

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 «Электроснабжение группы цехов по производству капролактама химического предприятия»

Студент

Р.Ф. Шаханов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

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

Тольятти 2020

АННОТАЦИЯ

В выпускной квалификационной работе представлен расчет системы электроснабжения цехов по производству капролактама

Выпускная работа состоит из введения, десяти глав, заключения, таблиц, списка литературы, включая зарубежные источники, и графической части на 6 листах формата А1.

Ключевым вопросом дипломной работы является создание оптимальной системы электроснабжения для химического предприятия. Мы затрагиваем проблему правильного определения электрических нагрузок, рациональная передача и распределение электроэнергии, также важными аспектами является экономия электроэнергии, ввиду ограниченности энергоресурсов.

Целью выпускной квалификационной работы является создание эффективной и надежной системы электроснабжения химического предприятия по производству капролактама.

Дипломная работа может быть разделена на следующие логически взаимосвязанные части: капролактама-технология производства; расчет электрических нагрузок производства; расчет внутрицехового освещения; выбор числа и мощности цеховых КТП; расчет токов короткого замыкания; выбор электрооборудования на стороне 110 кВ, релейная защита на ГПП, выбор кабеля распределительной сети производства.

В конце исследования мы представляем работу об успешной системе электроснабжения группы цехов химического предприятия, уделили детальное внимание двум важным характеристикам: надежность электроснабжения и качество электрической энергии.

Подводя итоги, система электроснабжения химического предприятия было реализовано обеспечения приемлемого качества электрической энергии и будущие усовершенствования, обновления системы электроснабжения.

ABSTRACT

The title of the graduation work is «Power supply of a group of workshops for the production of caprolactam of a chemical enterprise».

The senior paper consists of an introduction, ten parts, a conclusion, tables, list of references including foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The key issue of the thesis is creation of an optimal power supply system for chemical enterprise. We touch upon the problem minimize power losses in transformers and to minimize power and voltage losses in the cable distribution network of a chemical enterprise.

The aim of the work is creation of an effective and reliable power supply system for a chemical enterprise producing caprolactam.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: caprolactam-technology production; calculation of power loads; calculation of shop lighting; The choice of the number and capacity of shop KTP; calculation of short circuit currents; selection of electrical equipment on the 110 kV side, GPP relay protection.

Finally, we present the work on the successful the power supply system of a group of workshops of a chemical enterprise, we paid attention to two important characteristics: reliability of power supply and quality of electric energy.

In conclusion, the power supply system was designed to provide an acceptable quality of electricity and future improvements, updates to the power supply system. Also consumers receive power from the power system via a double-circuit overhead power line, and a two-transformer substation is used at the reception point and electricity is distributed over cable lines.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Капролактам-технология производство.....	6
2 Расчёт силовых нагрузок.....	8
3 Расчет внутрицехового освещения.....	10
4 Расчет выбора напряжения и схемы распределительной сети.....	11
5 Выбор числа и мощности цеховых КТП.....	12
6 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП.....	19
6.1 Определение местоположение ГПП.....	24
7 Расчёт токов короткого замыкания.....	27
7.1 Расчёт тока КЗ на шинах 110, 6 кВ и на РУ 6 кВ цеховых КТ.....	27
7.2 Расчет токов КЗ на стороне 110 кВ.....	27
7.3 Расчет токов КЗ на стороне 6 кВ.....	28
7.4 Расчёт токов КЗ на стороне 0,4 кВ.....	29
8 Выбор электрооборудования на стороне 110 кВ.....	33
8.1 Выбор электрооборудования на стороне 110 кВ.....	33
8.2 Выбор оборудования на стороне 6 кВ.....	37
8.3 Выбор оборудования на стороне 0,4 кВ.....	43
9 Релейная защита на ГПП.....	45
9.1 Дифференциальная защита трансформатора ТРДН – 40000/110.....	45
10 Расчет молниезащиты ГПП.....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	51
Приложение А Выбор и проверка кабелей.....	53
Приложение Б Расчет электрических нагрузок.....	54

ВВЕДЕНИЕ

Система распределения и потребления электрической энергии химического предприятия, основывается для того чтобы удовлетворялись основополагающие требования электроприемников.

В соответствии с ПУЭ [1], электроприемники химического предприятия относятся у первой категории, из-за процессов, которые в большинстве случаев не допускают прерывания, так как это может повлечь за собой ущерб и повлиять на здоровье людей.

Поэтому в системе электроснабжения группы цехов химического предприятия, необходимо уделить детальное внимание двум важным характеристикам: надежность электроснабжения и качество электрической энергии.

Надежность заключается в непрерывной работе технических устройств в системе.

Качество формируется поддержанием постоянных значений напряжения и частоты, вдобавок ограничением высших гармоник, не синусоидальности и несимметричности напряжений.

Целью выпускной квалификационной работы является создание эффективной и надежной системы электроснабжения химического предприятия по производству капролактама.

В выпускной квалификационной работе поставлены следующие задачи:

описание технологий производства капролактама;

- расчёт силовых нагрузок
- расчет параметров системы электроснабжения завода
- расчет параметров системы распределения электрической энергии по предприятию
- расчет значений токов короткого замыкания в системе.

1 Капролактамы-технология производства

Капролактамы в кристаллическом виде представляют из себя порошок белого цвета, который легко растворим в воде, эмпирическая формула $C_6H_{11}NO$, молярная масса 113,16 г/моль, плотность 1,01 г/см³

В ходе исследований химических реакций, получили капролактамы путем присоединения и восстановления органических веществ. Для аминокaproновой кислоты в промышленности исходным сырьем служит бензол, так как при нагреве воды или амидов, капролактамы полимеризуются с образованием полиамидной смолы.

Имеются несколько промышленных методов синтеза капролактама. Они включают в себя перегруппировку Бекмана, то есть преобразование циклогексаноноксида в капролактамы при воздействии олеума и серной кислоты.

Второстепенным продуктом на данной стадии получается сульфат аммония, применяемый в минеральных удобрениях.

Способы получения капролактама

Для производства капролактама используется окислительная схема из-за преобладания экономических показателей.

Окислительная схема представляет собой цепочку стадий: получение циклогексана, окисление циклогексана, разделение продуктов циклогексана, получение циклогексанона и циклогексанола гидрированием фенола, дегидрирование циклогексанола, производство гидросиламинсульфата, переработка циклогексанона в капролактамы, очистка капролактама, переработка побочных продуктов производства капролактама.

Для циклогексана в промышленности органического синтеза является сложность его выделения, при химической реакции с катализаторами бензол гидрируется до 6 циклогексана, выделяется значительное количество тепла (207 кДж/моль), но данный процесс обратим.

Органическое соединение поступает в реакторы, происходит окисление и в результате реакции совершается разложения циклогексана на продукты распада.

Выделяется циклогексан, он является основным продуктом окисления циклогексана, на следующей стадии он дегидрируется и получается циклогексанон – сырец, который отправляется на стадию оксимирования.

Для следующих пунктов производства используются два важнейших продукта: циклогексанон и оксимирующий агент гидроксиламинсульфат. Продуктом оксимирования является циклогексаноноксим. Основная задача, это полное превращение циклогексанона в циклогексаноноксим. На этапе перегруппировки атомов формируются основной и побочный продукт: лактам–масло и сульфат аммония, затем следует извлечение вещества из раствора. Основным требованием для получения высококачественных полимерных материалов, является чистота низкомолекулярного вещества.

Таким образом второй ступенью очистки является дистилляция, в результате получается жидкий капролактан, который затаривается в ж/д цистерны и направляется на дальнейшую переработку потребителями.

Вывод по разделу:

Были проанализированы общие сведения, а так же основные требования для получения высококачественного продукта и способа его получение

2 Расчёт силовых нагрузок

Главным шагом для расчета силовых нагрузок считается определение электрических нагрузок цехов

Электрические оборудование подразделяются на группы с одинаковым режимом. По каждой группе определяется суммарная мощность:

$$P_n = \sum_1^n p_n, \text{ кВт} \quad (1)$$

учитываются мощности при ПВ = 100% рабочих механизмов.

Расчет электроприемников ведется за максимально загруженную смену.

$$\frac{P_m}{P_c} = k_m, \quad (2)$$

Принято учитывать влияние различных мощностей отдельных устройств. Для этого вводится понятие, эффективно число электроприемников.

$$n_s = \frac{\left(\sum_1^n p_n \right)^2}{\sum_1^n p_n^2}, \quad (3)$$

При больших количествах групп электроприемников, складываются их средние нагрузки, потому что максимальные нагрузки иногда не совпадают по времени. Средняя нагрузка к – групп:

$$P_{cmk} = \sum_1^k P_{cm}, \quad (4)$$

Для определение всей нагрузки к–групп, нужно найти результирующее количество аппаратов и средний размер коэффициента применения:

$$k_{u.cp} = \frac{\sum_1^n P_{cm}}{\sum_1^n P_n}, \quad (5)$$

$$P_M = k_M \cdot \sum_1^n P_{CM}, \text{ кВт} \quad (6)$$

Затруднение является определить количество эффективных электроприемников, но при этом допускается изменение по обозначению $n_э$,

По определению мощности максимального электроприемника к мощности наименьшего:

$$m = \frac{P_{н.макс}}{P_{н.мин}} \leq 3, \quad (7)$$

допускается принимать $n_э \approx n \geq 4$.

При $m > 3$ и $k_u \geq 0,2$ эффективное число электроприемников также определяются по формуле:

$$n_э = \frac{2 \cdot \sum_1^n P_n}{P_{н.макс}}, \quad (8)$$

В справочных таблицах для групп электроприемников предоставляются значения $\cos \varphi / \operatorname{tg} \varphi$, благодаря которым определяем среднюю реактивную нагрузку за наиболее загруженную:

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар} \quad (9)$$

$$n_э \leq 10, Q_M = 1,1 \cdot Q_{CM} \text{ и } n_э > 10, Q_M = Q_{CM}$$

Расчет представлен в таблице 7. Ссылка на «приложение Б»

Вывод по разделу:

Рассчитали среднюю реактивную и активную нагрузку для каждого цеха, учли все коэффициенты, а так же по справочнику нашли $\cos \varphi$.

3 Расчет внутрицехового освещения

1. Индекс помещения:

$$i = \frac{D \cdot W}{H \cdot (A + B)} = \frac{48 \cdot 30}{5 \cdot (48 + 30)} = 3,6.$$

где D —длина цеха;

W —ширина цеха;

H —высота цеха.

Рядов светильников:

$$N_A = \frac{D - L}{L} = \frac{48 - 5,5}{5,5} = 8 \text{ шт.},$$

$$L = 1,1 \cdot H = 1,1 \cdot 5 = 5,5.$$

Число светильников в ряду:

$$N_B = \frac{W - Q}{Q} = \frac{30 - 2,75}{2,75} = 9 \text{ шт.},$$

$$Q = L / 2.$$

Всего светильников:

$$N = N_A \cdot N_B = 8 \cdot 9 = 72 \text{ шт.}$$

Выбирается ЛХБ—80—4 мощностью 80 Вт.

Определяется мощность всего освещения для данного помещения:

$$P = N \cdot P_{св} = 72 \cdot 80 = 5760 \text{ Вт.}$$

Остальные корпуса рассчитываются таким же образом.

Вывод по разделу:

Рассчитали внутрицеховое освещение с помощью формулы индекса помещения, и были выбраны люминесцентные лампы мощностью 80Вт.

4 Расчет выбора напряжения и схемы распределительной сети

Предусматриваются два источника, ГПП принимает энергию с этих двух объектов и распределяет по РУ цеховых ТП, от которых в свою очередь питаются мощные электроприемники. В соответствии с требованиями для химических заводов, при планировании электрической схемы, принимают напряжение 6-10 кВ.

Преимущественное распространение имеет напряжение 10 кВ. Так же его следует применять для вновь строящихся распределительных сетей.

Так же было учтено напряжения распределительной сети 6 кВ, так как имеются электродвигателей с номинальным напряжением 6 кВ. В условиях дальнейшего развития предприятия его распределительную сеть необходимо будет перевести на номинальное напряжение 10 кВ, но для этого требуется технико-экономическое обоснование.

Основным напряжением в электроустановках до 1000 В является напряжение 380/220 В, а так же сами двигатели выполнены на напряжение 380/220 В.

В данный момент для двигателей малой и средней мощности является напряжение 380 В, потому что имеют меньшие потери напряжения, в отличии напряжения 220/127 В.

ГПП имеет два трансформатора с глубоким вводом маслonaполненными кабелями, ОРУ отсутствует, из-за неблагоприятной химически загрязненной атмосферы. РУ выполнены секциями, которые питаются по двум и более радиальным линиям. Каждая из радиальных линий работают раздельно на личную секцию. При обесточивании секции, нагрузку принимает вторая секция.

Вывод по разделу:

В данном разделе проанализирована ГПП, а так же каждая обязательно было учтено, что радиальные линии работают раздельно на личную секцию.

5 Выбор числа и мощности цеховых КТП

Расчет компенсации реактивной мощности.

Данные по подстанции №42: $Q_p = 653,3$ квар, $P_p = 914,17$ кВт, $S_p = 1148,1$ кВА, $T_m = 6100$ ч, $Q_{\min} = 502,5$ квар.

От РП подстанции №42 питаются 4 СД (в качестве привода технологических установок).

Данные СД: $P_u = 1000$ кВт, $Q_u = 511$ кВт, $D_1 = 5,06$ кВт, $D_2 = 3,99$ кВт, $\cos\varphi = 0,9$, $k_u = 0,7$, $a_m = 1,35$

Определяем реактивную мощность:

$$Q_{co} = a_M \cdot N \cdot Q_N = 1,35 \cdot 4 \cdot 511 = 2759,4 \text{ квар.}$$

Определяются значения выходных реактивных мощностей.

$$Q'_{\text{э}1} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{co} = 653,3 - 0,7 \cdot 2759,4 = -1278,3 \text{ квар,}$$

$$Q''_{\text{э}2} = Q_{\min} - (Q_p - Q'_{\text{э}1}) = 502,5 - (653,3 + 1278,3) = -1429 \text{ квар,}$$

$$Q'_{\text{э}2} = Q_{\min} + Q_k = 502,5 + 0 = 502,5 \text{ квар,}$$

$$Q''_{\text{э}1} = a \cdot P_p = 0,28 \cdot 914,17 = 256 \text{ квар,}$$

$$\text{Принимается } Q''_{\text{э}1} = Q'_{\text{э}1} = 256 \text{ квар,}$$

$$\text{Принимается } Q''_{\text{э}2} = Q'_{\text{э}2} = 502,5 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot Q_p - Q'_{\text{э}1} = 1,1 \cdot 653,3 - 1278,3 = -597,23 \text{ квар.}$$

Определяется суммарная мощность КУ.

Мощность нерегулируемых КУ:

$$Q_{\text{ку. min}} = Q_{\min} - Q'_{\text{э}2} = 502,5 - 502,5 = 0 \text{ квар.}$$

Отсюда следует, что все КУ должны быть регулируемые.

Далее подбираем число и мощность трансформаторов, учитывая компенсацию реактивной мощности.

Первый вариант:

Находится наименьшее допустимое количество трансформаторов: при

$S_H=1000$. кВА и $K_3=0,7$ коэффициенте загрузки трансформатора:

$$N_T = \frac{P_p}{0,7 \cdot S_H} = \frac{914,17}{0,7 \cdot 1000} = 1,3,$$

$$N_T = 2.$$

На стороне 0,4кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 914,17^2} = 1060,32 \text{ квар.}$$

На стороне 6кВ:

$$Q_{np} = Q_{CДp} = Q_p - Q_{\phi 1} = 653,3 - 256 = 397,3 \text{ квар.}$$

На стороне до 1кВ, определяем КУ мощность:

$$Q_{кун} = Q_p - Q_H = 653,3 - 1060,32 = -407 \text{ квар.}$$

В установке батарей конденсаторов не нуждается

Определим затраты на генерирование реактивной мощности СД при

$K_p = 3000$ руб., $C_0 = 900$ руб., $E_p = 0,33$ в сеть 0,4 кВ:

$$Z_0 = E_p \cdot N \cdot K_p = 0,33 \cdot 2 \cdot 3000 = 1980 \text{ руб.}$$

где E_p – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

K_y – стоимость регулируемых устройств;

C_0 – удельная стоимость потерь электроэнергии.

$$Z_1 = C_0 \cdot \left(\frac{D_1}{Q_H} + 2 \cdot \frac{D_2 \cdot Q_{np}}{Q_H^2 \cdot N} \right) = 900 \cdot \left(\frac{5,06}{511} + 2 \cdot \frac{3,99 \cdot 397,3}{511^2 \cdot 4} \right) = 12,53 \text{ руб / квар.}$$

где D_1 и D_2 – постоянные величины, определенные для СД при аппроксимации кривой второго порядка.

$$Z_2 = C_0 \cdot \left(\frac{D_2}{Q_H^2 \cdot N} \right) = 900 \cdot \left(\frac{3,99}{511^2 \cdot 4} \right) = 0,004 \text{ руб / квар,}$$

$$Z_{ку} = Z_1 \cdot Q_{np} + Z_2 \cdot Q_{np}^2 + Z_0 = 12,53 \cdot 397,3 + 0,004 \cdot 397,3^2 + 1980 = 8,57 \text{ т.руб.}$$

Определяются затраты на установку КТП с трансформаторами ТМЗ 2×1000 кВА.

Время работы трансформатора в году 8760 ч. При $T_m=6100$ ч.,

$\alpha = 2259 \text{ руб} / \text{кВт}$, $\beta = 0,65395 \text{ руб} / \text{кВт}$ определяем момент времени наивысшего ущерба:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{6100}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = 4719,$$

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \right) \cdot 8760 = \left(\frac{2259}{6100} + 0,65395 \right) \cdot 8760 = 8972,7 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{год}.$$

Удельная ценность ущерба в трансформаторе (ТМЗ 1000 кВА) при $P_{xx} = 2,45 \text{ кВт}$; $P_{кз} = 12,2 \text{ кВт}$; $E = 0,33$:

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \right) \cdot 4719 = \left(\frac{2259}{6100} + 0,65395 \right) \cdot 4719 = 4833,6 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{год},$$

В итоге стоимость КТП $2 \times 1000 \text{ кВА}$ составляет 574,44 т.руб.

Суммарные затраты.

$$З_{кмп} = E \cdot K_{ТП} + (C_0 \cdot 10^{-3} \cdot N_T \cdot P_{xx} + C \cdot 10^{-3} \cdot N_T \cdot P_{кз}),$$

$$З_{кмп} = 0,33 \cdot 573,44 + (8972,7 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 2,45 + 4833,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 12,2) = 351,14 \text{ т.руб},$$

$$З_{\Sigma} = З_{ку} + З_{кмп} = 8,57 + 351,14 = 359,7 \text{ т.руб}.$$

Второй вариант:

Заменяем на одну ступень выше $S_H = 1600 \text{ кВА}$

$$N_T = \frac{P_p}{0,7 \cdot S_H} = \frac{914,17}{0,7 \cdot 1600} = 0,816,$$

$$N_T = 1.$$

Так как потребитель первой категории установка одного трансформатора запрещена. ПУЭ-2016 (1.2.18.).

Не рассматриваем дальше этот вариант

Третий вариант:

Заменяем на одну ступень ниже $S_H = 630 \text{ кВА}$. Для установления наименьшего потенциального количества трансформаторов: при $S_H = 630 \text{ кВА}$ и $K_3 = 0,7$ коэффициент трансформатора загрузки

$$N_T = \frac{P_p}{0,7 \cdot S_H} = \frac{914,17}{0,7 \cdot 630} = 2,1,$$

$$N_T = 3.$$

На стороне 0,4 кВ:

$$Q_1'' = \sqrt{(3 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 914,17^2} = 956,36 \text{ квар.}$$

На стороне 6кВ СД должны скомпенсировать мощность:

$$Q_{np} = Q_{CDP} = Q_P - Q_{\partial 1} = 653,3 - 256 = 397,3 \text{ квар.}$$

Находившийся на стороне до 1кВ, определяется КУ мощность:

$$Q_{кун} = Q_P - Q_n = 653,3 - 956,36 = -303,06 \text{ квар.}$$

Установка БК не требуется: $Q_{ку} = 397,3 < 800$

Определяются затраты на установку КТП с трансформаторами ТМЗ
3×630кВА при $P_{xx} = 1,31 \text{ кВт}; P_{кз} = 7,6 \text{ кВт}; E = 0,33$:

КТП 3х630 кВА, 647,38 т.руб..

Суммарные затраты:

$$Z_{\Sigma} = Z_{ку} + Z_{кмп} = 8,57 + 359,1 = 367,7 \text{ т.руб}$$

1-ый вариант имеет меньше всего затрат поэтому устанавливаем трансформаторы ТМЗ 2×1000 кВА

Расчет по подстанции №21

Данные по подстанции №21: $Q_p = 899,43 \text{ квар.}, P_p = 1472,5 \text{ кВт.}, S_p = 1726,83 \text{ кВА.}, T_m = 6100 \text{ ч.}, Q_{min} = 666,24 \text{ квар.}$

10 СД питаются от подстанции №21.

Данные СД: $P_n = 630 \text{ кВт}, Q_n = 325 \text{ квар}, D_1 = 5,6 \text{ кВт}, D_2 = 4,06 \text{ кВт}, \cos\varphi = 0,9, k_u = 0,7, a_m = 1,35$

$$Q_{CD} = a_m \cdot N \cdot Q_n = 1,35 \cdot 10 \cdot 325 = 4387,5 \text{ квар,}$$

$$Q'_{\partial 1} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{cd} = 899,43 - 0,7 \cdot 4387,5 = -2171,82 \text{ квар,}$$

$$Q''_{\partial 1} = a \cdot P_p = 0,28 \cdot 1472,5 = 412,16 \text{ квар,}$$

Принимается $Q''_{\partial 1} = Q'_{\partial 1} = 412,16 \text{ квар,}$

$$Q''_{\partial 2} = Q_{min} - (Q_p - Q'_{\partial 1}) = 666,24 - (899,43 + 412,16) = 178,97 \text{ квар,}$$

$$Q'_{\partial 2} = Q_{min} + Q_k = 666,24 + 0 = 666,24 \text{ квар,}$$

Принимается $Q''_{\text{э}2} = Q'_{\text{э}2} = 666,24 \text{ квар}$,

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot Q_p - Q'_{\text{э}1} = 1,1 \cdot 899,43 - 412,16 = 577,21 \text{ квар.}$$

Определяется суммарная мощность КУ.

Мощность нерегулируемых КУ:

$$Q_{\text{ку. min}} = Q_{\text{min}} - Q'_{\text{э}2} = 666,24 - 666,24 = 0 \text{ квар},$$

Отсюда следует, что все КУ должны быть регулируемые.

Первый вариант:

Найдем наименьшее допустимое количество трансформаторов:
при $S_n = 1000$ кВА и $K_3 = 0,7$ коэффициенте загрузки трансформатора

$$N_T = \frac{P_p}{0,7 \cdot S_n} = \frac{1475,2}{0,7 \cdot 1000} = 2,1,$$

$$N_T = 3,$$

$$Q_1 = \sqrt{(3 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 1475,5^2} = 2241,7 \text{ квар},$$

$$Q_{np} = Q_{\text{сДр}} = Q_p - Q_{\text{э}1} = 899,43 - 412,16 = 487,27 \text{ квар.},$$

На стороне 0,4 кВ: $Q_n = 2241,7 \text{ квар}$.

Находящийся на стороне до 1кВ, определяется КУ мощность:

$$Q_{\text{кун}} = Q_p - Q_n = 899,43 - 2241,7 = -1342 \text{ квар.}$$

Батарей конденсаторов не требуется к установке

$$Z_0 = E_p \cdot N \cdot K_p = 0,33 \cdot 10 \cdot 3000 = 1980 \text{ руб},$$

$$Z_1 = C_0 \cdot \left(\frac{D_1}{Q_n} + 2 \cdot \frac{D_2 \cdot Q_{np}}{Q_n^2 \cdot N} \right) = 900 \cdot \left(\frac{5,6}{325} + 2 \cdot \frac{4,06 \cdot 487,27}{325^2 \cdot 10} \right) = 18,88 \text{ руб / квар},$$

$$Z_2 = C_0 \cdot \left(\frac{D_2}{Q_n^2 \cdot N} \right) = 900 \cdot \left(\frac{4,06}{325^2 \cdot 4} \right) = 0,00477 \text{ руб / квар},$$

$$Z_{\text{ку}} = Z_1 \cdot Q_{\text{ПР}} + Z_2 \cdot Q_{\text{ПР}}^2 + Z_0 = 18,88 \cdot 487,27 + 0,00477 \cdot 487,27^2 + 8400 = 17,6 \text{ т.руб.}$$

Второй вариант:

Заменяем на одну ступень выше $S_n = 1600$ кВА

$$N_T = \frac{P_p}{0,7 \cdot S_n} = \frac{1475,5}{0,7 \cdot 1600} = 1,31,$$

$$N_T = 2,$$

$$Q_1 = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - 1475,5^2} = 2849,34 \text{ квар},$$

$$Q_{np} = Q_{сДр} = Q_P - Q_{\text{э1}} = 899,43 - 412,16 = 487,27 \text{ квар}.$$

На стороне 0,4 кВ: $Q_n = 2849,27 \text{ квар}$.

Находившийся на стороне до 1кВ, определяется КУ мощность:

$$Q_{кун} = Q_P - Q_n = 899,43 - 2849,34 = -1949,91 \text{ квар}.$$

БК не требуется.

$$Z_0 = E_P \cdot N \cdot K_P = 0,33 \cdot 10 \cdot 3000 = 1980 \text{ руб},$$

$$Z_1 = C_0 \cdot \left(\frac{D_1}{Q_n} + 2 \cdot \frac{D_2 \cdot Q_{np}}{Q_n^2 \cdot N} \right) = 900 \cdot \left(\frac{5,6}{325} + 2 \cdot \frac{4,06 \cdot 487,27}{325^2 \cdot 10} \right) = 18,88 \text{ руб / квар},$$

$$Z_2 = C_0 \cdot \left(\frac{D_2}{Q_n^2 \cdot N} \right) = 900 \cdot \left(\frac{4,06}{325^2 \cdot 4} \right) = 0,00477 \text{ руб / квар},$$

$$Z_{ку} = Z_1 \cdot Q_{np} + Z_2 \cdot Q_{np}^2 + Z_0 = 18,88 \cdot 487,27 + 0,00477 \cdot 487,27^2 + 8400 = 17,6 \text{ т.руб},$$

Третий вариант:

Заменяем на одну ступень ниже $S_n = 630 \text{ кВА}$.

$$N_T = \frac{P_P}{0,7 \cdot S_n} = \frac{1472,5}{0,7 \cdot 630} = 3,34,$$

$$N_T = 3,$$

$$Q_1'' = \sqrt{(4 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 1472,5^2} = 943,44 \text{ квар},$$

$$Q_{np}'' = Q_{сДр}'' = Q_P - Q_{\text{э1}}'' = 899,43 - 412,16 = 487,27 \text{ квар}.$$

Находившийся на стороне до 1кВ, определяется КУ мощность:

$$Q_{кун}'' = Q_P - Q_n'' = 899,43 - 943,44 = -44,01 \text{ квар}.$$

Определяются затраты на установку КТП с трансформаторами ТМЗ

4×630кВА при $P_{хх} = 1,31 \text{ кВт}; P_{кз} = 7,6 \text{ кВт}; E = 0,33$:

КТП 4×630кВА, 896 т.руб.

$$Z_{ктт} = 0,33 \cdot 896 + (8972,7 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 1,31 + 4833,6 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 7,6) = 499,6 \text{ т.руб}.$$

Суммарные затраты:

$$Z_{\Sigma} = Z_{ку} + Z_{кпт} = 17,6 + 499,6 = 517,2 \text{ т.руб.}$$

В итоге получаем что в3-ий вариант наименее затратный, поэтому устанавливаем трансформаторы КТП с трансформаторами ТМЗ 2х1600 кВА.

Подобным образом выбираем на остальные ТП: ТП №20 – 10х1000;

ТП №25 – 2х1000; ТП №39 – 4х1600; ТП №41 – 2х1600; ТП №45 – 2х1600.

Вывод по разделу:

Были выбраны трансформаторы для питание отдельных цехов, учитывали компенсацию реактивной мощности, далее подбирая число и мощность трансформаторов, учитываю также экономическую составляющую.

6 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП

На ГПП присутствует напряжение 110 кВ и 6 кВ и все потребители данной подстанции являются 1-ой категории, поэтому ПС располагает двумя трансформаторами трехфазными.

Для питания резко-переменной и промышленной нагрузки, на заводах используют трансформатор с расщепленными обмотками. У двухтрансформаторной ПС имеет лимит перегрузки аварийной (40)%, поэтому используется приближенное обозначение:

$$S_{ном.Т} \geq 0,7 \cdot S_{max} \geq 0,7 \cdot 45392,69 = 31774,9 \text{ кВА.}$$

Округляем полученное значение номинальной мощности до ближайшего значения в соответствие со шкалой мощностей, представленной в нормативных документах: ГОСТ 11920 – 85, ГОСТ 12965 – 85. Ближайшее число равно 40и 63 МВА.

Анализируем и выбираем два трансформатора:

- ТРДНК – 40000/110/6,3/6,3
- ТРДЦНК – 63000/110/6,3/6,3

Выгодно-технический подбор определяем, нормированным ущербом мощности для трансформатора с расщепленной обмоткой НН по формуле:

$$P_m = P_x + K_{зВ}^2 \cdot P_{кВ} + K_{зН1}^2 \cdot P_{кН1} + K_{зН2}^2 \cdot P_{кН2}, \text{ кВт} \quad (10)$$

ТРДНК – 40000/110/6,3/6,3:

В режиме холостого хода трансформатора, приведен ущерб активной мощности

$$P'_x = P_x + K_{un} \cdot Q_x = 34 + 0,05 \cdot 220 = 45 \text{ кВт},$$

$$Q_x = \frac{I_x \%}{100} \cdot S_{Н.Т} = \frac{0,55}{100} \cdot 40000 = 200 \text{ квар},$$

$$K_{зВ} = \frac{S_{нагр}}{S_{Н.Т}} = \frac{31774,9}{40000} = 0,79,$$

$$K_{зН1} = \frac{S_{нагр}}{S_{Н.Т}} = \frac{15887,4}{40000} = 0,4,$$

$$K_{3H2} = 0,4.$$

K_{un} – это изменения потерь выраженная в коэффициент. Для вычисления воспользуемся $K_{un} = 0,05$ кВт/квар.

Присутствует ущерб активной мощности, в режиме короткого замыкания.

$$P'_{KB} = P_{KB} + K_{un} + Q_{KB} = 0 + 0,05 + 525 = 26,25 \text{ кВт},$$

$$P'_{KH} = P_{KH} + K_{un} + Q_{KH} = 170 + 0,05 + 7350 = 537,5 \text{ кВт},$$

$$Q_x = \frac{U_{KB} \%}{100} \cdot S_{H.T} = \frac{1,3125}{100} \cdot 40000 = 525 \text{ квар},$$

$$U_{KB} \% = 0,125 \cdot U_{BH-HH} = 0,125 \cdot 10,5 = 1,3125,$$

$$Q_{K.HH1} = Q_{K.HH2} = \frac{U_{K.HH} \%}{100} \cdot S_{H.T} = \frac{18,375}{100} \cdot 40000 = 7350 \text{ квар},$$

$$U_{K.HH1} = U_{K.HH2} = 1,75 \cdot U_{BH-HH} = 0,125 \cdot 10,5 = 18,375,$$

$$P_m = 45 + 0,79^2 + 26,25 + (0,4^2 \cdot 537,5) \cdot 2 = 233,4 \text{ кВт},$$

ТРДЦНК – 63000/110/6,3/6,3:

В режиме холостого хода трансформатора, приведен ущерб активной мощности

$$P'_x = P_x + K_{un} \cdot Q_x = 50 + 0,05 \cdot 315 = 65,75 \text{ кВт},$$

$$Q_x = \frac{I_x \%}{100} \cdot S_{H.T} = \frac{0,5}{100} \cdot 63000 = 315 \text{ квар},$$

$$K_{3B} = \frac{S_{нагр}}{S_{H.T}} = \frac{31774,9}{63000} = 0,5,$$

$$K_{3H1} = \frac{S_{нагр}}{S_{H.T}} = \frac{15887,4}{63000} = 0,25,$$

$$K_{3H2} = 0,25,$$

Присутствует ущерб активной мощности, в режиме короткого замыкания.

$$P'_{KB} = P_{KB} + K_{un} + Q_{KB} = 0 + 0,05 + 826,875 = 41,34 \text{ кВт},$$

$$P'_{KH} = P_{KH} + K_{un} + Q_{KH} = 245 + 0,05 + 11576,25 = 823,8 \text{ кВт},$$

$$Q_x = \frac{U_{KB} \%}{100} \cdot S_{H.T} = \frac{1,3125}{100} \cdot 63000 = 826,875 \text{ квар},$$

$$U_{KB} \% = 0,125 \cdot U_{BH-HH} = 0,125 \cdot 10,5 = 1,3125,$$

$$Q_{K.HH1} = Q_{K.HH2} = \frac{U_{K.HH}}{100} \cdot S_{H.T} = \frac{18,375}{100} \cdot 63000 = 11576,25 \text{ квар},$$

$$U_{K.HH1} = U_{K.HH2} = 1,75 \cdot U_{BH-HH} = 0,125 \cdot 10,5 = 18,375,$$

$$P_m = 65,75 + 0,5^2 + 41,34 + (0,25^2 \cdot 825,8) \cdot 2 = 179,1 \text{ кВт}.$$

В трансформаторах ПС $\Delta W_{ПС}$ ущерб электроэнергии, высчитывающийся по графикам нагрузки.

$$\begin{aligned} \Delta W_{ПС} &= \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{ki} = \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{KB} + \sum \Delta W_{KB} + \sum \Delta W_{KH2} = \\ &= \sum n_i \cdot P_x \cdot T_i + \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{n} \cdot P_{KB} \cdot K_{3B}^2 \cdot T_i + \frac{1}{n} \cdot P_{K.HH} \cdot K_{3H}^2 \cdot T + \frac{1}{n} \cdot P_{K.HH2} \cdot K_{3H}^2 \cdot T_i \right). \end{aligned}$$

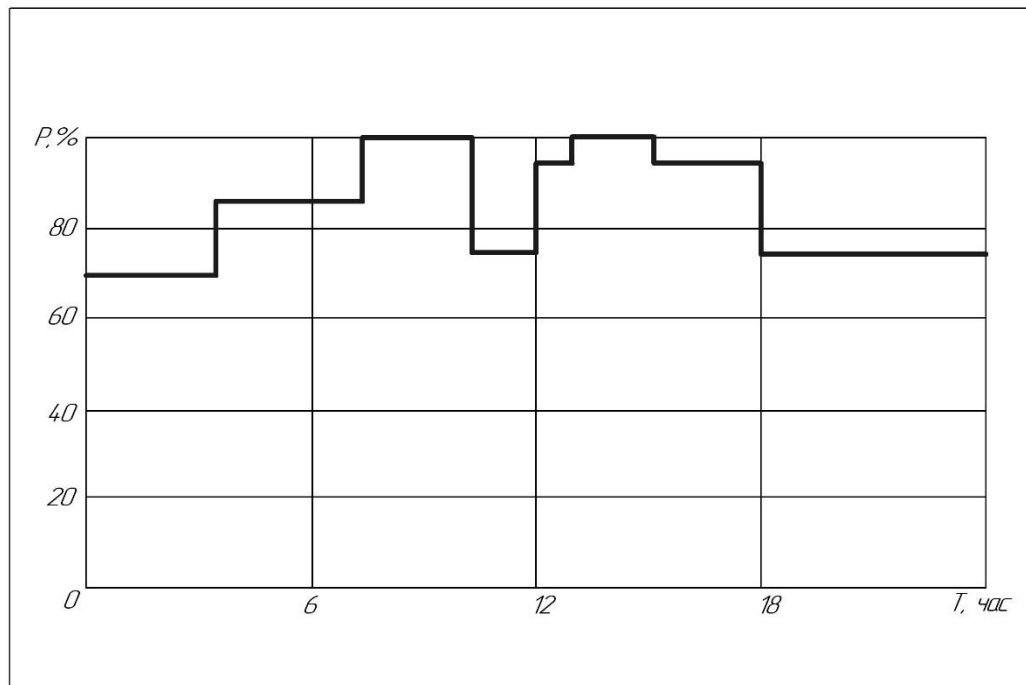


Рисунок 1 – суточный график нагрузки

Определяется число часов максимальных потерь:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{6100}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = 4719 \text{ час.}$$

Утрата электроэнергии определяется в трансформаторах:

$$И\Delta W_{ПС} = C_{э,x}(T_x) \cdot \Delta W_x + C_{э,x}(\tau) \cdot \Delta W_x \quad (12)$$

где $C_{э,x}(T_x)$ – ценность 1 кВт.ч ущерба эл.энергии х.х. рабочего времени трансформаторов за год.

$C_{э,x}(\tau)$ – стоимость 1 кВт.ч нагрузочных потерь эл.энергии трансформатора.

$$И\Delta W_{ПС} = 0,654 \cdot 783000 + 0,654 \cdot 490173 = 832655 \text{ руб.},$$

$$И\Delta W_{ПС} = 0,654 \cdot 1144050 + 0,654 \cdot 303595 = 946760 \text{ руб.}$$

При выборе трансформатора применяется метод приведенных затрат. Эксплуатационные издержки за год:

$$I_э = P_{сум} \cdot K \quad (13)$$

$P_{сум}$ – численный коэффициент удержания (при 35-150 кВ равно 0,094).

$$I_э = P_{сум} \cdot K = 0,094 \cdot 15680000 = 1473920 \text{ руб.},$$

$$I_э = P_{сум} \cdot K = 0,094 \cdot 19040000 = 1789760 \text{ руб.},$$

$$З_{пр} = E_n \cdot K + I_э + И\Delta W_{нс} = 0,15 \cdot 15680000 + 1473920 + 832655 = 4658575 \text{ руб.},$$

$$З_{пр} = E_n \cdot K + I_э + И\Delta W_{нс} = 0,15 \cdot 19040000 + 1789760 + 946760 = 5592520 \text{ руб.}$$

Выбираю для дальнейшей проверки трансформатор типа ТРДНК–40000/110/6,3/6,3.

Рассчитаем полную мощность для всех остальных ступеней:

$$S_{1смун} = \frac{S_{\max} \cdot P\%}{100\%} = \frac{45,4 \cdot 70}{100} = 31,78,$$

$$S_{2смун} = 39,04, S_{3смун} = 45,4, S_{4смун} = 34,05, S_{5смун} = 43,13, S_{6смун} = 45,4,$$

$$S_{7смун} = 43,13, S_{8смун} = 34,05.$$

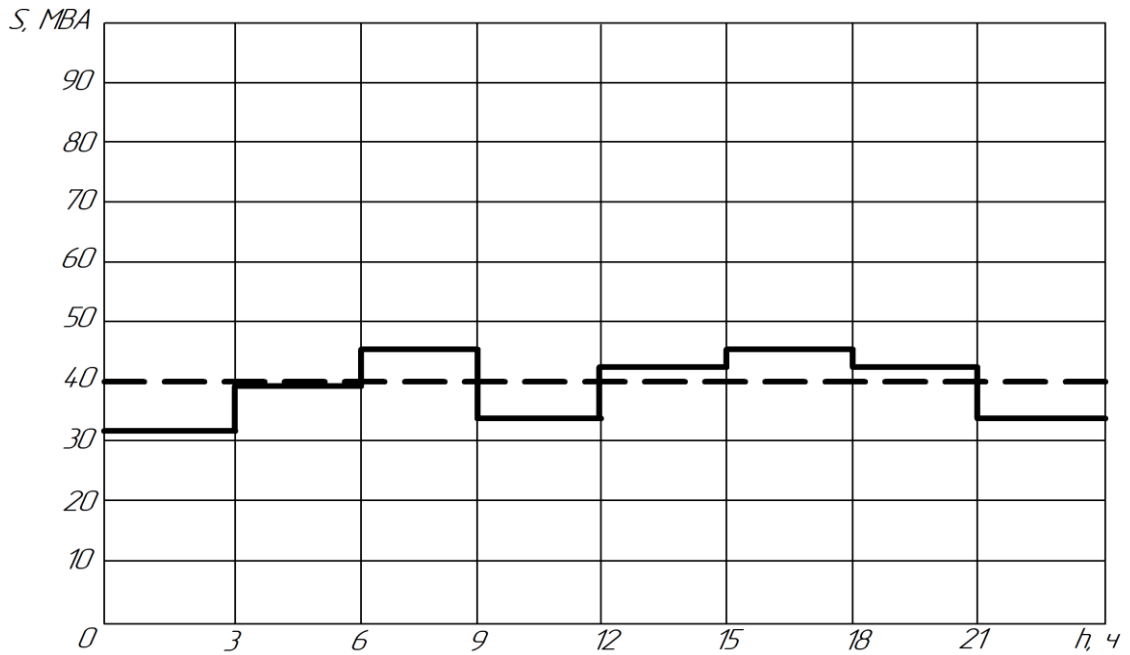


Рисунок 2 –Преобразование исходного суточного графика нагрузки в эквивалентный двухступенчатый

Для проверки силового трансформатора по аварийной перегрузке предварительно заданный суточный график преобразую в двухступенчатый параметрами K_1 , K_2 и h .

Далее проведём на заданном графике горизонтальную линию с ординатой $K=1$, пересечением этой линии с исходным графиком выделим участок наибольшей перегрузки продолжительностью h .

Рассчитываем начальную нагрузку K_1 :

$$K_1 = \frac{1}{S_{ном}} \sqrt{\frac{S_1^2 \cdot \Delta t_1 + \dots + S_n^2 \cdot \Delta t_n}{\Delta t_1 + \dots + \Delta t_n}} = \frac{1}{40} \sqrt{\frac{(31,78^2 + 39,04^2 + 34,05^2 + 34,05^2) \cdot 3}{9}} = 0,94.$$

Находим предварительное значение нагрузки K'_2 :

$$K'_2 = \frac{1}{S_{ном}} \sqrt{\frac{S_1^2 \cdot \Delta h_1 + \dots + S_n^2 \cdot \Delta h_n}{\Delta h_1 + \dots + \Delta h_n}} = \frac{1}{40} \sqrt{\frac{(45,4^2 + 43,13^2 + 45,4^2 + 43,13^2) \cdot 3}{12}} = 1,107.$$

Сравним значение нагрузки K'_2 с $K_{max} = \frac{S_{max}}{S_{ном.Т}}$ исходного графика:

$$K_{\max} = \frac{45,4}{40} = 1,135 \quad (\text{Так как } K'_2 \geq 0,9K_{\max}, \text{ следует принять } K_2 = K'_2)$$

Найдём продолжительность перегрузки:

$$h = \frac{(K'_2)^2 \cdot h'}{(0,9 \cdot K_{\max})^2} = \frac{1,107^2 \cdot 12}{0,9 \cdot 1,135} = 12.$$

Для допустимых аварийных перегрузок при системе охлаждения Д (масляное охлаждение с дутьем), $\theta_{\text{охл}} = +10^\circ\text{C}$, $K_1 = 0,94$, $h = 12$ ч., находим $K_{2\text{доп}} = 1,4$. Данное значение больше фактической перегрузки $K_2 = 1,107$, условие $K_2 \leq K_{2\text{доп}}$ соблюдается:

$$S_{\max} = 45,4 \leq S_{\text{ном.Т}} \cdot K_{2\text{доп}} = 40 \cdot 1,4 = 56.$$

Таким образом, трансформаторы типа ТРДНК–40000/110/6,3/6,3 удовлетворяют всем расчетным условиям.

6.1 Определение местоположение ГПП

Данные расчеты нужны для определения наиболее целесообразного расположения ГПП.

Таблица 1 – Данные по радиусам мощностей цеховых ТП

№ ТП	П/ст №42	П/ст №21	П/ст №20	П/ст №25	П/ст №39	П/ст №41	П/ст №45
P_p , кВт	952	1530	1170	789	1755	1691	1415
Q_p , квар	653	1899	1178	599	1810	1278	1512

Определим радиус активных и реактивных нагрузок. Принимаем для наименьшей нагрузки (П/ст №25) радиус $R = 15$ м., тогда:

$$m_a = \frac{P_{\text{П/ст25}}}{\pi \cdot R^2} = \frac{789}{3,14 \cdot 15^2} = 1,1 \text{ кВт} / \text{м}^2.$$

Радиус для наибольшей нагрузки цеховых ТП:

$$R_{\text{П/ст8}} = \sqrt{\frac{P_{\text{П/ст8}}}{\pi \cdot m_a}} = \sqrt{\frac{1755}{3,14 \cdot 1,1}} = 22 \text{ м},$$

$$R_{\text{П/ст8}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{П/ст8}}}{\pi \cdot m_a}} = \sqrt{\frac{1810}{3,14 \cdot 1,1}} = 23 \text{ м}.$$

Занесем все значения в таблицу 2.

Таблица 2 – Данные по радиусам мощностей цеховых ТП

№ ТП	П/ст №42	П/ст №21	П/ст №20	П/ст №25	П/ст №39	П/ст №41	П/ст №45
X, м	790	600	610	568	568	400	400
Y, м	410	425	208	465	208	245	425
P_p , кВт	952	1530	1170	789	1755	1691	1415
R_A , м	16	21	18	15	22	22	20
Q_p , квар	653,3	1899	1178	599	1810	1278	1512
R_p , м	14	25	18	13	23	19	21

Найдём условные ЦЭН активной:

$$X_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{952 \cdot 790 + 1530 \cdot 600 + 1170 \cdot 610 + 789 \cdot 568}{952 + 1530 + 1170}$$

$$\frac{1755 \cdot 568 + 1691 \cdot 400 + 1415 \cdot 400}{789 + 1755 + 1691 + 1415} = 524 \text{ м,}$$

$$Y_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{952 \cdot 410 + 1530 \cdot 425 + 1170 \cdot 208 + 789 \cdot 465}{952 + 1530 + 1170}$$

$$\frac{1755 \cdot 208 + 1691 \cdot 245 + 1415 \cdot 425}{789 + 1755 + 1691 + 1415} = 300 \text{ м.}$$

Вблизи точки A располагается ГПП.

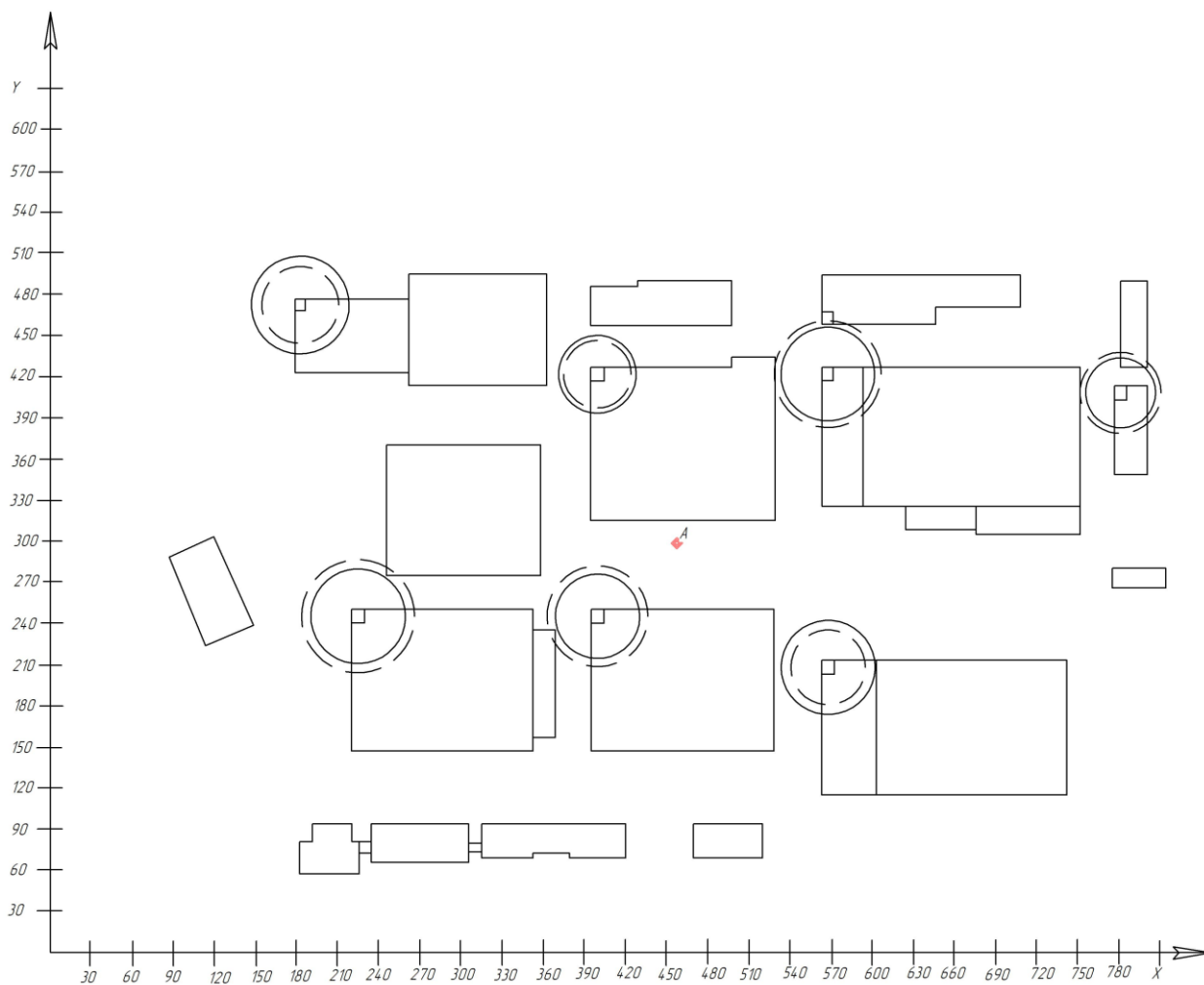


Рисунок 3– Картограмма нагрузок

Вывод по разделу:

Подобрали трансформатор для ГПП, рассчитали его утраты электроэнергии, нашли продолжительность перегрузки, для допустимых аварийных перегрузок при системе охлаждения и определили место положение. Данный трансформатор подошел по всем расчётам

7 Расчёт токов короткого замыкания

Для выбора электрических аппаратов, проводников, устройств релейной защиты, а также автоматики, проведем расчёт токов короткого замыкания.

