

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 завода по производству удобрений

Обучающийся

Н.В. Бучинская
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Г. Сорокин

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

Тольятти 2024

Аннотация

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы выполнен расчет и проектирование системы электроснабжения группы цехов основного производства калийного комбината. Представлена краткая характеристика и классификация удобрений, а также описаны основные виды минеральных удобрений.

Для выполнения проекта электроснабжения на первом этапе выполнено описание и анализ калийного комбината и технологии производства минеральных удобрений. На основании этого выполнена группировка потребителей и цехов предприятия по категории надежности электроснабжения потребителей, а также выполнен расчет ожидаемых электрических нагрузок.

Выполнен выбор основного оборудования системы электроснабжения предприятия по производству минеральных удобрений – группы цехов основного производства калийного комбината, а также выполнен расчет токов короткого замыкания, для проверки соответствия выбранного оборудования.

Пояснительная записка выполнена на 71 листе формата А4, содержит 7 рисунков и 24 таблицы. Список используемых источников содержит 20 наименований. Графическая часть выпускной квалификационной работы выполнена на 6 листах формата А1 и отражает основные результаты, полученные в рамках выполнения выпускной квалификационной работы.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика объекта выпускной квалификационной работы	7
2 Расчет электрических нагрузок	11
2.1 Расчет электрических нагрузок ремонтно-механического цеха.....	11
2.2 Расчет электрических нагрузок объекта ВКР	30
3 Проектирование внутризаводской распределительной сети	37
3.1 Картограмма нагрузок и определение мест размещения цеховых трансформаторных подстанций	37
3.2 Компенсация реактивной мощности во внутризаводской распределительной сети	41
3.3 Выбор трансформаторов внутризаводской системы электроснабжения	45
3.4 Выбор кабельных линий для питания распределительного пункта	50
4 Расчет токов короткого замыкания и проверка выбранного оборудования .	55
4.1 Схема замещения для расчета токов короткого замыкания	55
4.2 Расчет токов короткого замыкания	60
4.3 Проверка оборудования на стойкость токам короткого замыкания	62
Заключение	65
Список используемой литературы.....	69

Введение

Производство удобрений является важной производственной отраслью для развития сельскохозяйственного сектора в России и мире. Учитывая динамику роста населения Земли, где по оценке ООН [12] к 2050 году население возрастет до 9,7 млрд. чел., примерно на 2 млрд. человек по сравнению с текущим числом жителей Земли. Развитие эффективности сельскохозяйственного сектора является важной задачей.

На сегодняшний день можно выделить две основные группы удобрений. К первой группе относятся минеральные удобрения, а ко второй группе органические удобрения. Обе группы удобрений имеют широкий спектр применения в сельскохозяйственном секторе.

Удобрения второй группы, т.е. органические удобрения, могут иметь растительное или животное происхождение, но в целом, органические удобрения получаются в результате процесса жизнедеятельности живых организмов. С другой стороны, первая группа – минеральные удобрения, производятся на химических предприятиях с использованием специализированного оборудования и технологии.

Химическая промышленность является высокотехнологичной и энергоемкой отраслью народного хозяйства России и мира. Химическая промышленность в целом занимается производством продукции путем переработки углеводородов, различных минералов и другого сырья.

Технология производства минеральных удобрений различается в зависимости от исходного сырья, в качестве которого могут быть использованы:

- воздух;
- природный газ;
- фосфоритная руда;
- калийная руда.

В результате переработки исходного сырья могут быть получены следующие минеральные удобрения – таблица 1.

Таблица 1 - Виды минеральных удобрений

Тип минерального удобрения	Основное наименование минерального удобрения	Дополнительное наименование удобрения
Азотные	аммиачная селитра	нитрат аммония
	карбамид	мочевина
	карбамидно-аммиачная смесь	UAN
Фосфорные	суперфосфаты	SSP
	диамонийфосфат	DAP
	тройной суперфосфат	TSP
	моноаммонийфосфат	MAP
	динатрийфосфат	DSP
Калийные	хлорид калия	MOP
	нитрат калия	KN
	сульфат калия	SOP

В рамках выпускной квалификационной работы выполнен проект электроснабжения группы цехов основного производства калийного комбината, выполняющих производство калийных минеральных удобрений – хлорид калия (MOP).

Исходя из этого объектом выпускной квалификационной работы является группа цехов основного производства калийного комбината.

Предметом выпускной квалификационной работы является система электроснабжения группы цехов основного производства калийного комбината.

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы необходимо достичь цели: спроектировать систему электроснабжения группы цехов основного производства калийного комбината.

Для достижения поставленной в рамках выпускной квалификационной работы цели требуется решение следующих задач:

- провести анализ технологического процесса основного производства калийного комбината и определить цеха, относящиеся к объекту выпускной квалификационной работы;

- выполнить расчет электрических нагрузок группы цехов основного производства калийного комбината;
- выбрать оборудование системы электроснабжения;
- выполнить расчет токов короткого замыкания и проверить выбранное оборудование на стойкость к полученным значениям токов короткого замыкания.

При выполнении выпускной квалификационной работы необходимо использовать только отечественное электротехническое и высоковольтное оборудование.

Выбор оборудования и расчет параметров системы электроснабжения необходимо выполнять на основании требований нормативной документации и правил устройства электроустановок [17], а также с опорой на публикации в научных изданиях.

1 Характеристика объекта выпускной квалификационной работы

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы на тему электроснабжения предприятия по производству удобрений рассматривается вопрос разработки системы электроснабжения группы цехов основного производства калийного комбината, занимающегося выпуском минеральных удобрений – калийных удобрений.

Для производства минерального калийного удобрения на объекте ВКР – калийном комбинате, в качестве исходного сырья используется сильвинит – осадочная горная порода, состоящая из чередующихся слоев галита и сильвина, а также некоторых примесей. Сильвинит является базовым сырьем для получения хлорида калия, используемого как калийное удобрение [3].

Объект ВКР расположен в Пермском крае. Расположение объекта ВКР связано с наличием в Пермском крае крупного месторождения – Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей [6]. Добыча на месторождении ведется закрытым способом. Добыча и переработка осуществляется в одном регионе.

Для региона размещения объекта ВКР – умеренно континентальный.

Генеральный план объекта с указанием цехов основного производства калийного комбината представлен на рисунке 1.

Общая площадь территории занимаемой группой цехов основного производства калийного комбината составляет 1168998,4 м².

Основное производство калийного комбината включает в себя цеха, представленные в таблице 2.

Таблица 2 - Состав объекта ВКР

Номер по плану	Наименование цеха	Площадь цеха, м ²	Число этажей
1	Цех дробления	11704	7
2	Сушильно-фильтровальный цех	11280	5
3	Главный корпус сильвинитовой обогатительной фабрики	64680	6
4	Отделение грануляции	60628	7
5	Ремонтно-механический цех	1872	1

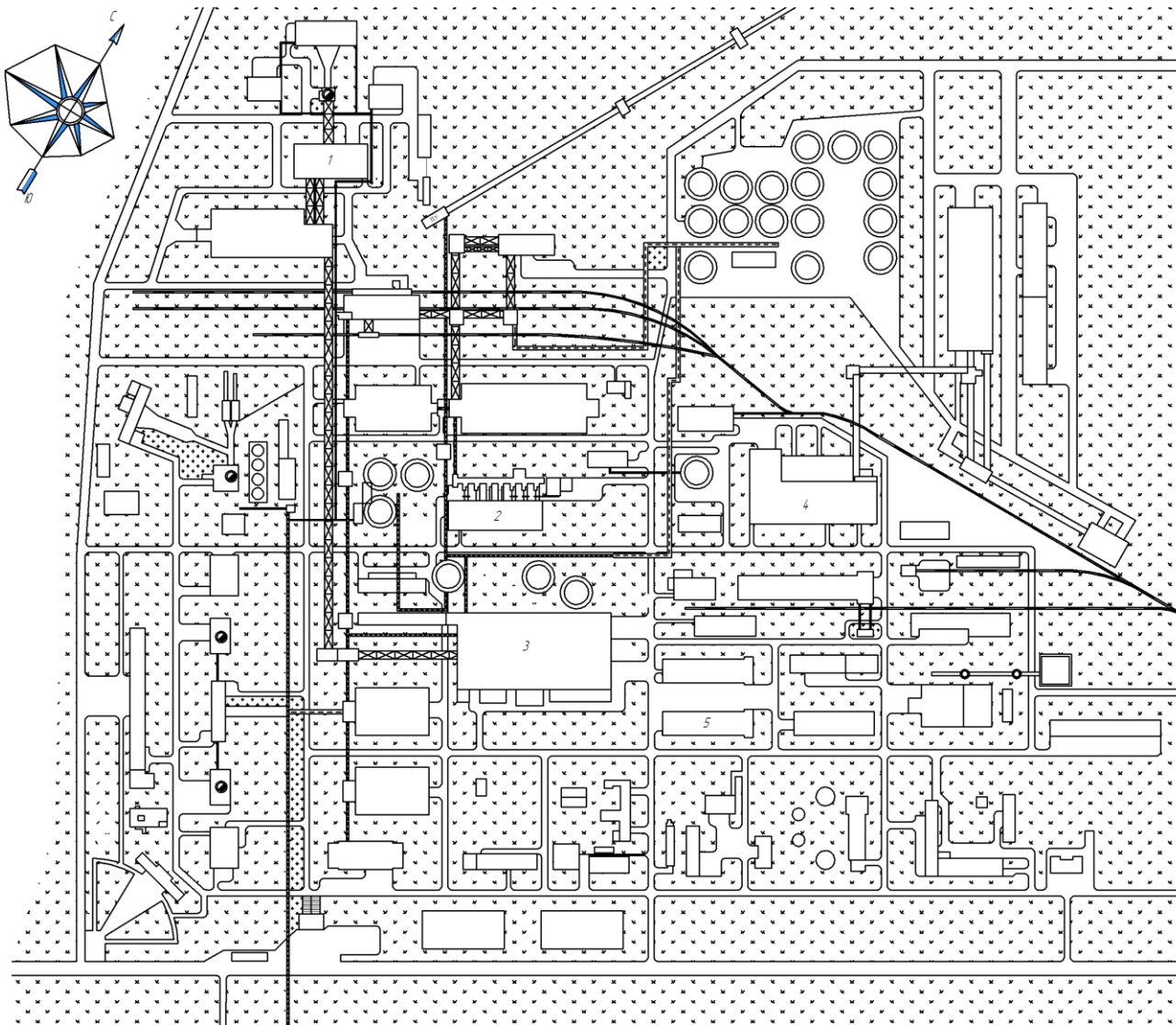


Рисунок 1 - Генеральный план основного производства калийного комбината

Объект выпускной квалификационной работы является частью калийного комбината, в состав которого, помимо основного производства, входят шахты для добычи исходного сырья, транспортные пути и объекты, обеспечивающие доставку сырья на основное производство и отправку готовой продукции потребителям.

На территории калийного комбината расположена главная понизительная подстанция (ГПП), которая обеспечивает питание всех потребителей калийного комбината и рассчитана на питание потребителей основного производства калийного комбината. На ГПП калийного комбината установлено два силовых трансформатора марки ТРДН с мощностью 40 МВА каждый с напряжением обмоток 110/10 кВ. Таким образом установленная мощность ГПП калийного комбината составляет 80 МВА. Питание основного производства калийного комбината запланировано от существующей ГПП, поэтому номинальное напряжение внутризаводской распределительной сети принято на уровне $U_{\text{ном.сети}} = 10$ кВ.

Технологический процесс, реализуемый на объекте ВКР представлен на рисунке 2 [16].

Ремонтно-механический цех (позиция 5 рисунок 1) не относится к цехам основного производства и является вспомогательным в технологическом процессе объекта выпускной квалификационной работы. Он обеспечивает непрерывное и безаварийное функционирование цехов основного производства калийного комбината.

По территории объекта ВКР проложены железнодорожные пути, обеспечивающие возможность перевозки продукции предприятия, а также присутствует конвейерный транспорт, осуществляющий транспортировку галитовых отходов.

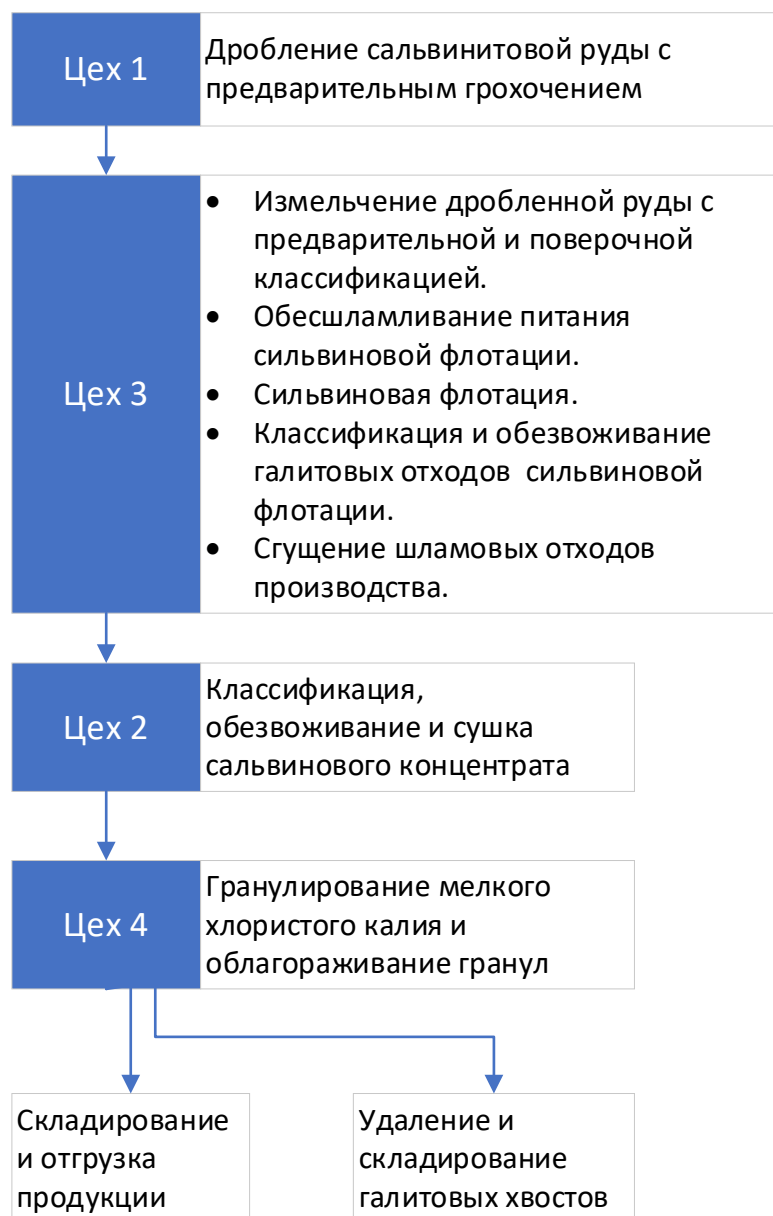


Рисунок 2 - Технологический процесс производства калийного удобрения на объекте ВКР

Вывод по разделу.

Определен регион расположения объекта ВКР – Пермский край. Установлено, что добыча сырья для производства калийных удобрений на объекте ВКР происходит на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей. Представлен генеральный план основного производства калийного комбината. Площадь территории, занимаемая объектов ВКР, составляет 1168998,4 м². Представлено краткое описание технологического процесса производства калийных минеральных удобрений на объекте ВКР.

2 Расчет электрических нагрузок

Для выбора оборудования системы электроснабжения группы основных цехов калийного комбината необходимо выполнить расчет электрических нагрузок. Подробный расчет электрических нагрузок выполняется для вспомогательного цеха – ремонтно-механического цеха. Расчет нагрузок для объекта ВКР выполнен по удельной мощности.

2.1 Расчет электрических нагрузок ремонтно-механического цеха

Ремонтно-механический цех является вспомогательным цехом для группы цехов основного производства калийного комбината. В условиях производства калийных минеральных удобрений ремонтно-механический цех обеспечивает функционирование основного технологического процесса за счет производства нестандартных запасных деталей технологического оборудования, а также проводит его ремонт и обслуживание. В ремонтно-механическом цехе калийного комбината представлено оборудование необходимое для выполнения всех задач. Список оборудования ремонтно-механического цеха представлен в таблице 3, расположение оборудования и план ремонтно-механического цеха основного производства калийного комбината представлено на рисунке 3.

Для расчета электрических нагрузок ремонтно-механического цеха представим методику расчета и подробный расчет для одного из электроприемников. Для каждого из электроприемников необходимо определить значения расчетной активной, реактивной и полной мощностей, а также значение расчетного тока. Эти значения необходимы для выбора оборудования системы электроснабжения ремонтно-механического цеха.

Таблица 3 - Параметры технологического оборудования ремонтно-механического цеха

Номер оборудования на плане цеха	Наименование оборудования	Параметры привода оборудования			Параметры оборудования	
		Типоразмер электродвигателя	Мощность, кВт	КПД, %	K_{η}	$\cos\phi$
5	Токарно-винторезный	АИР160S4	15	89,5	0,14	0,5
		АИР132М4	11	87,5		
15-23,28,29,38, 39, 47	Токарно-винторезный	АИР132S4	7,5	87,5	0,14	0,5
40,41,60,61	Токарно-винторезный	АИР132М4	11,0	87,5	0,14	0,5
1,14,46,62	Настольно-сверлильный	АИР80А4	1,1	75	0,14	0,5
37	Радиально-сверлильный	АИР100S4	3,0	82	0,14	0,5
11,34,35,42	Вертикально-фрезерный	АИР100S4	3,0	82	0,14	0,5
30-33	Горизонтально-фрезерный	АИР100S4	3,0	82	0,14	0,5
36	Продольно-фрезерный	АИР132М4	11,0	87,5	0,17	0,65
58	Универсально-заточной	АИР112М4	5,5	87,5	0,14	0,5
25	Долбежный	АИР132S4	7,5	87,5	0,14	0,5
27	Долбежный	АИР112М4	5,5	87,5	0,14	0,5
13	Долбежный	АИР100L4	4,0	85	0,14	0,5
57	Алмазно-заточной	АИР80В4	1,5	78	0,14	0,5
44,45	Зубо-фрезерный	АИР100S4	3,0	82	0,17	0,65
43	Зубострогальный	АИР100S4	3,0	82	0,14	0,5
2	Пресс гидравлический	АИР160S4	15,0	89,5	0,17	0,65
54	Внутришлифовальный	АИР80В4	1,5	78	0,35	0,65
53	Зубо-закругляющий	АИР112М4	5,5	87,5	0,35	0,65
49,50	Кругло-шлифовальный	АИР112М4	5,5	87,5	0,35	0,65
48	Вертикально-сверлильный	АИР112М4	5,5	87,5	0,35	0,65
51,52	Плоскошлифовальный	АИР100L4	4,0	85	0,35	0,65
4,7,8	Отрезной	АИР100L4	4,0	85	0,35	0,65
3,6	Горизонтально-расточной	АИР132М4	11	87,5	0,17	0,65
		АИР112М4	5,5	87,5		
		АИР80В4	1,5	78		

Продолжение таблицы 3

Номер оборудования на плане цеха	Наименование оборудования	Параметры привода оборудования			Параметры оборудования	
		Типоразмер электродвигателя	Мощность, кВт	КПД, %	ки	cosφ
10	Карусельно-шлифовальный	АИР132М4	11	87,5	0,2	0,65
		АИР112М4	5,54	87,5		
56	Заточной для пил	АИР112М4	5,5	87,5	0,14	0,5
12,55,59	Точильно-шлифовальный	АИР80В4	1,5	78	0,35	0,65
24,26	Поперчно-строгальный	АИР100L4	4,0	85	0,17	0,65
63	Электрический мостовой кран	МТКФ211-6	7,5	74	0,35	0,5
		МТКФ112-6	3,5	67		
		МТКФ112-6	3,5	67		
9	Прессножницы	АИР100L4	4,0	85	0,14	0,5

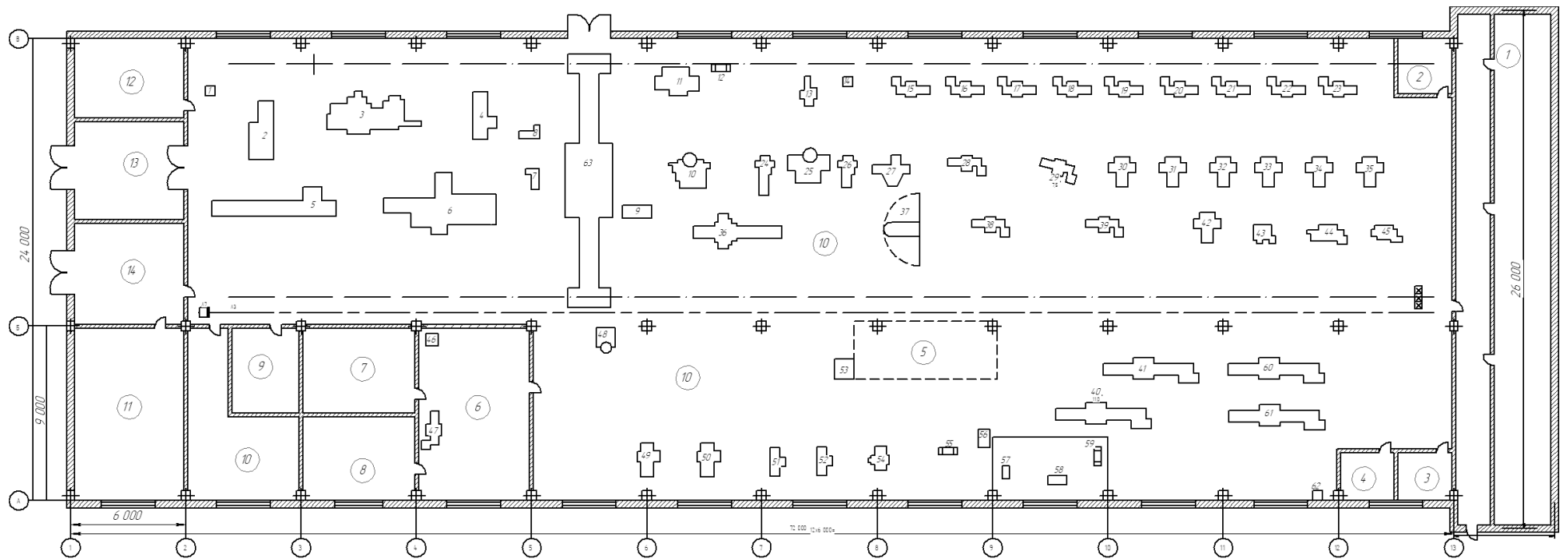


Рисунок 3 - План ремонтно-механического цеха основного производства калийного комбината с расположением технологического оборудования

Экспликация помещений ремонтно-механического цеха основного производства калийного комбината согласно рисунку 3 представлена в таблице 4.

Таблица 4 - Экспликация помещений ремонтно-механического цеха

Номер помещения на плане ремонтно-механического цеха	Наименование помещения
1	Бытовые помещения
2	Кабинет выдачи нарядов
3,7	Кладовая механика
4	Кабинет начальника участка
5	Склад готовых изделий
6	Мастерская
8	Комната мастеров
9	Склад
10	Отдел технического контроля
11	Отдел технологов
12	Помещение электрощитовой
13, 14	Тамбур
15	Помещение основного производства

Расчет мощности каждого вида технологического оборудования выполняется по данным таблицы 3 используя выражение:

$$P_{\text{ном}} = \sum_{i=1}^n p_{\text{ном}.i} \quad (1)$$

где n – количество электродвигателей входящих в технологическое оборудование, шт;

$p_{\text{ном}.i}$ – номинальная мощность i -го электродвигателя входящего в технологическое оборудование, принимается согласно таблице 3, кВт.

По выражению (1) выполним расчет для токарно-винторезного станка (позиция 5 рисунок 3):

$$P_{\text{ном.5}} = 15 + 11 = 26 \text{ (кВт)}$$

Эффективное число электроприемников для технологического оборудования ремонтно-механического цеха определяется по выражению:

$$n_{\text{э}} = \frac{P_{\text{ном}}^2}{\sum_{i=1}^n p_{\text{ном.}i}^2} \quad (2)$$

где $P_{\text{ном}}$ – расчетное значение номинальной мощности технологического оборудования, определяемое выражением (1), кВт;

n – количество электродвигателей входящих в технологическое оборудование, шт.;

$p_{\text{ном.}i}$ – номинальная мощность i -го электродвигателя входящего в технологическое оборудование, принимается согласно таблице 3, кВт.

По выражению (2) выполним расчет для токарно-винторезного станка (позиция 5 рисунок 3):

$$n_{\text{э.5}} = \frac{26^2}{15^2 + 11^2} = 1,95$$

Для токарно-винторезного станка (позиция 5 рисунок 3) принимаем эффективное число электроприемников $n_{\text{э.5}} = 2$. Учитывая значение эффективного числа электроприемников для токарно-винторезного станка, а также данные таблицы 3: коэффициент использования $K_{\text{и}} = 0,14$, по [20] определим значение расчетного коэффициента нагрузки $K_{\text{р}}$. Для токарно-винторезного станка (позиция 5 рисунок 3) $K_{\text{р}} = 4,33$.

Используя расчетный коэффициент нагрузки, а также значение коэффициента активной мощности ($\cos \varphi$) из таблицы 3 расчетная активная мощность технологического оборудования определяется по выражению:

$$P_{\text{расч}} = K_{\text{и}} \cdot K_{\text{р}} \cdot P_{\text{ном}} \quad (3)$$

где $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования технологического оборудования, заданный в таблице 3;

$K_{\text{р}}$ – справочное значение расчетного коэффициента нагрузки определяемое по [20];

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность технологического оборудования, определяемая по данным таблицы 3 и выражению (1), кВт.

Для токарно-винторезного станка (позиция 5 рисунок 3) по выражению (3) получим:

$$P_{\text{расч.5}} = 0,14 \cdot 4,33 \cdot 26 = 15,76 \text{ (кВт)}$$

Для каждого технологического оборудования на этапе расчета электрических нагрузок необходимо также определить расчетное значение реактивной мощности. Расчетная реактивная мощность при эффективном числе электроприемников $n_{\text{э}} \leq 10$ определяется по выражению:

$$Q_{\text{расч}} = 1,1 \cdot K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg } \varphi \quad (4)$$

где $K_{\text{и}}$ - коэффициент использования технологического оборудования, заданный в таблице 3;

$P_{\text{ном}}$ – расчетное значение номинальной мощности технологического оборудования, определяемое выражением (1), кВт;

$\text{tg } \varphi$ – коэффициент реактивной мощности, определяемый по значению $\cos \varphi$ из таблицы 3.

При эффективном числе электроприемников $n_{\text{э}} > 10$ расчетная реактивная мощность определяется по выражению:

$$Q_{\text{расч}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg } \varphi \quad (5)$$

Так как для токарно-винторезного станка эффективное число электроприемников $n_{э,5} = 2$, то для определения расчетной реактивной мощности используем выражение (4).

По (4) для токарно-винторезного станка (позиция 5 рисунок 3) с учетом коэффициента активной мощности $\cos \varphi = 0,5$ получим:

$$Q_{\text{расч.5}} = 1,1 \cdot 0,14 \cdot 26 \cdot \sqrt{3} = 6,94 \text{ (квар)}$$

Значение полной расчетной мощности для технологического оборудования определяется по выражению:

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{P_{\text{расч}}^2 + Q_{\text{расч}}^2} \quad (6)$$

По (6) для токарно-винторезного станка (позиция 5 рисунок 3):

$$S_{\text{расч.5}} = \sqrt{15,76^2 + 6,94^2} = 17,22 \text{ (кВА)}$$

Расчетный ток для каждого вида технологического оборудования определяется по выражению:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (7)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение подключения технологического оборудования, кВ.

Для токарно-винторезного станка (позиция 5 рисунок 3) по (7) получим:

$$I_{\text{расч.5}} = \frac{17,22}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 26,16 \text{ (A)} \quad (8)$$

Для каждого вида технологического оборудования расчеты выполняются аналогично, результаты расчета сведем в таблицу 5.

Кроме технологического оборудования для ремонтно-механического цеха основного производства калийного комбината необходимо выполнить расчет системы освещения с выбором типа и числа светильников. Для расчета системы освещения воспользуемся программой DIALuxEvo [18]. Данная программа распространяется свободно и может быть использована в проектировании. Программа DIALuxEvo позволяет загружать планы зданий и выполнять расчет освещения с учетом требований освещенности для каждого помещения, а также типом выбранных светильников. В программе DIALuxEvo для расчета освещения используются стандартные файлы светильников типа IES, которые доступны для скачивания на официальных сайтах крупных производителей светотехнического оборудования. Для ремонтно-механического цеха воспользуемся светильниками производителя ООО «Световые технологии» [13], так как каталоги этого производителя содержат подробную информацию по каждому типу выпускаемого светотехнического оборудования. Для помещения основного производства (позиция 15 таблица 4) высота потолка $H_{\text{О.П.}} = 8,4$ (м), для всех остальных помещений ремонтно-механического цеха высота потолка $H_{\text{П}} = 4,2$ (м). Используем план помещений ремонтно-механического цеха в формате DWG для загрузки в DIALuxEvo.

Результаты расчета освещения по плану ремонтно-механического цеха представлены на рисунке 4.

Таблица 5 - Расчет электрической мощности технологического оборудования

Номер на плане	Наименование оборудования	Параметры привода оборудования		Параметры оборудования			Расчетные значения для одного приемника						
		Типоразмер электродвигателя	$P_{ном.л},$ кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$n,$ шт.	$P_{ном},$ кВт	$n_{э},$ шт.	K_p	$P_{расч},$ кВт	$Q_{расч},$ квар	$S_{расч},$ кВА	$I_{расч},$ А
5	Токарно-винторезный	АИР160S4	15	0,14	0,5	1	26	2	4,33	15,76	6,94	17,22	26,16
		АИР132M4	11										
15-23, 28, 29, 38, 39, 47	Токарно-винторезный	АИР132S4	7,5	0,14	0,5	14	7,5	1	5,33	5,6	2	5,95	9,04
40, 41, 60, 61	Токарно-винторезный	АИР132M4	11	0,14	0,5	4	11	1	5,33	8,21	2,93	8,72	13,25
1, 14, 46, 62	Настольно-сверлильный	АИР80A4	1,1	0,14	0,5	4	1,1	1	5,33	0,82	0,29	0,87	1,32
37	Радиально-сверлильный	АИР100S4	3	0,14	0,5	1	3	1	5,33	2,24	0,8	2,38	3,62
11, 34, 35, 42	Вертикально-фрезерный	АИР100S4	3	0,14	0,5	4	3	1	5,33	2,24	0,8	2,38	3,62
30-33	Горизонтально-фрезерный	АИР100S4	3	0,14	0,5	4	3	1	5,33	2,24	0,8	2,38	3,62
36	Продольно-фрезерный	АИР132M4	11	0,17	0,65	1	11	1	5,1	9,54	2,4	9,84	14,95
58	Универсально-заточной	АИР112M4	5,5	0,14	0,5	1	5,5	1	5,33	4,1	1,47	4,36	6,62
25	Долбежный	АИР132S4	7,5	0,14	0,5	1	7,5	1	5,33	5,6	2	5,95	9,04
27	Долбежный	АИР112M4	5,5	0,14	0,5	1	5,5	1	5,33	4,1	1,47	4,36	6,62
13	Долбежный	АИР100L4	4	0,14	0,5	1	4	1	5,33	2,98	1,07	3,17	4,82
57	Алмазно-заточной	АИР80B4	1,5	0,14	0,5	1	1,5	1	5,33	1,12	0,4	1,19	1,81
44, 45	Зубо-фрезерный	АИР100S4	3	0,17	0,65	2	3	1	5,1	2,6	0,66	2,68	4,07
43	Зубострогальный	АИР100S4	3	0,14	0,5	1	3	1	5,33	2,24	0,8	2,38	3,62
2	Пресс гидравлический	АИР160S4	15	0,17	0,65	1	15	1	5,1	13,01	3,28	13,42	20,39
54	Внутришлифовальный	АИР80B4	1,5	0,35	0,65	1	1,5	1	2,5	1,31	0,68	1,48	2,25

Продолжение таблицы 5

Номер на плане	Наименование оборудования	Параметры привода оборудования		Параметры оборудования			Расчетные значения для одного приемника						
		Типоразмер электродвигателя	$P_{ном.л},$ кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$n,$ шт.	$P_{ном},$ кВт	$n_{э},$ шт.	K_p	$P_{расч},$ кВт	$Q_{расч},$ квар	$S_{расч},$ кВА	$I_{расч},$ А
53	Зубо-закругляющий	АИР112М4	5,5	0,35	0,65	1	5,5	1	2,5	4,81	2,48	5,41	8,22
49, 5	Кругло-шлифовальный	АИР112М4	5,5	0,35	0,65	2	5,5	1	2,5	4,81	2,48	5,41	8,22
48	Вертикально-сверлильный	АИР112М4	5,5	0,35	0,65	1	5,5	1	2,5	4,81	2,48	5,41	8,22
51, 52	Плоскошлифовальный	АИР100Л4	4	0,35	0,65	2	4	1	2,5	3,5	1,8	3,94	5,99
4, 7, 8	Отрезной	АИР100Л4	4	0,35	0,65	3	4	1	2,5	3,5	1,8	3,94	5,99
3, 6	Горизонтально-расточной	АИР132М4	11	0,17	0,65	2	11	1	5,1	9,54	2,4	9,84	14,95
10	Карусельно-шлифовальный	АИР132М4	11	0,2	0,65	1	16,54	2	4	13,23	4,25	13,9	21,12
		АИР112М4	5,54										
56	Станок заточной для пил	АИР112М4	5,5	0,14	0,5	1	5,5	1	5,33	4,1	1,47	4,36	6,62
12, 55, 59	Точильно-шлифовальный	АИР80В4	1,5	0,35	0,65	3	1,5	1	2,5	1,31	0,68	1,48	2,25
24, 26	Поперчно-строгальный	АИР100Л4	4	0,17	0,65	2	4	1	5,1	3,47	0,87	3,58	5,44
63	Электрический мостовой кран	МТКФ211-6	7,5	0,35	0,5	63	14,5	2,6	2,5	12,69	9,67	15,95	24,23
		МТКФ112-6	3,5										
		МТКФ112-6	3,5										
9	Прессножницы	АИР100Л4	4	0,14	0,5	9	4	1	5,33	2,98	1,07	3,17	4,82

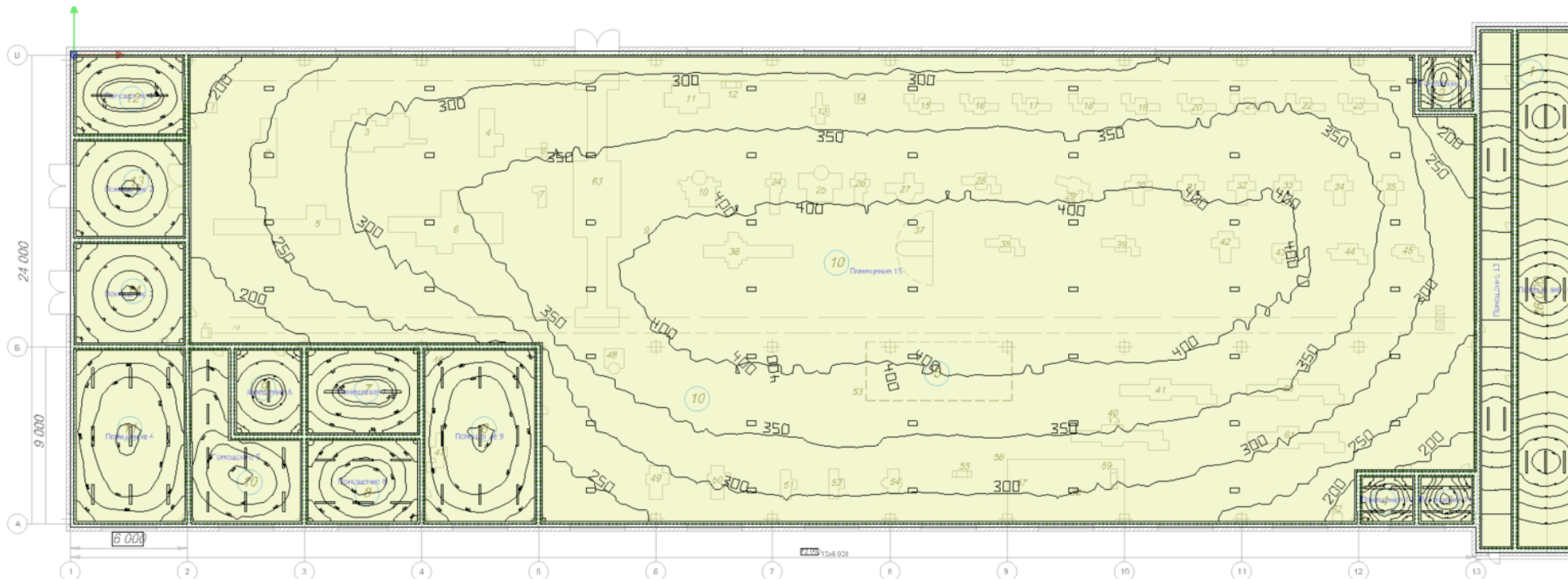


Рисунок 4 - Результаты расчета освещения в помещениях ремонтно-механического цеха в программе DIALuxEvo

Для системы освещения ремонтно-механического цеха использованы светодиодные светильники. Для помещения основного производства использован светодиодный светильник марки HB LED 100 D140, для бытовых помещений использован светильник марки SLICK STANDART 1200 4000K, для всех остальных помещений SIMPLE EVO (1200) 40W OPL 850 WH. Параметры использованных светильников представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Параметры выбранных светильников

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра		
		HB LED 100 D140 5000 G3	SLICK STANDART 1200 4000K	SIMPLE EVO (1200) 40W OPL 850 WH
Краткое наименование	-	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Мощность	Вт	94	32	40
Напряжение питания	В	230	230	230
Световой поток	Лм	14800	3900	5100
Световая отдача	Лм/Вт	157	122	128
Цветовая температура	К	4000	4000	5000
Индекс цветопередачи	CRI	>80	>80	>80
Коэффициент мощности	-	>0,96	>0,96	>0,96
Максимальное сечение подключаемого проводника	мм ²	2,5	2,5	2,5

Расчетные и нормируемые значения освещенности для системы освещения ремонтно-механического цеха представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Результаты расчета освещенности

Наименование помещения	Нормируемая освещенность, лк	Расчетные значения освещенности, лк			Число	Тип
		E_{max}	E_{cp}	E_{min}		
Бытовые помещения	150	325	175	60	9	Тип 2
Кабинет выдачи нарядов	300	552	496	432	4	Тип 3

Продолжение таблицы 7

Наименование помещения	Нормируемая освещенность, лк	Расчетные значения освещенности, лк			Число	Тип
		E_{max}	E_{cp}	E_{min}		
Кладовая механика 1	300	579	514	452	4	Тип 3
Кабинет начальника участка	300	572	515	439	4	Тип 3
Мастерская	300	454	375	243	18	Тип 3
Комната мастеров	300	495	409	289	6	Тип 3
Кладовая механика 2	75	189	148	96	2	Тип 3
Склад	75	139	106	71,5	1	Тип 3
Отдел технического контроля	300	505	391	206	8	Тип 3
Отдел технологов	300	249	377	457	9	Тип 3
Помещение электрощитовой	150	189	154	105	2	Тип 3
Тамбур 1	75	123	73,8	38,7	1	Тип 3
Тамбур 2	75	123	75	38,7	1	Тип 3
Помещение основного производства	300	160	337	431	49	Тип 1

Для разработки системы электроснабжения ремонтно-механического цеха основного производства калийного комбината необходимо выполнить группировку всего технологического оборудования и определить тип распределительной схемы питания.

Анализ расположения технологического оборудования ремонтно-механического цеха основного производства калийного комбината показал, что рационально использовать радиальный тип распределительной сети.

Для питания технологического оборудования ремонтно-механического цеха примем распределительный шинопровод, который монтируется вдоль помещения основного производства на высоте 3 м от уровня пола. Для подключения технологического оборудования используем провода, которые прокладываются в пластмассовых трубах.

Сгруппируем основное технологическое оборудование ремонтно-механического цеха для расчета нагрузок и выбора типа и марки распределительных шинопроводов. Результаты группировки технологического оборудования сведем в таблицу 8.

Таблица 8 - Группировка технологического оборудования

№ группы	Номера технологического оборудования входящего в группу	Число электродвигателей, входящих в группу
1	1-8	13
2	9-39,42-45	36
3	46-51	6
4	52-59	8
5	40,41,60,61,62	4

Расчет мощности для групп технологического оборудования выполним по методике представленной в [20].

Номинальная мощность группы технологического оборудования определяется по выражению:

$$P_{\text{ном.г}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} \quad (9)$$

где n – количество технологического оборудования, отнесенное к группе по данным таблицы 8, шт.;

$P_{\text{ном.}i}$ – номинальная мощность i -го технологического оборудования, определенное по выражению (1) в таблице 5, кВт.

Расчетная активная мощность группы технологических электроприемников определяется по выражению:

$$P_{\text{расч.г}} = K_{\text{р.г}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} \cdot K_{\text{и.}i} \quad (10)$$

где $K_{p.g}$ – групповой коэффициент расчетной нагрузки, определяется по [20];

n – количество технологического оборудования входящего в группу электроприемников, шт;

$P_{ном.i}$ – номинальная мощность i -го технологического оборудования, определенное по выражению (1) в таблице 5, кВт;

$K_{и.i}$ – коэффициент использования i -го технологического оборудования, заданный в таблице 3.

Для определения группового расчетного коэффициента ($K_{p.g}$) необходимо определить расчетные значения группового коэффициента использования, а также эффективное число электроприемников в группе.

Групповой коэффициент использования определяется по выражению:

$$K_{и.g} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ном.i} \cdot K_{и.i}}{\sum_{i=1}^n P_{ном.i}} \quad (11)$$

Эффективное число электроприемников для группы определяется по выражению:

$$n_{э.g} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{ном.i})^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном.i}^2} \quad (12)$$

Определение расчетной реактивной мощности для группы технологического оборудования используется в зависимости от полученного значения эффективного числа электроприемников в группе.

При $n_{э.g} \leq 10$ групповая реактивная мощность определяется по выражению:

$$Q_{\text{расч.г}} = 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n K_{\text{и.и}} \cdot P_{\text{ном.и}} \cdot \text{tg } \varphi_i \quad (13)$$

где $K_{\text{и.и}}$ - коэффициент использования i -го технологического оборудования, заданный в таблице 3;

$P_{\text{ном.и}}$ - расчетное значение номинальной мощности i -го технологического оборудования, определяемое выражением (1), кВт;

$\text{tg } \varphi_i$ - коэффициент реактивной мощности i -го технологического оборудования, определяемый по значению $\cos \varphi$ из таблицы 3.

При $n_{\text{э.г}} > 10$ групповая реактивная мощность определяется по выражению:

$$Q_{\text{расч.г}} = 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n K_{\text{и.и}} \cdot P_{\text{ном.и}} \cdot \text{tg } \varphi_i \quad (14)$$

Расчетная полная мощность для группы электроприемников определяется по выражению:

$$S_{\text{расч.г}} = \sqrt{P_{\text{расч.г}}^2 + Q_{\text{расч.г}}^2} \quad (15)$$

Расчетный ток группы технологического оборудования определяется по выражению:

$$I_{\text{расч.г}} = \frac{S_{\text{расч.г}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (16)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение подключения технологического оборудования, принимается $U_{\text{ном}} = 0,38$ (кВ).

По выражениям (9) - (16) выполним расчеты в таблице 9.

Таблица 9 - Расчет мощности групп технологического оборудования

№ группы	$P_{\text{ном.г}},$ кВт	$K_{\text{и.г}}$	$n_{\text{э.г}}$	$K_{\text{р.г}}$	$P_{\text{расч.г}},$ кВт	$Q_{\text{расч.г}},$ квар	$S_{\text{расч.г}},$ кВА	$I_{\text{расч.г}},$ А
1	90,1	0,166	8	1,72	25,68	23,78	35,0	53,2
2	223,6	0,125	31	1,36	38,16	44,9	58,9	89,5
3	29,1	0,29	5	1,39	11,65	11,45	16,33	24,81
4	26,5	0,25	6	1,45	9,64	9,58	13,59	20,65
5	45,1	0,14	4	2,52	14,2	12,03	18,61	28,28
6	14,5	0,35	2	2,22	11,27	16,47	19,95	30,32
Итого	439,1	0,166	56	0,65	47,03	61,87	77,7	118,07

Поданным таблицы определим расчетную мощности системы освещения используя выражение:

$$P_{\text{расч.осв.}i} = K_c \cdot \sum_{j=1}^n P_{\text{ном.}j} \quad (17)$$

где K_c – справочное значение коэффициента спроса для системы освещения. Для производственных зданий принимается $K_c = 1$;

n – число установок освещения в i -м помещении, шт;

$P_{\text{ном.}j}$ – мощность j -й установки освещения в i -м помещении, кВт.

Реактивная мощность системы освещения определится по выражению:

$$Q_{\text{расч.осв.}i} = P_{\text{расч.осв.}i} \cdot \text{tg } \varphi \quad (18)$$

Полная мощность системы освещения определится аналогично выражения (15). Расчет сведем в таблицу 10.

Таблица 10 - Расчет мощности системы освещения

Наименование помещения	$n,$ шт.	$P_{\text{ном.}j},$ кВт	$\text{tg } \varphi$	$P_{\text{расч.осв.}i},$ кВт	$Q_{\text{расч.осв.}i},$ квар	$S_{\text{расч.осв.}i},$ кВА
Бытовые помещения	9	0,032	0,29	0,29	0,08	0,3
Кладовая механика 1	4	0,04	0,29	0,16	0,05	0,17
Кабинет начальника участка	4	0,04	0,29	0,16	0,05	0,17
Мастерская	18	0,04	0,29	0,72	0,21	0,75

Продолжение таблицы 10

Наименование помещения	<i>n</i> , шт.	$P_{\text{ном.}j}$, кВт	$\text{tg } \varphi$	$P_{\text{расч.осв.}i}$, кВт	$Q_{\text{расч.осв.}i}$, квар	$S_{\text{расч.осв.}i}$, кВА	
Комната мастеров	6	0,04	0,29	0,24	0,07	0,25	
Кладовая механика 2	2	0,04	0,29	0,08	0,02	0,08	
Склад	1	0,04	0,29	0,04	0,01	0,04	
Отдел технического контроля	8	0,04	0,29	0,32	0,09	0,33	
Отдел технологов	9	0,04	0,29	0,36	0,1	0,37	
Помещение электрощитовой	2	0,04	0,29	0,08	0,02	0,08	
Тамбур 1	1	0,04	0,29	0,04	0,01	0,04	
Тамбур 2	1	0,04	0,29	0,04	0,01	0,04	
Помещение основного производства	49	0,094	0,29	4,61	1,34	4,8	
$P_{\text{расч.осв.}\Sigma}$, кВт				7,14	-	-	
					$Q_{\text{расч.осв.}\Sigma}$, квар	2,06	-
						$S_{\text{расч.осв.}\Sigma}$, кВА	7,42

Определим общее значение расчетных мощностей ремонтно-механического цеха с учетом технологического оборудования и установок освещения.

Расчетная активная мощность ремонтно-механического цеха:

$$P_{\text{расч.РМЦ}} = P_{\text{расч.осв.}\Sigma} + P_{\text{расч.г.}\Sigma} = 7,14 + 47,03 = 54,17 \text{ (кВт)}$$

Расчетная реактивная мощность ремонтно-механического цеха:

$$Q_{\text{расч.РМЦ}} = Q_{\text{расч.осв.}\Sigma} + Q_{\text{расч.г.}\Sigma} = 2,06 + 67,87 = 69,93 \text{ (квар)}$$

Расчетная полная мощность ремонтно-механического цеха:

$$S_{\text{расч.РМЦ}} = S_{\text{расч.осв.}\Sigma} + S_{\text{расч.г.}\Sigma} = 7,42 + 77,7 = 85,12 \text{ (кВА)}$$

Полученные результаты используются для определения расчетной мощности всего калийного комбината.

2.2 Расчет электрических нагрузок объекта ВКР

В рамках раздела выполнен расчет мощности, потребляемой всеми цехами основного производства калийного комбината. Исходные данные для укрупненного расчета мощности основного производства калийного комбината представлены в таблице 11 без учета ремонтно-механического цеха, расчетные значения для которого были определены ранее.

Расчет нагрузок по цехам основного производства калийного комбината выполняется по методике, представленной выражениями (9) - (16). Выполним расчет для сушильно-фильтровального цеха.

Коэффициент использования для цеха определим по выражению (11) с учетом данных таблицы 11:

$$K_{и.сфц} = \frac{1300 \cdot 0,75 + 1100 \cdot 0,35 + 760 \cdot 0,35 + 990 \cdot 0,8 + 260 \cdot 0,2}{1300 + 1100 + 760 + 990 + 260},$$
$$K_{и.сфц} = 0,56$$

Эффективное число электроприемников при большом числе потребителей согласно [20] определяется по выражению:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}\Sigma}}{P_{\text{max}}} \quad (19)$$

Для сушильно-фильтровального цеха с учетом данных таблицы 11 по выражению (19) получим:

$$n_{\text{э.сфц}} = \frac{2 \cdot (1300 + 1100 + 760 + 990 + 260)}{30} = 294$$

Таблица 11 - Исходные данные для расчета мощности основного производства калийного комбината

Наименование цеха	Наименование оборудования	Параметры оборудования				
		$P_{уст}$, кВт	P_{max} кВт	$P_{ном.Σ}$, кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$
Цех дробления	Дробилки	1765	20	350	0,9	0,8
	Конвейеры			600	0,4	0,5
	Краны			300	0,3	0,9
	Вентиляционное			350	0,65	0,8
Сушильно-фильтровальный цех	Вакуум-фильтры	4410	30	1300	0,75	0,65
	Гидроциклоны			1100	0,35	0,5
	Конвейеры			760	0,65	0,65
	Вентиляционное			990	0,8	0,8
	Вспомогательное			260	0,2	0,8
Главный корпус сильвинитовой обогатительной фабрики	Мельницы	5880	100	4000	0,8	0,8
	Краны			200	0,1	0,5
	Насосы			400	0,1	0,5
	Вентиляционное			600	0,65	0,8
	Вспомогательное			80	0,14	0,8
Отделение грануляции	Гидрофобизаторы-пылеподаватели	2450	100	1500	0,9	0,8
	Вальц-прессы			500	0,1	0,5
	Конвейера			350	0,65	0,65
	Насосы			50	0,85	0,75
	Вспомогательное			50	0,14	0,7

С учетом полученного значения $n_{э.сфц} = 294$ и значению $K_{и.сфц} = 0,56$ по [20] определим значение расчетного коэффициента нагрузки $K_{р.сфц} = 0,76$.

Дополним данные таблицы 11 значениями расчетных коэффициентов мощности (K_p) определенным по [20], эффективным числом электроприемников ($n_э$) рассчитанному по (19), а также значениями коэффициентов использования ($K_{и}$) рассчитанному по (11) для всех цехов основного производства калийного комбината, все данные сведем в таблицу 12.

Далее необходимо выполнить расчет нагрузки систем освещения всех производственных цехов основного производства калийного комбината. Расчет мощности систем освещения выполним методом удельной мощности скорректированным в [9] относительно использования светодиодных светильников. Согласно [9] примем для всех цехов основного производства калийного комбината значения удельной мощности системы освещения $p_{уд.LED} = 2,2$ (Вт/м²), коэффициент запаса $K_{зап.LED} = 1,08$ и коэффициент неравномерности $K_{н.р.LED} = 1,05$. Мощность системы освещения определим по выражению:

$$P_{осв.i} = p_{уд.LED} \cdot S_i \quad (20)$$

где S_i – площадь i -го цеха основного производства калийного комбината, определено в таблице 2, м².

Для сушильно-фильтровального цеха по выражению (20) с учетом данных таблицы 2 получим:

$$P_{осв.сфц} = 2,2 \cdot 11280 = 24816 \text{ (Вт)}$$

Далее определим расчетные значения реактивной и полной мощностей.

Таблица 12 - Определение расчетных коэффициентов нагрузки основного производства калийного комбината

Наименование оборудования	Параметры оборудования					Расчетные и справочные значения				
	$P_{уст}$, кВт	P_{max} кВт	$P_{ном.Σ}$, кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$K_{и} \cdot P_{ном.Σ}$	$\Sigma K_{и} \cdot P_{ном.Σ}$	$n_{э}$	$K_{и}$	$K_{р}$
Цех дробления										
Дробилки	1765	20	350	0,9	0,8	315	872,5	160	0,55	0,78
Конвейеры			600	0,4	0,5	240				
Краны			300	0,3	0,9	90				
Вентиляционное			350	0,65	0,8	227,5				
Сушильно-фильтровальный цех										
Вакуум-фильтры	4410	30	1300	0,75	0,65	975	2698	294	0,61	0,76
Гидроциклоны			1100	0,35	0,5	385				
Конвейеры			760	0,65	0,65	494				
Вентиляционное			990	0,8	0,8	792				
Вспомогательное			260	0,2	0,8	52				
Главный корпус сильвинитовой обогатительной фабрики										
Мельницы	5880	100	4000	0,8	0,8	3200	3661,2	105,6	0,37	0,7
Краны			200	0,1	0,5	20				
Насосы			400	0,1	0,5	40				
Вентиляционное			600	0,65	0,8	390				
Вспомогательное			80	0,14	0,8	11,2				
Отделение грануляции										
Гидрофобизаторы-пылеподаватели	2450	100	1500	0,9	0,8	1350	1677	49	0,7	0,85
Вальц-прессы			500	0,1	0,5	50				
Конвейера			350	0,65	0,65	227,5				
Насосы			50	0,85	0,75	42,5				
Вспомогательное			50	0,14	0,7	7				

Реактивная мощность системы освещения сушильно-фильтровального цеха определим по выражению (18):

$$Q_{\text{расч.осв.СФЦ}} = 24816 \cdot 0,29 = 7164,64 \text{ (вар)}$$

Полная мощность системы освещения сушильно-фильтровального цеха определим по выражению (15):

$$S_{\text{расч.осв.СФЦ}} = \sqrt{24,816^2 + 7,164^2} = 25,83 \text{ (кВА)}$$

Для остальных цехов основного производства калийного комбината расчет мощности системы освещения выполним аналогично расчету для сушильно-фильтровального цеха, результаты расчета сведем в таблицу 13.

Таблица 13 - Расчет мощности освещения цехов

Наименование цеха	Площадь цеха, м ²	$p_{\text{уд.LED}}$, Вт/м ²	$P_{\text{осв.}i}$, кВт	$Q_{\text{осв.}i}$, квар	$S_{\text{осв.}i}$, кВА
Цех дробления	11704	2,2	25,75	7,47	26,81
Сушильно-фильтровальный цех	11280		24,82	7,2	25,84
Главный корпус сильвинитовой обогатительной фабрики	64680		142,3	41,27	148,16
Отделение грануляции	60628		133,38	38,68	138,88

С учетом данных таблицы 13 определим расчетные значения полной ($S_{\text{расч}}$) полученные по выражению (15), активной ($P_{\text{расч}}$) полученной по выражению (10) и реактивной ($Q_{\text{расч}}$) по выражениям (13) и (14) мощностей для каждого цеха основного производства калийного комбината. Определение расчетных мощностей выполним в таблице 14, которую дополним расчетными значениями тока ($I_{\text{расч}}$) по выражению (16).

Таблица 14 - Результаты расчета электрических нагрузок основного производства калийного комбината

Параметры	Расчетные значения нагрузок										
	Система освещения			Силовая нагрузка				Суммарная нагрузка			
	$P_{\text{осв.}}$	$Q_{\text{осв.}}$	$S_{\text{осв.}}$	$P_{\text{расч}}$	$\cos \varphi$	$Q_{\text{расч}}$	$S_{\text{расч}}$	$P_{\text{расч}\Sigma}$	$Q_{\text{расч}\Sigma}$	$S_{\text{расч}\Sigma}$	$I_{\text{расч}}$
Единицы измерения	кВт	квар	кВА	кВт	-	квар	кВА	кВт	квар	кВА	А
Цех дробления	25,75	7,47	26,81	663,1	0,75	584,8	884,1338	688,85	592,27	910,94	1384
Сушильно-фильтровальный цех	24,82	7,2	25,84	2050,48	0,68	2210,94	3015,414	2075,3	2218,14	3041,25	4620,7
Главный корпус сильвинитовой обогатительной фабрики	142,3	41,27	148,16	2782,512	0,68	3000,25	4091,98	2924,81	3041,52	4240,14	6442,2
Отделение грануляции	133,38	38,68	138,88	1274,52	0,68	1374,26	1874,298	1407,9	1412,94	2013,18	3058,7
Ремонтно-механический цех	7,14	2,06	7,42	47,03	-	67,87	77,7	54,17	69,93	85,12	129,3
Итого								7151,03	7334,8	10290,63	15635

Выводы по разделу.

Результатом выполнения раздела являются определенные значения суммарных нагрузок по всем цехам предприятия, которые суммируются в таблице 14 по всем цехам основного производства калийного комбината с учетом расчетных значений силовых нагрузок и нагрузок системы освещения. Полученные значения расчетных нагрузок необходимы для выполнения последующих этапов проектирования системы электроснабжения основного производства калийного комбината, а именно, для выбора трансформаторов подстанций распределительной сети, а также выбора силовых трансформаторов главной понизительной подстанции основного производства калийного комбината.

Выполнен подробный расчет электрических нагрузок ремонтно-механического цеха основного производства калийного комбината. Электрические нагрузки рассчитаны с учетом условий и режимов работы основного технологического оборудования ремонтно-механического цеха и спроектированной системы освещения помещений цеха. Получены значения активной $P_{\text{расч.РМЦ}} = 54,17$ (кВт) реактивной $Q_{\text{расч.РМЦ}} = 69,93$ (квар) и полной $S_{\text{расч.РМЦ}} = 85,12$ (кВА). Для системы освещения ремонтно-механического цеха использованы светодиодные светильники. Для помещения основного производства использован светодиодный светильник марки HB LED 100 D140 – 49 шт., для бытовых помещений использован светильник марки SLICK STANDART 1200 4000K – 9 шт., для всех остальных помещений SIMPLE EVO (1200) 40W OPL 850 WH – 24 шт. Выполнен расчет мощности всех цехов основного производства калийного комбината. Получены значения активной $P_{\text{расч.ОПКК}} = 7151,03$ (кВт) реактивной $Q_{\text{расч.ОПКК}} = 7334,8$ (квар) и полной $S_{\text{расч.ОПКК}} = 10290,63$ (кВА) мощностей.

3 Проектирование внутриводской распределительной сети

В рамках раздела выполнен расчет картограммы электрических нагрузок основного производства калийного комбината с определением мест размещения цеховых трансформаторных подстанций. Также проведен расчет установок компенсации реактивной мощности для цеховых трансформаторных подстанций основного производства калийного комбината. Выбрано число и мощность распределительных трансформаторов для цеховых трансформаторных подстанций, а также выбраны кабельные линии для питания цехов основного производства калийного комбината от цеховых трансформаторных подстанций, а также от ГПП калийного комбината до распределительного пункта (РП) основного производства размещенного в расчетном центра электрических нагрузок. Выбраны кабели для питания трансформаторных подстанций от РП и питания РП от ГПП калийного комбината.

3.1 Картограмма нагрузок и определение мест размещения цеховых трансформаторных подстанций

Оптимальным местом размещения главной понизительной подстанции является центр электрических нагрузок (ЦЭН). Координаты ЦЭН определяются по выражениям:

$$x_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i}} \quad (21)$$

$$y_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i}} \quad (22)$$

где n – количество цехов основного производства калийного комбината, шт.;

x_i – координаты i -го цеха основного производства калийного комбината по оси абсцисс, м;

y_i – координаты i -го цеха основного производства калийного комбината по оси ординат, м.

Радиусы окружностей для построения картограммы нагрузок, для каждого цеха основного производства калийного комбината определяются по выражению:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{\text{расч.}\Sigma.i}}{\pi \cdot m}} \quad (23)$$

где m – масштаб для определения площади круга. Принимаем в расчетах $m = 2$ кВт/мм².

Также на картограмме электрических нагрузок отражается доля нагрузки системы освещения. Для определения сегмента круга отражающего нагрузку системы освещения используется выражение:

$$\alpha_{\text{осв.}i} = \frac{P_{\text{осв.}i}}{P_{\text{расч.}\Sigma.i}} \quad (24)$$

где $P_{\text{осв.}i}$ – расчетное значение мощности системы освещения i -го цеха основного производства калийного комбината, определенное в таблице 14, кВт;

$P_{\text{расч.}\Sigma.i}$ – суммарная расчетная мощность i -го цеха основного производства калийного комбината, определенное в таблице 14, кВт.

Используя генеральный план основного производства калийного комбината (рисунок 1) определим координаты x_i и y_i всех цехов основного производства калийного комбината и занесем их в расчетную таблицу 15. Также для определения координат ЦЭН и построения картограммы нагрузок

выполним последовательный расчет ЦЭН по выражениям (21) - (23) в таблице 15.

По значениям таблицы 15 расчетные значения координат центра электрических нагрузок $x_{ЦЭН} = 273,5$ (мм), $y_{ЦЭН} = 256,431$ (мм).

Таблица 15 - Расчет картограммы нагрузок для определения ЦЭН

i	x_i , мм	y_i , мм	$P_{расч.i}$, кВт	$P_{расч.i} \cdot x_i$	$P_{расч.i} \cdot y_i$	r_i , мм	$\alpha_{осв.i}$, °
1	160,46	444,092	688,85	110532,871	305912,7742	10,47061997	25,75
2	240,86	265,65	2075,3	499856,758	551303,445	18,17399938	24,82
3	263,25	198,05	2924,81	769956,2325	579258,6205	21,57540195	142,3
4	395,34	275,99	1407,9	556599,186	388566,321	14,96910967	133,38
5	348,41	160,7	54,17	18873,3697	8705,119	2,936226025	7,14
$\sum_{i=1}^n P_{расч.i}$, кВт			7151,03	-	-	-	-
$\sum_{i=1}^5 P_{расч.i} \cdot x_i$, кВт·мм				1955818,417	-	-	-
$\sum_{i=1}^n P_{расч.i} \cdot y_i$, кВт·мм					1833746,28	-	-

Также для проектирования внутризаводской распределительной сети необходимо определить места размещения и количество трансформаторных подстанций. При этом необходимо стараться использовать в проектируемой внутризаводской системе электроснабжения трансформаторы одинаковых мощностей.

Так как ремонтно-механический цех основного производства калийного комбината имеет сравнительно низкую мощность с остальными цехами, то примем решение запитать его от соседнего цеха - главного корпуса сильвинитовой обогатительной фабрики.

Число трансформаторных подстанций питания цехов основного производства калийного комбината определим по выражению:

$$n_{ТП.i} = \frac{S_{расч.Σ.i}}{n_{тр.i} \cdot K_{заг.р} \cdot S_{тр.ном.i}} \quad (25)$$

где $S_{расч.Σ.i}$ – полная расчетная мощность i -го цеха, кВА;

$K_{заг.р}$ – коэффициент загрузки, принимаем $K_{заг.р} = 0,7$;

$S_{тр.ном}$ – номинальная мощность трансформатора, принимается согласно [4], кВА.

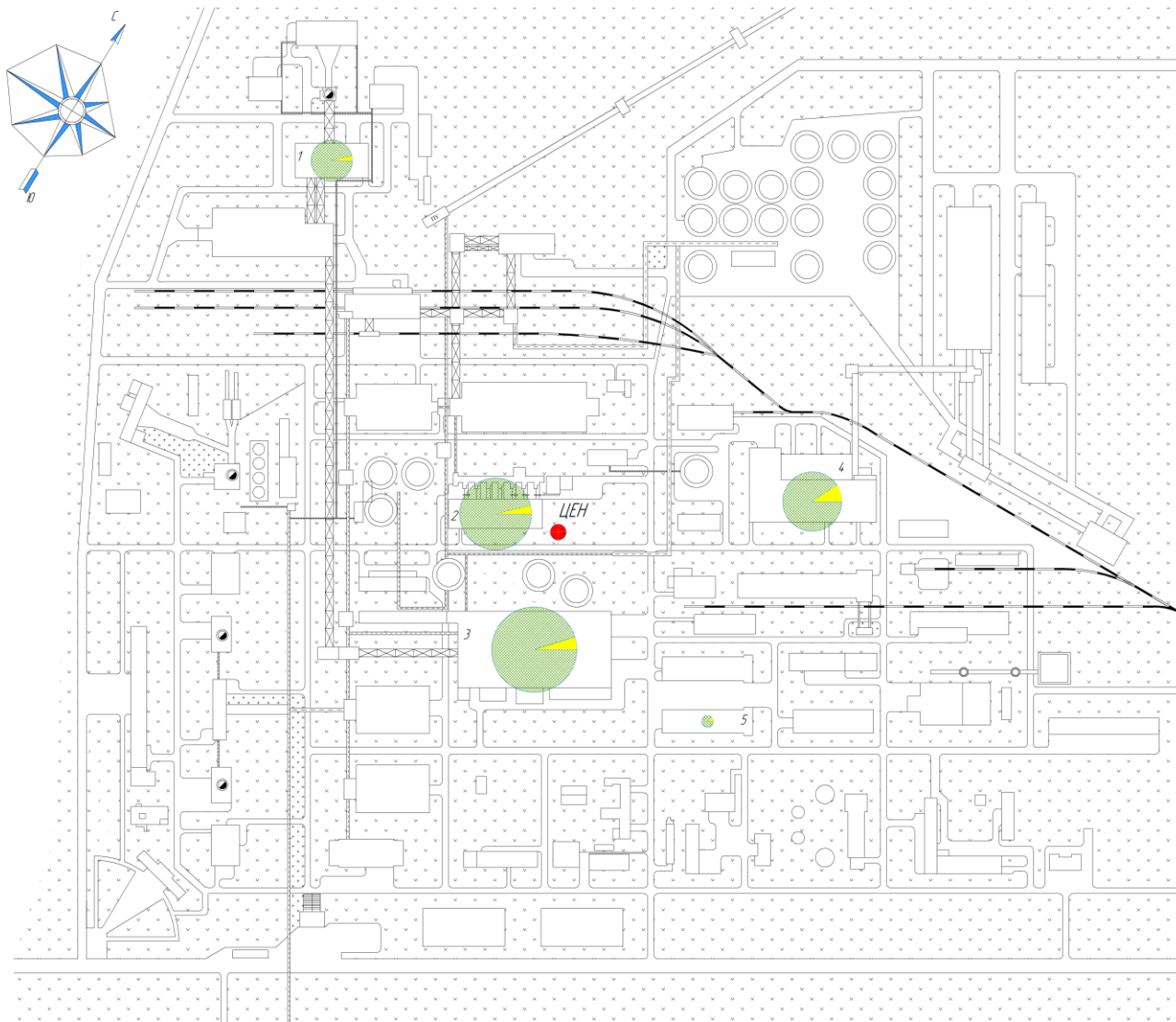


Рисунок 5 - Картограмма нагрузок основного производства калийного комбината

По выражению (25) округляя полученное значение до ближайшего большего заполним таблицу 16.

Таблица 16 - Определение числа ТП

Наименование цеха	Расчетные значения			
	$S_{\text{расч.}\Sigma.i},$ кВА	Номер ТП	$S_{\text{тр.ном}},$ кВА	$n_{\text{ТП}.i},$ шт
Цех дробления	910,94	ТП 1	1000	1
Сушильно-фильтровальный цех	3041,25	ТП 2	1600	2
Отделение грануляции	2013,18	ТП 4	1600	1
Ремонтно-механический цех	85,12	ТП 3	1600	2
Главный корпус сальвинитовой обогатительной фабрики	4240,14			
Всего трансформаторных подстанций, шт.				6

Предварительно примем трансформаторы с мощностью согласно таблице 16. Марки и число трансформаторов уточним после расчета необходимости компенсации реактивной мощности и уточнения мощности распределительных трансформаторов.

Выполнен расчет картограммы нагрузок основного производства калийного комбината и определен центр электрических нагрузок. В центре электрических нагрузок расположен распределительный пункт, обеспечивающий питание трансформаторных подстанций.

3.2 Компенсация реактивной мощности во внутризаводской распределительной сети

Для снижения перетоков мощности во внутризаводской распределительной сети, а также для снижения единичной мощности трансформаторов цеховых подстанций необходимо рассмотреть необходимость компенсации реактивной мощности. С учетом расчетных значений мощностей для цехов основного производства калийного комбината полученных во втором разделе ВКР необходимо выбрать мощность и количество установок компенсации реактивной мощности.

Выбранные установки компенсации реактивной мощности (УКРМ) размещаются на стороне 0,38 кВ трансформаторных подстанций внутризаводской распределительной сети. Такое размещение УКРМ позволит снизить не только мощность распределительных трансформаторов, сечение кабельных линий, но и снизить мощность силовых трансформаторов главной понизительной подстанции.

Расчетное значение мощности конденсаторной установки для внутризаводской системы электроснабжения определяется по выражению:

$$Q_{\text{КР,расч.}i} = P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot (\text{tg}(\varphi_i) - \text{tg}(\varphi_{\text{КР}})) \quad (26)$$

где $P_{\text{расч.}\Sigma}$ – расчетное значение активной мощности i -го цеха, определенное в таблице 14, кВт;

$\text{tg}(\varphi_i)$ – коэффициент реактивной мощности i -го цеха, определяемый по значению $\overline{\cos \varphi}$, для каждого цеха в таблице 14;

$\text{tg}(\varphi_{\text{КР}})$ – коэффициент реактивной мощности с учетом использования установки компенсации реактивной мощности принимается $\text{tg}(\varphi_{\text{КР}}) = 0,2$.

По (26) для главного корпуса сальвинитовой обогатительной фабрики с питанием ремонтно-механического цеха получим:

$$Q_{\text{КР,расч.ГКС-РМЦ}} = (2924,81 + 54,17) \cdot (1,07 - 0,20) = 2616,3 \text{ (квар)}$$

По полученному значению $Q_{\text{КР,расч.ГКС-РМЦ}} = 2616,3$ (квар) выберем мощность установки компенсации реактивной мощности (УКРМ) [10]. Так как для сушильно-фильтровального цеха с питанием ремонтно-механического цеха предварительно в таблице 16 определено две двухтрансформаторных подстанции, то примем четыре УКРМ типа АУКРМ-0,4-700-25 УЗ [10].

С учетом выбранных установок проверим значение коэффициента реактивной мощности для проектируемой внутризаводской распределительной сети основного производства калийного комбината:

$$\operatorname{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} = \operatorname{tg}(\varphi) - \frac{n_{\text{КУ}} \cdot Q_{\text{КУ}}}{P_{\text{расч.}\Sigma.\text{ГКС-РМЦ}}} \quad (27)$$

По (27) для главного корпуса ситльвинитовой обогатительной фабрики с питанием ремонтно-механического цеха получим:

$$\operatorname{tg}(\varphi)_{\text{факт}} = 1,07 - \frac{4 \cdot 700}{(2924,81 + 54,17)} = 0,13$$

Полученное значение $\operatorname{tg}(\varphi)_{\text{факт}} = 0,13$ удовлетворяет условию выбора мощности УКРМ – не превышает значение $\operatorname{tg}(\varphi) = 0,2$.

Для всех остальных цехов основного производства калийного комбината расчет выполним аналогично расчету установок УКРМ для главного корпуса ситльвинитовой обогатительной фабрики с питанием ремонтно-механического цеха. Результаты расчета для всех цехов основного производства калийного комбината сведем в таблицу 17.

Таблица 17 - Выбор установок компенсации реактивной мощности

Наименование цеха	Расчетные значения						Тип УКРМ
	$P_{\text{расч.}\Sigma.i}$, кВт	$Q_{\text{КР.расч.}i}$, квар	$\operatorname{tg}(\varphi_i)$	$Q_{\text{КУ}}$, квар	$n_{\text{КУ},i}$, шт.	$\operatorname{tg}(\varphi)_{\text{факт.}}$	
Цех дробления	688,85	469,74	0,889	250	2	0,156	АУКРМ-0,4-250-25 У1
Сушильно-фильтровальный цех	2075,3	1822,64	1,07	1000	2	0,114	АУКРМ-0,4-1000-25 У3
Отделение грануляции	1407,9	1236,49	1,07	700	2	0,08	АУКРМ-0,4-700-25 У3

Продолжение таблицы 17

Наименование цеха	Расчетные значения						Тип УКРМ
	$P_{\text{расч.}\Sigma.i}$, кВт	$Q_{\text{КР.расч.}i}$, квар	$\text{tg}(\varphi_i)$	$Q_{\text{КУ}}$, квар	$n_{\text{КУ.}i}$, шт.	$\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}}$	
Ремонтно-механический цех	54,17	2616,3	1,07	700	4	0,13	АУКРМ-0,4-700-25 УЗ
Главный корпус сильвинитовой обогатительной фабрики	2924,81						

С учетом выбранных УКРМ необходимо уточнить расчет числа трансформаторных подстанций основного производства калийного комбината.

Определим полную расчетную мощность с учетом выбранных установок УКРМ по выражению:

$$S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ.}i} = \sqrt{P_{\text{расч.}\Sigma.i}^2 + (Q_{\text{расч.}\Sigma.i} - n_{\text{КУ.}i} \cdot Q_{\text{КУ.}i})^2} \quad (28)$$

где $P_{\text{расч.}\Sigma.i}$ – расчетная активная мощность i -го цеха основного производства калийного комбината, кВт;

$Q_{\text{расч.}\Sigma.i}$ – расчетная реактивная мощность i -го цеха основного производства калийного комбината, квар;

$n_{\text{КУ.}i}$ – число установок компенсации реактивной мощности, шт.;

$Q_{\text{КУ.}i}$ – мощность выбранной установки компенсации реактивной мощности, квар.

Результаты расчета по (25) с учетом значений полученных в (28) сведем в таблицу 18.

Таблица 18 - Определение числа ТП с учетом УКРМ

Наименование цеха	Расчетные значения			
	$S_{расч.г.кв.i}$, кВА	Номер ТП	$S_{тр.ном}$, кВА	$n_{ТП.i}$, шт
Цех дробления	695	ТП 1	630	1
Сушильно-фильтровальный цех	2086,73	ТП 2	1600	1
Отделение грануляции	1407,96	ТП 4	1250	1
Ремонтно-механический цех	2995,22	ТП 3	1600	2
Главный корпус сильвинитовой обогатительной фабрики				
Всего трансформаторных подстанций, шт.				5

По данным таблицы 18 число трансформаторных подстанций с учетом выбранных установок компенсации реактивной мощности изменилось с 6 шт. до 5 шт., мощности трансформаторов также изменились.

Для ТП 1 выбраны две установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ-0,4-250-25 У1. Для ТП 2 выбраны две установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ-0,4-1000-25 У3. На подстанциях ремонтно-механического цеха и главного корпуса сильвинитовой обогатительной фабрики – ТП 3-1 и ТП 3-2 принято установить четыре установки компенсации реактивной мощности АУКРМ-0,4-700-25 У3. На подстанции ТП 4 принято установить две установки АУКРМ-0,4-700-25 У3.

3.3 Выбор трансформаторов внутризаводской системы электроснабжения

По определенной мощности трансформаторов с учетом выбранного числа трансформаторных подстанций (таблица 18) необходимо по каталогам производителей выполнить поиск типов и марок трансформаторов.

В качестве производителей трансформаторов рассмотрим ООО «Тольяттинский трансформатор» [14], г. Тольятти. ООО «Тольяттинский трансформатор» производит масляные герметичные трансформаторы марки ТМГ. По каталогам [14] выберем трансформаторы и определим их паспортные данные, которые сведем в таблицу 19.

Таблица 19 - Паспортные значения трансформаторов

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значения параметров		
			ТМГ 1600	ТМГ 1250	ТМГ 630
Мощность	$S_{\text{тр.ном}}$	кВА	1600	1250	630
Напряжение обмотки ВН	$U_{\text{ВН.ном}}$	кВ	10	10	10
Напряжение обмотки НН	$U_{\text{НН.ном}}$	кВ	0,4	0,4	0,4
Ток холостого хода	$i_{\text{хх.}\%}$	%	0,16	0,3	0,3
Напряжение короткого замыкания	$u_{\text{кз.}\%}$	%	6	6	5,5
Потери холостого хода	$P_{\text{хх}}$	кВт	1,5	1,35	0,8
Потери короткого замыкания	$P_{\text{кз}}$	кВт	16,5	12,5	7,6
Схема соединения обмотки ВН	-	-	Y	Y	Y
Схема соединения обмотки НН	-	-	$Y_{\text{H-0}}$	$Y_{\text{H-0}}$	$Y_{\text{H-0}}$

Для выбранных трансформаторов определим значение коэффициентов загрузки трансформаторов соответствующих минимуму нагрузочных потерь [2] по выражению:

$$K_{\text{опт.з}} = \sqrt{\frac{P_{\text{хх}}}{P_{\text{кз}}}} \quad (29)$$

По (29) для трансформатора ТМГ 1600 получим:

$$K_{\text{опт.з(ТМГ1600)}} = \sqrt{\frac{1,5}{16,5}} = 0,3$$

По (29) для трансформатора ТМГ 1250 получим:

$$K_{\text{опт.з(ТМГ1250)}} = \sqrt{\frac{1,35}{12,5}} = 0,33$$

По (29) для трансформатора ТМГ 630 получим:

$$K_{\text{опт.з(ТМГ630)}} = \sqrt{\frac{0,8}{7,6}} = 0,32$$

Для проверки выбранных мощностей трансформаторов определим расчетный коэффициент загрузки определим по выражению:

$$K_{\text{заг.р}} = \frac{S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ.}i}}{n_{\text{тр.}i} \cdot n_{\text{ТП.}i} \cdot S_{\text{тр.ном.}i}} \quad (30)$$

где $S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ.}i}$ - расчетная мощность i -го цеха основного производства калийного комбината с учетом выбранных установок УКРМ, кВА;
 $n_{\text{тр.}i}$ - число трансформаторов на i -й подстанции основного производства калийного комбината с учетом выбранных установок УКРМ, для всех подстанций принято $n_{\text{тр.}i} = 2$, шт;
 $n_{\text{ТП.}i}$ - число подстанций для питания i -го цеха основного производства калийного комбината с учетом выбранных установок УКРМ, шт.;
 $S_{\text{тр.ном.}i}$ - номинальная мощность трансформатора на i -й подстанции основного производства калийного комбината с учетом выбранных установок УКРМ, принято $S_{\text{тр.ном.}i} = 1600$,кВА.

По (30) для цеха дробления основного производства (ТП 1) калийного комбината получим:

$$K_{\text{заг.р.ЦД}} = \frac{695}{2 \cdot 1 \cdot 630} = 0,55$$

По (30) для сушильно-фильтровального цеха основного производства (ТП 2) калийного комбината получим:

$$K_{\text{заг.р.СФЦ}} = \frac{2086,73}{2 \cdot 1 \cdot 1600} = 0,65$$

По (30) для отделения грануляции основного производства (ТП 4) калийного комбината получим:

$$K_{\text{заг.р.ОГ}} = \frac{1407,96}{2 \cdot 1 \cdot 1250} = 0,56$$

По (30) для главного корпуса сильвинитовой обогатительной фабрики и ремонтно-механического цеха основного производства (ТП 3) калийного комбината получим:

$$K_{\text{заг.р.ОГ}} = \frac{2995,22}{2 \cdot 2 \cdot 1600} = 0,67$$

Для всех трансформаторных подстанций основного производства калийного комбината расчетный коэффициент загрузки не превышает нормируемый для двух трансформаторных подстанций: 0,7. Таким образом все трансформаторы выбраны правильно.

Определим потери активной и реактивной мощности в выбранных трансформаторах. Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах определяются по выражениям:

$$\Delta P_{\text{тр.}i} = n_{\text{тр.}i} \cdot \left(\frac{P_{\text{кз}}}{n_{\text{тр.}i}} \cdot \left(\frac{S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ.}i}}{S_{\text{тр.ном.}i}} \right)^2 + n_{\text{тр.}i} \cdot P_{\text{хх}} \right) \quad (31)$$

$$\Delta Q_{\text{тр.}i} = n_{\text{тр.}i} \cdot \left(n_{\text{тр.}i} \cdot \frac{i_{\text{хх.}\%}}{100} + \frac{u_{\text{кз.}\%}}{n_{\text{тр.}i} \cdot 100} \cdot \left(\frac{S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ.}i}}{S_{\text{тр.ном.}i}} \right)^2 \right) \cdot S_{\text{тр.ном.}i} \quad (32)$$

где $P_{\text{кз}}$ – паспортное значение потерь короткого замыкания. Определяем для всех трансформаторов по таблице 19, кВт;

$n_{\text{тр.}i}$ – число трансформаторов на i -й подстанции, $n_{\text{тр.}i} = 2$, шт;

$S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ}.i}$ – расчетное значение полной мощности i -й трансформаторной подстанции с учетом компенсации реактивной мощности, кВА;

$S_{\text{тр.ном}.i}$ – номинальная мощность трансформатора, принимаем по таблице 19, кВА;

$P_{\text{хх}}$ – паспортное значение потерь холостого хода. Определяем для каждого варианта трансформаторов по таблице 19, кВт;

$i_{\text{хх.}\%}$ – относительное значение тока холостого хода, определяется по таблице 19, %;

$u_{\text{кз.}\%}$ – относительное значение напряжения короткого замыкания, определяется по таблице 19, %.

Для ТП 1 основного производства калийного комбината:

$$\Delta P_{\text{тр.ТП1}} = 2 \cdot \left(\frac{7,6}{2} \cdot \left(\frac{695}{630} \right)^2 + 2 \cdot 0,8 \right) = 12,45 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_{\text{тр.ТП1}} = 2 \cdot \left(2 \cdot \frac{0,3}{100} + \frac{5,5}{2 \cdot 100} \cdot \left(\frac{695}{630} \right)^2 \right) \cdot 630 = 41,18 \text{ (квар)}$$

Для всех остальных ТП основного производства калийного комбината расчеты выполняются аналогично ТП 1, результаты сведем в таблицу 20.

Таблица 20 - Расчет потерь в трансформаторах ТП

Номер ТП	$S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ}.i}$, кВА	Тип трансформатора	$n_{\text{тр}.i}$, шт.	$\Delta P_{\text{тр}.i}$, кВт	$\Delta Q_{\text{тр}.i}$, квар
ТП 1	695	ТМГ 630	2	12,44916	42,18085
ТП 2	2086,73	ТМГ 1600	2	34,06574	163,298
ТП3 1	1497,61	ТМГ 1600	2	20,45578	84,11274
ТП 3 2	1497,61	ТМГ 1600	2	20,45578	84,11274
ТП 4	1407,96	ТМГ 1250	2	21,25881	95,16487

Выполнен выбор трансформаторов для подстанций основного производства калийного комбината. На ТП 1 приняты к установке два

трансформатора марки ТМГ 630/10/0,4. На ТП 2 приняты к установке два трансформатора марки ТМГ 1600/10/0,4. На подстанциях ремонтно-механического цеха и главного корпуса сальвинитовой обогатительной фабрики – ТП 3-1 и ТП 3-2 принято установить четыре трансформатора марки ТМГ 1600/10/0,4. На подстанции ТП 4 приняты к установке два трансформатора марки ТМГ 1250/10/0,4 кВ. