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 Реконструкция и автоматизация дробильного цеха обогатительной фабрики

Обучающийся К.В. Шагуров
(Инициалы Фамилия) (личная подпись)

Руководитель С.В. Шлыков
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Выпускная квалификационная работа состоит из 60 страниц, 22 таблиц, 10 рисунков, 28 источников.

Ключевые слова: реконструкция, электроснабжение, автоматизация, оборудование, нагрузка.

Цель выпускной квалификационной работы заключается в разработке мероприятий, направленных на модернизацию и автоматизацию системы электроснабжения дробильного цеха.

Таким образом, объектом исследования выпускной квалификационной работы является дробильный цех, а предметом – система электроснабжения дробильного цеха.

Для достижения поставленной цели при написании работы выполнен анализ существующей системы электроснабжения, на основании которого выбраны направления для дальнейшей реконструкции. После чего, выполнен расчет нагрузок, расчет токов короткого замыкания, по результатам которых выбрано оборудование, а также оборудование для автоматизации системы электроснабжения дробильного цеха.

В результате выполнения работы разработана система электроснабжения, включающая в себя автоматический ввод резерва при отключении одного из трансформаторов, а также автоматизированная система учета электроэнергии, позволяющая удаленно снимать показания с прибора учета электроэнергии.

Работа разделена на три раздела.

Содержание

Введение 4
1 Характеристика дробильного цеха 6
1.1 Общие сведения 6
1.2 Анализ системы электроснабжения 7
2 Расчет системы электроснабжения 11
2.1 Расчет системы освещения 11
2.2 Расчет силовых нагрузок 16
2.3 Компенсация реактивной мощности 22
2.4 Выбор трансформаторов 26
2.5 Выбор кабельных линий 28
2.6 Расчет токов КЗ 31
2.7 Выбор и проверка аппаратов защиты 41
3 Автоматизация системы электроснабжения 50
3.1 Выбор АВР 50
3.2 Выбор АСКУЭ 51
Заключение 55
Список используемых источников 58

Введение

«Важнейшая задача, которая стоит сейчас перед энергетикой, состоит в содействии непрерывному увеличению объемов производства, в сокращении сроков строительства новых энергетических объектов, реконструкции, уменьшении удельных капиталовложений, повышении производительности и безопасности труда. По мере увеличения электропотребления усложняются и системы электроснабжения промышленных предприятий» [1, 2].

«Первое место по количеству потребляемой электроэнергии принадлежит промышленности, на долю которой приходится более 60% вырабатываемой в стране энергии. С помощью электрической энергии приводятся в движение миллионы станков и механизмов, освещение помещений, осуществляется автоматическое управление технологическими процессами и другое. Существуют технологии, где электроэнергия является единственным энергоносителем» [1, 2].

«С повышением научно-технического прогресса, электроэнергетика стала критерием уровня развития цивилизации. Это говорит о том, что электроэнергетика является важной отраслью страны в настоящее время» [1, 2].

«В связи с ускорением научно-технологического прогресса потребление электроэнергии в промышленности значительно увеличилось благодаря созданию гибких автоматизированных производств» [1, 2].

«Электроэнергетика относится к числу тех отраслей промышленности, которые составляют материальную базу технического прогресса во всех сферах экономической и социальной жизни общества, основой его нормального функционирования и жизнеобеспечения» [22].

«На сегодняшний день электрическая энергия занимает одну из главных ролей в повседневной жизни человека. Эффективность функционирования системы электроснабжения промышленных объектов зависит от того, насколько рационально была спроектирована система электроснабжения

конкретного потребителя. Одно из главных требований, предъявляемых к объектам электроэнергетики, заключается в их способности обеспечивать высокую надежность электроснабжения» [20].

Цель выпускной квалификационной работы заключается в разработке мероприятий, направленных на модернизацию и автоматизацию системы электроснабжения дробильного цеха.

Таким образом, объектом исследования выпускной квалификационной работы является дробильный цех, а предметом – система электроснабжения дробильного цеха.

Для достижения поставленной цели при написании работы выполнен анализ существующей системы электроснабжения, на основании которого выбраны направления для дальнейшей реконструкции. После чего, выполнен расчет нагрузок, расчет токов короткого замыкания, по результатам которых выбрано оборудование, а также оборудование для автоматизации системы электроснабжения дробильного цеха.

В результате выполнения работы разработана система электроснабжения, включающая в себя автоматический ввод резерва при отключении одного из трансформаторов, а также автоматизированная система учета электроэнергии, позволяющая удаленно снимать показания с прибора учета электроэнергии.

Работа разделена на три раздела.

1 Характеристика дробильного цеха

1.1 Общие сведения

В дипломной работе рассматривается дробильный цех обогатительной фабрики – специализированное производственное помещение, в котором осуществляется предварительная обработка рудных материалов для облегчения их дальнейшей переработки и извлечения ценных минералов.

Основная задача цеха – измельчение крупных кусков руды на более мелкие, приемлемые размеры, пригодные для последующих стадий переработки.

Дробильный цех представляет собой отдельно стоящее здание капитального строительства, размерами 85×25×9 метров.

План дробильного цеха с расположением оборудования приведены на рисунке 1.

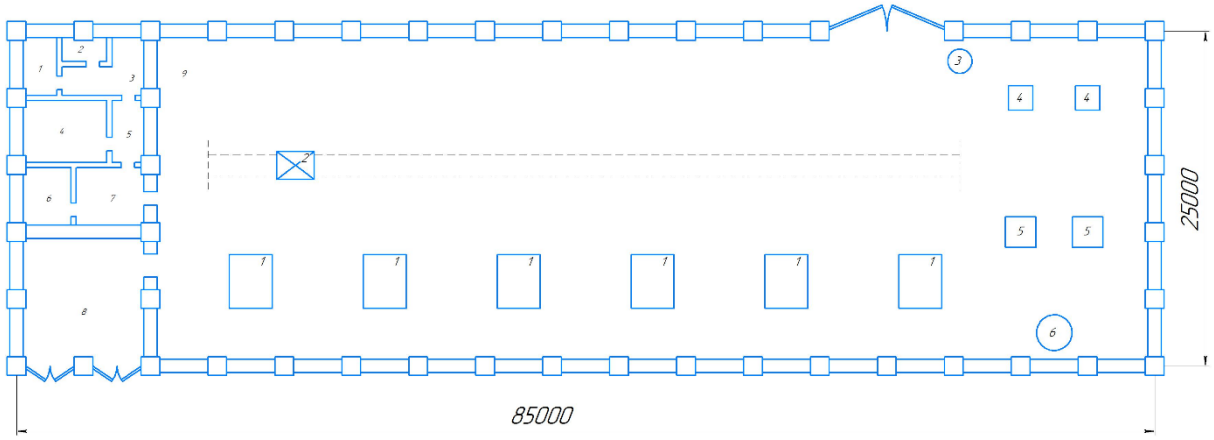

Рисунок 1 – План расположения оборудования дробильного цеха

Перечень помещений дробильного цеха согласно плану приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень помещений дробильного цеха

Номер по плану	Наименование помещения	Площадь, $м^2$
1	Туалет	3,2
2	Душ	3,4
3	Коридор	3,9
4	Раздевалка	10,8
5	Коридор	3,7
6	Коридор	3,1
7	Коридор	5,9
8	Цеховая трансформаторная подстанция (ЦТП)	25,0
9	Производственное помещение	1007,8

В таблице 2 указаны сведения об установленных потребителях с группировкой их по РЩ.

Таблица 2 – Параметры оборудования цеха

№ на плане	Наименование	Мощность $P_{ном}$, кВт	Кол-во, шт.	Суммарная мощность, $P_{сум}$, кВт
РЩ-1, РЩ-2, РЩ-3, РЩ-4, РЩ-5, РЩ-6				
1	Дробильная установка	45,0	1	45,0
РЩ-7				
2	Кран-балка	55,0	1	55,0
РЩ-8				
3	Тепловая завеса	3,0	2	6,0
4	Гильотинные ножницы	7,5	2	15,0
5	Пресс	10,0	2	10,0
6	Вентиляционная установка	9,0	1	9,0
ЩО				
	Освещение	21,71	1	21,71

Таким образом, основным электрооборудованием дробильного цеха является технологическое оборудование, а также система освещения.

1.2 Анализ системы электроснабжения

«Категория надёжности электроснабжения дробильного цеха – вторая, согласно [7], класс пожароопасности П-IIа. Влажность воздуха В=60%, температура воздуха t^o=25^{o}С» [7].

«Искусственное освещение выполнено промышленными светильниками, выполненными с креплением к стальным балкам под кровлей крыши, мощность ламп 250 Вт. Светильники размещаются равномерно по периметру помещения» [25].

На данный момент в системе электроснабжения цеха установлены лампы накаливания и лампы ДРЛ, указанные в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры осветительной нагрузки на текущий момент

Номер по плану	Наименование помещения	Тип лампы	Кол-во, шт	Марка	Мощность, кВт
1	Туалет	Лампа накаливания	1	НСП 11	0,1
2	Душ	Лампа накаливания	2	НСП 11	0,2
3	Коридор	Лампа накаливания	2	НСП 11	0,2
4	Раздевалка	Лампа накаливания	1	НСП 11	0,1
5	Коридор	Люминесцентная лампа	1	ЛПО-46-4×36	0,036
6	Коридор	Люминесцентная лампа	1	ЛПО-46-4×36	0,036
7	Коридор	Люминесцентная лампа	1	ЛПО-46-4×36	0,036
8	Цеховая трансформаторная подстанция (ЦТП)	Дуговая ртутная лампа	4	ДРЛ-250	1
9	Производственное помещение	Дуговая ртутная лампа	80	ДРЛ-250	20
Суммарная мощность осветительной сети:					21,71

Основными причинами замены ламп накаливания и ламп ДРЛ являются низкая энергоэффективность, экология, потребность в улучшении качества освещения и технический прогресс в области осветительных технологий.

Питание дробильного цеха в настоящий момент осуществляется от двух секций ТП-6/0,4 кВ. Приходящая электроэнергия распределяется на вводное распределительное устройство, от которого распределяется далее по силовым распределительным шкафам.

Существующая однолинейная схема электроснабжения дробильного цеха приведена на рисунке 2.

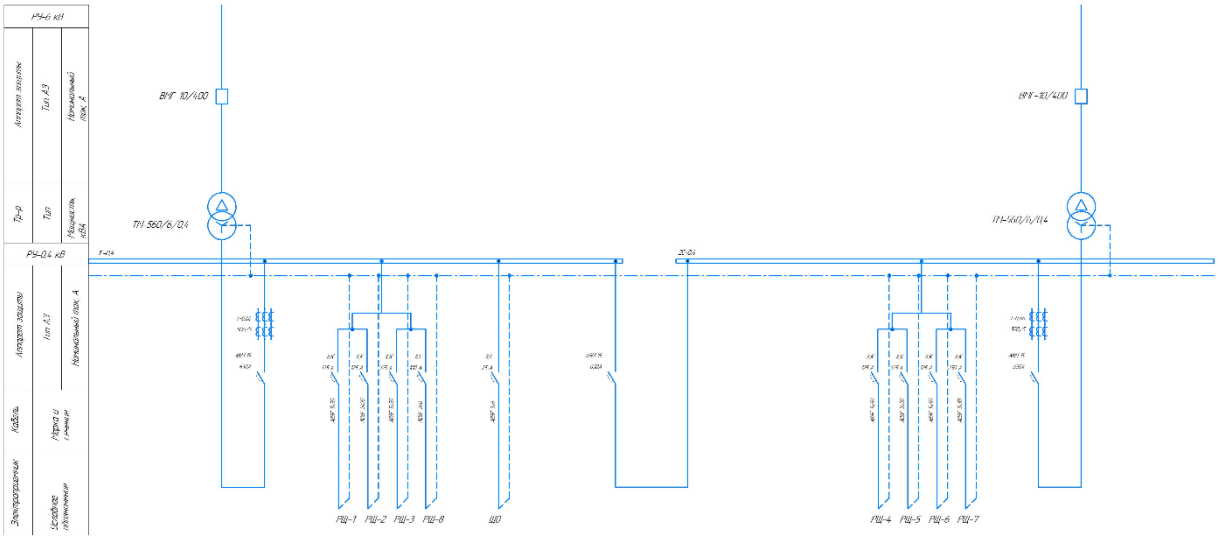

Рисунок 2 – Однолинейная схема электроснабжения дробильного цеха

Питание осуществляется от трансформаторов ТМ 560 кВА. На вводах установлены выключатели масляные ВМГ-10/400.

