

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 производственного корпуса предприятия химической промышленности

Обучающийся

В.В. Мачихин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

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

Тольятти 2022

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе разрабатывается ряд мероприятий и рекомендаций по теме «Электроснабжение производственного корпуса предприятия химической промышленности».

Объектом исследования, рассмотренным в работе, является система электроснабжения отделения по сжиганию производства гидроксиламинсульфата и кальцинированной соды ПАО «КуйбышевАзот».

В работе были определены расчётные электрические нагрузки от силовых электроприемников и найдено суммарное значение активной и реактивной мощности, передаваемой через цеховую трансформаторную подстанцию. На основе данных о категории надежности электроснабжения электроприемников предприятия и выбираемых для них коэффициентов загрузки силовых трансформаторов, определены значения целесообразной мощности силовых трансформаторов для установки на КТП.

Выполнен выбор основных коммутационных аппаратов, пускателей, проводников, кабелей и шинопроводов, используемых в системе внутрицехового электроснабжения. Произведён расчёт токов короткого замыкания в трёх характерных точках, выполнена проверка выбранных коммутационных аппаратов на коммутационную способность и по электродинамической стойкости. Произведён расчёт системы заземления на подстанции предприятия.

Работа состоит из пояснительной записки объёмом 58 страниц, в которую входит 4 таблицы с результатами расчётов и характеристиками выбираемого оборудования, а также один графический рисунок. Работа дополняется графическим материалом в виде шести листов стандартного формата А1, на которых изображены планы производственных помещений, с нанесенными сетями электроснабжения, электрические схемы и другие графические материалы, иллюстрирующие выбранные в работе технические решения.

Содержание

Введение.....	4
1 Краткое описание технологического процесса.....	6
2 Определение расчётных мощностей по силовым электроприемникам	8
3 Определение необходимого числа и номинальной мощности силовых трансформаторов для установки на подстанции внутри цеха.....	17
3.1 Первый вариант размещения двух силовых трансформаторов мощностью 1600 кВА на ТП.....	18
3.2 Второй вариант размещения трех силовых трансформаторов мощностью 1000 кВА на ТП.....	25
4 Выбор коммутационных аппаратов, проводников, кабелей и шинопроводов	33
4.1 Выбор шинопроводов	33
4.2 Выбор КЛ.....	33
4.3 Выбор коммутационно-защитных аппаратов	37
5 Определение значений токов КЗ в расчётных точках.....	42
5.1 Определение значений токов коротких замыканий до расчётной точки №1	45
5.2 Определение значений токов коротких замыканий до расчётной точки №2	47
5.3 Определение значений токов коротких замыканий до расчётной точки №3	50
6 Выбор электрических аппаратов для установки в трансформаторной подстанции на стороне низкого напряжения	53
6.1 Выбор вводных автоматических выключателей	53
6.2 Выбор измерительного трансформатора тока	54
Заключение	55
Список используемых источников.....	57

Введение

Система электроснабжения любого промышленного предприятия является одной из основополагающих систем, без которой невозможно его нормальное функционирование. Для работы любых технологических электроприемников, системы освещения, вентиляции и так далее, для всех нужно электричество. При этом на предприятиях химической промышленности от надёжного и бесперебойного функционирования системы электроснабжения зависит не только качество выпускаемой продукции, но также жизнь и здоровье как персонала предприятия, так и городских жителей, проживающих неподалёку.

Особыми требованиями к надёжности электроснабжения отличаются предприятия химической промышленности, ведь аварийная ситуация на них может иметь самые тяжелые последствия, представляющие угрозу для жизни большого количества жителей близлежащих населенных пунктов, а также грозу для экологической обстановки и нормальной возможности проживания в данной местности в будущем.

При проектировании системы электроснабжения стараются учесть не только текущие потребности предприятия в электрической энергии, но также спрогнозировать рост потребления в будущем, связанный с расширением производства, увеличением мощности технологических приёмников и вводом дополнительных мощностей, чтобы у созданной системы электроснабжения была возможность развиваться во времени без необходимости внесения глобальных изменений и замены уже установленного электрооборудования на более мощное.

Целью данной работы является проектирование надёжной системы электроснабжения производственного корпуса предприятия химической промышленности.

В задачи работы, которые будут решаться при выполнении данной бакалаврской работы входит расчёт электрических нагрузок от силовых

электроприемников, определение ожидаемой суммарной мощности на шинах низкого напряжения цеховой трансформаторной подстанции, обоснованный выбор номинальной мощности силовых трансформаторов, проведение сравнения нескольких вариантов по экономической целесообразности, определение необходимости установки устройств компенсации реактивной мощности, выбор элементов схемы внутрицехового электроснабжения, в которую входят коммутационные аппараты, кабели, шинопроводы, определение расчётных значений токов короткого замыкания в точках где эти токи могут иметь максимальное значение, проверка выбранных ранее коммутационных аппаратов на возможность отключения токов короткого замыкания и по электродинамической стойкости, расчёт системы заземления на цеховой трансформаторной подстанции, питающей данный производственный корпус.

1 Краткое описание технологического процесса

«Капролактама - один из наиболее востребованных на мировом рынке и широко используемых химических продуктов. Около 98% товарного капролактама расходуется на производство полиамида (найлон-6). В свою очередь 76% полиамида идет на получение волокон, остальное – на получение конструкционных пластмасс и полиамидных пленок. Мировые мощности по производству капролактама в 2005 году составили 4,2 млн. тонн. В настоящее время в связи с закрытием ряда крупных установок по производству капролактама в Европе и Азии, а также по причине незначительных объемов инвестиций в строительство новых установок (ввиду высокой стоимости капитальных вложений) прогнозируемый рост потребления капролактама в мире опережает прирост производственных мощностей. Основной объем производственных мощностей приходится на страны Европы - 42% и Азии, включая Японию, - 32%. Около 50% произведенного капролактама потребляется в странах Азии, в том числе 39% в Китае, Тайване, Корее. Эти страны, по прогнозам аналитиков, в ближайшее время останутся главными импортерами капролактама» [10].

Основным недостатком используемого в настоящее время метода получения капролактама является низкая селективность: степень перевода бензола в целевой продукт составляет менее 70%, большое количество органических побочных продуктов (0,3 тонны на 1 тонну капролактама). Так, на стадии окисления циклогексана кислородом воздуха на предприятиях «КуйбышевАзот» и «Азот» (Щёкино) образуются соответственно: щелочной сток производства капролактама (ЩСПК) и водно-кислый сток производства капролактама (ВКСПК), содержащие смесь моно- и дикарбоновых кислот (в щелочном стоке в виде их натриевых солей). Содержание органических кислот или их солей без учета воды в отходах производства капролактама составляет до 75% в водно-кислых стоках и 46% в щелочных стоках. Эти отходы, которые в настоящее время в основном сжигаются, могут служить полноценным

сырьем для получения сложных эфиров моно- и дикарбоновых кислот, применяемых для производства пластификаторов.

Мощность производства кальцинированной соды составляет до 7 тыс. тонн в год. Новый продукт получен в результате реализации программы по повышению эффективности производства и снижению воздействия на окружающую среду. В результате осуществления технических мероприятий отходы производства капролактама используются в качестве вторичных ресурсов и перерабатываются в востребованный продукт. При этом достигается существенный экологический эффект - снижение сбросов вредных веществ в водоемы.

Получаемая кальцинированная сода имеет промышленное назначение и может использоваться в черной металлургии, в качестве щелочесодержащего сырья для производства стеклоизделий, в химической промышленности как нейтрализующий агент кислых стоков и для каустификации, в стройиндустрии для изготовления шлакощелочных вяжущих и бетонов, в нефтедобывающей отрасли как многофункциональный реагент, в целлюлозно-бумажной промышленности в производстве целлюлозы.

Выводы по разделу: дана краткая характеристика технологического процесса, проводимого в рассматриваемом производственном корпусе, что дает лучшее представление об условиях функционирования системы электроснабжения.

2 Определение расчётных мощностей по силовым электроприемникам

Расчёт электрических нагрузок от силовых электроприемников промышленного предприятия выполняем по методу коэффициента максимума. Для выполнения расчёта в таблицу 1 заносим сведения об установленных в корпусе электроприемниках, группируя их по однородности режима работы и номинальной мощности, из справочной литературы определяем значение коэффициента использования и коэффициента мощности, находим номинальную мощность группы однотипных электроприемников.

Таблица 1 – Номинальные мощности и справочные коэффициенты установленных в производственном корпусе силовых электроприемников

Технологический электроприёмник	$n, шт$	$P_n, кВт$	K_u	$\cos \varphi$	$P_{н\Sigma}, кВт$
Эксгаустер с электроприводом Э 50/1,2(Э12)	4	250	0,75	0,87	1000
Вихревая воздуходувка ZME, серия SCB-01	4	132	0,75	0,87	528
Насосная установка 17	2	11	0,15	0,8	22
Насосная установка 21	2	15	0,17	0,8	30
Насосная установка для перекачки содового раствора	3	55	0,75	0,85	165
Консольно-моноблочный насос КМ 100-80-160	1	13	0,8	0,8	13
Насосная установка 23	2	15	0,75	0,8	30
Насосная установка 24	2	11	0,75	0,8	22
Насосная установка 28	3	37	0,8	0,85	111
Насосная установка 30	3	125	0,75	0,85	375
Насосная установка 33	2	15	0,75	0,8	30
Насосная установка 34	2	5	0,75	0,8	10
Насосная установка 40	3	18,5	0,8	0,8	55,5
Насосная установка 42	2	15	0,75	0,8	30

Продолжение таблицы 1

Технологический электроприёмник	$n, шт$	$P_n, кВт$	K_u	$\cos \varphi$	$P_{н\Sigma}, кВт$
Насосная установка 45	2	7,5	0,75	0,8	15
Насосная установка 47	3	18,5	0,75	0,8	55,5
Насосная установка 49	2	4	0,75	0,8	8
Насосная установка 53	2	40	0,75	0,85	80
Насосная установка 54	2	15	0,75	0,8	30
Приточно-вытяжная вентиляционная установка Cooper&Hunter CH-HRV10K	6	2,2	0,8	0,8	13,2
Приточно-вытяжная вентиляционная установка Royal Clima RCS-1250-U	8	0,75	0,8	0,8	6
Установка аварийной вентиляции	2	132	0,7	0,87	22
Агрегат питания АТПОМ-100	8	18	0,8	0,9	35
Токарный станок MetalMaster MML 1830V 18800	1	22	0,55	0,8	22
Выпрямитель сварочный ВДУ-505	1	40	0,6	0,67	40

Находим среднюю за наиболее загруженную смену активную мощность группы электроприемников путём умножения номинальной мощности группы ЭП на справочное значение коэффициента использования:

$$P_{cp} = P_n \cdot K_{II} \quad (1)$$

где « P_n – номинальная мощность электроприемника,
 K_{II} – коэффициент использования» [2].

