i_{уд}$, кА | 39,9 | 51 |
| Проверка на термическую стойкость | | |
| $I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$, кА ² с | 137 | 800 |

Сравнительный выбор трансформаторов тока оформлен в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор и проверка трансформаторов тока

| Условие выбора и проверки | Расчетные данные | Паспортные данные: ТРУ 43.13 |
|---|------------------|------------------------------|
| Выбор трансформаторов тока | | |
| $U_n \geq U_p$, кВ | 6 | 12 |
| $I_n \geq I_p$, А | 38-292 | 50-500 |
| Выбор по вторичной нагрузке | | |
| $S_{2н} \geq S_p$, ВА | 4 | 10 |
| Проверка на электродинамическую стойкость | | |
| $i_{дин} \geq i_{уд}$, кА | 39,9 | 50 |
| Проверка на термическую стойкость | | |
| $I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$, кА ² с | 137 | 1000 |

Выбор трансформаторов напряжения оформлен в таблице 13.

Таблица 13 – Выбор и проверка трансформаторов тока

| Условие выбора и проверки | Расчетные данные | Паспортные данные: ТJP-4.2 |
|----------------------------------|------------------|----------------------------|
| Выбор трансформаторов напряжения | | |
| $U_n \geq U_p$, кВ | 6 | 6 |
| Выбор по вторичной нагрузке | | |
| $S_{2n} \geq S_p$, ВА | 3 | 10 |

Вывод по разделу 5.

В данном разделе производился расчет распределительной сети 6кВ подстанции. Выбор сечения кабелей проводился по экономической плотности тока, затем проверялся на нагрев аварийным током и на термическое действие тока короткого замыкания. В качестве проводников был принят кабель марки ВБбШв с медными токопроводящими жилами с изоляцией из ПВХ пластика и имеющую броню из стальных оцинкованных лент. Выбор данного кабеля обусловлен агрессивной внешней средой химической установки, а также наличием взрывоопасных зон.

Затем производился выбор высоковольтного оборудования. Выбор производился исходя их параметров сети, рассчитанных ранее (расчетный ток, ток КЗ, ударный ток КЗ и др.). К монтажу были принято комплектное распределительное устройство 6кВ типа ZS1 фирмы АВВ. Выбор был основан на том, что фирма АВВ является одной из ведущих фирм по производству оборудования в сфере энергетике. Оборудование данной фирмы имеет высокое качество исполнения, надёжность, гибкость использования. Выбранное электрооборудование является актуальным и соответствует всем техническим параметрам и нормам.

6 Релейная защита и автоматика

В качестве примера разберем схему релейной защиты и управления асинхронным электродвигателем технологического насоса Н-1А.

Для электродвигателей переменного тока должна предусматриваться защита от многофазных замыканий, в сетях с глухозаземленной нейтралью - также от однофазных замыканий. На синхронных электродвигателях (при невозможности втягивания в синхронизм с полной нагрузкой) дополнительно должна предусматриваться защита от асинхронного режима.

Защита электродвигателей от перегрузки должна устанавливаться в случаях, когда возможна перегрузка механизма по технологическим причинам, а также когда при особо тяжелых условиях пуска или самозапуска необходимо ограничить длительность пуска при пониженном напряжении. Защита должна выполняться с выдержкой времени и может быть осуществлена тепловым реле или другими устройствами. Защита от перегрузки должна действовать на отключение, на сигнал или на разгрузку механизма, если разгрузка возможна. Применение защиты от перегрузки не требуется для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы [19].

Защита минимального напряжения должна устанавливаться в следующих случаях:

- для электродвигателей постоянного тока, которые не допускают непосредственного включения в сеть;
- для электродвигателей механизмов, самозапуск которых после останова недопустим по условиям технологического процесса или по условиям безопасности [5].

На чертеже 6 приведена принципиальная электрическая схема управления электроприводом насоса Н-1А

Оборудование защиты и управление размещено в выдвижной ячейке модульного низковольтного распределительного устройства (рисунок 4).



Рисунок 4 – Модульное НКУ серии MNS

Токовая защита данного двигателя реализована автоматическим выключателем $QF1$ типа S5H 400, тепловая – тепловым реле KK типа E320DU.

Управление двигателем осуществляется от поста управления $ПУ-Н1$, расположенного непосредственно возле двигателя, и от системы управления технологическим процессом (DCS). Для включения электродвигателя сперва необходимо собрать схему (вставить модуль в рабочее положение, включить автоматический выключатель $QF1$), затем ключом $SA1$ на посту управления выбрать режим управления (местное или дистанционное) в зависимости от того, от куда мы хотим включать двигатель (с поста управления или системы DCS). При нажатии кнопки пуск $SB2$ на посту управления либо команде включения из DCS ($DCS-ON$) запитывается обмотка контактора $KM1$ и обмотка реле времени $KT1$, которое своим замкнувшимся контактом $KT1.1$ ставит реле $KM1$ и $KT1$ на самоподхват. Силовые контакты контактора $KM1$ замыкаются и происходит запуск двигателя.

Остановить двигатель возможно с помощью кнопки стоп *SBI* либо с помощью команды стоп из DCS (*DCS-OFF*). Своими нормально закрытыми контактами они разрывают цепь питания обмотки контактора *KM1*, его силовые контакты отпадают и двигатель обесточивается. При коротком замыкании в цепи двигателя либо его перегрузке срабатывают автоматический выключатель *QF1* или тепловое реле *KK1* соответственно. После срабатывания их контакты *QF1.1* или *KK1.1* обесточивают цепь питания контактора *KM1*, тем самым отключая двигатель.

Реле времени *KT1* служит для самозапуска двигателя при кратковременном исчезновении или просадке напряжения. Уставка по времени реле *KT1* составляет 600мс. При исчезновении напряжения обмотка контактора *KM1* обесточивается и отключается. Однако контакт реле *KT1.1* имеет выдержку времени на размыкание и остается замкнутым еще в течении 600мс после исчезновения напряжения. Если в течении этого времени напряжение успевает восстановиться, то через замкнутый контакт *KT1.1* контактор *KM1* и реле времени *KT1* вновь запитываются и двигатель автоматически включается в работу. Однако если напряжение не восстановилось спустя 600мс после исчезновения, то контакт *KT1.1* спустя выдержку времени размыкается, тем самым разрывая цепь питания обмотки контактора *KM1*, после этого самозапуск двигателя невозможен.

В схеме управления предусмотрена сигнализация на пост управления и в систему DCS. Сигнальная лампа *HL1* на посту управления сигнализирует о включенном состоянии двигателя, а лампы *HL2* и *HL3* на ячейке модуля – о состоянии контактора *KM1*. В систему DCS предусмотрены следующие сигналы: местное управление, неисправность, ревизионное положение ячейки, ход. Амперметр *PA2* служит для контроля по месту потребляемого тока.

Вывод по разделу 6.

В данном разделе разобрана схема релейной защиты и управления асинхронным электродвигателем технологического насоса Н-1А.

Заключение

В ходе работ была спроектирована система электроснабжения установки «Параксиллол-Парекс»

Источником питания установки служит ТЭЦ, которая соединена с объектом кабельной линией длиной 0,95км на напряжении 6кВ.

В качестве распределительного пункта служит РТП-100. В качестве распределительного устройства среднего напряжения используется КРУ-6кВ со шкафами типа ZS1 фирмы АВВ. Установка имеет двигатели как напряжением 0,4кВ, так и 6кВ. Высоковольтные двигатели запитываются от ячеек распределительного устройства РУ-6кВ. Электроснабжение оборудования 0,4кВ осуществляется через две транспортные подстанции 6/0,4кВ ТП-100 и ТП-100а от НКУ типа MNS.

В работе был произведен расчет электрических нагрузок методом коэффициента спроса. Также был произведен расчет распределительной сети 0,4кВ, в который входил расчет номинальных токов и пусковых токов электрооборудования, выбор пусковых и защитных аппаратов, выбор кабельных линий. Затем были рассчитаны токи короткого замыкания на шинах распределительного устройства. На основании расчетов нагрузок и токов короткого замыкания было выбрано силовое оборудование распределительного устройства 6кВ, а также кабельные линии отходящих линий.

В работе была рассмотрена и описана работа схемы защиты и управления асинхронным электродвигателем технологического насоса Н-1А.

Список используемых источников

1. Бохан А.Н. Практическое пособие к решению задач по курсу "Электрическая часть станций и подстанций" для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности Т.01.01 "Электроэнергетика". Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2000.
2. ГОСТ 27514-87 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1кВ.
3. ГОСТ 50030.4.1 - 2012 Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4. Контактторы и пускатели.
4. ГОСТ 60947-2-2021 Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели.
5. Евминов Л.И. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2016. 531 с.
6. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М. : Высш. школа, 1990. 365 с.
7. Правило устройство электроустановок – 7 издание, перераб. и доп. М.; Энергоатомиздат, 2003.
8. Радкевич В.Н., Козловская В.Б. Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий: пособие для студентов специальности «Электроснабжение». Минск : БНТУ, 2017. 173 с.
9. Радкевич В.Н., Козловская В.Б. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий: учебно-методическое пособие. Минск : БНТУ, 2013. 124 с.
10. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения. Минск : НПО «Пион», 2001. 288 с.
11. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.
12. РТМ 36.18.32.4-92 Указания к расчету электрических нагрузок, 1993.

13. Сумаркова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Томск : издательство Томского политехнического университета, 2012. 288 с.

14. ТКП 339-2022 Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учёт электроэнергии. Нормы приёмно-сдаточных испытаний.

15. Ус А.Г., Евминов Л.И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий. Минск : НПООО «ПИОН», 2002. 456 с.

16. Air insulated switchgear - Medium Voltage URL: <https://new.abb.com/medium-voltage/switchgear/air-insulated> (дата обращения 15.02.2023).

17. Bhalja B., Maheshwari R.P., Chothani N. Protection and Switchgear (Oxford Higher Education). - 1 изд. - Oxford: Oxford University Press, 2016. - 576 с.

18. Kuffel E., Zaengl W.S., Kuffel J. High Voltage Engineering. Fundamentals. Typeset by Laser Words, Madras, India.

19. McPartland J.F., McPartland B.J., McPartland S.P. McGraw-Hill's Handbook of Electric Construction Calculations. - New York City: McGraw-Hill Professional Publishing, 2013. - 320 с

20. MNSiS Integrated intelligence to the core URL: <https://new.abb.com/low-voltage/products/switchgear/mcc-and-iec-low-voltage-switchgear/mns-is> (дата обращения 15.02.2023).