Трансформаторы ТМ-560 кВА являются устаревшими и нуждаются в замене.

Замена устаревших силовых трансформаторов ТМ-560 кВА на современные ТМГ позволит повысить надежность системы электроснабжения дробильного цеха, а также ее энергоэффективность.

К тому же, масляные выключатели ВМГ-10/400 также являются устаревшими и нуждаются в замене.

«К недостаткам масляных выключателей можно отнести их пожаро- и взрывоопасность. Ограниченная способность к быстродействию и частоте осуществления АПВ. Эксплуатация таких выключателей обходится дороже: замена и периодическая доливка масла, износ дугогасящих контактов, текущие ремонты. При работе масляных выключателей на низких температурах могут возникнуть трудности с подогревом масла. Отключающая способность масляных выключателей может оказаться недостаточной» [6].

Выводы по разделу 1.

В дипломной работе рассматривается дробильный цех обогатительной фабрики – специализированное производственное помещение, в котором осуществляется предварительная обработка рудных материалов для облегчения их дальнейшей переработки и извлечения ценных минералов.

На данный момент недостатками системы электроснабжения дробильного цеха являются неэффективная система освещения, выполненная лампами ДРЛ, устаревшие силовые трансформаторы ТМ-560 кВА, а также масляные выключатели ВМГ-10/400.

Таким образом, для повышения эффективности системы электроснабжения дробильного цеха необходимо заменить вышеуказанное оборудование.

Для выбора оборудования требуется выполнить расчет электрических нагрузок и расчет токов короткого замыкания.

2 Расчет системы электроснабжения

2.1 Расчет системы освещения

«Выбор источников освещения является одним из первых этапов проектирования системы освещения в помещениях. При выборе источников освещения для определенного помещения необходимо учесть ряд параметров. Во-первых, нужно выбрать тип освещения – основное, дополнительное или декоративное. Искусственное освещение бывает разного назначения. Отличия заключаются в том, что основное освещение обеспечивает равномерное освещение всего пространства, в то время как дополнительное и декоративное освещение предназначены лишь для определенной части пространства помещения. Далее необходимо выбрать тип источника освещения. Искусственный свет можно создать, используя различные источники. Есть лампы, которые могут обеспечить нужное количество света. Осветительные приборы различаются по параметрам – лампы накаливания, люминесцентные лампы или светодиодные лампы» [25].

Сравнительные характеристики различных источников света приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика источников освещения

Тип источника света	Светоотдача, лм/Вт	Срок службы, ч
Лампы накаливания	8–18	1000
Люминесцентные лампы низкого давления	60–80	10000
Люминесцентные лампы низкого давления с улучшенной цветопередачей	70–95	10000
Компактные люминесцентные лампы низкого давления	60–70	9000
Светодиодные лампы	60-100	50000

Согласно данным таблицы 4, наименее эффективными с точки зрения светоотдачи и срока службы являются лампы накаливания. Люминесцентные

лампы более превосходят по этим показателям лампы накаливания. Но уступают светодиодным светильникам [25].

Таким образом, для повышения энергоэффективности будет выполнена замена ламп ДРЛ на светодиодные светильники.

Выбор модели светодиодных светильников будет выполнен из следующего перечня:

– светодиодный светильник «Feron 120W» по [11].

– светодиодный светильник марки «Wolta STL-120» по [12].

– светодиодный светильник «LC PLO1 20» по [13].

– светодиодный светильники «FERON 18W» по [14].

Параметры светильников указаны в таблице 5 и таблице 6.

Таблица 5 – Параметры промышленных выбираемых светильников

Параметр	Feron 120W	WOLTA STL-120	LC PLO 120
Высота, мм	65	65	65
Диаметр, мм	530	530	530
Вес с упаковкой	2,66 кг	2,66 кг	2,66 кг
Напряжение, вольт	220 В	220 В	220 В
Мощность, Вт	120	120	120
Цветовая температура	5000K (Нейтральный белый)	4000K (Нейтральный белый)	5000K (Нейтральный белый)
Световой поток, лм	14400	12000	16800
Цена, руб	8740	8670	8510

Таблица 6 – Параметры бытовых выбираемых светильников

Параметр	ДСП-18W	ДВО-18W	ДПО-18W
Высота, мм	55	18	23
Диаметр, мм	1267	225	60
Вес с упаковкой	0,69 кг	0,120 кг	0,150 кг
Напряжение, вольт	220 В	220 В	220 В
Мощность, Вт	18	18	18
Цветовая температура	4000K (Нейтральный белый)	4000K (Нейтральный белый)	6500K (Холодный белый)
Световой поток, лм	1200	1200	1200
Цена, руб	941	619	345

По таблице 5 для производственных помещений выбраны светодиодные светильники LC PLO 120, так как они не уступают по своим показателям моделям Feron 120W и WOLTA STL-120, но отличаются меньшей стоимостью.

Параметры помещений указаны в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры помещений с указанием норм освещённости

Номер по плану	Наименование помещения	S, м^2	Нормы освещённости, лк.
1	Туалет	3,2	50
2	Душ	3,4	50
3	Коридор	3,9	50
4	Раздевалка	10,8	50
5	Коридор	3,7	50
6	Коридор	3,1	50
7	Коридор	5,9	50
8	Цеховая трансформаторная подстанция (ЦТП)	25	300
9	Производственное помещение	1007,6	300

Расчет на примере производственного помещения.

«Индекс помещения определен по следующей формуле» [25]:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}; \quad (1)$$

где A – длина помещения, м;

B – ширина помещения, м;

h – высота помещения, м.

Индекс производственного помещения будет равен:

$$i = \frac{78,05 \cdot 13,12}{10,28(78,05 + 13,12)} = 1,09.$$

Далее по таблице 8 КПД η ≈49%.

Таблица 8 – Коэффициенты использования светового потока

ρ_n,%	ρ_c,%	Коэффициент использования светового потока η (%), при i									
		0,5	0,7	1,0	1,25	1,75	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
70	50	30	38	47	53	60	62	65	67	70	72

«Минимальное число светильников определяется по формуле» [25]:

$$N = \frac{E_{\min} \cdot k \cdot S \cdot Z}{\Phi \cdot \eta}. \quad (2)$$

«где E_{min} – нормируемая освещённость, Лк;

S - площадь освещения, м^2;

k – коэффициент запаса;

Z – поправочный коэффициент;

Φ – световой потом лампы, лм;

η - коэффициент использования» [25].

Определение числа светильников рабочего освещения для производственного помещения:

$$N = \frac{300 \cdot 1{,}1 \cdot 1007{,}6 \cdot 1{,}1}{16800 \cdot 0{,}49} = 44{,}4 \text{ шт.}$$

Для равномерного рабочего освещения производственного помещения принято 45 светильников LC PLO 120.

«Определение мощности потребления определяется по формуле» [25]:

$$P = n \cdot P; \quad (3)$$

«где P – мощность одной лампы, кВт.

n – количество ламп, шт» [25].

$$P_2 = 45 \cdot 0{,}12 = 5{,}4 \text{ кВт.}$$

По таблице 6 для бытовых помещений выбраны светодиодные светильники ДПО-18W, так как они не уступают по своим показателям моделям ДСП-18W и ДВО-18W, но отличаются меньшей стоимостью.

Результаты расчета рабочего освещения указаны в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчета рабочего освещения по помещениям

Помещения	S, м^2	Тип светильников	Число светильников расчетное, шт.	Число светильников принятое, шт.	P, кВт
Туалет	3,2	ДПО-18W 1200Лм	2,0	2	0,036
Душ	3,4	ДПО-18W 1200Лм	2,1	3	0,054
Коридор	3,9	ДПО-18W 1200Лм	2,4	3	0,054
Раздевалка	10,8	ДПО-18W 1200Лм	6,7	8	0,144
Коридор	3,7	ДПО-18W 1200Лм	2,3	3	0,054
Коридор	3,1	ДПО-18W 1200Лм	1,9	2	0,036
Коридор	5,9	ДПО-18W 1200Лм	3,6	4	0,072
ЦТП	25	LC PLO 120	1,1	2	0,24
Производственное помещение	1007,6	LC PLO 120	44,4	45	5,4
Итого:					6,09

Определение числа светильников аварийного освещения для производственного помещения:

$$N = \frac{150 \cdot 1{,}1 \cdot 1007{,}6 \cdot 1{,}1}{16800 \cdot 0{,}49} = 22{,}2 \text{ шт.}$$

Для равномерного аварийного освещения производственного помещения принято 24 светильника LC PLO 120.

Мощность потребления:

$$P_2 = 24 \cdot 0{,}12 = 2{,}9 \text{ кВт.}$$

План системы освещения приведен на рисунке 3.

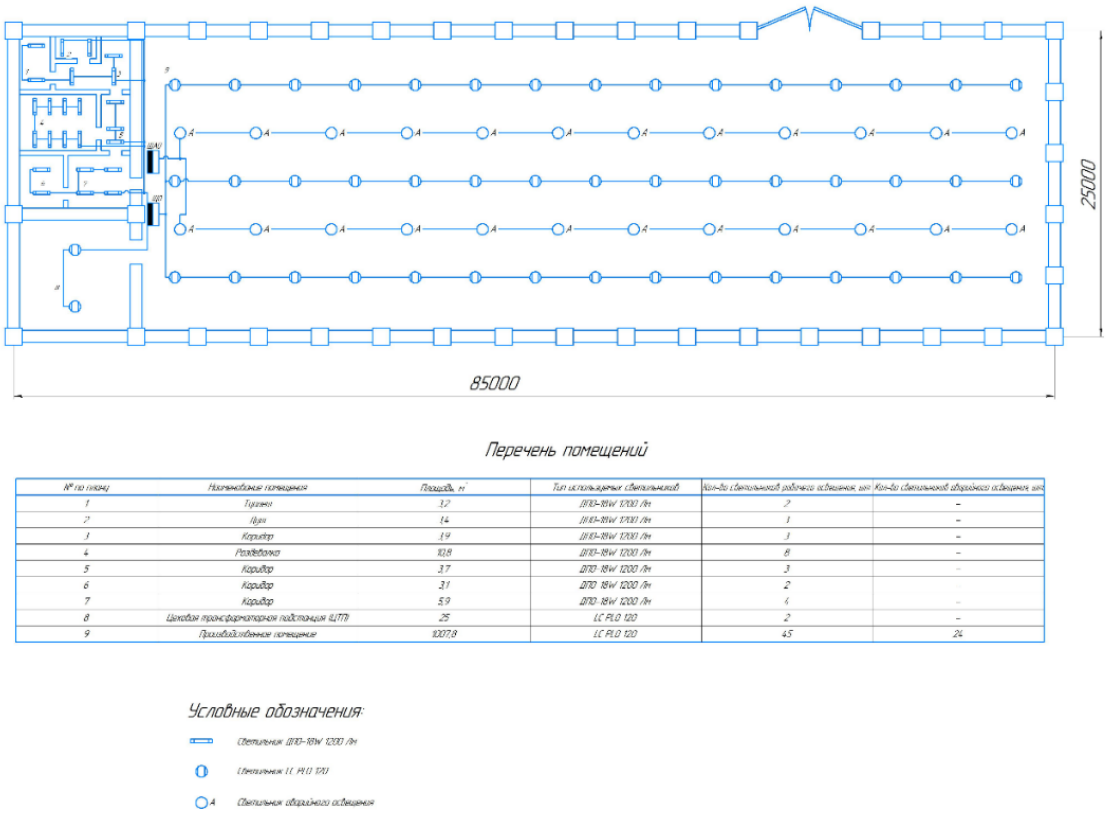

Рисунок 3 – План системы освещения

Щиты освещения ЩО и ЩАО будут подключены к разным секциям шин.

2.2 Расчет силовых нагрузок

«Определяющими факторами при проектировании систем электроснабжения являются параметры потребителей электроэнергии и источника питания, включая расчет электрических нагрузок» [23].

«Расчет электрических нагрузок для подстанций 6/0,4 кВ производится по коэффициентам расчетной нагрузки» [18].

«Информация о номинальном количестве электроприемников и мощности цехов была получена из проектной документации. Коэффициенты мощности и спроса были взяты по справочным данным» [27].

Основное электрооборудование цеха приведено в таблице 10.

Таблица 10 – Исходные данные для расчета

Наименование ЭП	Кол-во ЭП, шт	Номинальная (установленная) мощность, кВт		$k_и$	tgφ
		одного ЭП, кВт	Общая, кВт		
1	2	3	4	5	6
РЩ-1					
Дробильная установка	1	45,0	45,0	0,6	0,8
Итого по РЩ-1	1	–	45,0	–	–
РЩ-2					
Дробильная установка	1	45,0	45,0	0,6	0,8
Итого по РЩ-2	1	–	45,0	–	–
РЩ-3					
Дробильная установка	1	45,0	45,0	0,6	0,8
Итого по РЩ-3	1	–	45,0	–	–
РЩ-4					
Дробильная установка	1	45,0	45,0	0,6	0,8
Итого по РЩ-4	1	–	45,0	–	–
РЩ-5					
Дробильная установка	1	45,0	45,0	0,6	0,8
Итого по РЩ-5	1	–	45,0	–	–
РЩ-6					
Дробильная установка	1	45,0	45,0	0,6	0,8
Итого по РЩ-6	1	–	45,0	–	–
РЩ-7					
Кран-балка	1	55,0	55,0	0,1	1,7
Итого по РЩ-7	1	–	55,0	–	–
РЩ-8					
Тепловая завеса	2	3,0	6,0	0,7	0,8
Гильотинные ножницы	2	7,5	15,0	0,2	1,2
Пресс	2	10,0	20,0	0,2	1,2
Вентиляционная установка	1	9,0	9,0	0,8	0,8
Итого по РЩ-8	7	–	50,0	–	–
ЩО					
Система рабочего освещения	1	6,1	6,1	1,0	0,2
Итого по ЩО	1	–	6,1	–	–
ЩАО					
Система аварийного освещения	1	2,9	2,9	1,0	0,2
Итого по ЩАО	1	–	2,9	–	–
Итого по цеху	16	–	384,0	–	–

«Результаты расчета будут занесены в таблицу расчета электрических нагрузок согласно форме Ф636-32» [18].

«Графы 1-6 заполнены на основании исходных данных и результата расчета системы освещения. В графе 7 и 8 заносятся результаты расчетов активной и реактивной мощности потребителей цеха» [18].

«Коэффициент использования определяется по формуле» [18]:

$$k_{\Sigma И} = \frac{\Sigma k_{И} \cdot P_{н}}{\sum P_{н}}, \quad (4)$$

«где $k_{И}$ – коэффициент использования электроприемников;

$P_{Н}$ – номинальная мощность электроприемников, кВт;

$\sum P_{н}$ – суммарная номинальная мощность, кВт» [18].

«Для дробильного цеха групповой коэффициент использования составит» [18]:

$$k_{\Sigma И} = \frac{193,5}{384,0} = 0,5.$$

«Эффективное число электроприемников определяется по формуле» [18]:

$$n_{э} = \frac{(\sum_{1}^{n} P_{Н})^2}{n P_{Н}^2}, \quad (5)$$

«где $P_{Н}$ – номинальная мощность электроприемников, кВт.

$\sum P_{н}$ – суммарная номинальная мощность, кВт;

n – количество оборудования, шт» [18].

Для дробильного цеха эффективное число электроприемников составит:

$$n_э = \frac{384,0^2}{2025+2025+2025+2025+2025+2025+3025+743+37+8} = 9.$$

«В графе 12 указывается расчетная активная мощность потребителей цеха, расчет которой выполняется по формуле» [18]:

$$P_Р = K_Р \cdot k_{\sum И} \cdot P_н, \quad (6)$$

«где $K_Р$ – коэффициент расчетной нагрузки;

$k_{\sum И}$ – коэффициент использования электроприемников;

$P_Н$ – номинальная мощность электроприемников, кВт» [18].

При значении $k_{\sum И} = 0,5$ и $n_э = 9$ коэффициент расчетной нагрузки $K_Р = 0,9$:

$$P_Р = 0,9 \cdot 193,5 = 174,2 \text{ кВт}.$$

«В графе 13 указывается расчетная реактивная мощность потребителей цеха, расчет которой при условии $n_э \leq 10$ выполняется по формуле» [18]:

$$Q_Р = 1,1 \cdot k_{\sum И} \cdot P_н \cdot tg\varphi, \quad (7)$$

«где $k_{\sum И}$ – коэффициент использования электроприемников;

$tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности;

P_H – номинальная мощность электроприемников, кВт» [18].

«Таким образом, расчетная реактивная мощность потребителей дробильного цеха составит» [18]:

$$Q_Р = 1,1 \cdot 146,6 = 161,3 \text{ квар}.$$

«Затем, в графе 14 указывается расчетная полная мощность потребителей цеха, расчет которой выполняется по формуле» [18]:

$$S_{\text{Р}} = \sqrt{P_{\text{Р}}^2 + Q_{\text{Р}}^2}, \quad (8)$$

«где $P_{\text{Р}}$ – расчетная активная мощность, кВт;

$Q_{\text{Р}}$ – расчетная реактивная мощность, квар» [18].

Таким образом, расчетная полная мощность потребителей дробильного цеха составит:

$$S_{\text{Р}} = \sqrt{174,2^2 + 161,3^2} = 237,4 \text{ кВт}.$$

«Затем выполняется расчет силы тока потребителей цеха, значение которого заносится в графу 15, по формуле» [18]:

$$I_{\text{Р}} = \frac{S_{\text{Р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Л}}}, \quad (9)$$

«где $P_{\text{Р}}$ – расчетная активная мощность, кВт;

$U_{\text{Л}}$ – линейное напряжение сети, кВ» [18].

$$I_{\text{Р}} = \frac{237,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 342,7 \text{ А}.$$

Результаты расчета силовых нагрузок дробильного цеха сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Результаты расчета силовых нагрузок дробильного цеха

Наименование ЭП	КиРн	КиРн tgφ	np2	nэ	Кр	Pр, кВт	Qр, квар	Sр, кВА	Iр, А
1	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РЩ-1									
Дробильная установка	27,0	20,3	2025	–	–	–	–	–	–
Итого по РЩ-1	27,0	20,3	2025	–	–	–	–	–	–
РЩ-2									
Дробильная установка	27,0	20,3	2025	–	–	–	–	–	–
Итого по РЩ-2	27,0	20,3	2025	–	–	–	–	–	–
РЩ-3									
Дробильная установка	27,0	20,3	2025	–	–	–	–	–	–
Итого по РЩ-3	27,0	20,3	2025	–	–	–	–	–	–
РЩ-4									
Дробильная установка	27,0	20,3	2025	–	–	–	–	–	–
Итого по РЩ-4	27,0	20,3	2025	–	–	–	–	–	–
РЩ-5									
Дробильная установка	27,0	20,3	2025	–	–	–	–	–	–
Итого по РЩ-5	27,0	20,3	2025	–	–	–	–	–	–
РЩ-6									
Дробильная установка	27,0	20,3	2025	–	–	–	–	–	–
Итого по РЩ-6	27,0	20,3	2025	–	–	–	–	–	–
РЩ-7									
Кран-балка	2,8	4,8	3025	–	–	–	–	–	–
Итого по РЩ-7	2,8	4,8	3025	–	–	–	–	–	–
РЩ-8									
Тепловая завеса	4,2	3,4	36	–	–	–	–	–	–
Гильотинные ножницы	3,6	4,2	225	–	–	–	–	–	–
Пресс	4,8	5,6	400	–	–	–	–	–	–
Вентиляционная установка	7,2	5,4	81	–	–	–	–	–	–
Итого по РЩ-8	19,8	18,6	742	–	–	–	–	–	–
ЩО									
Система рабочего освещения	6,1	1,2	37	–	–	–	–	–	–
Итого по ЩО	6,1	1,2	37	–	–	–	–	–	–
ЩАО									
Система аварийного освещения	2,9	0,6	8	–	–	–	–	–	–
Итого по ЩАО	2,9	0,6	8	–	–	–	–	–	–
Итого по цеху	193,5	146,6	15962	9	0,9	174,2	161,3	237,4	342,7

После расчета нагрузок выполняется расчет компенсации реактивной мощности.

2.3 Компенсация реактивной мощности

«Перед расчетом силовых трансформаторов выполняется расчет компенсации реактивной мощности. Для оптимизации потребления электроэнергии на промышленных объектах необходима компенсация реактивной мощности, так как это мероприятие позволяет решить ряд проблем» [26].

«Во-первых, компенсация реактивной мощности позволяет улучшить качество электроэнергии. За счет компенсации реактивной мощности можно снизить потери в линиях, так как реактивная мощность вызывает дополнительные потери в распределительной сети предприятия. Также, компенсация помогает поддерживать стабильное напряжение в системе, что особенно важно для чувствительного технологического оборудования» [26].

«Во-вторых, компенсация реактивной мощности позволяет повысить пропускную способность распределительной и питающей сети. Это связано с тем, что реактивная мощность создает дополнительные нагрузки на трансформаторы и линии, что может привести к их перегрузке. Снижение реактивной мощности приведет к снижению силы тока в линях и трансформаторах, что позволит в дальнейшем подключить новые потребители к существующей системе электроснабжения» [26].

«Кроме того, компенсация реактивной мощности позволяет снизить затраты на электроэнергию. Многие энергоснабжающие компании взимают дополнительные сборы за реактивную мощность (тарифы на реактивную мощность). Компенсация позволяет снизить эти затраты и оптимизировать расходы на электроэнергию. Также, компенсация реактивной мощности позволяет повысить надежность и срок службы оборудования. Снижение

колебаний и перегрузок на оборудование повышает надежность системы электроснабжения и срок службы оборудования, снижая риск аварий» [26].

Определяем коэффициент мощности цеха согласно формуле:

$$\cos\varphi_{ц} = \frac{P_{\text{Р}}}{S_{\text{Р}}}, \quad (10)$$

«где $P_{\text{Р}}$ – расчетная активная мощность, кВт;

$S_{\text{Р}}$ – расчетная полная мощность, кВА» [26].

Коэффициент мощности дробильного цеха составит:

$$\cos\varphi_{ц} = \frac{174,2}{237,4} = 0,73.$$

«Коэффициент мощности цеха равен 0,73, что ниже нормированного согласно требованиям» [10].

Последующие данные для расчетов приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристики нагрузки дробильного цеха

Наименование	*P*р, кВт	*Q*р, квар	*S*р, кВА	cosφ	tgφ
Итого по цеху	174,2	161,3	237,4	0,73	0,93

«Величина реактивной мощности, которая будет компенсирована, можно вычислить согласно формуле» [26]:

$$Q_{KP} = \alpha \cdot P_{\text{Р}} \cdot (tg\varphi - tg\varphi_{K}), \quad (11)$$

«где α – коэффициент, учитывающий повышение коэффициента мощности естественным способом, принимается равным 0,9.

P – активная мощность, согласно таблице 12.

$tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности, согласно таблице 12.

$tg\varphi_K$ – требуемый коэффициент реактивной мощности, равный 0,35» [11].

$$Q_{KP} = 0,9 \cdot 174,2 \cdot (0,93 - 0,35) = 90,9 \text{ квар.}$$

«По расчетному значению выбрано устройство УКРМ мощностью 45 квар» [26].

Выбор модели устройств УКРМ будет выполнен из следующего перечня:

– УКРМ–45–0,4 кВ «Энергозапад» мощностью 45 квар по [8].

– УКРМ «Энергопуск» мощностью 45 квар по [9].

– УКРМ «Dacond» мощностью 45 квар по [19].

В таблице 13 приведено сравнение моделей УКРМ.

Таблица 13 –Выбор УКРМ

Параметр	Энергозапад	Энергопуск	Dacond
Мощность, квар	45	45	45
Количество ступеней регулирования мощности	3	3	3
Мощность ступени, квар	15-45	15-45	15-45
Напряжение питания вспомогательных цепей, В	220, 50Гц	220, 50Гц	220, 50Гц
Вид ввода	Кабельный	Кабельный	Кабельный
Напряжение номинальное, кВ	0,4	0,4	0,4
Частота, Гц	50	50	50
Цена, руб	53 200	54 700	55 670

По таблице 13 для компенсации реактивной мощности выбраны УКРМ «Dacond» мощностью 45 квар, так как они не уступают по своим показателям моделям УКРМ–45–0,4 кВ «Энергозапад» и УКРМ «Энергопуск», но отличаются меньшей стоимостью.

Тангенс угла φ после установки компенсирующих устройств определяется по формуле:

$$tg\varphi_{факт} = tg\varphi - \frac{Q_{КУ}}{\alpha \cdot P_{\text{Р}}}, \quad (12)$$

«где $tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности до компенсации;

$Q_{КУ}$ – номинальная мощность УКРМ, квар;

$P_{\text{Р}}$ – расчетная активная мощность, кВт» [26].

$$tg\varphi_{факт} = 0,93 - \frac{45 \cdot 3}{0,9 \cdot 174,2} = 0,36.$$

«Косинус угла φ, после компенсации реактивной мощности составит» [26]:

$$\cos\varphi_{факт} = \cos(arctg(\varphi_{факт})), \quad (13)$$

«где $arctg\varphi_{факт}$ – обратная тригонометрическая функция коэффициента реактивной мощности после компенсации [26].

$$\cos\varphi_{факт} = 0,94.$$

«Уточненные значения реактивной мощности с учетом компенсации» [26]:

$$Q_{КР} = P_{\text{Р}} \cdot tg\varphi_{факт}, \quad (14)$$

«где $P_{\text{Р}}$ – расчетная активная мощность, кВт.

$tg\varphi_{факт}$ – коэффициент реактивной мощности до компенсации [26].

$$Q_{КР} = 174,2 \cdot 0,36 = 62,7 \text{ квар}.$$

«Уточненные значения полной мощности» [26]:

$$S_{ТПНН} = \sqrt{P_{\text{Р}}^2 + Q_{КР}^2}; \quad (15)$$

«где $P_{\text{Р}}$ – расчетная активная мощность, кВт;

$Q_{КР}$ – уточненные значения реактивной мощности с учетом компенсации, квар» [26].

$$S_{ТПНН} = \sqrt{174,2^2 + 62,7^2} = 185,1 \text{ кВА}.$$

Исходные данные для расчета приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Характеристики нагрузки до и после внедрения УКРМ

Наименование	*P*р, кВт	*Q*р, квар	*S*р, кВА	*I*, А	cosφ
До УКРМ	174,2	161,3	237,4	342,7	0,73
После УКРМ	174,2	62,7	185,1	267,2	0,94

«Таким образом по таблице 8 видно, что при внедрении компенсации реактивной мощности происходит уменьшение тока» [26].

2.4 Выбор трансформаторов

«Расчетная мощность трансформатора определяется по формуле» [26]:

$$S_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{\text{Р}}}{k_З \cdot N}, \quad (16)$$

«где $S_р$ – полная расчетная мощность, кВА;

n – количество трансформаторов;

$k_з$ – коэффициент загрузки, для потребителей 2 категории $К_з$= 0,7» [26].

Таким образом:

$$S_{\text{ном.тр}} = \frac{267,2}{0,7 \cdot 2} = 190,9 \text{ кВА}.$$

В данном случае ближайшее номинальное значение трансформаторов – 250 кВА.

Параметры выбираемого трансформатора приведены в таблице 15 [15].

Таблица 15 – Параметры выбираемого трансформатора

Тип	$S_{ном}$, кВА	$U_{ном}$, кВ ВН	$U_{ном}$, кВ НН	u_k, %	Ток хх, %	$\Delta P_{хх}$, кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт
ТМ-250 кВА	250	6	0,4	4,5	2,3	0,74	3,7

«Значение силы тока на вводе 6 кВ трансформатора определяется по формуле» [26]:

$$I_{\text{трВН}} = \frac{S_{\text{ТР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}, \quad (17)$$

«где $S_{\text{ТР}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_{\text{ВН}}$ – номинальное напряжение обмотки ВН, кВ» [26].

$$I_{\text{трВН}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 22,9 \text{ А}.$$

«Значение силы тока на вводе 0,4 кВ трансформатора» [26]:

$$I_{\text{трНН}} = \frac{S_{\text{ТР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}}; \quad (18)$$

«где $S_{\text{ТР}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_{\text{НН}}$ – номинальное напряжение обмотки НН, кВ» [26].

$$I_{\text{трНН}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 360,8 \text{ А}.$$

Полученные значения будут использованы при выборе кабельных линий и коммутационного оборудования.

2.5 Выбор кабельных линий

Кабельная линия выбирается по ряду условий. Сначала кабельная линия выбирается по допустимому току нагрева.

«Для кабельной линии 10 кВ ток будет равен току на стороне ВН силового трансформатора – 22,9 А. Для питающей КЛ 10 кВ выбран кабель АСБ сечением 16 мм^2» [3].

«Проверка кабельной линии по допустимому току нагрева выполняется по следующему условию» [16]:

$$I_{доп} \geq I_{линии}. \quad (19)$$

Таким образом:

$$I_{доп} = 74 \text{ А} \geq I_{\text{трВН}} = 22,9 \text{ А}.$$

«Условие выполняется, кабельная линия проходит проверку по допустимому току нагрева» [16].

«Для проверки кабельной линии по потерям напряжения определяются потери напряжения в линии по формуле» [17]:

$$\Delta U = \frac{X \cdot Q + R \cdot P}{U_н}, \quad (20)$$

«где R – активное сопротивление кабельной линии, Ом;

X – индуктивное сопротивление линии, Ом;

Q – реактивная мощность, квар;

P – активная мощность, кВт» [17].

«Допустимые потери напряжения (согласно [4]) не должны превышать 10%. Для напряжения 6,3 кВ это $\Delta U_{ном}$=630 В» [5].

«Сопротивления кабельной линии определяется формулами» [5]:

$$R_{КЛ} = r_0 \cdot l, \quad (21)$$

«где r_0– удельное активное сопротивление кабельной линии, Ом/км;

l – индуктивное сопротивление линии, км» [5].

$$X_{КЛ} = x_0 \cdot l, \quad (22)$$

«где x_0 – удельное индуктивное сопротивление кабельной линии, Ом/км;

l – индуктивное сопротивление линии, км» [5].

«Сопротивления АСБ 3×16 протяженностью 1,3 км» [5]:

$$R_{КЛ} = 1,94 \cdot 1,3 = 2,5 \text{ Ом};$$
$$X_{КЛ} = 0,11 \cdot 1,3 = 0,1 \text{ Ом}.$$

«Таким образом, потери напряжения в линии составят» [5]:

$$\Delta U = \frac{0,1 \cdot 62,7 + 2,5 \cdot 174,2}{6,3} = 70,1 \text{ В}.$$

«Потери менее 630 В, таким образом, кабельная линия проходит проверку по потерям напряжения» [5].

Результаты выбора кабельных линий 0,4 кВ приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Результат выбора кабельных линий

Обозначение	Марка кабеля	l, м	I_P, А	r_0, Ом/км	x_0, Ом/км	$I_{доп}$, А	ΔU, %	ΣΔU, %
РУ-0,4 кВ – РЩ-1	ВВГнг 5×25	30	81,2	0,74	0,07	104	2,6	2,6
РЩ-1– Дробильная установка	ВВГнг 5×25	5	81,2	0,74	0,07	104	0,4	3,0
РУ-0,4 кВ – РЩ-2	ВВГнг 5×25	40	81,2	0,74	0,07	104	3,5	3,5
РЩ-2– Дробильная установка	ВВГнг 5×25	5	81,2	0,74	0,07	104	0,4	3,9
РУ-0,4 кВ – РЩ-3	ВВГнг 5×25	50	81,2	0,74	0,07	104	4,4	4,4
РЩ-3– Дробильная установка	ВВГнг 5×25	5	81,2	0,74	0,07	104	0,4	4,8
РУ-0,4 кВ – РЩ-4	ВВГнг 5×25	60	81,2	0,74	0,07	104	5,3	5,3
РЩ-4– Дробильная установка	ВВГнг 5×25	5	81,2	0,74	0,07	104	0,4	5,7
РУ-0,4 кВ – РЩ-5	ВВГнг 5×25	70	81,2	0,74	0,07	104	6,2	6,2
РЩ-5– Дробильная установка	ВВГнг 5×25	5	81,2	0,74	0,07	104	0,4	6,6
РУ-0,4 кВ – РЩ-6	ВВГнг 5×25	80	81,2	0,74	0,07	104	7,0	7,0
РЩ-6– Дробильная установка	ВВГнг 5×25	5	81,2	0,74	0,07	104	0,4	7,4
РУ-0,4 кВ – РЩ-7	ВВГнг 5×70	20	158,6	0,27	0,06	196	0,9	0,9
РЩ-7–Кран-балка	КГтп 5×50	80	158,6	0,39	0,06	166	4,9	5,7
РУ-0,4 кВ – РЩ-8	ВВГнг 5×25	120	72,2	0,74	0,07	104	11,8	11,8
РЩ-8–Тепловая завеса	ВВГнг 5×2,5	40	11,1	7,4	0,12	25	2,2	14,1
РЩ-8–Гильотинные ножницы	ВВГнг 5×6	20	33,3	3,09	0,09	42	1,2	13,0
РЩ-8–Пресс	ВВГнг 5×10	20	44,4	1,84	0,07	58	0,9	12,8
РЩ-8– Вентиляционная установка	ВВГнг 5×2,5	30	16,2	7,4	0,12	25	5,0	16,9
РУ-0,4 кВ – ЩО-1	ВВГнг 5×2,5	20	9,0	7,4	0,12	25	2,3	2,3
РУ-0,4 кВ – ЩАО-1	ВВГнг 5×2,5	20	4,3	7,4	0,12	25	1,1	1,1

«Как видно по результатам расчетов, потери в выбранных кабельных линиях не превышают 10% – 22 В для сетей 0,4 кВ» [5].

2.6 Расчет токов КЗ

«Выбор и дальнейшая проверка коммутационных аппаратов осуществляется по результатам расчетов токов КЗ» [24].

«Сначала составляется расчетная схема для определения места короткого замыкания и элементов электрической схемы (рисунок 4), а также схема замещения прямой последовательности (рисунок 5) и схема замещения нулевой последовательности (рисунок 6)» [24].

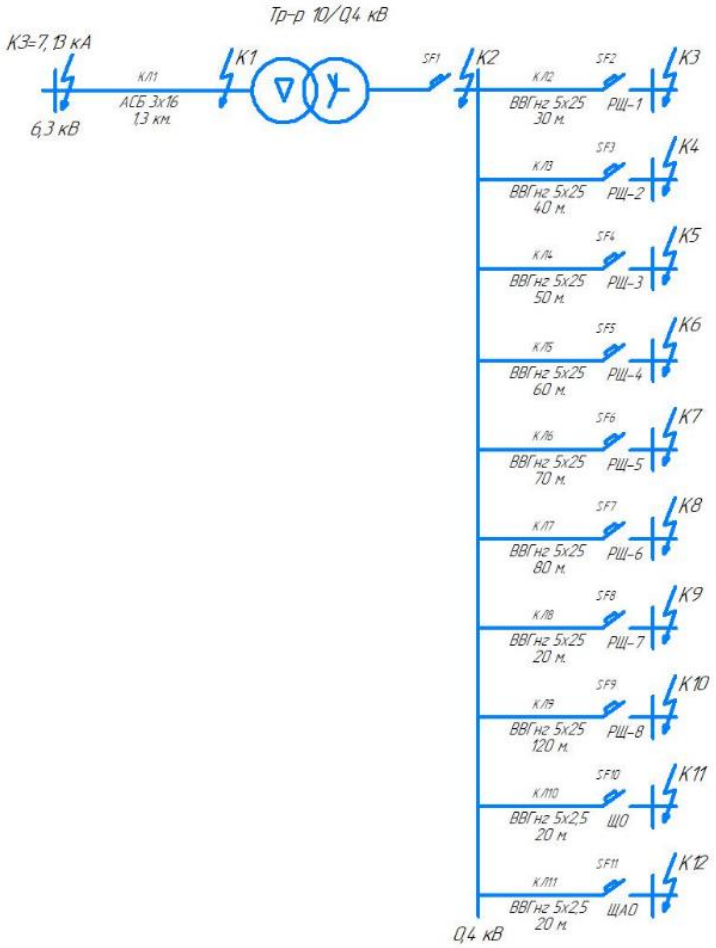

Рисунок 4 – Расчетная схема

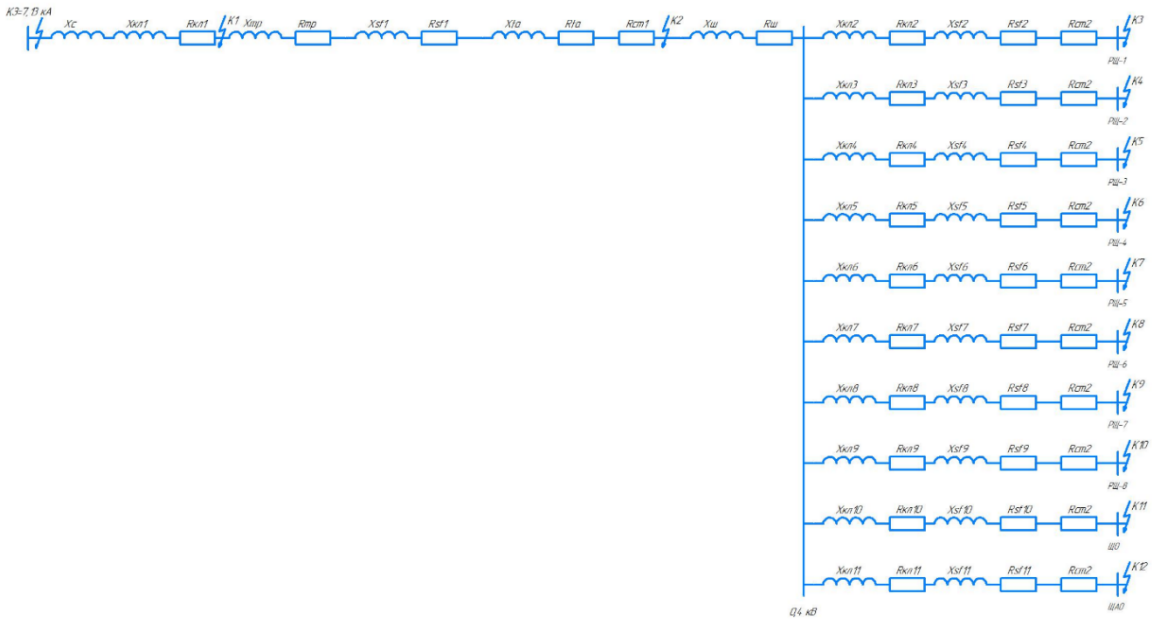

Рисунок 5 – Схема замещения прямой последовательности

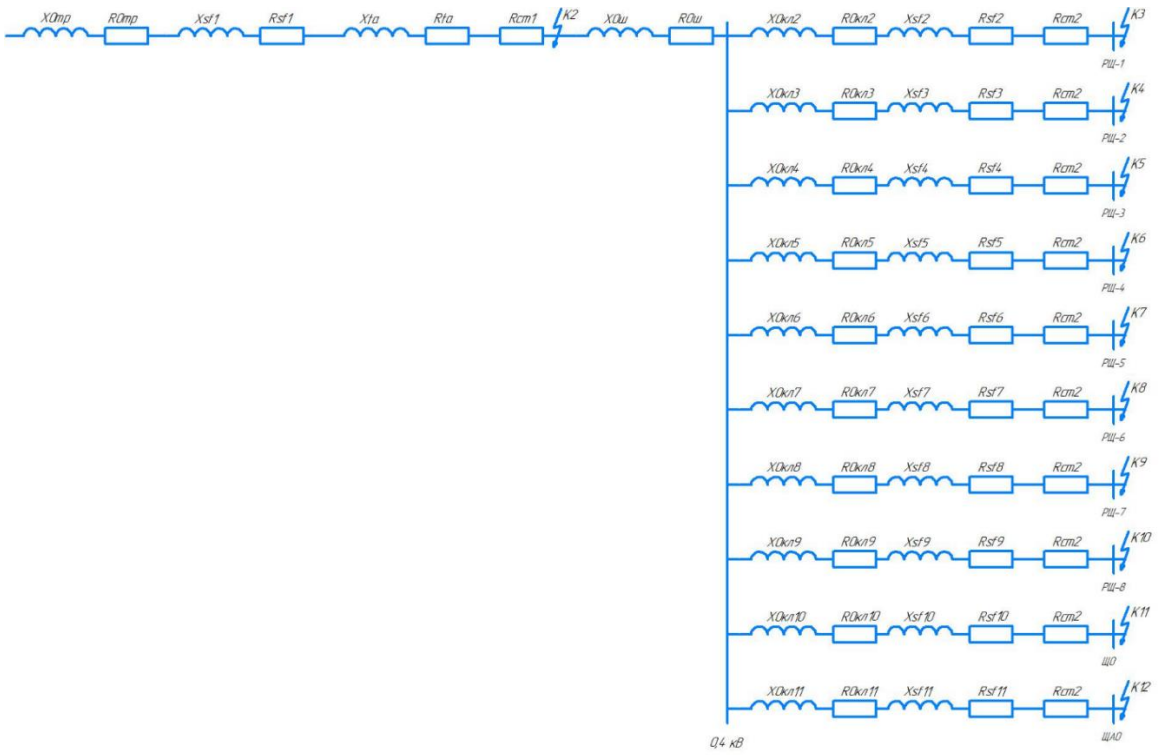

Рисунок 6 – Схема замещения нулевой последовательности

«Для расчета токов короткого замыкания в точке К1 задается базисное напряжение $U_{б1}$ кВ, большее на 5% номинального напряжения сети» [24]:

$$U_{б1} = 6{,}3 \text{ кВ}.$$

«Ток короткого замыкания на шинах РУ-6 кВ в центре питания равно 7,13 кА» [23].

«Далее находится результирующее сопротивление схемы до точки короткого замыкания» [23].

«Определяется реактивное сопротивление системы» [24]:

$$X_C = Z_C = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot I_C}, \quad (23)$$

«где $U_б$ – базисное напряжение, кВ;

I_C – пок короткого замыкания в центре питания, кА» [24].

$$X_C = Z_C = \frac{6{,}3}{\sqrt{3} \cdot 7{,}13} = 0{,}5 \text{ Ом}.$$

«Активным сопротивлением системы пренебрегаем ввиду его малого значения по сравнению с реактивным (допущения, не приводящие к большому отклонению в итоговых значениях токов)» [23].

«Суммарное реактивное сопротивление до точки К1 равно» [23]:

$$X_{К1} = X_C + X_{КЛ}, \quad (24)$$

«где $X_{К1}$ – результирующее реактивное сопротивление до точки К1, Ом;

X_C – реактивное сопротивление системы, Ом;

$X_{КЛ}$ – реактивное сопротивление кабельное линии, Ом» [24].

«Суммарное активное сопротивление до точки К1 равно» [23]:

$$R_{К1} = R_{КЛ}, \quad (25)$$

«где $R_{К1}$ – результирующее активное сопротивление до точки К1, Ом;

$R_{КЛ}$ – активное сопротивление кабельное линии, Ом» [24].

«Полное сопротивление определяется по формуле» [24]:

$$Z_{К1} = \sqrt{R_{К1}^2 + X_{К1}^2}. \quad (26)$$

«Таким образом, суммарное реактивное сопротивление до точки К1» [23]:

$$X_{К1} = 0,5 + 0,1 = 0,6 \text{ Ом}.$$

«Суммарное активное сопротивление до точки К1 составит» [23]:

$$R_{К1} = 2,5 \text{ Ом}.$$

«Полное сопротивление до точки К1 составит» [23]:

$$Z_{К1} = \sqrt{2,5^2 + 0,6^2} = 2,6 \text{ Ом}.$$

«Значение установившегося тока короткого замыкания» [23]:

$$I_К^{(3)} = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot Z_\Sigma}. \quad (27)$$

«Значение ударного тока КЗ равно» [23]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_К^{(3)} \cdot K_{уд}, \quad (28)$$

«где $K_{уд}$ – ударный коэффициент, равный 1,8 для секции шин 6 кВ, 1,2 для секции шин 0,4 кВ и 1,0 для распределительной сети 0,4 кВ» [26].

«Таким образом, для точки К1 значение установившегося тока короткого замыкания составит» [18]:

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

«Значение ударного тока КЗ в точке К1 равно» [23]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,8 = 3,6 \text{ кА}.$$

«Далее произведен расчет токов короткого замыкания в точке К2 – на шинах низкого напряжения трансформаторов ТП 6/0,4 кВ» [23].

«Зададим базисное напряжение» [23]:

$$U_{б2} = 0,4 \text{ кВ}$$

«Суммарное активное сопротивление до точки К2 составит» [23]:

$$R_{K2} = R_{K1}^{'} + R_{TP} + R_{SF1} + R_{TA} + R_{CT1}, \quad (29)$$

«где $R_{K1}^{'}$ – эквивалентное активное сопротивление в цепи короткого замыкания до точки К1, приведенное к базисному уровню напряжения в точке К2.

R_{TP} – активное сопротивление силового трансформатора;

R_{SF1} – активное сопротивление автоматического выключателя;

R_{TA} – активное сопротивление трансформатора тока;

R_{CT1} –переходное сопротивление на ступени распределения» [26].

«Суммарное индуктивное сопротивление до точки К2 составит» [23]:

$$X_{K2} = X'_{K1} + X_{TP} + X_{SF1} + X_{TA}, \quad (30)$$

«где X'_{K1} – эквивалентное индуктивное сопротивление в цепи короткого замыкания до точки К1, приведенное к базисному уровню напряжения в точке К2.

X_{TP} – индуктивное сопротивление силового трансформатора;

X_{SF1} – индуктивное сопротивление автоматического выключателя;

X_{TA} – индуктивное сопротивление трансформатора тока» [26].

«Эквивалентное сопротивление в цепи короткого замыкания до точки К1, приведенное к базисному уровню напряжения в точке К2» [23]:

$$R'_{K1} = R_{K1} \cdot (\frac{U_{б2}}{U_{б1}})^2, \quad (31)$$

«где R_{K1} – активное сопроитвление в точке К1, Ом;

$U_{б1}$ – базисное напряжение в точке К1, кВ;

$U_{б2}$ – базисное напряжение в точке К2, кВ» [23].

$$X'_{K1} = X_{K1} \cdot (\frac{U_{б2}}{U_{б1}})^2, \quad (32)$$

«где X_{K1} – индуктивное сопроитвление в точке К1, Ом;

$U_{б1}$ – базисное напряжение в точке К1, кВ;

$U_{б2}$ – базисное напряжение в точке К2, кВ» [23].

$$R'_{K1} = 2,5 \cdot (\frac{0,4}{6,3})^2 = 10,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$$X'_{K1} = 0,6 \cdot (\frac{0,4}{6,3})^2 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

«Согласно [27], активное сопротивление трансформатора ТМГ мощностью 250 кВА составляет 9,4 мОм, реактивное сопротивление – 27,2 мОм» [27]:

$$R_{TP} = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$$R0_{TP} = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$$X_{TP} = 27,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$$X0_{TP} = 27,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Коммутационное оборудование, а также трансформаторы тока предварительно выбираются по расчетному току.

Согласно [27], активное сопротивление автоматического выключателя номинальным током 400 А составляет 0,15 мОм, реактивное сопротивление – 0,17 мОм.

Таким образом:

$$R_{SF1} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$$X_{SF1} = 0,17 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

«Согласно [27], активное сопротивление трансформатора тока номинальным током 400 А составляет 0,17 мОм, реактивное сопротивление – 0,11 мОм» [27].

Таким образом:

$$R_{TA} = 0{,}17 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$$X_{TA} = 0{,}11 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

«Таким образом, активное сопротивление до точки К2 составит» [23]:

$$R_{K2} = (10{,}1 + 9{,}4 + 0{,}15 + 0{,}17 + 15{,}0) \cdot 10^{-3} = 36{,}34 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

«Реактивное сопротивление до точки К2 составит» [23]:

$$X_{K2} = (2{,}4 + 27{,}2 + 0{,}17 + 0{,}11) \cdot 10^{-3} = 29{,}88 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

«Полное сопротивление до точки К2 составит» [23]:

$$Z_{K2} = \sqrt{(36{,}34 \cdot 10^{-3})^2 + (29{,}88 \cdot 10^{-3})^2} = 47{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

«Ток трехфазного КЗ для точки К2» [23]:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{0{,}4}{\sqrt{3} \cdot 47{,}0 \cdot 10^{-3}} = 4{,}9 \text{ кА}$$

«Ударный ток КЗ в точке К2» [23]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 4{,}9 \cdot 1{,}2 = 8{,}3 \text{ кА}.$$

«Суммарное активное сопротивление нулевой последовательности до точки К2 составит» [23]:

$$R0_{K2} = R0_{TP} + R_{SF1} + R_{TA} + R_{CT1}. \quad (33)$$

«Суммарное индуктивное сопротивление нулевой последовательности до точки К2 составит» [23]:

$$X0_{К2} = X0_{ТР} + X_{SF1} + X_{TA}. \quad (34)$$

«Общее сопротивление нулевой последвательности до точки К2 составит» [23]:

$$Z0_{К2} = \sqrt{(2 \cdot R_{К2} + R0_{К2})^2 + (2 \cdot X_{К2} + X0_{К2})^2}. \quad (35)$$

«Таким образом, суммарное активное сопротивление нулевой последовательности до точки К2 составит» [23]:

$$R0_{К2} = (9,4 + 0,15 + 0,17 + 15,0) \cdot 10^{-3} = 26,24 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

«Таким образом, суммарное индуктивное сопротивление нулевой последовательности до точки К2 составит» [23]:

$$X0_{К2} = (27,2 + 0,17 + 0,11) \cdot 10^{-3} = 27,48 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

«Тогда, общее сопротивление нулевой последвательности до точки К2 составит» [23]:

$$Z0_{К2} = \sqrt{(2 \cdot 36,34 \cdot 10^{-3} + 26,24 \cdot 10^{-3})^2 + (2 \cdot 29,88 \cdot 10^{-3} + 27,48 \cdot 10^{-3})^2} = 131,9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

«Ток однофазного короткого замыкания определяется по формуле» [23]:

$$I_{КЗ}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_б}{Z0_{КЗ}}. \quad (36)$$

«Ток однофазного короткого замыкания в точке К2 составит» [23]:

$$I_{КЗ}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,4}{131,9 \cdot 10^{-3}} = 5,3 \text{ кА}.$$

«При расчете токов КЗ точек К3-К12, сопротивление будет складываться из сопротивления в точке К2, сопротивления шин РУ-0,4 кВ, а также и сопротивление кабельной линии от РУ-0,4 кВ до точки КЗ, автоматических выключателей и переходного сопротивления на ступени распределения» [23].

Результаты расчетов токов КЗ приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты расчетов токов КЗ

Пара-метр	К3	К4	К5	К6	К7	К8	К9	К10	К11	К12
Xш, мОм	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
X0ш, мОм	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
Rш, мОм	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
R0ш, мОм	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Xкл, мОм	21,0	28,0	35,0	42,0	49,0	56,0	1,2	84,0	2,4	2,4
X0кл, мОм	33,0	44,0	55,0	66,0	77,0	88,0	12,0	132,0	36,0	36,0
Rкл, мОм	22,2	29,6	37,0	44,4	51,8	59,2	5,4	88,8	148,0	148,0
R0кл, мОм	48,0	64,0	80,0	96,0	112,0	128,0	20,0	192,0	168,0	168,0
Xsf, мОм	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,5	1,2	4,5	4,5
Rsf, мОм	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,4	1,3	5,5	5,5
Rст, мОм	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
R, мОм	60,46	67,86	75,26	82,66	90,06	97,46	42,76	127,06	190,46	190,46
X, мОм	52,86	59,86	66,86	73,86	80,86	87,86	32,36	115,86	37,56	37,56
R0, мОм	76,76	92,76	108,76	124,76	140,76	156,76	47,86	220,76	200,96	200,96
X0, мОм	63,24	74,24	85,24	96,24	107,24	118,24	41,54	162,24	69,54	69,54
z, мОм	80,31	90,49	100,67	110,85	121,03	131,22	53,62	171,95	194,13	194,13
z0, мОм	260,05	299,71	339,37	379,03	418,69	458,36	170,53	617,02	599,59	599,59
$I^{(3)}$, кА	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9	1,8	4,3	1,3	1,2	1,2
$I^{(1)}$, кА	2,7	2,3	2,0	1,8	1,7	1,5	4,1	1,1	1,2	1,2
$i_{уд}$, кА	4,1	3,6	3,2	2,9	2,7	2,5	6,1	1,9	1,7	1,7

«Полученные значения будут использованы при проверке коммутационного оборудования» [24].

2.7 Выбор и проверка аппаратов защиты

«Цеховая ТП не имеет распределительного устройства на стороне ВН, питающий кабель присоединяется к трансформатору через шкаф высоковольтного ввода, который содержит высоковольтный коммутационный аппарат (выключатель нагрузки или разъединитель), аппарат защиты (предохранитель), и блок шинных накладок, которыми формируется схема электроснабжения выше 1 кВ» [21].

Для встроенной цеховой трансформаторной подстанции приняты шкафы высоковольтного ввода ШВВ-6 кВ, которые включают в себя выключатели нагрузки ВНА-10/630, а также предохранители ПКТ-103-6-100-31,5.

«Шкафы высоковольтного ввода с выключателями нагрузки ШВВ-6(10) предназначены для коммутации электрических сетей трехфазного переменного тока с изолированной нейтралью частотой 50 Гц, с номинальным напряжением 6(10) кВ, и применяются в качестве УВН комплектных трансформаторных подстанций внутренней установки в климатическом исполнении и категории размещения У3» [28].

«Выключатели нагрузки проверяются ряду условий» [7].

«Проверка выключателя нагрузки по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \le U_{ном}; \tag{37}$$

$$U_{уст} = 6 \text{ кВ} \le U_{ном} = 10 \text{ кВ}.$$

«Выключатели нагрузки ВНА-10/630 удовлетворяют условиям проверки» [7].

«Проверка выключателя нагрузки по номинальному току» [7]:

$$I_{расч} \le I_{ном}; \quad (38)$$

$$I_{трВН} = 22{,}9 \text{ А} \le I_{ном} = 630 \text{ А}.$$

«Выключатели нагрузки ВНА-10/630 удовлетворяют условиям проверки» [7].

«Проверка выключателя нагрузки по отключающей способности» [7]:

$$I_{КЗ}^{(3)} \le I_{откл.ном}. \quad (39)$$

$$I_{КЗ}^{(3)} = 1{,}4 \text{ кА} \le I_{откл.ном} = 40 \text{ кА}.$$

«Выключатели нагрузки ВНА-10/630 удовлетворяют условиям проверки и окончательно принят к установке» [7].

«Далее выбираются предохранители 6 кВ. Выбирается предохранитель ПКТ-103-6-100-31,5» [7].

Предохранители проверяются аналогично выключателям нагрузки [7].

Проверка предохранителя по номинальному напряжению [7]:

$$U_{уст} = 6 \text{ кВ} \le U_{ном} = 6 \text{ кВ}.$$

Предохранители ПКТ-103-6-100-31,5 удовлетворяют условиям проверки [7].

Проверка предохранителя по номинальному току [7]:

$$I_{трВН} = 22{,}9 \text{ А} \le I_{ном} = 100 \text{ А}.$$

Предохранители ПКТ-103-6-100-31,5 удовлетворяют условиям проверки [7].

Проверка предохранителя по отключающей способности [7]:

$$I_{КЗ}^{(3)} = 1{,}4 \text{ кА} \leq I_{откл.ном} = 31{,}5 \text{ кА}.$$

Предохранители ПКТ-103-6-100-31,5 удовлетворяют условиям проверки и окончательно приняты к установке [7].

Далее будет выбрано оборудование 0,4 кВ.

В РУ-0,4 кВ выбраны панели ЩО-01 – вводная, линейная и секционная. Каждый тип панели содержит определенный перечень оборудования.

«Панели распределительных щитов серии ЩО-01 предназначены для комплектования распределительных устройств (щитов) напряжением 380/220В переменного тока частой 50Гц с глухозаземленной нейтралью, служащих для приема и распределения электрической энергии, защиты от перегрузок и токов короткого замыкания» [28].

Вводные панели ЩО-01 содержат разъединитель, автоматический выключатель, а также трансформатор тока.

Линейные панели содержат вводные выключатели.

Секционная, в данном случае, будет содержать блок АВР, выбор которого будет выполнен в следующем разделе.

«Для создания видимого разрыва в вводной панели ЩО-01-49 выбран разъединитель РЕ19-43 с номинальным током 630 А» [28].

Условие выбора разъединителя приведено в таблице 18.

Таблица 18 – Условие выбора разъединителя

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные
Номинальное напряжение	0,4	≤	0,4
Номинальный ток	360,8	≤	630

После этого будет выполнен выбор трансформаторов тока в ячейки 0,4 кВ.

«Для измерения силы тока в вводной панели ЩО-01-49 выбран трансформатор тока Т-0,66 500/5» [13].

Условие выбора трансформаторов тока Т-0,66 приведена в таблице 19.

Таблица 19 – Условие выбора трансформаторов тока Т-0,66

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные
Номинальное напряжение	0,4	≤	0,4
Номинальный ток	360,8	≤	500

«Для коммутации электрических сетей по стороне 0,4 кВ для установки в ячейку ввода трансформатора используется автоматический выключатель ВА 57-39» [28].

«Для коммутации электрических сетей по стороне 0,4 кВ для установки в линейные панели используется автоматический выключатель ВА57-35» [28].

Автоматические выключатели выбираются согласно условиям [24]:

$$I_{Н.А.} \geq I_{Р.}, \quad (32)$$

«где $I_{Н.А.}$ – номинальный ток автомата, А;

$I_{Р}$ – расчетный ток в линии, А» [24].

Для линий без ЭД:

$$I_{НТР.} \geq I_{ДЛ}, \quad (33)$$

«где $I_{НТР.}$ – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{ДЛ}$ – длительный ток в линии, А» [24].

Для линии с одним ЭД:

$$I_{НТР.} \geq 1,25 \cdot I_{ДЛ}, \quad (34)$$

«где $I_{НТР.}$ – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{ДЛ}$ – длительный ток в линии, А» [24].

Для групповой линии с несколькими ЭД:

$$I_{НТР.} \geq 1{,}1 \cdot I_M, \quad (35)$$

«где $I_{НТР.}$ – номинальный ток расцепителя, А;

I_M – максимальный ток в линии, А» [24].

Проверка вводного автоматического выключателя ВА 57-39:

$$I_{Н.А.} = 630 \text{ А} \geq I_{Р.} = 360{,}8 \text{ А}.$$

Вводной автоматический выключатель ВА 57-39 удовлетворяют условиям проверки.

Результат выбора автоматических выключателей приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Выбор защитных аппаратов цеховых электрических сетей

ЭП	Тип АВ	$I_Р$, А	$I_{АВ}$ А	$I_{НТР}$, А	$I_{НЭР}$, А
Ввод	ВА57-39	360,8	630	5000	5000
РУ-0,4 кВ – РЩ-1	ВА57-35	81,2	125	125	800
РЩ-1– Дробильная установка	ВА57-35	81,2	125	125	800
РУ-0,4 кВ – РЩ-2	ВА57-35	81,2	125	125	800
РЩ-2– Дробильная установка	ВА57-35	81,2	125	125	800
РУ-0,4 кВ – РЩ-3	ВА57-35	81,2	125	125	800
РЩ-3– Дробильная установка	ВА57-35	81,2	125	125	800
РУ-0,4 кВ – РЩ-4	ВА57-35	81,2	125	125	800
РЩ-4– Дробильная установка	ВА57-35	81,2	125	125	800
РУ-0,4 кВ – РЩ-5	ВА57-35	81,2	125	125	800
РЩ-5– Дробильная установка	ВА57-35	81,2	125	125	800
РУ-0,4 кВ – РЩ-6	ВА57-35	81,2	125	125	800
РЩ-6– Дробильная установка	ВА57-35	81,2	125	125	800
РУ-0,4 кВ – РЩ-7	ВА57-35	158,6	250	250	1000
РЩ-7–Кран-балка	ВА57-35	158,6	250	250	1000
РУ-0,4 кВ – РЩ-8	ВА57-35	72,2	100	100	800
РЩ-8–Тепловая завеса	ВА57-35	11,1	25	25	400
РЩ-8–Гильотинные ножницы	ВА57-35	33,3	50	50	500
РЩ-8–Пресс	ВА57-35	44,4	63	63	500
РЩ-8–Вентиляционная установка	ВА57-35	16,2	25	25	400
РУ-0,4 кВ – ЩО-1	ВА57-35	9	25	25	400
РУ-0,4 кВ – ЩАО-1	ВА57-35	4,3	25	25	400

«Далее необходимо проверить выбранные ранее автоматические выключатели на отключающую способность» [24]:

$$I_0 \geq I_{КЗ}^{(3)}, \quad (36)$$

«где I_0 – отключающая способность аппарата защиты, кА;

$I_к^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на выходе аппарата защиты, кА» [24].

«Проверка правильности выбора уставок тепловых расцепителей по чувствительности действия защит для помещений с нормальной средой» [24]:

$$\frac{I_{КЗ}^{(1)}}{I_{нтр}} \geq 3, \quad (37)$$

«где $I_{нтр}$ – номинальный ток теплового расцепителя, кА;

$I_{КЗ}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на выходе аппарата защиты, кА» [24].

«Проверка правильности выбора уставок тепловых расцепителей по чувствительности действия защит для взрывоопасных помещений:

$$\frac{I_{КЗ}^{(1)}}{I_{нтр}} \geq 6, \quad (38)$$

«где $I_{нтр}$ – номинальный ток теплового расцепителя, кА;

$I_{КЗ}^{(1)}$ – ток однофазного КЗ на выходе аппарата защиты, кА» [24].

Проверка правильности выбора уставок электромагнитных расцепителей АВ номинальным током до 1000А по чувствительности действия защит:

$$\frac{I_{КЗ}^{(1)}}{I_{нэр}} \geq 1,4, \quad (39)$$

«где $I_{нтр}$ – номинальный ток электромагнитного расцепителя, кА;

$I_{КЗ}^{(1)}$ – ток однофазного КЗ на выходе аппарата защиты, кА» [24].

Проверка правильности выбора уставок электромагнитных расцепителей АВ номинальным током выше 1000А по чувствительности действия защит:

$$\frac{I_{КЗ}^{(1)}}{I_{нэр}} \geq 1,25. \quad (40)$$

Проверка вводного автоматического выключателя ВА 57-39:

$$I_{Н.А.} = 630 \text{ А} \geq I_{Р.} = 360,8 \text{ А}.$$

Вводной автоматический выключатель ВА 57-39 удовлетворяет условиям проверки.

Результаты проверки автоматических выключателей приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Проверка АВ

Обозначение ЭП	Тип АВ	Іна, А	Інтр, А	Інэр, А	I0, кА	$I_{K1}^{(1)}$, кА	$I_{K1}^{(3)}$, кА	$\frac{I_{K3}^{(1)}}{I_{нтр}}$	$\frac{I_{K3}^{(1)}}{I_{нэр}}$
Ввод	ВА57-39	630	5000	5000	33,5	5,3	4,9	8,41	5,30
РУ-0,4 кВ – РЩ-1	ВА57-35	125	125	800	10	5,3	4,9	42,40	6,63
РЩ-1– Дробильная установка	ВА57-35	125	125	800	10	2,7	2,9	21,60	3,38
РУ-0,4 кВ – РЩ-2	ВА57-35	125	125	800	10	5,3	4,9	42,40	6,63
РЩ-2– Дробильная установка	ВА57-35	125	125	800	10	2,3	2,6	18,40	2,88
РУ-0,4 кВ – РЩ-3	ВА57-35	125	125	800	10	5,3	4,9	42,40	6,63
РЩ-3– Дробильная установка	ВА57-35	125	125	800	10	2	2,3	16,00	2,50
РУ-0,4 кВ – РЩ-4	ВА57-35	125	125	800	10	5,3	4,9	42,40	6,63
РЩ-4– Дробильная установка	ВА57-35	125	125	800	10	1,8	2,1	14,40	2,25
РУ-0,4 кВ – РЩ-5	ВА57-35	125	125	800	10	5,3	4,9	42,40	6,63
РЩ-5– Дробильная установка	ВА57-35	125	125	800	10	1,7	1,9	13,60	2,13
РУ-0,4 кВ – РЩ-6	ВА57-35	125	125	800	10	5,3	4,9	42,40	6,63
РЩ-6– Дробильная установка	ВА57-35	125	125	800	10	1,5	1,8	12,00	1,88
РУ-0,4 кВ – РЩ-7	ВА57-35	250	250	1000	10	5,3	4,9	21,20	5,30
РЩ-7–Кран-балка	ВА57-35	250	250	1000	10	4,1	4,3	16,40	4,10
РУ-0,4 кВ – РЩ-8	ВА57-35	100	100	800	10	5,3	4,9	53,00	6,63
РЩ-8–Тепловая завеса	ВА57-35	25	25	400	10	1,1	1,3	44,00	2,75
РЩ-8–Гильотинные ножницы	ВА57-35	50	50	500	10	1,1	1,3	22,00	2,20
РЩ-8–Пресс	ВА57-35	63	63	500	10	1,1	1,3	17,46	2,20
РЩ-8–Вентиляционная установка	ВА57-35	25	25	400	10	1,1	1,3	44,00	2,75
РУ-0,4 кВ – ЩО-1	ВА57-35	25	25	400	10	5,3	4,9	212,00	13,25
РУ-0,4 кВ – ЩАО-1	ВА57-35	25	25	400	10	5,3	4,9	212,00	13,25

Как видно по данным таблицы 15 – все автоматические выключатели отвечают требованиям проверки на отключающую способность и на чувствительность действия защит.

Выводы по разделу 2.

Наименее эффективными с точки зрения светоотдачи и срока службы являются лампы накаливания. Люминесцентные лампы превосходят по этим показателям лампы накаливания. Но уступают светодиодным светильникам

Для производственных помещений выбраны светодиодные светильники LC PLO 120, так как они не уступают по своим показателям конкурентам, но отличаются меньшей стоимостью. По такому же принципу выбраны светодиодные светильники ДПО-18W. Щиты освещения ЩО и ЩАО будут подключены к разным секциям шин.

После расчета нагрузок выполняется расчет компенсации реактивной мощности. По расчетному значению выбрано устройство УКРМ мощностью 45 квар «Энергозапад» и трансформаторы ТМГ мощностью 250 кВА.

По результатам расчета нагрузок выбраны два трансформатора ТМГ-250/6/0,4 кВ.

Для электроснабжения трансформаторной подстанции выбран кабель АСБ сечением 16 мм^2. Для питания потребителей трансформаторной подстанции выбран кабель пятижильный ВВГнг. Потери во всех кабельных линиях не превышают 10%.

Выбор и дальнейшая проверка коммутационных аппаратов осуществлены по результатам расчетов токов КЗ.

Выбранное оборудование удовлетворяет всем условиям проверок.

3 Автоматизация системы электроснабжения

3.1 Выбор АВР

Для повышения надежности системы электроснабжения – для обеспечения надежной работы аварийного освещения и системы вентиляции, а также другого технологического оборудования, предлагается установить АВР в РУ-0,4 кВ.

В данном случае выбран блок АВР серии OptiSave.

Схема подключения блока АВР в сеть OptiSave приведена на рисунке 7.

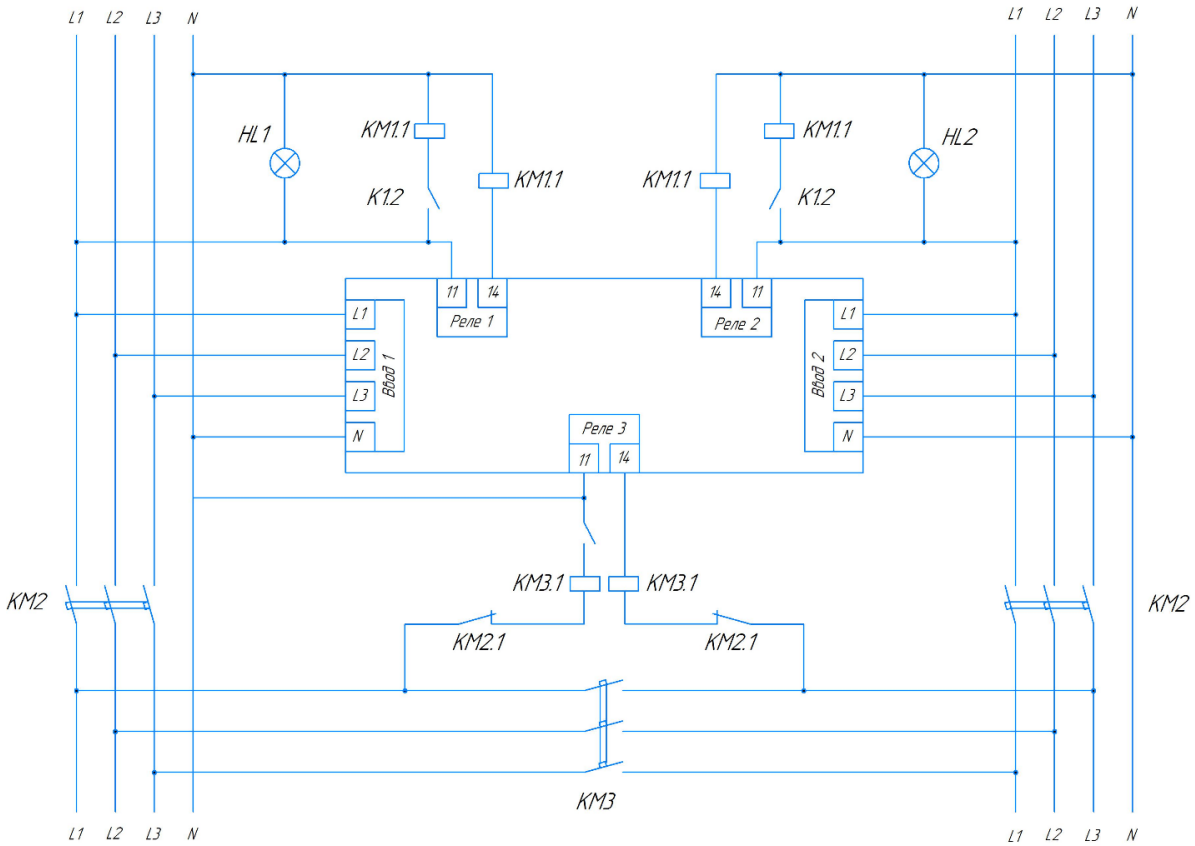

Рисунок 7 – Схема подключения блока АВР

Перечень условных обозначений на рисунке 7 приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Условные обозначения

Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечаний
HL1, HL2	Сигнальная лампа	2	Schneider Electric
К1-К3	Реле промежуточное	3	Schneider Electric
КМ1, КМ2	Контактор	2	Schneider Electric
КМ3	Контактор	1	Schneider Electric

«Блок автоматического ввода резерва OptiSave представляет собой устройство управления, предназначенное для автоматического переключения на резервную линию при неисправности или отключении рабочей линии» [28].

3.2 Выбор АСКУЭ

«АСКУЭ (автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии) представляет собой комплексное решение для сбора, обработки и передачи данных о потреблении электроэнергии. В состав такой системы входят различные уровни, каждый из которых выполняет определенные функции» [16].

«На первом уровне располагается измерительно-информационный комплекс точки учета (ИИК ТУ), который включает счетчики электроэнергии, измерительные трансформаторы тока и напряжения, а также вторичные измерительные цепи. ИИК ТУ осуществляет измерения параметров электропотребления, регистрацию событий, хранение данных и передачу информации в цифровом формате» [16].

В данном случае, функции первого уровня АСКУЭ будет выполнять программно-технический комплекс АСКУЭ Энергосбыт.

«На втором уровне находится информационно-вычислительный комплекс электроустановки (ИВКЭ), который включает устройства сбора и передачи данных (УСПД), а также каналообразующую аппаратуру. Этот уровень обеспечивает сбор и передачу информации от нескольких ИИК ТУ на третий уровень и обеспечивает сквозной доступ к данным» [16].

В данном случае, функции второго уровня АСКУЭ будет выполнять устройство сбора и передачи данных УСПД МИРТ-145.

«Третий уровень состоит из технических средств передачи данных, автоматизированных рабочих мест, системы обеспечения единого времени, программного обеспечения, серверов, локальных вычислительных сетей и средств информационной безопасности. На этом уровне осуществляется автоматический сбор данных, диагностика, подготовка отчетов и импорт-экспорт данных» [16].

В данном случае, функции третьего уровня АСКУЭ будут выполнять измерительные трансформаторы тока Т-0,66 500/5 и счётчики электроэнергии КВАНТ ST 2000-12.

«Устройства сбора и передачи данных предназначены для сбора и обработки данных об электропотреблении со счётчиков электроэнергии, формирования групповых измерений, поддержки связи с системами верхнего уровня, поддержания единого системного времени, ведения архивов заданной структуры и т.д. Данные со счётчиков КВАНТ ST 2000-12 (рисунок 8) поступают на УСПД МИРТ-145» [16].

Рисунок 8 – КВАНТ ST 2000-12

«Для передачи данных от УСПД МИРТ-145 (рисунок 9) на верхний уровень можно организовать два канала. Один основной с использованием выделенной телефонной линии и проводного модема, второй резервный с использованием сотовой связи и GSM - модема» [16].

Рисунок 9 – УСПД МИРТ-145

«Счётчики типа КВАНТ ST 2000-12 позволяют измерять активную и реактивную энергию, активную и реактивную мощность в двух направлениях, что имеет большое значение для технического учёта, имеют режим многотарифности, позволяют учитывать графики электрической нагрузки. Кроме того, счётчики КВАНТ ST 2000-12 работают в большем интервале температур и имеют продолжительный межповерочный интервал» [16].

Схема АСКУЭ приведена на рисунке 10.

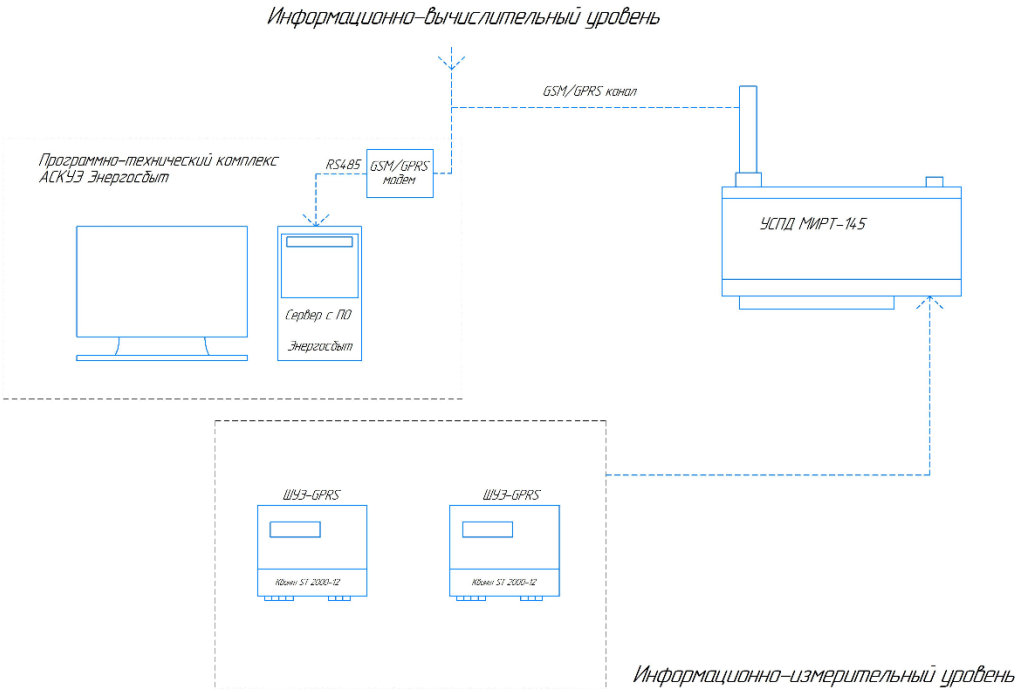

Рисунок 10 – Схема АСКУЭ

Таким образом, АСКУЭ обеспечивает надежный и эффективный контроль за энергопотреблением, позволяя оперативно получать и обрабатывать данные о расходе электроэнергии.

Выводы по разделу 3.

Для повышения надежности системы электроснабжения – для обеспечения надежной работы аварийного освещения и системы вентиляции, а также другого технологического оборудования, предлагается установить АВР серии OptiSave в РУ-0,4 кВ.

Для обеспечения надежного и эффективного контроля за энергопотреблением предлагается установить трехуровневую систему коммерческого учёта электроэнергии.

В данном случае, функции первого уровня АСКУЭ будет выполнять программно-технический комплекс АСКУЭ Энергосбыт, функции второго уровня АСКУЭ будет выполнять устройство сбора и передачи данных УСПД МИРТ-145, функции третьего уровня АСКУЭ будут выполнять измерительные трансформаторы тока Т-0,66 500/5 и счётчики электроэнергии КВАНТ ST 2000-12.

Заключение

При написании выпускной квалификационной работы разработан проект реконструкции системы электроснабжения дробильного цеха, включающий в себя элементы автоматизации.

Выпускная квалификационная работы разделена на три раздела.

В первом разделе приведена характеристика дробильного цеха.

В работе рассматривается дробильный цех обогатительной фабрики – специализированное производственное помещение, в котором осуществляется предварительная обработка рудных материалов для облегчения их дальнейшей переработки и извлечения ценных минералов.

Основная задача цеха – измельчение крупных кусков руды на более мелкие, приемлемые размеры, пригодные для последующих стадий переработки.

Основным электрооборудованием дробильного цеха является технологическое оборудование, а также система освещения. На данный момент в системе электроснабжения цеха установлены лампы накаливания и лампы ДРЛ. Питание осуществляется от трансформаторов ТМ 560 кВА. На вводах установлены выключатели масляные ВМГ-10/400.

По результатам анализа установлено, что недостатками системы электроснабжения дробильного цеха являются неэффективная система освещения, выполненная лампами ДРЛ, устаревшие силовые трансформаторы ТМ-560 кВА, а также масляные выключатели ВМГ-10/400.

Таким образом, для повышения эффективности системы электроснабжения дробильного цеха необходимо заменить вышеуказанное оборудование.

Для выбора оборудования требуется выполнить расчет электрических нагрузок и расчет токов короткого замыкания.

Во втором разделе выполнен выбор элементов системы электроснабжения дробильного цеха.

Наименее эффективными с точки зрения светоотдачи и срока службы являются лампы накаливания. Люминесцентные лампы превосходят по этим показателям лампы накаливания. Но уступают светодиодным светильникам

Для производственных помещений выбраны светодиодные светильники LC PLO 120, так как они не уступают по своим показателям конкурентам, но отличаются меньшей стоимостью. По такому же принципу выбраны светодиодные светильники ДПО-18W. Щиты освещения ЩО и ЩАО будут подключены к разным секциям шин.

После расчета нагрузок выполняется расчет компенсации реактивной мощности. По расчетному значению выбрано устройство УКРМ мощностью 45 квар «Энергозапад» и трансформаторы ТМГ мощностью 250 кВА.

По результатам расчета нагрузок выбраны два трансформатора ТМГ-250/6/0,4 кВ.

Для электроснабжения трансформаторной подстанции выбран кабель АСБ сечением 16 мм^2. Для питания потребителей трансформаторной подстанции выбран кабель пятижильный ВВГнг. Потери во всех кабельных линиях не превышают 10%.

Выбор и дальнейшая проверка коммутационных аппаратов осуществлены по результатам расчетов токов КЗ.

Для встроенной цеховой трансформаторной подстанции приняты шкафы высоковольтного ввода ШВВ-6 кВ, которые включают в себя выключатели нагрузки ВНА-10/630, а также предохранители ПКТ-103-6-100-31,5.

В РУ-0,4 кВ выбраны панели ЩО-01 – вводная, линейная и секционная. Каждый тип панели содержит определенный перечень оборудования.

Вводные панели ЩО-01 содержат разъединитель, автоматический выключатель, а также трансформатор тока.

Линейные панели содержат вводные выключатели.

Секционная, в данном случае, будет содержать блок АВР, выбор которого будет выполнен в следующем разделе.

Все автоматические выключатели отвечают требованиям проверки на отключающую способность и на чувствительность действия защит.

В третьей главе выполнен выбор систем автоматизации.

Для повышения надежности системы электроснабжения – для обеспечения надежной работы аварийного освещения и системы вентиляции, а также другого технологического оборудования, предлагается установить АВР серии OptiSave в РУ-0,4 кВ.

Для обеспечения надежного и эффективного контроля за энергопотреблением предлагается установить трехуровневую систему коммерческого учёта электроэнергии.

В данном случае, функции первого уровня АСКУЭ будет выполнять программно-технический комплекс АСКУЭ Энергосбыт, функции второго уровня АСКУЭ будет выполнять устройство сбора и передачи данных УСПД МИРТ-145, функции третьего уровня АСКУЭ будут выполнять измерительные трансформаторы тока Т-0,66 500/5 и счётчики электроэнергии КВАНТ ST 2000-12.

Список используемых источников

1. Бондарев В. А, Семенов А.С. Оценка основных факторов энергосбережения // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5. С. 228-229.

2. Бочаров В.В. Комплексный финансовый анализ. М.: СПб: Питер, 2015. 432 с.

3. ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности – М.: Стандартинформ. 2014.

4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ. 2014.

5. Крючков И. П., Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы. М.: МЭИ, 2015. 544с.

6. Кудрин Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 416 с.

7. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. Новосибирск: Норматика, 2023. 464 с.

8. Регулируемые УКРМ–40–0,4 кВ «Энергозапад» мощностью 40 кВар: URL: http://energozapad.ru/kondensatornaya-ustanovka-ukrm-04-na-40-kvar (дата обращения: 05.10.2024).

9. Регулируемые УКРМ завода «Энергопуск» мощностью 40 кВар: URL: https://epusk.ru/catalog/ukm_58/kondensatornaya_ustanovka_ukm58_krm_0_4_40_10_u3/ (дата обращения: 05.10.2024).

10. Приказ Министерства энергетики РФ от 23 июня 2015 г. N 380 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной

мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии».

11. Светильник «Feron 120W»: URL: https://feron.ru/catalog/svetilniki_konsolnye_svetodiodnye/svetodiodnyy_ulichnyy_konsolnyy_svetilnik_feron_sp3050_120w_5000k_230v_seryy/ (дата обращения: 05.10.2024).

12. Светодиодный светильник марки «Wolta STL-120»: URL: https://www.wolta.ru/product/ulichnoe-osveshchenie/svetilniki-konsolnye-stl-03/ulichnyy-svetilnik-wolta-stl-120w03-120vt-5700k-ip65/ (дата обращения: 05.10.2024).

13. Светодиодный светильник «LC PLO1 20»: URL: https://led-swetilnik.ru/catalog/ulichnye_svetilniki_standard/ulichnyy_svetodiodnyy_svetilnik_lc_plo_120_vt_cons/index.htm (дата обращения: 05.10.2024).

14. Светодиодные светильники для бытовых помещений «FERON 18W» : URL: https://feron.ru/catalog (дата обращения: 05.10.2024).

15. Торговый каталог компании «Самарский Трансформатор». »: URL: https://samtrans.nt-rt.ru (дата обращения 5.10.2024 г.).

16. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.

17. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

18. Указания по расчету электрических нагрузок [Текст]: РТМ 36.18.32.4-92: утв. РАО ЕЭС России, 30.07.1992: ввод в действие с 01.01.1993. М.: ЭНАС, 2003. 25 с.

19. УКРМ регулируемые производства «Dacond»: URL: https://dacond.ru/catalog/avtomaticheskie-kondensatornye-ustanovki/aukrm-400v-40kvar-10-u3/ (дата обращения: 05.10.2024).

20. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные

законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс]: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/ (дата обращения: 05.10.2024).

21. Федоров А. А. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. М.: Энергия, 2020. 345.

22. Фролов Е. В. Проблемы управления процессами энергосбережения на предприятии. М.: Промышленность. 2018. 321 с.

23. Халивин С.Л., Шайдарова Е.И. Электроснабжение отрасли: учебно-справочное пособие. Норильский индустр. ин-т. Норильск: НИИ, 2011. 110 с.

24. Шевченко Н.Ю., Бахтиаров К.Н. Проектирование системы электроснабжения цеха: учеб. пособие по выполнению курсового проекта. Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2015. 104 с.

25. Шеховцов В.П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов. М.: Форум, 2024. 158 с.

26. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. М.: НИЦ ИНФРА–М, 2024. 214 с.

27. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению, М.: НИЦ ИНФРА–М, 2017. 136 с.

28. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование. М.: НИЦ ИНФРА–М, 2024. 407 с.