7.1 Расчёт тока КЗ на шинах 110, 6 кВ и на РУ 6 кВ цеховых КТ

Базисной мощностью $S_б = 1000$ МВА определяем сопротивление системы.

$$x_{*c} = \frac{S_б}{S_{кз}} = \frac{1000}{2000} = 0,5.$$

Для вычисления сопротивления для кабельной линии воспользуемся:

$$x_{*КЛ1} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_n^2} = 0,18 \cdot 6 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,08.$$

где $x_0 = 0,18$ (маслонаполненный кабель 110 кВ);

l —линии метрж;

U_n — номинальное напряжение.

Сопротивления трансформатора ТРДНК – 40000/110/6,3/6,3

$$x_{*TB} = \frac{X_{*TB} \%}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{мн}} = \frac{1,3125}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 0,328,$$

$$X_{*TB} \% = 0,125 \cdot U_{KB-H} \% = 0,125 \cdot 10,5 = 1,3125,$$

$$x_{*TB} = \frac{X_{*TB} \%}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{мн}} = \frac{18,375}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 4,59,$$

$$X_{*TH1} \% = X_{*TH2} \% = 1,75 \cdot U_{KB-H} \% = 1,75 \cdot 10,5 = 18,375.$$

7.2 Расчет токов КЗ на стороне 110 кВ

К1:

Суммарное сопротивление:

$$x_{*\Sigma} = x_{*c} + x_{*КЛ1} = 0,5 + 0,08 = 0,58.$$

КЗ⁽³⁾:

$$I_{*K3}^{(3)} = \frac{E_C}{x_{*\Sigma}} = \frac{1}{0,58} = 1,72,$$

$$I_{*K1}^{(3)} = I_{*K1}^{(3)} \cdot \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 1,72 \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 8,64 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

Имея постоянную времени $T_{a1} = 0,05 \text{ с}$., далее определяем коэффициент ударного тока: $K_{y\delta 1} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,05} = 1,65$.

$$i_{y\delta 1} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta 1} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,65 \cdot 8,64 = 20,1 \text{ кА}.$$

7.3 Расчет токов КЗ на стороне 6 кВ

К2:

$$x_{*\Sigma} = x_{*c} + x_{*л} + x_{*ma} + x_{*mn} = 0,5 + 0,08 + 0,328 + 4,59 = 5,498,$$

$$I_{*K32}^{(3)} = \frac{E_C}{x_{*\Sigma}} = \frac{1}{5,498} = 0,182,$$

$$I_{*K2}^{(3)} = I_{*K2}^{(3)} \cdot \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 0,182 \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 16,69 \text{ кА}.$$

Находим КЗ синхронными двигателями подключенными к шинам 6 кВ:

$$I_{CD1} = \frac{E''}{X_{*d}} \cdot \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{11}{0,26} \cdot \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 0,9 \cdot 0,95} = 0,77 \text{ кА},$$

$$I_{CD2} = \frac{E''}{X_{*d}} \cdot \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{11}{0,26} \cdot \frac{2200}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 0,9 \cdot 0,95} = 0,98 \text{ кА},$$

$$I_{CD3} = \frac{E''}{X_{*d}} \cdot \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{11}{0,26} \cdot \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 0,9 \cdot 0,95} = 0,29 \text{ кА},$$

$$I_{K2} = I_{CD1} + I_{CD2} + I_{CD3} + I_{K2}^{(3)} = 0,77 + 0,98 + 0,29 + 16,69 = 18,73 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

Данно: $T_{a2} = 0,12 \text{ с}$.

$$K_{y\delta 1} = 1 + e^{-0,01/T_{a2}} = 1 + e^{-0,01/0,12} = 1,9.$$

$$i_{y\delta 2} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta 2} \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot 18,73 = 50,18 \text{ кА},$$

$$i_{y\delta.CD1} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta 2} \cdot (I_{CD1} + I_{CD2} + I_{CD3}) = \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot (0,77 + 0,98 + 0,29) = 4,9 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial 2\Sigma} = i_{y\partial 2'} + i_{y\partial.CД1} = 50,18 + 4,9 = 55,08 \text{ кА.}$$

К3:

Рассчитаю предполагаемое сопротивление кабельной линии:

$$x_{*КЛ1} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_H^2} = 0,08 \cdot 0,7 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 1,41.$$

где $x_0 = 0,08$ (ом/км), это маслонаполненный кабель 110 кВ;

l —линии метраж (км);

U_H — номинальное напряжение.

$$x_{*\Sigma} = x_{*c} + x_{*л} + x_{*тв} + x_{*тн} + x_{*кл2} = 0,5 + 0,08 + 0,328 + 4,59 + 1,41 = 6,908,$$

$$I_{*К32}^{(3)} = \frac{E_C}{x_{*\Sigma}} = \frac{1}{6,908} = 0,145,$$

$$I_{*К2}^{(3)} = I_{*К2}^{(3)} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 0,145 \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 13,28 \text{ кА,}$$

$$T_{a3} = 0,9 \text{ с,}$$

$$K_{y\partial 1} = 1 + e^{-0,01/T_{a3}} = 1 + e^{-0,01/0,9} = 1,9,$$

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 3} \cdot I_{К3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot 13,28 = 35,58 \text{ кА.}$$

7.4 Расчёт токов КЗ на стороне 0,4 кВ

Производим расчёт в именованных единицах.

Сопротивления питающей системы:

$$X_C = \frac{U_C}{\sqrt{3} \cdot I_{К3}^{(3)}} \cdot \left(\frac{U_{\bar{\sigma}}}{U_C} \right)^2 = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 1816} \cdot \left(\frac{0,4}{6,3} \right)^2 = 0,8 \text{ мОМ.}, \text{ мОМ}$$

К4:

Сопротивление трансформатора ТМЗ 1000:

$$z_T = \frac{U_C \% \cdot U_H^2}{S_{HT}} \cdot 10^4 = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{1000} \cdot 10^4 = 8,8 \text{ мОМ,}$$

$$r_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{\bar{\sigma}cm}^2}{S_{HT}} \cdot 10^6 = \frac{12,2 \cdot 0,4^2}{1000} \cdot 10^6 = 1,95 \text{ мОМ,}$$

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2} = \sqrt{8,8^2 - 1,95^2} = 8,58 \text{ мОМ.}$$

Суммарное активное сопротивление:

$$r_{\Sigma} = r_T + r_{a2} + r_K + r_n = 1,95 + 0,15 + 0,25 + 15 = 17,35 \text{ мОМ.}$$

где $r_{a2}=0,15$ мОм (катушка максимально предельного тока);

$r_K=0,25$ мОм (сопротивление контактов);

$r_n=15$ мОм (Суммарное переходное сопротивление контактов на шинах, вводах и выводах аппаратов и контакта в месте КЗ).

Суммарное индуктивное сопротивление:

$$x_{\Sigma} = x_T + x_{a2} + x_C = 0,8 + 8,58 + 0,27 = 9,65 \text{ мОМ.}$$

Суммарное полное сопротивление:

$$z_{\Sigma} = \sqrt{17,35^2 + 9,65^2} = 19,85 \text{ мОМ.}$$

3-ёхфазное КЗ:

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{U_C}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 19,85} = 11,65 \text{ кА.}$$

Определяется постоянная времени:

$$T_{a4} = \frac{r_{\Sigma}}{z_{\Sigma} \cdot \omega} = \frac{9,65}{314 \cdot 19,85} = 0,0015.$$

Ударный ток:

$$K_{y\partial 4} = 1 + e^{-0,01/T_{a4}} = 1 + e^{-0,01/0,0015} = 1,001,$$

$$i_{y\partial 4} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 4} \cdot I_{K4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,001 \cdot 11,65 = 16,44 \text{ кА.}$$

К5:

Сопротивления кабельной линии:

$$x_{KL3} = x_0 \cdot l = 0,066 \cdot 0,04 = 0,00264 \text{ мОМ,}$$

$$r_{KL3} = r_0 \cdot l = 1,25 \cdot 0,04 = 0,05 \text{ мОМ,}$$

где $x_0=0,066$ мОм/км (удельное индуктивное сопротивление кабеля);

$r_0=1,25$ мОм/км. (удельное активное сопротивление кабеля).

$$r_{\Sigma} = r_{\Sigma 4} + r_{KL3} + r_{a2} + r_K = 17,35 + 0,05 + 0,15 + 0,25 = 17,8 \text{ мОМ}$$

$$x_{\Sigma} = x_{\Sigma 4} + x_{KL3} + x_{a3} = 9,65 + 0,00264 + 0,27 = 9,92 \text{ мОМ,}$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{17,8^2 + 9,92^2} = 20,38 \text{ мОМ}.$$

где $x_0=0,066$ мОм/км (удельное индуктивное сопротивление кабеля);

$r_0=1,25$ мОм/км. (удельное активное сопротивление кабеля).

КЗ⁽³⁾:

$$I_{K5}^{(3)} = \frac{U_C}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20,38} = 11,34 \text{ кА}.$$

Определяется постоянная времени:

$$T_{a5} = \frac{r_{\Sigma}}{z_{\Sigma} \cdot \omega} = \frac{9,92}{314 \cdot 17,8} = 0,0018.$$

Ударный ток:

$$K_{y\partial 5} = 1 + e^{-0,01/T_{a4}} = 1 + e^{-0,01/0,0018} = 1,001,$$

$$i_{y\partial 5} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 4} \cdot I_{K4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,001 \cdot 11,34 = 16 \text{ кА}.$$

Вывод по разделу:

Рассчитали короткое замыкание на стороне 110, 6, 0,4 кВ, Определили для каждой стороны суммарное полное сопротивление, ударный ток, а так же постоянную времени.

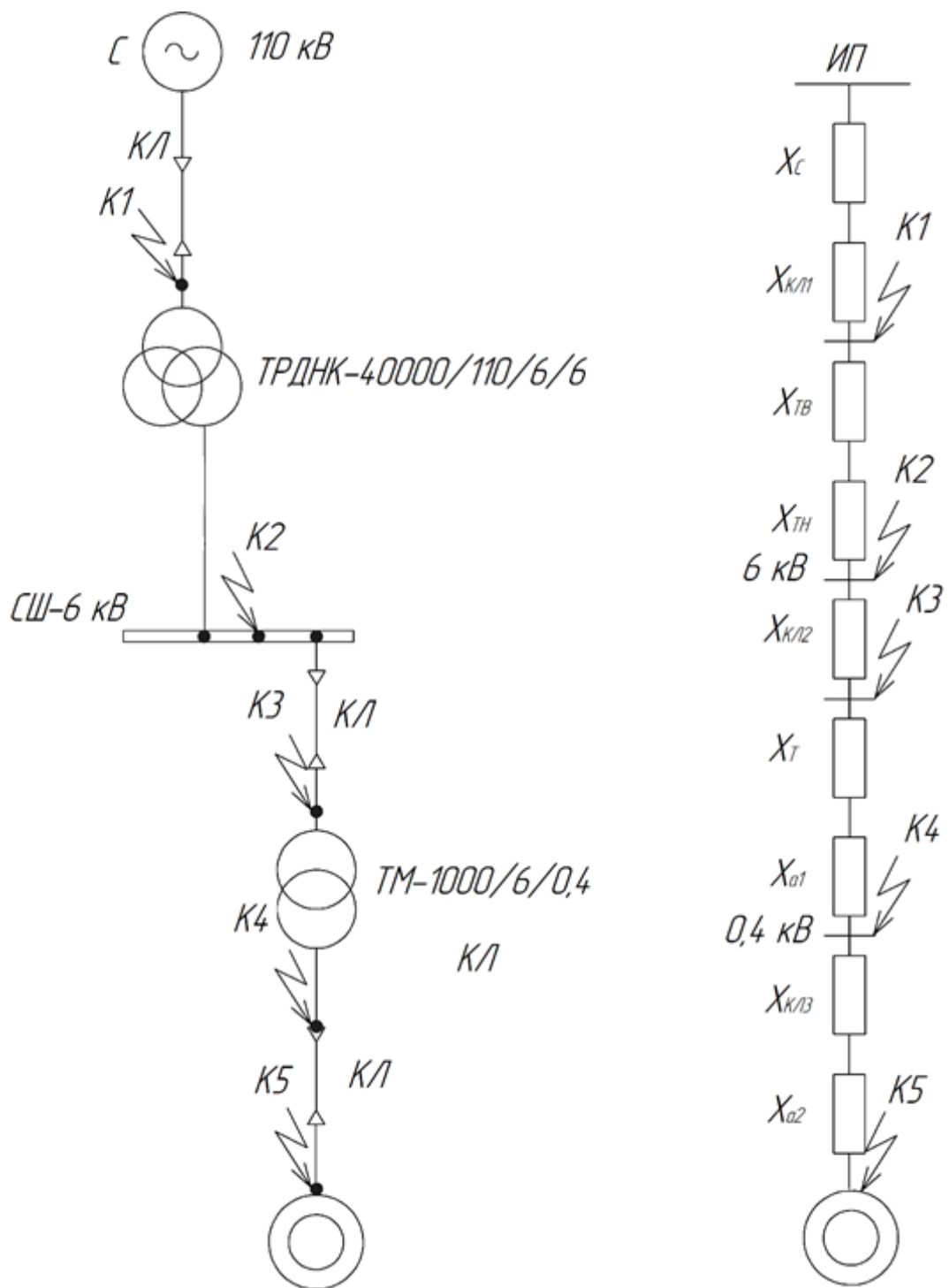


Рисунок 4 – схема замещения

8 Выбор электрооборудования на стороне 110 кВ

8.1 Выбор электрооборудования на стороне 110 кВ

Выбор выключателя, данные взяты с сайта «ЭТК Оник» [13]:

1. Номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$

$$110 = 110 \text{ кВ.}$$

2. Номинальный ток:

$$I_p \leq I_{доп},$$

$$I_{max} \leq I_{ном},$$

$$I_p = \frac{S_{H.T}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 201,05 \text{ А},$$

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{S_{H.T}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \cdot \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 281 \text{ А},$$

$$I_{max} = 281 \leq I_{ном} = 2000 \text{ А.}$$

$$I_{раб} = 201,05 \leq I_{ном} = 2000 \text{ А.}$$

3. Отключающей способности:

Симметричного тока отключения:

$$I_{n,\tau} \leq I_{откл.ном},$$

$$I_{n,\tau} = I_{n.o} = 8,64 \text{ кА.}$$

$$I_{n,\tau} = 8,64 \leq I_{откл.ном} = 40 \text{ кА.}$$

На отключение аperiodической составляющей:

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.ном} = (\sqrt{2} \cdot \beta / 100) \cdot I_{откл.ном},$$

где i —номинальное допустимое значение аperiodической составляющей для времени

$$\tau = t_{pз} + t_{c.в} = 0,01 + 0,045 = 0,055 \text{ с},$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n.o} \cdot \varepsilon^{-\tau/T} = \sqrt{2} \cdot 8,64 \cdot \varepsilon^{-0,046/0,05} = 1,83 \text{ кА},$$

где $T_a=0,05$ — постоянная времени затухания аperiodической составляющей, берется из таблицы 4 методической литературы [11];

$$i_{a.ном} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{нор} / 100) \cdot I_{откл.ном} = (\sqrt{2} \cdot 43 / 100) \cdot 40 = 24 \text{ кА},$$

$$i_{a.т} = 1,83 \leq i_{a.ном} = 24 \text{ кА}.$$

4. По включающей способности:

$$I_{н,о} \leq I_{вкл.норм},$$

$$i_{уд} \leq i_{вкл.норм},$$

$$I_{н,о} = 8,64 \leq I_{вкл.норм} = 40 \text{ кА},$$

$$i_{уд} = 20,1 \leq i_{вкл.норм} = 102 \text{ кА}.$$

5. По предельному сквозному току, на соблюдение электродинамической стойкости:

$$I_{н,о} \leq I_{пр.с},$$

$$i_{уд} \leq i_{дин} = i_{пр.с},$$

$$I_{н,о} = 8,64 \leq I_{пр.с} = 102 \text{ кА},$$

$$i_{уд} = 20,1 \leq i_{вкл.норм} = 102 \text{ кА}.$$

6. Тепловому импульсу, на соблюдение термической стойкости:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T, \text{ при условии } t_{откл} > t_T,$$

$$\text{если } t_{откл} < t_T, \text{ то } B_k \leq I_T^2 \cdot t_{откл},$$

Время отключения короткого замыкания:

$$t_{откл} = t_{рз} + t_{нв.откл} = 0,01 + 0,06 = 0,07 \text{ с},$$

$$B_k = I_{н,о}^2 (t_{откл} + T_a) = (8,64 \cdot 10^3)^2 (0,07 + 0,05) = 8,95 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

В связи с тем, что в нашем случае $t_{откл} = 0,1 \text{ с} < t_c = 3 \text{ с}$, то условие проверки на термическую стойкость имеет следующий вид:

$$B_k = 8,95 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с} \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = (40 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,07 = 112 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

Выключатель ВЭКТ-110-40/2000 соответствует всем требованиям проверки.

Выбираем разъединитель:

Данные взяты с сайта «Завод электротехнического оборудования» [16].

1. Номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$

$$110 = 110 \text{ кВ.}$$

2. Номинальный ток:

$$I_p \leq I_{ном},$$

$$I_p = \frac{S_{Н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 201,05 \text{ А,}$$

$$I_{раб} = 201,05 \leq I_{ном} = 1000 \text{ А.}$$

3. На электродинамическую стойкость:

$$i_{уд} \leq i_{дин} = i_{нр.с},$$

$$i_{уд} = 20,1 \text{ кА} \leq i_{нр.с} = 80 \text{ кА.}$$

4. Тепловому импульсу, на соблюдение термической стойкости:

$$B_k = I_{н.о}^2 (t_{откл} + T_a) = (8,64 \cdot 10^3)^2 (0,07 + 0,05) = 8,95 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с.}$$

$$B_k = 8,95 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с} \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = (31,5 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,07 = 69,4 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с.}$$

Разъединитель РДЗ–110/1000 соответствует всем требованиям выбора и проверки.

Выбираем трансформатор тока:

1. Номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$

$$110 = 110 \text{ кВ.}$$

2. Номинальный ток:

$$I_p \leq I_{дон},$$

$$I_p = \frac{S_{Н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 201,05 \text{ А,}$$

$$I_{ном} = 300 \text{ А,}$$

$$201,0 \leq 300 \text{ А.}$$

3. Электродинамическая стойкость:

$$i_y \leq I_{\text{эд}},$$

$$i_y = 20,1 \text{ кА},$$

$$I_{\text{эд}} = \sqrt{2} \cdot I_{1\text{ном}} \cdot k_{\text{дин}} = \sqrt{2} \cdot 300 \cdot 50 = 21,15 \text{ кА},$$

$$20,1 \leq 21,15 \text{ кА}.$$

где $I_{1\text{ном}}$ – первоначальный ток Т.Т.;

$k_{\text{дин}}$ – количество стойкости электродинамической.

4. Термическая стойкость-тепловой импульс:

$$B_k = k_T^2 \cdot I_{1\text{ном}}^2 \cdot t_T,$$

$$B_k = I_n^2 \cdot t = 8,64^2 \cdot (0,5 + 0,05) = 41,1 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$I_{\text{тер}} = K_m^2 \cdot I_{1\text{ном}}^2 \cdot t_m = 25^2 \cdot 0,4^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$41,5 \leq 300 \text{ кА}^2\text{с}.$$

где $K_m = 25$ (справочный термический коэффициент);

t_m – продолжительность течения тока термической надежности.

5. Нагрузка вторичная.:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном}}.$$

На трансформаторе тока на стороне 110 кВа, вторичной нагрузкой является релейная защита и амперметр.

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{0,1}{25} = 0,004 \text{ Ом},$$

$$r_{\text{приб}} = R_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_k = 1,6 - 0,004 - 0,1 = 1,496 \text{ Ом}.$$

При длине $l = 100$ м, разрез проводов вторичных цепей:

$$s = \frac{\rho \cdot l}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 30}{1,496} = 0,35 \text{ мм}^2.$$

Используем провод медный, с типовым сечением 2,5 мм²

Выбирается трансформатор тока ТВТ110 – I – 300/5 [7].

8.2 Выбор оборудования на стороне 6 кВ

Выбор вводного выключателя.

По напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$

$$6 \leq 10 \text{ кВ}.$$

По току:

$$I_p \leq I_{ном},$$

$$I_p = \frac{S_{Н.Т}}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot U_n} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 6,3} = 1835,03 \text{ А},$$

$$I_{ном} = 3150 \text{ А},$$

$$1835,03 \leq 3150 \text{ А}.$$

Выключатели реагируют отключающей способностью:

а) на симметричный ток:

$$I_{нт} \leq I_{откл.ном},$$

$$I_{нт} = 16,69 \text{ кА},$$

$$I_{откл.ном} = 20 \text{ кА},$$

$$16,69 \leq 20 \text{ кА}.$$

б) на апериодической составляющей тока КЗ:

$$i_{a,\tau} \leq \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{откл.ном}.$$

где $i_{a,\tau}$ – это величина для времени τ апериодической составляющей в отключаемом токе;

$\beta_{ном}$ – это величина определяется по кривым (0,4 для = 0,04сек.), апериодической составляющей в отключаемом токе.

$$\tau = t_{р.з.} + t_{с.в.} = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ сек.},$$

где $t_{р.з.} = 0,01$ с. – момент действия релейной защиты;

$t_{с.в.} = 0,03$ с. – фактический момент отключения выключателя.

$$\sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{откл.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 20 = 11,28 \text{ кА},$$

$$I_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{н.о} = \sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 16,69 = 9,41 \text{ кА},$$

$$9,41 \leq 11,28 \text{ кА}.$$

На электродинамическую стойкость - наивысшего сквозного тока КЗ:

$$i_{y\partial} \leq j_{нр.с},$$

$$i_{y\partial} = 55,08 \text{ кА},$$

$$j_{нр.с} = 80 \text{ кА},$$

$$55,08 \leq 80 \text{ кА}.$$

Импульс температурный – на тепловую надежность:

$$B_k = I_{мер}^2 \cdot t_T,$$

$$B_k = I_n^2 \cdot t = 16,69^2 \cdot (0,05 + 0,12) = 47,35 \text{ кА}^2 \text{с},$$

$$I_{мер}^2 \cdot t_m = 31,5^2 \cdot 4 = 3969 \text{ кА}^2 \text{с},$$

$$47,35 \leq 3969 \text{ кА}^2 \text{с}.$$

где I_m – температурная надежность предельного тока;

t_m – длительность протекания тока температурной надежности.

Выбираем выключатель ВБЭ – 10 – 31,5 /3150

Другие выключатели для КРУ 6 кВ в таблице 3.

Таблица 3– выключатели для КРУ

Назначение выключателя	Тип выключателя
1. Вводной	ВБЭ – 10 – 31,5 /3150
2. Линейный	ВБЭ – 10 – 31,5 /1000, ВБЭ – 10 – 31,5 /630, ВБЭ – 10 – 31,5 /1600
3. Секционный	ВБЭ – 10 – 31,5 /3150

Дальше подбираем трансформатор тока 6 кВ.

Для примера рассматривается выбор трансформатора тока, который устанавливается в вводной ячейке.

Параметры выбора трансформатора тока:

1. По напряжению обозначенному:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$

$$6 \leq 10 \text{ кВ.}$$

2. По току обозначенному:

$$I_p \leq I_{ном},$$

$$I_p = \frac{S_{Н.Т}}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot U_n} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 6,3} = 1835,03 \text{ А,}$$

$$I_{ном} = 1000 \text{ А,}$$

$$1835,03 \leq 1000 \text{ А.}$$

3. Электродинамическая стойкость:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{1ном} \cdot k_{дин},$$

$$i_{уд} = 55,08 \text{ кА,}$$

$$I_{эд} = \sqrt{2} \cdot I_{1ном} \cdot k_{дин} = \sqrt{2} \cdot 2000 \cdot 20 = 56,4 \text{ кА,}$$

$$55,08 \leq 56,4 \text{ А.}$$

где $I_{1ном}$ – ток первичный обозначенный трансформатора тока;

$k_{дин}$ – количество стойкости электродинамической.

4. Термическая стойкость-тепловой импульс по:

$$B_k = k_T^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot t_T,$$

$$B_k = I_n^2 \cdot t = 16,69^2 \cdot (0,05 + 0,12) = 47,35 \text{ кА}^2 \cdot \text{с,}$$

$$I_{тер} = K_m^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot t_m = 35^2 \cdot 3^2 \cdot 3 = 33075 \text{ кА}^2 \cdot \text{с,}$$

$$47,35 \leq 33075 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

5. Нагрузка вторичная:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}.$$

При помощи микропроцессорного блока SEPAM 2000 производится наблюдение за работой трансформатора с расщепленной обмоткой НН:

$$r_{приб} = \frac{S_{блока}}{I_2^2} = \frac{0,025}{25} = 0,001 \text{ Ом,}$$

где I_2 – номинальный ток;

$S_{\text{блока}}$ – мощность микропроцессорным блоком.

$$Z_2 = Z_{2\text{ном}} \approx R_2 \text{ Ом.}$$

Сопротивление нагрузки фактическое:

$$r_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{к}} = 0,001 + 0,1 + 0,056 = 0,157 \text{ Ом,}$$

$$R_{\text{пр}} = R_2 - R_{\text{приб}} - 0,1 = 0,4 - 0,157 - 0,1 = 0,143 \text{ Ом,}$$

$$S_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пров}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 20}{0,147} = 2,38 \text{ мм}^2.$$

где $R_{\text{пр}}$ – сопротивление проводов;

$R_{\text{к}}$ – сопротивление контактов переходное

Основа медь провода, подбираем сечение 2,5 мм²

ТШЛК – 10 подбираем трансформатор тока [7]

Выбор трансформатора напряжения:

1. номинальному напряжению:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}},$$

$$6 = 6 \text{ кВ.}$$

2. вторичной нагрузке $S_{\text{ном}} = 50 \text{ ВА}$; $S_{\text{блока}} = 0,025 \text{ ВА}$:

$$S_{\text{блока}} \leq S_{\text{ном}},$$

$$0,025 \leq 50 \text{ ВА}$$

Отдаем предпочтение трансформатору напряжения НТМИ – 6 – 66УЗ
имеющий класс точности 0,5. [7]

Выбор кабельной линии 6 кВ

Параметры выбора кабельной линии:

1. Номинальное напряжение:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}},$$

$$6 = 6 \text{ кВ.}$$

2. Сечение жилы кабеля:

Расчет ведётся для кабельной линии для запитки ТМЗ 1600 кВА

$$I_p = \frac{S_{H.T}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 146,8 \text{ A},$$

$$s_э = \frac{I_p}{j_{э\kappa}} = \frac{146,8}{1,4} = 104,86 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение жилы кабеля [1], $3 \times 120 \text{ мм}^2$. $I_{доп} = 200 \text{ A}$. С учетом поправочного коэффициента на количество работающих кабелей, проложенных рядом ($k = 0,92$):

$$I_p \leq I_{доп},$$

$$146,8 \leq I_{доп} = k \cdot I = 0,92 \cdot 200 = 184 \text{ A}.$$

Тепловому импульсу – на термическую стойкость:

$$s_{\min} \leq s = \frac{\sqrt{B_k}}{C},$$

$$B_k = I_{н.о.}^2 \cdot (t_{откл} + T_a) = 13,28^2 \cdot (0,05 + 0,5) = 96,99 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$120 \geq s = \frac{\sqrt{96,99 \cdot 10^6}}{98} = 100,5 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение жилы кабеля 120 мм^2 , так как все условия выполняются.

Так как кабель будет прокладываться в туннеле, используем с пропитанной бумажной изоляцией: АСБГЗ (1×120).

КРУ 6 кВ КРУ серии К-63 выпускается Самарским заводом «Электрощит». Данные устройства имеют разные технические характеристики, которые зависят от установленного оборудования в соответствии с пожеланиями заказчика:

- подбираем фактическое линейное напряжение кВ, частоты тока 50 Гц: 6,0;
- подбираем наивысшее линейное напряжение: 7,2 кВ;
- для цепей ячеек КРУ подбираем наименьший ток: 3150 А;
- для отключения выключателя, находящегося в КРУ, используем номинальный ток 1.5 кА;
- шкафах КРУ главных цепей наименьший ток электродинамической стойкости: 80 кА;

- выбираем степень изоляции согласно ГОСТ 1516.1 – 76 степень «б»: нормальная изоляция 42;
- изоляции делятся на классы: твердая, комбинированная, воздушная;
- вид кабельный-линейное высоковольтное подсоединение;
- требуется с двухсторонним обслуживанием;
- высоковольтные ячейки без шинпровода имеют габариты: высота 2268; глубина 1450; ширина 750, мм;
- вес изделия, не более: 600 кг.
- выбор трансформаторов собственных нужд ГПП

Нужно учесть, что пригодится трансформатор собственных нужд. Он подключается к вводу главного трансформатора и в случае полной потери напряжения, данное подключение дает возможность управлять выключателями 6–10кВ

В данном случае на ГПП установлены 2 ТСН.

Определяем потребляемую мощность:

$$S = \sum P \cdot K_{загр} \cdot K_{одн} = 222,2 \cdot 0,7 \cdot 0,85 = 155 \text{ кВА},$$

$$K_{загр} = 0,7$$

$$K_{одн} = 0,85$$

Два трансформатора собственных нужд на 160 кВА. (2xТМ-160/6/0,4)

Таблица 4– Тип потребителей

№ п/п	Тип потребителя подстанции собственных нужд	Мощность, кВт
1	ТРДНК 40000 трансформатора для охлаждения	2×29,6
2	Шкаф КРУ для надогрева	40×1
3	Релейный шкаф для надогрева	8×1
4	ЗРУ 6 кВ отопление, освещение, вентиляция	40
5	Маслохозяйство	75
	Итого	222,2

8.3 Выбор оборудования на стороне 0,4 кВ

Параметры выбора автоматического выключателя:

1. По напряжению обозначенному:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$

$$0,4 = 0,4 \text{ кВ.}$$

2. По току обозначенному:

$$I_p \leq I_{ном},$$

$$I_p = \frac{S_{Н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2309,4 \text{ А,}$$

$$I_{ном} = 2500 \text{ А,}$$

$$2309,4 \leq 2500 \text{ А.}$$

Выбираем выключатель «Электрон»–2500 со следующими характеристиками:

- Имеет расцепитель нагрузки регулируемый $(0,4 - 1) I_n$;
- Рабочий ток непрерываемый ток $I_n = 2500 \text{ А}$;
- Выключающую свойство – 40 кА;
- Расцепитель настраиваемый КЗ $(1,5 - 10)I_n$.

Выбор кабельной линии 0,4 кВ.

1. Параметры выбора кабельной линии:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$

$$0,4 = 0,4 \text{ кВ.}$$

2. Длительность допустимого тока:

Кабель для запитки электродвигателя $P_n = 160 \text{ кВт}$, $\cos\varphi = 0,8$.

$$I_p = \frac{3_{Н.ЭД}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,8} = 298,02 \text{ А.}$$

Кабель проложен в полу, в стальной трубе, так как проходит по взрывопожароопасному цеху.

Сечение жилы $3 \times 95 \text{ мм}^2 I_{\text{дон}} = 350 \text{ А}$

Кабель: ВСБГ – 3(1×95)+(1×35)

Подбор КРУ 0,4 кВ

Для установления в цехах получил Самарский завод «Электроцит». КТП для РУ 0,4 кВ делаются шкафами ШН – 4. А в свою очередь шкафы ШН – 4 комплектуется нужнейшим оборудованием.

От ТП до оборудования внесено в таблицу 6. Ссылка на «приложение А».

Вывод по разделу:

Благодаря расчётам короткого замыкание, мы подобрали оборудование: выключатели, разъединители, трансформатор тока, трансформатор, напряжения для сторон 110, 6, 0,4 кВ.

9 Релейная защита на ГПП

Виды защит на ГПП:

- на выводах трансформатора устанавливается продольная дифференциальная защита. Срабатывает в случае отключения питания и отключение выключателей ввода;
- газовая защита трансформатора, включает в себя две ступени: действием на сигнал и остановки питания вводов ГПП;
- при критической ступени масла срабатывает защита, оповещением на сигнал.
- для секционных выключателей 6 кВ используется максимально токовая защита;
- для трансформаторных линий 6/0,4 кВ, применяют МТЗ с выдержкой времени;
- МТО, а также от замыкания на землю с оповещением;
- АВР 6 кВ при аварийном отключении одного из трансформаторов или одного из вводов 6 кВ;
- секционный автомат АВР~380/220В;
- автоматическое обдувка трансформатора;
- автоматическое переключение напряжение с использованием регулятора у трансформатора под нагрузкой.

9.1 Дифференциальная защита трансформатора ТРДН – 40000/110

Чтобы определить ток срабатывания защиты нужно значение тока небаланса. Ток небаланса составляет сумму трёх составляющих, значения которых и определим.

Составляющая, обусловленная регулированием напряжения:

$$I_{\text{нб рег}} = \frac{\Delta U_{\text{рег}}}{(1 - \Delta U_{\text{рег}})} \cdot I^{(3)} = \frac{0,16}{(1 - 0,16)} \cdot 8,64 = 1,64 \text{ кА.}$$

где $\Delta U_{\text{рег}}$ – диапазон регулирования напряжения трансформатора, %.

Составляющая, обусловленная погрешностью трансформаторов тока:

$$I_{\text{нб } \text{тт}} = K_{\text{пер}} \cdot K_{\text{одн}} \cdot \varepsilon \cdot I^{(3)} = 2 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 8,64 = 1,73 \text{ кА.}$$

где $K_{\text{пер}}$ – коэффициент, учитывающий переходный режим;

$K_{\text{одн}}$ – коэффициент однотипности трансформаторов тока;

ε – полная погрешность трансформатора тока.

Составляющая, обусловленная погрешностями выравниваниями, погрешностью преобразования аналого-цифрового преобразователя:

$$I_{\text{нб } \text{ф}} = K_{\text{пог}} \cdot I^{(3)} = 0,02 \cdot 8,64 = 0,173 \text{ кА.}$$

где $K_{\text{пог}}$ – средний коэффициент погрешности.

Сложим составляющие и найдём ток небаланса:

$$I_{\text{нб } \Sigma} = I_{\text{нб } \text{рег}} + I_{\text{нб } \text{тт}} + I_{\text{нб } \text{ф}} = 1,64 + 1,73 + 0,173 = 3,54 \text{ кА.}$$

Ток срабатывания дифференциальной защиты на стороне ВН:

$$I_{\text{сз}} \geq K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб } \Sigma} = 1,1 \cdot 3,54 = 3,89 \text{ кА.}$$

где $K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, учитывающий ошибки расчётов, запас, погрешности реле.

НН:

Составляющая, обусловленная регулированием напряжения:

$$I_{\text{нб } \text{рег}} = \frac{\Delta U_{\text{рег}}}{(1 - \Delta U_{\text{рег}})} \cdot I^{(3)} = \frac{0,16}{(1 - 0,16)} \cdot 16,69 = 14,01 \text{ кА.}$$

Составляющая, обусловленная погрешностью трансформаторов тока:

$$I_{\text{нб } \text{тт}} = K_{\text{пер}} \cdot K_{\text{одн}} \cdot \varepsilon \cdot I^{(3)} = 2 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 16,69 = 3,34 \text{ кА.}$$

Составляющая, обусловленная погрешностями выравниваниями, погрешностью преобразования аналого-цифрового преобразователя:

$$I_{\text{нб } \text{ф}} = K_{\text{пог}} \cdot I^{(3)} = 0,02 \cdot 16,69 = 0,334 \text{ кА.}$$

Сложим составляющие и найдём ток небаланса:

$$I_{нб\Sigma} = I_{нб\text{рег}} + I_{нб\text{тт}} + I_{нб\text{f}} = 1,64 + 1,73 + 0,173 = 3,54 \text{ кА.}$$

Ток срабатывания дифференциальной защиты на стороне НН:

$$I_{CЗ} \geq K_{отс} \cdot I_{нб\Sigma} = 1,1 \cdot 3,54 = 17,68 \text{ кА.}$$

Вывод по разделу:

Для силового трансформатора была выбрана дифференциальная защита, так как по сравнению с другими является самой распространённой и быстродействующей. Определили значение тока небаланса, чтобы определить ток срабатывания защиты, так же учли: составляющая, обусловленная погрешностью трансформаторов тока, составляющая, обусловленная регулированием напряжения и составляющая, обусловленная погрешностями выравниваниями, погрешностью преобразования аналого-цифрового преобразователя:

10 Расчет молниезащиты ГПП

Все электротехнические сооружения во избежание повреждения от ударов молний должны в строгом порядке комплектоваться молниезащитой от прямых поражений тока, приводящим к выходу подстанции из строя. С учетом категорий потребителей, это недопустимо.

По таблице 19 [12] выбираем надежность защиты с высотой молниеотвода. Расчет параметром зон защиты двойного стержневого молниеотвода представлен в таблице 12, при надежности защиты равной 0,99 и высоте в 100 метров.

Так как, в данном случае расстояние между стержневыми молниеприемниками L не больше предельного значения L_{max} , где $L \leq 4h$, то молниеотвод является двойным.

По таблице 19 [12] выбираем надежность защиты с высотой молниеотвода. Расчет параметром зон защиты двойного стержневого молниеотвода представлен в таблице 12, при надежности защиты равной 0,99 и высоте в 100 метров.

Для расстояний $L_c \leq L \leq L_{max}$ высота h_c определяется по следующей формуле:

$$h_c = \frac{L_{max} - L}{L_{max} - L_c} h_0 = \frac{450 - 400}{450 - 250} \cdot 100 = 16 \text{ м.}$$

Как было описано выше, относящиеся к этой формуле расстояния L_{max} и L_c рассчитываются по таблице 12 [12]. Так как, высота молниеотводов не больше 150 метром, то использовать специальное программное обеспечение не требуется.

Таблица 5—Расчет параметров зоны защиты двойного стержневого молниеотвода

Надежность защиты	Высота молниеотвода h , м	L_{max} , м	L_c , м
0,99	от 100 до 150	4,5h	1,5h

Габаритные размеры горизонтальных сечений вычисляются по

следующим выражениям:

Максимальная полуширина зоны r_x на высоте h_x ;

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{120 \cdot (100 - 40)}{100} = 72 \text{ м.}$$

Длина горизонтального сечения l_x на высоте $h_x < h_c$;

$$l_x = L / 2 = 400 / 2 = 200.$$

Ширина горизонтального сечения между молниеотводами на высоте $h_x \leq h_c$:

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_c - h_x)}{h_c} = \frac{120 \cdot (50 - 40)}{50} = 24 \text{ м.}$$

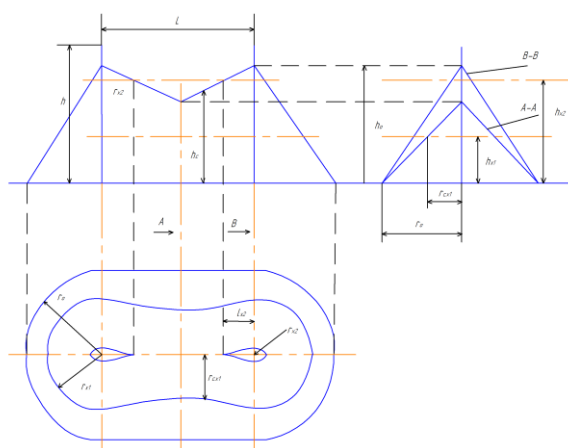


Рисунок 5—Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

Вывод по разделу:

Для защиты подстанции были выбраны стержневые молниеотводы, размещенные на порталах высокого напряжения 16 м, так как, порталы обладают самой большой высотой из всех электротехнических оборудования на подстанции.

Для обеспечения надежности молниеотводы будут выполняться двухстержневого типа одинаковой высоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение многих задач, связанных с электроснабжением промышленных предприятий можно выполнить несколькими технологическими средствами. Такая многовариантность реализации промышленных систем электроснабжения, требует проведения предварительных расчетов, результатом которых является обоснование выбранного технического решения.

Система выполнена максимально рационально и удовлетворяет всем требованиям экономичности, надежности и качества. При этом была обеспечена гибкость системы электроснабжения, позволяющая расширение при дальнейшем развитии завода.

Так как предприятия химической промышленности относятся к потребителям первой категории надежности, то к установке на ГПП производства приняли два трансформатора ТРДНК мощностью 40000 кВА, так же на стороне 6 кВ в ЗРУ было принято КРУ К–63. Трансформаторы тока марки ТОЛ-10 и выключатель ВБЭ–10–31,5/3150. Все оборудование производится в Самарской области на заводе «Электроцит».

Для электроснабжения отдельных корпусов и участков к установке были приняты трансформаторы марки ТМЗ мощностью 1000 и 1600 кВА. Кроме того, был праведен выбор кабелей распределительной сети, а также защита силовых трансформаторов ГПП производства был проведен выбор и расчет уставок дифференциальной защиты.

На ГПП предприятия была спроектирована молниезащита, для предотвращения повреждения оборудования.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы спроектирована система электроснабжения производства капролактама, которая отвечает всем современным требованиям по надежности и качеству электроснабжения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аракелов В.Е. Комплексная оптимизация энергоустановок промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 326с.
2. Вахнина В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / В.В. Вахнина. - Тольятти: ТГУ, 2011.
3. Дьяков А.Ф. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие для студентов вузов / А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко.- М.: Изд. дом МЭИ, 2010.
4. ЗАО «ЗЭТО» завод электротехнического оборудования –г. Великие Луки. [Электронный ресурс] https://zeto.ru/products_and_services/high_voltage_equipment/razyediniteli-predydushego-pokoleniya-serii-rdz/razyediniteli-narujnoy-ustanovki-serii-rdz-na-35-220-kv
5. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 56 с. (дата обращения 15.11.2019)
6. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110- 150 кВ/ Е.Ф. Макаров. - М.: «ИД Энергия»,2010.
7. ООО «ЭТК Оникс» – г. Смоленск [Электронный ресурс] <http://www.etk-oniks.ru/Vyklyuchateli-vysokovoltnye/VEKT-110.html>
8. Опалева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения / Г.Н. Опалева. – М.: ИД «ФОРУМ», 2009.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок и потребителей. - М.: НЦ ЭНАС, 2012.
10. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). Седьмое издание. - М.: - Кнорус, 2016.
11. Федоров А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: учеб.

пособие для вузов. / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова. - М.: Энергоатомиздат, 2011.

12. Черненко Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции. Выполнение курсового проекта [Электронный ресурс]: электрон. Учеб-метод. пособие / Ю.В. Черненко – Тольятти: ТГУ, 2019.

13. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: методическое пособие для курсового проектирования / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, 2009. 59

14. Шлыков С.В. Потребители электрической энергии: учебное пособие/ С.В. Шлыков; В.А. Шаповалов; Н.А. Шаповалова; ТГУ Электротехнический факультет, кафедра «Электроснабжение и электротехника» ТГУ-Тольятти, 2011.

15. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии /Под общей ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов).-8-е изд., испр. и доп. –М.: Издательство МЭИ, 2010.

16. Bayliss C. Transmission and Distribution Electrical Engineering / С. Bayliss, В. Hardly. – Newnes, 2012. – 1180 с

17. Electric Distribution Network Planning: Farhad Shahnian, Ali Arefi, Gerard Ledwich Power Systems 2018.– 268с

18. Gianluigi Migliavacca, Interactions and Ancillary Services in Electricity Transmission and Distribution Networks : Modeling, Analysis and Case-Studies 2019. – 341с

19. Jalal SahebkarFarkhan ,ArsalanNajafi, Impact of Recloser on Protecting Blind Areas of Distribution Network in the Presence of Distributed Generation 2019– 9 с

20. Smart Grid Communication Infrastructures: Big Data, Cloud Computing, and Security Wiley-IEEE Press 2017– 423с

Приложение А

Выбор и проверка кабелей

Таблица А.1 – Выбор и проверка кабелей на от ТП до оборудования

Технологическая позиция	Расчетная мощность $P_{расч}$, кВт	Длительно допустимый ток $I_{доп}$, А	Расчетный ток, $I_{расч}$, А	Длина КЛ, м	Кабель
1	2	3	4	5	6
ТП№45					
Ввод №1 1ШР3ШР ЭРП-1	208	360	312	45	АНРБГ 2(3×70+1×25)
Ввод №3 7ШР9ШР ЭРП-1	121	290	189	35	АНРБГ 2(3×50+1×25)
Ввод №1 14 ШР16 ШР ЭРП- 2	109	360	189	35	АНРБГ 2(3×70+1×25)
Ввод №1 23ШР25ШР ЭРП-3	155	440	269	50	АНРБГ 2(3×95+1×25)
ЭПР-1 к контактору	105	290	195	15	АНРБГ 3×50+1×25
Компрессор	40	290	70	55	АНРБГ 3×50+1×25
ЭРП-1 к контактору	75	290	138	35	АНРБГ 4×50
Щит управления СД-3	50	290	100	100	АНРГ 3×50
Щит управления СД-4	45	290	90	100	АНРГ 3×50
Щит управления СД-№2	75	290	103	15	АНРГ 3×150
Ввод №2 17ШР19ШР	50	290	100	100	АНРГ 3×50
Ввод №4 10ШР12ШР ЭРП-1	55	290	110	35	АНРБГ 3×50+1×25
Ввод №2 4 ШР- 6 ШР	50	610	103	15	АНРГ 3×150
Ввод №2 20ШР22ШР ЭРП-3	162	440	281	55	АНРБГ 2(3×95+1×35)

Приложение Б
Расчет электрических нагрузок

Таблица Б.1 – Результаты расчёта электрических нагрузок

Исходные данные						Расчетные величины		K_m	Расчётная мощность		
По заданию			Справочные данные			P_C , кВт	Q_C , квар		P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
Наименование	ЭП, N шт.	$\sum P_H$, кВт	K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$			7			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
П/ст №42	20	1653	0,65	0,81	0,71	1075	768	0,85	914	653,3	1148
Освещение		45	0,85	0,75	1,33				38		
Итого									952		
П/ст №21	18	2628	0,7	0,85	0,61	1840	1123	0,80	1472	899	1726
Освещение		69	0,85	0,75	1,33				58,5		
Итого									1530,5		
П/ст №20	60	2630	0,4	0,6	1,12	1052	1178	1,0	1052	1178	1579
Освещение		77	0,85	0,75	1,33				65,7		
Итого									1117,7		
П/ст №25	29	1000	0,75	0,79	0,78	750	587	1,02	765	599	971
Освещение		29	0,85	0,75	1,33				88,5		
Итого									853,5		
П/ст №39	10	2537	0,85	0,69	1,04	2157	2262	0,80	1726	1810	2501
Освещение		34	0,85	0,75	1,33				29,6		
Итого									1755,6		
П/ст №41	38	2729	0,71	0,79	0,78	1938	1503	0,85	1648	1278	2085
Освещение		24,7	0,85	0,75	1,33				23,3		
Итого									1691,3		
П/ст №45	45	2664	0,50	0,68	1,08	1332	1440	1,05	1398	1512	2059
Освещение		21	0,85	0,75	1,33				17,88		
Итого									1415,88		