Среднесменное значение реактивной мощности за наиболее загруженную смену находим путём умножения среднесменной активной мощности на коэффициент мощности:

$$Q_{cp} = P_{cp} \cdot \operatorname{tg}\phi \quad (2)$$

где « P_{cp} » – средняя номинальная мощность электроприемника,
 $\operatorname{tg}\phi$ – коэффициент мощности, показывающий отношение реактивной мощности к активной для ЭП» [2].

Эффективное число электроприемников находим путём деления двукратного значения суммарной номинальной мощности на номинальную мощность одного, самого мощного электроприемника [11]:

$$n_э = \frac{2 \cdot P_{н\sum}}{P_{н\max}}; \quad (3)$$

где $P_{н\max}$ – номинальная мощность одного самого мощного электроприемника;

$$n_э = (2 \cdot 1017,45) / 250 = 8 \text{ шт.}$$

Определяем групповой коэффициент использования путем деления суммарного значения среднесменных нагрузок на суммарное значение номинальных нагрузок [1]:

$$K_{и\text{ ср}} = \frac{\sum P_{cp}}{\sum P_{н}}; \quad (4)$$

$$K_{и\text{ ср}} = 1794,98 / 1017,45 = 1,76.$$

По справочным таблицам для узлов питания на шинах низкого напряжения трансформаторных подстанций в зависимости от группового коэффициента использования и найденного эффективного числа электроприемников, определяем значение коэффициента максимума $K_m = 1,04$.

Значение расчётной нагрузки для итоговой строки на шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции находим путём умножения суммарного значения среднесменной нагрузки на коэффициент максимума:

$$P_p = P_{cp} \cdot K_m ; \quad (5)$$

$$P_p = 1794,98 \cdot 1,04 = 1866,78 \text{ кВт} .$$

При эффективном числе электроприемников меньше 10 расчетное значение реактивной мощности определяется путём умножения среднесменного значения реактивной мощности на коэффициент 1,1:

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cp} ; \quad (6)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 1077,56 = 1185,316 \text{ квар} .$$

Полное значение расчётной мощности исходя из найденных значений активной и реактивной расчётной нагрузки определяется из треугольника мощностей:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} ; \quad (7)$$

$$S_p = \sqrt{1866,78^2 + 1185,316^2} = 2211,3 \text{ кВА} .$$

Расчетный ток находим путём деления полного значения расчётной мощности на корень из 3 и номинальное значение напряжения [9]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} ; \quad (8)$$

где U_n - номинальное значение напряжения в сетях внутрицехового электроснабжения принимаем равным 380 В;

$$I_p = 2211,3 / (\sqrt{3} \cdot 0,38) = 3359,72 \text{ A} .$$

Все полученные результаты сведем в таблицу 2.

Выводы по разделу.

По методу коэффициента максимума определенные расчётные электрические нагрузки производственного корпуса. Силовые электроприёмники, установленные в корпусе сгруппированы по однородности режима работы и мощности, для них определены справочные значения коэффициента использования и коэффициента мощности, найдено значение номинальной мощности для каждой группы электроприемников. Определены значения активной и реактивной среднесменных нагрузок. Найдены суммарные значения количества установленных в производственном корпусе электроприемников, их суммарной номинальной мощности, суммарных значений активной и реактивной мощности потребляемой за смену в среднем, групповые значения коэффициента использования и коэффициента мощности, по упрощённой формуле для расчётов на шинах низкого напряжения трансформаторных подстанций определено значение эффективного числа электроприемников, по справочным таблицам найдено значение коэффициента максимума, определены расчетные значения активной, реактивной и полной нагрузки по корпусу в целом. Суммарная полная мощность составила 2.2 МВА.

Таблица 2 - Результаты расчёта номинальных среднесменных и расчётных нагрузок по производственному корпусу

Отдельный электроприемник или узел питания	$n, шт$	$P_n, кВт$	$P_{n.общ}, кВт$	m	K_u	$\cos\varphi / \operatorname{tg}\varphi$	$P_{cp}, кВт$	$Q_{cp}, квар$	n_o	K_m	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
Экспаустер с электроприводом Э 50/1,2(Э12)	4	250	1000	-	0,55	0,87/ 0,56	550	308	-	1,04	-	-	-	-
Вихревая воздуходувка ZME, серия SCB-01	4	132	528	-	0,55	0,87/ 0,56	290,4	162,6	-	1,04	-	-	-	-
Электроприемники распределительного пункта №1														
Насосная установка 17	-	-	-	-	0,7	0,8/ 0,75	15,4	11,55	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 21	2	15	30	-	0,7	0,8/ 0,75	21	15,75	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 23	2	15	30	-	0,7	0,8/ 0,75	21	15,75	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 24	2	11	22	-	0,7	0,8/ 0,75	15,4	11,55	-	1,04	-	-	-	-
Приточно-вытяжная вентиляционная установка Cooper&Hunter CH-HRV10K	2	2,2	4,4	-	0,9	0,8/ 0,75	3,96	2,97	-	1,04	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Отдельный электроприемник или узел питания	$n, шт$	$P_n, кВт$	$P_{n.общ}, кВт$	m	K_u	$\cos\varphi / \operatorname{tg}\varphi$	$P_{cp}, кВт$	$Q_{cp}, квар$	n_0	K_m	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
Приточно-вытяжная вентиляционная установка Royal Clima RCS-1250-U	2	0,75	1,5	-	0,9	0,8/ 0,75	1,35	1,01	-	1,04	-	-	-	-
Всего по распределительному пункту №1	12	54,95	109,9	-	1,42	-	78,11	58,58	7	1,04	-	-	-	-
Насосная установка для перекачки содового раствора	3	55	165	-	0,6	0,85/ 0,62	99	61,38	-	-	-	-	-	-
Консольно-моноблочный насос КМ 100-80-160	1	13	13	-	0,8	0,8/ 0,75	10,4	7,8	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 28	3	37	111	-	0,65	0,85/ 0,62	72,15	44,73	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 30	3	125	375	-	0,6	0,85/ 0,62	225	139,5	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 33	2	15	30	-	0,6	0,8/ 0,75	18	13,5	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 34	2	5	10	-	0,6	0,8/ 0,75	6	4,5	-	1,04	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Отдельный электроприемник или узел питания	$n, шт$	$P_n, кВт$	$P_{n.общ}, кВт$	m	K_u	$\cos\varphi / \operatorname{tg}\varphi$	$P_{cp}, кВт$	$Q_{cp}, квар$	n_0	K_m	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
Насосная установка 40	3	18,5	55,5	-	0,7	0,8/ 0,75	38,85	29,14	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 42	2	15	30	-	0,6	0,8/ 0,75	18	13,5	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 45	2	7,5	15	-	0,6	0,8/ 0,75	9	6,75	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 47	3	18,5	55,5	-	0,6	0,8/ 0,75	33,3	24,98	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 49	2	4	8	-	0,75	0,8/ 0,75	6	4,5	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 53	2	40	80	-	0,6	0,85/ 0,62	48	29,76	-	1,04	-	-	-	-
Консольно-моноблочный насос КМ 100-80-160	1	13	13	-	0,8	0,8/ 0,75	10,4	7,8	-	1,04	-	-	-	-
Насосная установка 54	2	15	30	-	0,6	0,8/ 0,75	18	13,5	-	1,04	-	-	-	-
Приточно-вытяжная вентиляционная установка Cooper&Hunter CH-HRV10K	4	2,2	8,8	-	0,9	0,8/ 0,75	7,92	8,91	-	1,04	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Отдельный электроприемник или узел питания	$n, шт$	$P_n, кВт$	$P_{n.общ}, кВт$	m	K_u	$\cos\varphi / \operatorname{tg}\varphi$	$P_{cp}, кВт$	$Q_{cp}, квар$	n_ε	K_m	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
Приточно-вытяжная вентиляционная установка Royal Clima RCS-1250-U	6	0,75	4,5	-	0,9	0,8/ 0,75	4,05	4,05	-	1,04	-	-	-	-
Установка аварийной вентиляции	2	132	264	-	0,4	0,87/ 0,56	105,6	59,14	-	1,04	-	-	-	-
Электроприемники распределительного пункта №2														
Агрегат питания АТПОМ-100	8	18	144	-	0,95	0,9/ 0,48	136,8	65,66	-	1,04	-	-	-	-
Выпрямитель сварочный ВДУ-505	1	40	40	-	0,4	0,67/ 1,11	16	17,76	-	1,04	-	-	-	-
Всего по распредпункту №2	9	58	184	-	-	-	152,8	83,42	3	1,04	158,9	91,76	183,49	278,8
Токарный станок MetalMaster MML 1830V 18800	1	22	22	-	0,2	0,8/ 0,75	4,4	3,3	-	1,04	-	-	-	-
Всего по корпусу	-	1017,45	3099,2	>3	-	-	1794,98	1077,5	8	1,04	1866,78	1185,3	2211,3	3359,72

3 Определение необходимого числа и номинальной мощности силовых трансформаторов для установки на подстанции внутри цеха

Выбор номинальной мощности силовых трансформаторов для установки на подстанции, производим по суммарному значению расчётной мощности производственного корпуса $P_{\Sigma} = 1866,78$ кВт.

«Потребители относятся к I категории надежности электроснабжения, что подразумевает установку двух трансформаторов, запитанных от разных источников питания. При расчетах для потребителей первой категории коэффициент загрузки трансформаторов принимают равным $K_3=0,7$ » [4].

Для сравнения приведённых затрат производим расчёт показателей для 2 вариантов установки силовых трансформаторов на подстанции различной мощности.

В варианте А исходя из удельной плотности нагрузки в производственном корпусе принимаем к установке два трансформатора мощностью по 1600 кВА - ТМЗ-1600/6/0,4 [3].

Находим необходимое число трансформаторов для установки в КТП выбранной мощности с учётом нормативного коэффициента загрузки не превышающего в нормальном режиме 70%:

$$N_T = \frac{P_{\Sigma}}{K_3 \cdot S_T}, \quad (9)$$

где « S_T – мощность одного трансформатора,

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора» [4].

$$N_T = 1866,7 / (0,7 \cdot 1600) = 1,67; .$$

Полученное расчетное значение округляем до ближайшего большего целого числа и принимаем в данном варианте установки на КТП 2 силовых трансформатора.

В варианте Б исходя из удельной плотности нагрузки в производственном корпусе принимаем к установке трансформаторы мощностью по 1000 кВА - ТМЗ-1000/6/0,4 [3].

Находим необходимое число трансформаторов для установки в КТП выбранной мощности с учётом нормативного коэффициента загрузки не превышающего в нормальном режиме 70%:

$$N_t = 1866,7 / (0,7 \cdot 1000) = 2,67;$$

Полученное расчетное значение округляем до ближайшего большего целого числа и принимаем в данном варианте установки на КТП 3 силовых трансформатора.

3.1 Первый вариант размещения двух силовых трансформаторов мощностью 1600 кВА на ТП

В таблицу 3 сводим технические характеристики выбранного к рассмотрению в первом варианте силового трансформатора мощностью 1600 кВА, представленные на официальном сайте и в электронном каталоге завода-производителя.

Таблица 3 - Технические характеристики выбранного к рассмотрению в первом варианте силового трансформатора мощностью 1600 кВА

$S_{ном}, \text{кВА}$	$U_{вн}, \text{кВ}$	$U_{нн}, \text{кВ}$	$\Delta P_{xx}, \text{кВт}$	$\Delta P_{кз}, \text{кВт}$	$u_{кз}, \%$	$I_{xx}, \%$
1600	6	0,4	2,8	14	6,2	1,3

Определяем потери электрической мощности в трансформаторах, установленных на подстанции с учётом их количества и коэффициента загрузки в нормальном режиме работы:

$$\Delta P_T = N_T \cdot (\Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}), \quad (10)$$

где « P_T – потери активной мощности одного трансформатора,
 Q_T – потери реактивной мощности одного трансформатора,
 N_T – количество трансформаторов» [12].

$$\Delta P_T = 2 \cdot (2,8 + 0,7^2 \cdot 14) = 19,32 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (I_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}) \cdot \frac{S_H}{100}, \quad (11)$$

$$\Delta Q_T = 2 \cdot (1,3 + 0,7^2 \cdot 14) \cdot \frac{1600}{100} = 285,38 \text{ квар}.$$

Находим значение активной и реактивной расчётной нагрузки на стороне высокого напряжения трансформаторной подстанции с учётом потерь мощности в силовых трансформаторах [4]:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (12)$$

$$P_p = 1866,7 + 19,32 = 1886,02 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (13)$$

$$Q_p = 1185,32 + 328,32 = 1470,7 \text{ квар}.$$

За минимальное значение потребления реактивной мощности через трансформаторы подстанции принимаем значение, сниженное на 15% от уровня мощности в нормальном режиме [6]:

$$Q_{\min} = Q_{p\Sigma} \cdot 0,85, \quad (14)$$

$$Q_{\min} = 1185,32 \cdot 0,85 = 1007,52 \text{ квар.}$$

Определим значение входных реактивных мощностей в часы максимума [13]:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{\text{сд}}, \quad (15)$$

где $Q_{\text{сд}}$ – генерация реактивной мощности, установленными синхронными двигателями, так как такие двигатели в производственном цеху отсутствуют, то в расчётах значение принимается равным нулю.

$$Q'_{\text{э1}} = 1470,7 - 0,7 \cdot 0 = 1470,7 \text{ квар,}$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (16)$$

где α – нормативное значение коэффициента мощности, устанавливаемое энергосистемой для данного типа промышленного предприятия.

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 1886,02 = 528,09 \text{ квар.}$$

Из двух найденных значений в качестве расчётного выбираем наименьшее 528,09 квар, так как в период максимальной нагрузки в энергосистеме наблюдается снижение напряжения в её узлах.

Находим необходимое для передачи из системы значение реактивной мощности в период минимального потребления мощности электрической нагрузкой:

$$Q'_{\text{э2}} = Q_{\min} - Q_{\text{КД}} = Q_{\min} - (Q_p - Q_{\text{э1}}), \quad (17)$$

где Q_{\min} – минимальное потребление предприятием реактивной мощности,

$Q_{\text{КД}}$ – номинальная мощность КУ, необходимая для снижения передающейся из энергосистемы реактивной мощности до необходимого значения в период максимальных нагрузок в энергосистеме.

$$Q'_{\text{э2}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{КД}} = 1007,52 - (1470,7 - 528,09) = 64,91 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э2}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{К}}, \quad (18)$$

где $Q_{\text{К}}$ – мощность компенсирующих устройств в период минимальной нагрузки в энергосистеме с учётом их способности к регулированию.

$$Q''_{\text{э2}} = 1007,52 + 0 = 1007,52 \text{ квар}.$$

Из двух найденных значений в качестве расчётного выбираем наибольшее 1007,52 квар, так как в период минимальной нагрузки в энергосистеме наблюдается повышение напряжения в её узлах.

Определяем суммарное значение реактивной мощности, которое необходимо скомпенсировать и по которому должна выбираться номинальная мощность конденсаторных установок [14]:

$$Q_{\text{ку max}} = 1,1 \cdot Q_{\text{P}} - Q_{\text{э1}}, \quad (19)$$

$$Q_{\text{ку max}} = 1,1 \cdot 1470,7 - 528,09 = 1089,68 \text{ квар}.$$

Определяем постоянное значение реактивной мощности, которую должны вырабатывать конденсаторные установки:

$$Q_{\text{ку min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}}, \quad (20)$$

$$Q_{\text{ку min}} = 1007,52 - 1007,52 = 0 \text{ квар},$$

Поскольку согласно расчётам, мощность конденсаторных установок должна регулироваться в пределах от нуля до максимального значения выдаваемой мощности, то все принимаемые к установке устройства компенсации должны позволять изменять мощность [6].

«Определим реактивную мощность, которая должна быть передана из сети 6 кВ в сеть 0,4кВ и не должна компенсироваться» [5]:

$$Q_{эH} = Q_{э1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (21)$$

$$Q_{эH} = 528,09 - (1470,7 - 1185,32) = 242,71 \text{ квар.}$$

Определим физический запас по реактивной мощности, которую можно передать через силовые трансформаторы с выбранной номинальной полной мощностью с учётом их коэффициента загрузки:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_{HT})^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (22)$$

где « S_{HT} – номинальная мощность трансформатора,

N_T – количество трансформаторов,

K_3 – коэффициент запаса,

$P_{p\Sigma}$ – расчетная активная нагрузка» [15].

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - 1866,7^2} = 1238,15 \text{ квар.}$$

Находим реактивную мощность, которую необходимо компенсировать на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции:

$$Q_{кун} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (23)$$

$$Q_{кун} = 1185,32 - 1751,87 = -52,83 \text{ квар,}$$

Поскольку расчётное значение мощности конденсаторных установок получается отрицательным, то установка устройств компенсации на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции является нецелесообразной.

Приведённые затраты на установку КТП с трансформаторами мощностью 1600 кВА определяем по формуле:

$$Z_{\text{кТП}} = (E \cdot K_{\text{ТП}} + C \cdot \Delta P_{\text{T}}) \cdot N \quad (24)$$

где «E – суммарный коэффициент отчисления от капиталовложения в КТП,

$K_{\text{ТП}}$ – стоимость КТП,

C – удельная стоимость максимальный активных нагрузочных потерь,

N – количество трансформаторов» [3].

$$K_{\text{ТП}} = k_{\text{T}} \cdot N_{\text{T}}, \quad (25)$$

где « k_{T} – стоимость одного трансформатора,

N_{T} – количество трансформаторов» [3].

$$K_{\text{ТП}} = 915 \cdot 2 = 1830 \text{ тыс.руб.}$$

Затраты на оплату потерь активной мощности в силовом трансформаторе за годичный период его работы определяем из выражения:

$$C \cdot \Delta P_{\text{T}} = C_0 \cdot P_{\text{хх}} + C \cdot K^2_{\text{з}} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \quad (26)$$

где C_0 - годовая стоимость потерь электроэнергии в силовом трансформаторе при его работе на холостом ходу.

При определении удельных потерь электрической энергии в силовом трансформаторе используются данные электроснабжающей организации о тарифах на электрическую энергию на текущий год и сведения о расчётном числе часов эксплуатации силового трансформатора в течение года:

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_p ; \quad (27)$$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau , \quad (28)$$

где « α – плата за мощность,

β - плата за 1 кВт·час потребленной энергии,

T_M – время использования максимальной нагрузки предприятия в год 6100ч,

T_p – время работы трансформатора в году 8760ч,

τ – время максимальных потерь, которое можно вычислить по приближенной формуле» [16]:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 4719 \text{ ч} , \quad (29)$$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau = 5739,8 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год} , \quad (30)$$

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_p = 10655 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год} . \quad (31)$$

Определяем годовую стоимость потерь мощности в силовых трансформаторах и приведённые затраты на установку КТП:

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot P_{xx} + C \cdot K^2_{\Sigma} \cdot \Delta P_{кз} , \quad (32)$$

$$C \cdot \Delta P_T = 10655 \cdot 2,8 + 5738,85 \cdot 0,7^2 \cdot 14 = 69200 \text{ руб/год} ,$$

$$Z_{кТП} = (E \cdot K_{\text{шт}} + C \cdot \Delta P_T) \cdot N , \quad (33)$$

$$Z_{\text{кпн}} = (0,223 \cdot 1830 + 69,2) \cdot 2 = 954580 \text{ руб.}$$

3.2 Второй вариант размещения трех силовых трансформаторов мощностью 1000 кВА на ТП

В таблицу 4 сводим технические характеристики выбранного к рассмотрению во втором варианте силового трансформатора мощностью 1000 кВА, представленные на официальном сайте и в электронном каталоге завода-производителя.

Таблица 4 - Технические характеристики выбранного к рассмотрению в первом варианте силового трансформатора мощностью 1000 кВА

$S_{\text{ном}}$, кВА	$U_{\text{ВН}}$, кВ	$U_{\text{НН}}$, кВ	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{\text{кз}}$, кВт	$u_{\text{кз}}$, %	I_{xx} , %
1000	6	0,4	2,1	9,7	6,2	1,4

Определяем потери электрической мощности в трансформаторах, установленных на подстанции с учётом их количества и коэффициента загрузки в нормальном режиме работы:

$$\Delta P_{\text{T}} = N_{\text{T}} \cdot (\Delta P_{\text{xx}} + K_{\text{з}}^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}}), \quad (34)$$

где « P_{T} – потери активной мощности одного трансформатора,
 Q_{T} – потери реактивной мощности одного трансформатора,
 N_{T} – количество трансформаторов» [12].

$$\Delta P_{\text{T}} = 3 \cdot (2,1 + 0,7^2 \cdot 9,7) = 20,56 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{T}} = N_{\text{T}} \cdot (I_{\text{xx}} + K_{\text{з}}^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}}) \cdot \frac{S_{\text{H}}}{100}, \quad (35)$$

$$\Delta Q_{\text{T}} = 3 \cdot (1,4 + 0,7^2 \cdot 9,7) \cdot \frac{1000}{100} = 184,59 \text{ квар.}$$

Находим значение активной и реактивной расчётной нагрузки на стороне высокого напряжения трансформаторной подстанции с учётом потерь мощности в силовых трансформаторах [4]:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (36)$$

$$P_p = 1866,7 + 20,56 = 1887,26 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (37)$$

$$Q_p = 1185,32 + 184,59 = 1369,91 \text{ квар}.$$

За минимальное значение потребления реактивной мощности через трансформаторы подстанции принимаем значение, сниженное на 15% от уровня мощности в нормальном режиме [6]:

$$Q_{\min} = Q_{p\Sigma} \cdot 0,85, \quad (38)$$

$$Q_{\min} = 1185,32 \cdot 0,85 = 1007,52 \text{ квар}.$$

Определим значение входных реактивных мощностей в часы максимума [13]:

$$Q'_{\text{эл}} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{\text{сд}}, \quad (39)$$

где $Q_{\text{сд}}$ – генерация реактивной мощности, установленными синхронными двигателями, так как такие двигатели в производственном цеху отсутствуют, то в расчётах значение принимается равным нулю.

$$Q'_{\text{эл}} = 1470,7 - 0,7 \cdot 0 = 1470,7 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{эл}} = \alpha \cdot P_p, \quad (40)$$

где α – нормативное значение коэффициента мощности, устанавливаемое энергосистемой для данного типа промышленного предприятия.

$$Q''_{\text{э}1} = 0,28 \cdot 1886,02 = 528,09 \text{ квар.}$$

Из двух найденных значений в качестве расчётного выбираем наименьшее 528,09 квар, так как в период максимальной нагрузки в энергосистеме наблюдается снижение напряжения в её узлах.

Находим необходимое для передачи из системы значение реактивной мощности в период минимального потребления мощности электрической нагрузкой:

$$Q'_{\text{э}2} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{КД}} = Q_{\text{min}} - (Q_{\text{р}} - Q_{\text{э}1}), \quad (41)$$

где Q_{min} – минимальное потребление предприятием реактивной мощности,

$Q_{\text{КД}}$ – номинальная мощность КУ, необходимая для снижения передающейся из энергосистемы реактивной мощности до необходимого значения в период максимальных нагрузок в энергосистеме.

$$Q'_{\text{э}2} = 1007,52 - (1369,91 - 528,09) = 166,04 \text{ квар,}$$

$$Q''_{\text{э}2} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{К}}, \quad (42)$$

где $Q_{\text{К}}$ – мощность компенсирующих устройств в период минимальной нагрузки в энергосистеме с учётом их способности к регулированию.

$$Q''_{\text{э}2} = 1007,52 + 0 = 1007,52 \text{ квар.}$$

Из двух найденных значений в качестве расчётного выбираем наибольшее 1007,52 квар, так как в период минимальной нагрузки в энергосистеме наблюдается повышение напряжения в её узлах.

Определяем суммарное значение реактивной мощности, которое необходимо скомпенсировать и по которому должна выбираться номинальная мощность конденсаторных установок [14]:

$$Q_{\text{ку max}} = 1,1 \cdot Q_{\text{P}} - Q_{\text{э1}}, \quad (43)$$

$$Q_{\text{ку max}} = 1,1 \cdot 136,91 - 528,09 = 978,47 \text{ квар}.$$

Вычислим мощность нерегулируемых компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}}, \quad (44)$$

$$Q_{\text{ку min}} = 1007,52 - 1007,52 = 0 \text{ квар},$$

Поскольку согласно расчётам, мощность конденсаторных установок должна регулироваться в пределах от нуля до максимального значения выдаваемой мощности, то все принимаемые к установке устройства компенсации должны позволять изменять мощность [6].

«Определим реактивную мощность, которая должна быть передана из сети 6 кВ в сеть 0,4кВ и не должна компенсироваться» [5]:

$$Q_{\text{эH}} = Q_{\text{э1}} - (Q_{\text{P}} - Q_{\text{P}\Sigma}), \quad (45)$$

$$Q_{\text{эH}} = 528,09 - (1369,91 - 1185,32) = 343,84 \text{ квар}.$$

Определим физический запас по реактивной мощности, которую можно передать через силовые трансформаторы с выбранной номинальной полной мощностью с учётом их коэффициента загрузки:

$$Q_{\text{T}} = \sqrt{(N_{\text{T}} \cdot K_{\text{з}} \cdot S_{\text{HT}})^2 - P_{\text{P}\Sigma}^2}, \quad (46)$$

где « S_{HT} – номинальная мощность трансформатора,

N_{T} – количество трансформаторов,

$K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса,

$P_{\text{P}\Sigma}$ – расчетная активная нагрузка» [15].

$$Q_{\text{T}} = \sqrt{(3 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 1866,7^2} = 961,99 \text{ квар}.$$

Находим реактивную мощность, которую необходимо компенсировать на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции:

$$Q_{\text{кун}} = Q_{\text{p}\Sigma} - Q_{\text{т}}, \quad (47)$$

$$Q_{\text{кун}} = 1185,32 - 961,99 = 223,33 \text{ квар.}$$

В соответствии с количеством принятых к установке силовых трансформаторов на КПП выбираем три конденсаторные установки мощностью по 70 квар каждая, с полным ступенчатым регулированием вырабатываемой реактивной мощности.

Определим величину затрат на установку 3 конденсаторных установок выбранной мощности:

$$Z_{\text{кун}} = K_{\text{п}} \cdot N_{\text{ку}}, \quad (48)$$

где $K_{\text{п}} = 33333$ руб – цена за одну конденсаторную установку выбранной мощности по данным производителя,
 $N_{\text{ку}} = 3$ – общее число конденсаторных установок, планируемых к размещению на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции.

$$Z_{\text{кун}} = 33333 \cdot 3 = 100000 \text{ руб.}$$

Приведённые затраты на установку КТП с трансформаторами мощностью 1000 кВА определяем по формуле [19]:

$$Z_{\text{кТП}} = (E \cdot K_{\text{ТП}} + C \cdot \Delta P_{\text{т}}) \cdot N, \quad (49)$$

где «E – суммарный коэффициент отчисления от капиталовложения в КТП,

$K_{\text{ТП}}$ – стоимость КТП,

C – удельная стоимость максимальный активных нагрузочных потерь,
 N – количество трансформаторов» [3].

Находим стоимость КТП с учётом установленных на ней силовых трансформаторов:

$$K_{\text{тп}} = k_{\text{т}} \cdot N_{\text{т}}, \quad (50)$$

где « $k_{\text{т}}$ – стоимость одного трансформатора,
 $N_{\text{т}}$ – количество трансформаторов» [3].

$$K_{\text{тп}} = 575 \cdot 3 = 1725000 \text{ руб.}$$

Затраты на оплату потерь активной мощности в силовом трансформаторе за годичный период его работы определяем из выражения:

$$C \cdot \Delta P_{\text{т}} = C_0 \cdot P_{\text{хх}} + C \cdot K^2_{\text{з}} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \quad (51)$$

где C_0 - годовая стоимость потерь электроэнергии в силовом трансформаторе при его работе на холостом ходу.

При определении удельных потерь электрической энергии в силовом трансформаторе используются данные электроснабжающей организации о тарифах на электрическую энергию на текущий год и сведения о расчётном числе часов эксплуатации силового трансформатора в течение года:

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_{\text{м}}} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_{\text{р}} ; \quad (52)$$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_{\text{м}}} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau \quad (53)$$

где « α – плата за мощность,

β - плата за 1 кВт·час потребленной энергии,

T_M – время использования максимальной нагрузки предприятия в год
6100ч,

T_p – время работы трансформатора в году 8760ч,

τ – время максимальных потерь, которое можно вычислить по приближенной формуле» [16]:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_M}{10000})^2 \cdot 8760 = 4719 \text{ ч};$$

$$C = (\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}) \cdot \tau = 5739,8 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год};$$

$$C_0 = (\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}) \cdot T_p = 10655 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}.$$

Определяем годовую стоимость потерь мощности в силовых трансформаторах и приведённые затраты на установку КТП:

$$C \cdot \Delta P_T = 10655 \cdot 2,1 + 5739,8 \cdot 0,7^2 \cdot 9,7 = 49660 \text{ руб/год}.$$

Рассчитаем затраты на КТП с трансформатором ТМЗ 1000/6:

$$Z_{\text{кТП}} = (E \cdot K_{\text{тп}} + C \cdot \Delta P_T) \cdot N, \quad (54)$$

$$Z_{\text{кТП}} = (0,223 \cdot 1725 + 49,66) \cdot 3 = 1294000 \text{ руб},$$

$$Z_{\text{общее}} = Z_{\text{ку}} + Z_{\text{кТП}}, \quad (55)$$

$$Z_{\text{общее}} = 100000 + 1294000 = 1394000 \text{ руб}.$$

Выводы по разделу.

В соответствии с категорией надежности установленных в промышленном корпусе силовых электроприемников для установки на

трансформаторной подстанции принято не менее 2 силовых трансформаторов. Исходя из суммарной нагрузки производственного корпуса выбрано количество и номинальная мощность силовых трансформаторов для установки на КТП. В первом из двух рассмотренных вариантов определялись приведённые затраты на установку двух силовых трансформаторов мощностью по 1600 кВА каждый, в результате расчетов было установлено, что для данного варианта установка устройств компенсации реактивной мощности не требуется. Во втором варианте предусматривалась установка на трансформаторной подстанции 3 силовых трансформаторов по 1000 кВА каждый, в данном варианте необходима установка на стороне низкого напряжения подстанции 3 конденсаторных установок по 70 квар. Приведённые затраты на реализацию 2 варианта на 40% превышают затраты на реализацию 1 варианта, поэтому окончательно к установке на цеховой трансформаторной подстанции были выбраны два силовых трансформатора по 1600 кВА без установки устройств компенсации реактивной мощности.

4 Выбор коммутационных аппаратов, проводников, кабелей и шинопроводов

Основываясь на определённых ранее данных о номинальных токах отдельных электроприемников и расчётных значений мощности и тока для групповых линий, произведём выбор коммутационных и защитных аппаратов и проводников в системе внутреннего электроснабжения.

4.1 Выбор шинопроводов

На основании полученных ранее расчётных данных о токах на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции производим выбор магистрального шинопровода, соединяющего шины низкого напряжения ТП и силовые щиты номер 1 и 2. На основании известного расчётного тока, который составляет почти 3360 А выбираем магистральный шинопровод с номинальным током 4000 А типа КТС4000ER41, протяжённость шинопровода в соответствии с планом его прокладки по территории производственного корпуса составляет 20 м.

4.2 Выбор КЛ

Для передачи электроэнергии к распределительным пунктам номер один и номер два, которые находятся на значительном удалении от трансформаторной подстанции выбираем кабели типа АВБбШв. К каждому распределительному пункту прокладываем по два кабеля для питания отдельных секций в распредпунктах.

Выбор сечения кабельных линий производится путём сравнения расчётных токов и длительно допустимых токов для выбранного типа проводника с учётом их количества, температуры окружающей среды и способа прокладки.

Выбор кабеля для питающей линии к распределительному пункту номер один: значение расчётного тока в данном проводнике по данным выполненных ранее расчётов составляет 158 А, по длительно допустимому току, указанному в справочных данных выбираем количество и сечение жил 4x95 мм², протяжённость данной линии по плану производственного корпуса составляет 85м.

Выбор кабеля для питающей линии к распределительному пункту номер 2: значение расчётного тока в данном проводнике по данным выполненных ранее расчётов составляет 279 А, по длительно допустимому току, указанному в справочных данных выбираем количество и сечение жил 4x240 мм², протяжённость данной линии по плану производственного корпуса составляет 40м.

Для обеспечения передачи электрической энергии к отдельным электроприемникам используемым кабель типа ВБВнг. Сечение кабеля определяем в зависимости от номинального тока электроприемника и длительно допустимых токов для выбранного типа кабеля, протяжённость кабельных линий определяем из плана расположения электроприемников и узлов питания в производственном корпусе.

Для передачи электрической энергии к дымососам с номинальной мощностью каждого 250 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников 3x185+1x95 мм². Протяжённость кабельной линии до электроприемника В6/1 составляет 45 м., до В6/2 составляет 57 м., до В6/3 составляет 47 м и до В6/4 составляет 60 м.

Для передачи электрической энергии к воздуходувкам с номинальной мощностью каждой 132 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников 3x95+1x50 мм². Протяжённость кабельной линии до электроприемника В8/1 составляет 39 м., до В8/2 составляет 47 м., до В8/3 составляет 34 м и до В8/4 составляет 42 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 37 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением

проводников $4 \times 6 \text{ мм}^2$. Протяжённость кабельной линии до электроприемника В28/1 составляет 45 м., до В28/2 составляет 45 м и до В28/3 составляет 45 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 15 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников $4 \times 4 \text{ мм}^2$. Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н33/1 составляет 45 м., до Н33/2 составляет 45 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 125 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников $4 \times 95 \text{ мм}^2$. Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н30/1 составляет 42 м., до Н30/2 составляет 42 м и до Н30/3 составляет 42 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 5 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников $4 \times 1,5 \text{ мм}^2$. Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н34/1 составляет 50 м. и до Н34/2 составляет 50 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 40 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников $4 \times 16 \text{ мм}^2$. Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н53/1 составляет 45 м. и до Н53/2 составляет 45 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 4 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников $4 \times 1,5 \text{ мм}^2$. Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н49/1 составляет 48 м. и до Н49/2 составляет 48 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 15 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников $4 \times 4 \text{ мм}^2$. Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н54/1 составляет 56 м. и до Н54/2 составляет 56 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 15 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников $4 \times 4 \text{ мм}^2$. Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н42/1 составляет 58 м. и до Н42/2 составляет 58 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 7,5 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников 4x1,5 мм². Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н45/1 составляет 61 м. и до Н45/2 составляет 61 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 18,5 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников 4x4 мм². Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н47/1 составляет 65 м., до электроприемника Н47/2 составляет 65 м. и до Н47/3 составляет 65 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 18,5 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников 4x4 мм². Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н40/1 составляет 70 м., до электроприемника Н40/2 составляет 70 м. и до Н40/3 составляет 70 м.

Производим выбор кабелей к электроприемникам, получающим питание от распределительного пункта номер один.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 11 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников 4x2,5 мм². Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н24/1 составляет 27 м. и до Н24/2 составляет 27 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 11 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников 4x2,5 мм². Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н17/1 составляет 21 м. и до Н17/2 составляет 21 м.

Для передачи электрической энергии к насосам с номинальной мощностью каждого 15 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением проводников 4x4 мм². Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н23/1 составляет 20 м. и до Н23/2 составляет 20 м.

Для передачи электрической энергии к насосу с номинальной мощностью каждого 13 кВт выбираем четырёхжильный кабель сечением

проводников 4x2,5 мм². Протяжённость кабельной линии до электроприемника Н21/3 составляет 23 м.

4.3 Выбор коммутационно-защитных аппаратов

Для защиты электроприемников от возможного возникновения сверхтоков, связанных либо с неправильной работой электроприемника или возникновением короткого замыкания, устанавливаем автоматические выключатели, номинальные токи которых выбираем по расчётному току для групповых линий или номинальному току для отдельных электроприемников.

Для защиты шинпровода проходящего от трансформаторной подстанции до ЩСУ1 и ЩСУ2 выбираем автоматические выключатели SchneiderElectric Masterpact NW16 на номинальный ток 1600 А, что превышает расчетный ток линии, при этом максимальное отключаемое выключателем значение тока КЗ составляет 65 кА.

Для защиты ввода распределительного пункта 1, который поделён на две секции, выбираем два одинаковых выключателя. При равномерном распределении нагрузки по секциям выбираем выключатели EZC250F3100 с номинальным током 250 ампер и максимальным током отключения короткого замыкания 10 кА.

Для защиты ввода распределительного пункта 2, который поделён на две секции, выбираем два одинаковых выключателя. При равномерном распределении нагрузки по секциям выбираем выключатели EZC250F3150 с номинальным током 250 ампер и максимальным током отключения короткого замыкания 10 кА.

Для определения номинального значения тока для отдельных электроприемников воспользуемся следующими формулами:

$$S = P / \cos \phi \quad (56)$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot 0,38} \quad (57)$$

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане В6/1 - В6/4, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 436 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV432948 с номинальным током 500 А и током расцепителя 500 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане В8/1 – В8/4, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 230 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV431100 с номинальным током 250 А и током расцепителя 250 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане В17/1 – В17/2, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 20 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426101 с номинальным током 25 А и током расцепителя 25 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н21/1 – Н21/2, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 28 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426102 с номинальным током 32 А и током расцепителя 32 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н47/1 – Н47/3, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 98 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426108 с номинальным током 125 А и током расцепителя 125 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельного электроприемника с номером на плане Н21/3, расчётное значение

тока электроприемника составляет 25 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426101 с номинальным током 25 А и током расцепителя 25 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н23/1 – Н23/2, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 28 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426102 с номинальным током 32 А и током расцепителя 32 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н24/1 – Н24/2, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 20 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426101 с номинальным током 25 А и током расцепителя 25 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н28/1 – Н28/3, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 66 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426106 с номинальным током 80 А и током расцепителя 80 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н30/1 – Н30/3, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 224 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV431100 с номинальным током 250 А и током расцепителя 250 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н33/1 – Н33/2, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 28 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426102 с номинальным током 32 А и током расцепителя 32 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н34/1 – Н34/2, расчётное

значение тока каждого электроприемника составляет 9,5 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426100 с номинальным током 16 А и током расцепителя 16 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н40/1 – Н40/2, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 35 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426103 с номинальным током 40 А и током расцепителя 40 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н42/1 – Н42/2, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 28 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426102 с номинальным током 32 А и током расцепителя 32 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н45/1 – Н45/2, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 14 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426100 с номинальным током 16 А и током расцепителя 16 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н49/1 – Н49/2, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 8 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426100 с номинальным током 16 А и током расцепителя 16 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н53/1 – Н53/2, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 72 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426107 с номинальным током 100 А и током расцепителя 100 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников с номерами на плане Н54/1 – Н54/2, расчётное значение тока каждого электроприемника составляет 28,5 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426102 с номинальным током 32 А и током расцепителя 32 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты вентиляционной установки, расчётное значение тока электроприемника составляет 4 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426100 с номинальным током 16 А и током расцепителя 16 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты вентиляционной установки по удалению вредных веществ, расчётное значение тока электроприемника составляет 1,4 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426100 с номинальным током 16 А и током расцепителя 16 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты системы аварийного удаления газов, расчётное значение тока электроприемника составляет 230 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV431100 с номинальным током 250 А и током расцепителя 250 А.

Произведём выбор автоматических выключателей для защиты агрегатов трансформаторно-преобразовательных однофазных масляных, расчётное значение тока электроприемника составляет 44 А, по данному значению тока выбираем автоматический выключатель LV426105 с номинальным током 63 А и током расцепителя 63 А.

Выводы: в разделе произведен предварительный выбор кабельных линий и защитных аппаратов для размещения в производственном корпусе.

5 Определение значений токов КЗ в расчётных точках

Для проведения расчётов токов короткого замыкания на схеме электроснабжения производственного корпуса намечаем точки, в которых токи КЗ будут иметь наибольшее значение с целью проверки коммутационной способности аппаратов, либо наоборот минимальное значение с целью проверки надёжности срабатывания аппаратов защиты при минимальных значениях тока короткого замыкания.

Участок схемы по которому будут протекать токи короткого замыкания выделяем в качестве расчётной схемы для определения токов КЗ. Для определения суммарных сопротивлений участков схемы до каждой точки короткого замыкания, все элементы расчётные схемы представляем в виде собственных внутренних сопротивлений (рисунок 1).

Выполним расчёт внутренних сопротивлений элементов, входящих в схему замещения:

Определим активное и индуктивное сопротивление установленного в трансформаторной подстанции силового трансформатора с учётом его паспортных данных $S_n = 1600 \text{ кВА}$, $U_{ннн} = 0,4 \text{ кВ}$, $U_{нвн} = 6 \text{ кВ}$, $U_k = 6,2\%$, $\Delta P_{xx} = 2,8 \text{ кВт}$, $\Delta P_{кз} = 14 \text{ кВт}$:

$$r_T = \frac{P_{кз} \cdot U_{ннн}^2}{S_n^2} \cdot 10^6, \quad (58)$$

$$r_T = \frac{14 \cdot 0,4^2}{1600^2} \cdot 10^6 = 0,875 \text{ МОм},$$

$$z_T = \frac{U_{кз} \cdot U_{ннн}^2}{S_n} \cdot 10^4, \quad (59)$$

$$z_T = \frac{6,2 \cdot 0,4^2}{1600} \cdot 10^4 = 6,2 \text{ МОм},$$

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2}, \quad (60)$$

$$x_T = \sqrt{6,2^2 - 0,875^2} = 17,1 \text{ МОм.}$$

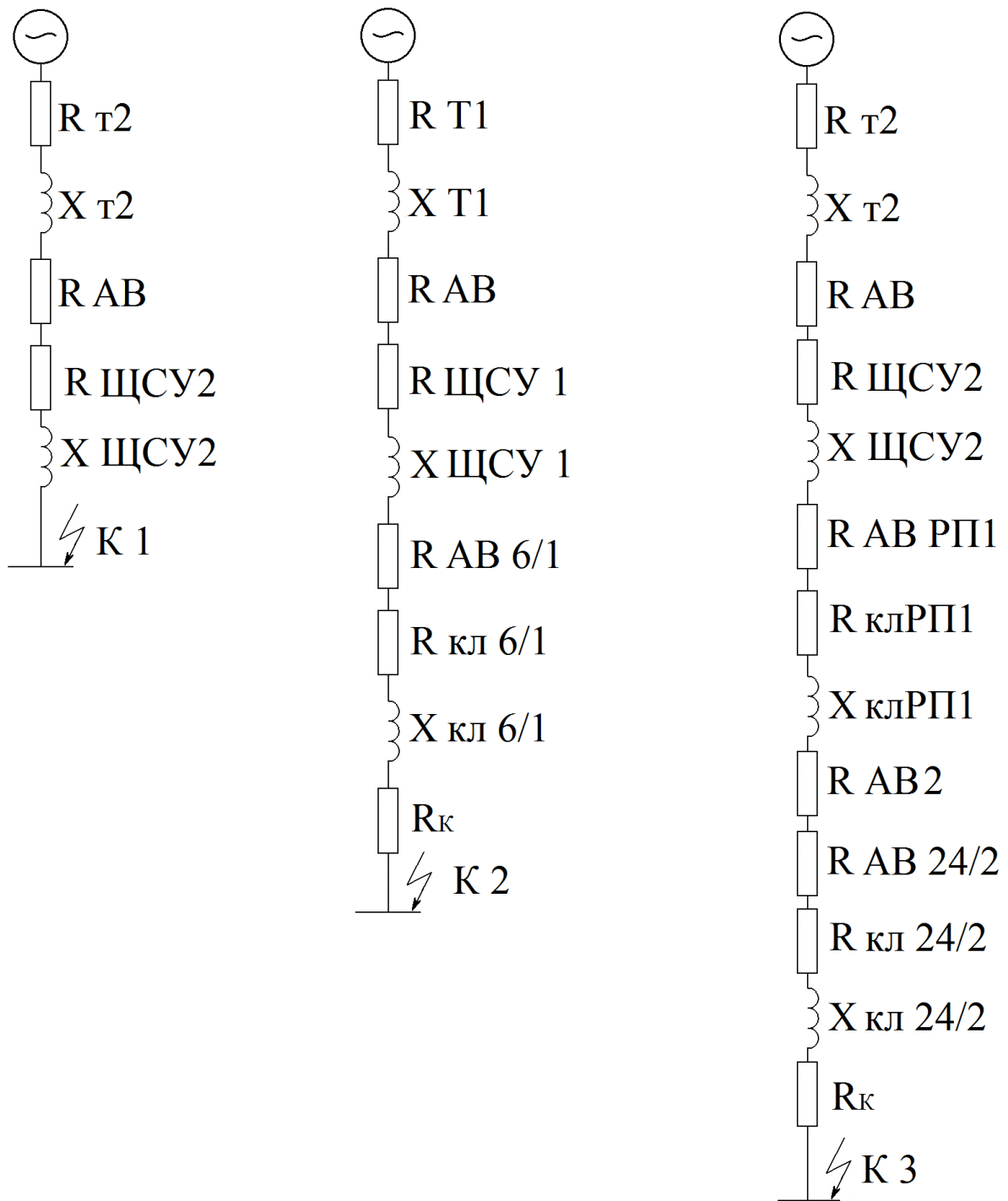


Рисунок 1 – Расчётная схема для определения токов КЗ

Для магистральных шинопроводов отходящих от шин низкого напряжения трансформаторной подстанции к силовым щитам №1 и №2 расчет сопротивлений производим по известному из данных завода-производителя погонным активному и индуктивному сопротивлению на метр длины шинопровода, при этом тип выбранного ранее шинопровода КТС4000ER41, сопротивления $r_0 = 0,0011 \text{ мОм/м}$, $x_0 = 0,0009 \text{ мОм/м}$, $z_0 = 0,014 \text{ мОм/м}$, протяженность участка шинопровода $L = 10 \text{ м}$.

Определяем активное и индуктивное сопротивление участка шинопровода:

$$r_{\text{ЩСУ}} = r_0 \cdot L, \quad (61)$$

$$r_{\text{ЩСУ}} = 0,0011 \cdot 10 = 0,011 \text{ мОм},$$

$$x_{\text{ЩСУ}} = x_0 \cdot L, \quad (62)$$

$$x_{\text{ЩСУ}} = 0,0009 \cdot 10 = 0,009 \text{ мОм}.$$

Выполним расчёт сопротивления для кабельной линии к электроприемнику В6/1.

Протяжённость линии составляет 45м, погонные значение активного и индуктивного сопротивления для линии с выбранным сечением фазных проводов $r_0 = 3,09 \text{ мОм/м}$, $x_0 = 0,09 \text{ мОм/м}$.

Активное и индуктивное сопротивление участка линии заданной протяженности составит:

$$r_{\text{кл 6/1}} = 3,09 \cdot 45 = 139,05 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{кл 6/1}} = 0,09 \cdot 45 = 4,05 \text{ мОм}.$$

Выполним расчёт сопротивления для кабельной линии к распределительному пункту номер один.

Протяжённость линии составляет 85м, погонные значение активного и индуктивного сопротивления для линии с выбранным сечением фазных проводов $r_0 = 0,34 \text{ мОм} / \text{м}$, $x_0 = 0,0602 \text{ мОм} / \text{м}$.

Активное и индуктивное сопротивление участка линии заданной протяженности составит:

$$r_{\text{кл РП1}} = 0,34 \cdot 85 = 28,9 \text{ мОм};$$
$$x_{\text{кл РП1}} = 0,0602 \cdot 85 = 5,117 \text{ мОм}.$$

Выполним расчёт сопротивления для кабельной линии к электроприемнику Н24/2.

Протяжённость линии составляет 27м, погонные значение активного и индуктивного сопротивления для линии с выбранным сечением фазных проводов $r_0 = 7,4 \text{ мОм} / \text{м}$, $x_0 = 0,116 \text{ мОм} / \text{м}$.

Активное и индуктивное сопротивление участка линии заданной протяженности составит:

$$r_{\text{кл 24/2}} = 7,4 \cdot 27 = 199,8 \text{ мОм};$$
$$x_{\text{кл 24/2}} = 0,126 \cdot 27 = 3,132 \text{ мОм}.$$

При расчетах суммарного сопротивления до точки короткого замыкания принимаем значение сопротивления контактных соединений кабельных линий равным 0,1 мОм, а переходные сопротивления контактов для коммутационно-защитных аппаратов принимаем равным 1 мОм.

5.1 Определение значений токов коротких замыканий до расчётной точки №1

Определяем значение тока трёхфазного металлического короткого замыкания исходя из предположения, что напряжение на шинах низкого

напряжения подстанции не меняется:

$$I_{\text{мкз}}^{(3)} = \frac{U_{\text{н нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma}} = \frac{U_{\text{н нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}} . \quad (63)$$

Находим суммарное сопротивление всех входящих в схему замещения элементов до первой расчётной точки:

$$R_{1\Sigma} = r_{\text{T2}} + r_{\text{AB}} + r_{\text{ЩСВ2}} , \quad (64)$$

$$R_{1\Sigma} = 0,875 + 1 + 0,011 = 1,886 \text{ мОм} ,$$

$$X_{1\Sigma} = x_{\text{T2}} + x_{\text{ЩСВ2}} , \quad (65)$$

$$X_{1\Sigma} = 17,1 + 0,009 = 17,109 \text{ мОм} .$$

Исходя из рассчитанных значений активного и индуктивного сопротивлений, определяем значение полного сопротивления до первой расчётной точки:

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2} , \quad (66)$$

$$I_{\text{мкз}}^{(3)} = \frac{400}{1,73 \cdot 18,09} = 12,78 \text{ кА} .$$

Дуговые токи короткого замыкания в различные моменты времени определяем при помощи снижающих коэффициентов [20]:

По справочной кривой определяем значение снижающих коэффициентов в зависимости от полного сопротивления цепи до точки КЗ $Z_{1\Sigma} = 17,21 \text{ мОм}$ для начального момента короткого замыкания $K_{\text{C1}} = 0,67$ и его установившегося во времени значения $K_{\text{C2}} = 0,56$.

Находим значение тока дугового короткого замыкания:

$$I_{д\text{ КЗ}}^{(3)} = I_{м\text{ КЗ}}^{(3)} \cdot K_C, \quad (67)$$

$$I_{д\text{ КЗ}}^{(3)} = 13,43 \cdot 0,67 = 9 \text{ кА при } t_{\text{КЗ}} = 0 \text{ сек},$$

$$I_{д\text{ КЗ}}^{(3)} = 13,43 \cdot 0,56 = 7,52 \text{ кА при } t_{\text{КЗ}} > 0,05 \text{ сек}.$$

Амплитудное значение ударного тока КЗ определяем из выражения с учетом ударного коэффициента:

$$I_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{м\text{ КЗ}}^{(3)}. \quad (68)$$

Для определения справочного значения ударного коэффициента находим значение отношения суммарного индуктивного сопротивления до точки короткого замыкания к суммарному активному сопротивлению:

$$\frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{17,109}{1,886} = 9,07. \quad (69)$$

Найденному значению, соответствует величина ударного коэффициента равная 1,7.

Определяем значение ударного тока короткого замыкания:

$$I_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{м\text{ КЗ}}^{(3)}, \quad (70)$$

$$I_y = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 13,43 = 32,29 \text{ кА}.$$

5.2 Определение значений токов коротких замыканий до расчётной точки №2

Определяем значение тока трёхфазного металлического короткого замыкания исходя из предположения, что напряжение на шинах низкого

напряжения подстанции не меняется:

$$I_{\text{мкз}}^{(3)} = \frac{U_{\text{н нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{2\Sigma}} = \frac{U_{\text{н нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{2\Sigma}^2 + X_{2\Sigma}^2}} . \quad (71)$$

Находим суммарное сопротивление всех входящих в схему замещения элементов до второй расчётной точки:

$$R_{2\Sigma} = r_{\text{Т1}} + r_{\text{АВ}} + r_{\text{ЩСУ1}} + r_{\text{АВ 6/1}} + r_{\text{кл 6/1}} + r_{\text{К}}, \quad (72)$$

$$R_{2\Sigma} = 0,875 + 1 + 0,011 + 1 + 3,09 + 0,1 = 6,076 \text{ мОм},$$

$$X_{2\Sigma} = x_{\text{Т1}} + x_{\text{ЩСУ1}} + x_{\text{кл 6/1}}, \quad (73)$$

$$X_{2\Sigma} = 17,1 + 0,009 + 0,09 = 17,199 \text{ мОм}.$$

Исходя из рассчитанных значений активного и индуктивного сопротивлений, определяем значение полного сопротивления до второй расчётной точки:

$$Z_{2\Sigma} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}, \quad (74)$$

$$Z_{2\Sigma} = \sqrt{6,076^2 + 17,199^2} = 18,2 \text{ мОм},$$

$$I_{\text{мкз}}^{(3)} = \frac{U_{\text{н нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{2\Sigma}}, \quad (75)$$

$$I_{\text{мкз}}^{(3)} = \frac{400}{1,73 \cdot 18,2} = 12,7 \text{ кА}.$$

Дуговые токи короткого замыкания в различные моменты времени определяем при помощи снижающих коэффициентов [20]:

По справочной кривой определяем значение снижающих коэффициентов в зависимости от полного сопротивления цепи до точки КЗ

$Z_{2\Sigma} = 18,2$ мОм для начального момента короткого замыкания $K_{C1} = 0,67$ и его установившегося во времени значения $K_{C2} = 0,56$.

Находим значение тока дугового короткого замыкания:

$$I_{д\text{кз}}^{(3)} = I_{м\text{кз}}^{(3)} \cdot K_C, \quad (76)$$

$$I_{д\text{кз}}^{(3)} = 12,7 \cdot 0,67 = 8,5 \text{ кА при } t_{\text{кз}} = 0 \text{ сек},$$

$$I_{д\text{кз}}^{(3)} = 11,6 \cdot 0,56 = 7,1 \text{ кА при } t_{\text{кз}} > 0,05 \text{ сек}.$$

Амплитудное значение ударного тока КЗ определяем из выражения с учетом ударного коэффициента:

$$I_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{м\text{кз}}^{(3)}. \quad (77)$$

Для определения справочного значения ударного коэффициента находим значение отношения суммарного индуктивного сопротивления до точки короткого замыкания к суммарному активному сопротивлению:

$$\frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{17,199}{6,076} = 2,8.$$

Найденному значению, соответствует величина ударного коэффициента равная 1,35.

Определяем значение ударного тока короткого замыкания:

$$I_y = 1,35 \cdot \sqrt{2} \cdot 12,7 = 24,3 \text{ кА}.$$

5.3 Определение значений токов коротких замыканий до расчётной точки №3

Определяем значение тока трёхфазного металлического короткого замыкания исходя из предположения, что напряжение на шинах низкого напряжения подстанции не меняется:

$$I_{\text{мкз}}^{(3)} = \frac{U_{\text{н нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{3\Sigma}} = \frac{U_{\text{н нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{3\Sigma}^2 + X_{3\Sigma}^2}}, \quad (78)$$

Находим суммарное сопротивление всех входящих в схему замещения элементов до третьей расчётной точки:

$$R_{3\Sigma} = r_{\text{T2}} + r_{\text{AB}} + r_{\text{ЩСУ2}} + r_{\text{AB РП1}} + r_{\text{клРП1}} + r_{\text{AB 2}} + r_{\text{AB 24/1}} + r_{\text{кл 24/2}} + r_{\text{К}}, \quad (79)$$

$$R_{3\Sigma} = 0,875 + 1 + 0,011 + 1 + 28,9 + 1 + 1 + 199,8 + 0,1 = 233,69 \text{ мОм},$$

$$X_{3\Sigma} = x_{\text{T2}} + x_{\text{ЩСУ2}} + x_{\text{клРП1}} + x_{\text{кл 24/2}}, \quad (80)$$

$$X_{3\Sigma} = 17,1 + 0,009 + 5,117 + 3,132 = 25,36 \text{ мОм}.$$

Исходя из рассчитанных значений активного и индуктивного сопротивлений, определяем значение полного сопротивления до третьей расчётной точки:

$$Z_{3\Sigma} = \sqrt{R_{3\Sigma}^2 + X_{3\Sigma}^2}, \quad (81)$$

$$Z_{3\Sigma} = \sqrt{233,69^2 + 25,36^2} = 235 \text{ мОм},$$

$$I_{\text{мкз}}^{(3)} = \frac{U_{\text{н нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{3\Sigma}}, \quad (82)$$

$$I_{\text{мкз}}^{(3)} = \frac{400}{1,73 \cdot 235} = 0,98 \text{ кА}.$$

Дуговые токи короткого замыкания в различные моменты времени определяем при помощи снижающих коэффициентов [20]:

По справочной кривой определяем значение снижающих коэффициентов в зависимости от полного сопротивления цепи до точки КЗ $Z_{2\Sigma} = 235$ мОм для начального момента короткого замыкания $K_{C1} = 0,96$ и его установившегося во времени значения $K_{C2} = 0,85$.

Находим значение тока дугового короткого замыкания:

$$I_{дкз}^{(3)} = I_{мкз}^{(3)} \cdot K_C, \quad (83)$$

$$I_{дкз}^{(3)} = 0,98 \cdot 0,96 = 0,94 \text{ кА при } t_{кз} = 0 \text{ сек},$$

$$I_{дкз}^{(3)} = 0,98 \cdot 0,85 = 0,83 \text{ кА при } t_{кз} > 0,05 \text{ сек}.$$

Амплитудное значение ударного тока КЗ определяем из выражения с учетом ударного коэффициента:

$$I_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{мкз}^{(3)}. \quad (84)$$

Для определения справочного значения ударного коэффициента находим значение отношения суммарного индуктивного сопротивления до точки короткого замыкания к суммарному активному сопротивлению:

$$\frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{233,69}{25,36} = 9,21.$$

Найденному значению, соответствует величина ударного коэффициента равная 1,7.

Определяем значение ударного тока короткого замыкания:

$$I_y = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,98 = 2,4 \text{ кА}.$$

Выводы по разделу: в разделе определены значения металлического и дугового короткого замыкания для трех расчетных точек (от самой близкой до самой дальней от центра питания), кроме того найдены значения ударных токов, полученные расчетные значения будут использованы для проверки выбранных ранее коммутационных аппаратов.

При определении суммарных сопротивлений до точек короткого замыкания использовались данные об установленных в схеме электроснабжения электрических аппаратах, их параметрах и был выполнен расчёт внутренних активных и индуктивных сопротивлений. Расчёты токов короткого замыкания производились в допущении, что внешняя энергосистема по сравнению с точкой короткого замыкания является источником бесконечной мощности и данный вид КЗ не оказывает существенного влияния на снижение напряжения в питающей энергосистеме.

6 Выбор электрических аппаратов для установки в трансформаторной подстанции на стороне низкого напряжения

6.1 Выбор вводных автоматических выключателей

В качестве вводных выключателей на стороне низкого напряжения каждой из трансформаторов выбираем автоматы типа Masterpact MTZ2 40 N1. При выборе автоматических выключателей учитываются следующие параметры:

Номинальное напряжение выбранного аппарата должно быть больше либо равно номинальному значению напряжения в месте его установки:

$$U_{уст} \leq U_{ном}, \quad (85)$$

$$0,4кВ \leq 1кВ.$$

Расчётное значение тока, протекающего через автоматические выключатели в нормальном режиме, должно быть меньше номинального значения тока автоматического выключателя:

$$I_p \leq I_n, \quad (86)$$

$$I_p = 1,4 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (87)$$

$$I_p = 1,4 \cdot \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 3233 A \leq I_n = 4000 A$$

Выбранному автоматическому выключателю соответствуют следующие характеристики, указанные производителем:

- диапазон уставок расцепителя в области перегрузки $(0,4 - 1) I_n$;

- диапазон уставок расцепителя в области короткого замыкания $(1,5 - 10) I_n$;
- предельный ток отключения составляет 66 кА.

6.2 Выбор измерительного трансформатора тока

Для установки на вводе на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции выбираем измерительные трансформаторы тока типа METSECT5DC400.

Трансформаторы тока также, как и автоматические выключатели выбираются по номинальному напряжению в месте установки и по величине расчётного тока, протекающего через него.

Выбранный трансформатор тока проверяется на устойчивость к электродинамическому воздействию ударного тока короткого замыкания:

$$i_{уд} \leq K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_n , \quad (88)$$

$$32,29 \text{ кА} \leq 20 \cdot \sqrt{2} \cdot 4000 \text{ кА} ,$$

$$32,29 \text{ кА} \leq 112,8 \text{ кА} .$$

и на термическое действие тока КЗ до момента его отключения:

$$B_K \leq K_T^2 \cdot I_n^2 \cdot t_T = I_T^2 \cdot t_T , \quad (89)$$

$$16,9 \text{ кА}^2 \cdot c \leq 63 \text{ кА}^2 \cdot c .$$

Выводы по разделу: был произведен выбор и проверка вводных выключателей на КТП подстанции и установленных там же трансформаторов тока.

Заключение

Целью данной работы являлось проектирование надежной системы электроснабжения производственного корпуса предприятия химической промышленности.

В работе была дана краткая характеристика технологического процесса, проводимого в рассматриваемом производственном корпусе, что позволило получить лучшее представление об условиях функционирования системы электроснабжения.

По методу коэффициента максимума определены расчётные электрические нагрузки производственного корпуса. Силовые электроприёмники, установленные в корпусе сгруппированы по однородности режима работы и мощности, для них определены справочные значения коэффициента использования и коэффициента мощности, найдено значение номинальной мощности для каждой группы электроприемников. Определены значения активной и реактивной среднесменных нагрузок. Найдены суммарные значения количества установленных в производственном корпусе электроприемников, их суммарной номинальной мощности, суммарных значений активной и реактивной мощности потребляемой за смену в среднем, групповые значения коэффициента использования и коэффициента мощности, по упрощённой формуле для расчётов на шинах низкого напряжения трансформаторных подстанций определено значение эффективного числа электроприемников, по справочным таблицам найдено значение коэффициента максимума, определены расчетные значения активной, реактивной и полной нагрузки по корпусу в целом. Суммарная полная мощность составила 2.2 МВА.

В соответствии с категорией надежности установленных в промышленном корпусе силовых электроприемников для установки на трансформаторной подстанции принято не менее 2 силовых трансформаторов. Исходя из суммарной нагрузки производственного корпуса выбрано

количество и номинальная мощность силовых трансформаторов для установки на КТП. В первом из двух рассмотренных вариантов определялись приведённые затраты на установку двух силовых трансформаторов мощностью по 1600 кВА каждый, в результате расчетов было установлено, что для данного варианта установка устройств компенсации реактивной мощности не требуется. Во втором варианте предусматривалась установка на трансформаторной подстанции 3 силовых трансформаторов по 1000 кВА каждый, в данном варианте необходима установка на стороне низкого напряжения подстанции 3 конденсаторных установок по 70 квар. Приведённые затраты на реализацию 2 варианта на 40% превышают затраты на реализацию 1 варианта, поэтому окончательно к установке на цеховой трансформаторной подстанции были выбраны два силовых трансформатора по 1600 кВА без установки устройств компенсации реактивной мощности.

Произведен предварительный выбор кабельных линий и защитных аппаратов для размещения в производственном корпусе.

Определены значения металлического и дугового короткого замыкания для трех расчетных точек (от самой близкой до самой дальней от центра питания), кроме того найдены значения ударных токов, полученные расчетные значения использовались для проверки выбранных ранее коммутационных аппаратов.

Произведен выбор и проверка вводных выключателей на КТП подстанции и установленных там же трансформаторов тока.

Список используемых источников

1. Афонин В.В., Набатов К.А. Электрические станции и подстанции. Часть 1. Электрические станции и подстанции. Учебное пособие. - Тамбов: Изд-во Тамбовского гос. тех. университета, 2015. 90 с.
2. Балаков Ю.Н., Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. Проектирование схем электроустановок: учебное пособие для вузов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2016. 288 с.
3. Вахнина В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие. ТГУ г. Тольятти 2019. 69 с.
4. Вахнина В.В., Горячева В.Л., Степкина Ю.В. Проектирование система электроснабжения машиностроительных предприятий. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. ТГУ г. Тольятти 2018. 93с.
5. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. Учебное – методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования студентов всех форм обучения специальностей. ТГУ г. Тольятти, 2017. 54 с.
6. Кабельный справочник [Электронный ресурс]: Кабельная поисковая система. URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-pvx-izolyaczij-\(0,66;-1kv\)/avbbshv/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-pvx-izolyaczij-(0,66;-1kv)/avbbshv/) (дата обращения 12.12.21).
7. Каталог продукции [Электронный ресурс]: Schneider Electric. URL: <https://www.se.com/ru/ru/all-products> (дата обращения 06.01.22).
8. Каталог электрооборудования «Электрощит» [Электронный ресурс]: «Электрощит». URL: <https://electroshield.ru> (дата обращения 13.04.22).
9. Магистральные шинопроводы переменного тока [Электронный ресурс]: Компания Омега. URL <http://comega.ru/produkcija/224/catalog1-88f.html> (дата обращения 25.02.22).

10. Назаров А.И. Расчет мощности и выбор силовых трансформаторов подстанций горных предприятий. Методическое пособие. г. Кировск 2017. 13с.
11. Правила технической эксплуатации электростанций и подстанций. М.: Энергоатомиздат. 2013.
12. Правила устройства электроустановок. – 7-е издание. СПб.: Энергоатомиздат. 2013.
13. РФ. Росстандарт. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ : от 21.11.2012. М., 1993. 47 с.
14. Салтыкова О.А. Релейная защита понизительной трансформаторной подстанции. Учебное пособие. ТГУ г.Тольятти., 2017. 47 с.
15. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. ФОРУМ 2018. 137 с.
16. Bhalja B., Maheshwari R. P., Chothani N. Protection and Switchgear (Oxford Higher Education). - 1 изд. - Oxford: Oxford University Press, 2016. 576 с.
17. Croft T., Hartwell F.P., Summers W.I. American Electricians' Handbook. - 16 изд. - New York City: McGraw-Hill Education, 2013. 1712 с.
18. Gönen T. Electric Power Distribution Engineering. - 3 изд. - Boca Raton: CRC Press, 2014. 1061 с.
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. Ram B. Power System Protection and Switchgear. - New York City: McGraw-Hill Professional Publishing, 2011. 684 с.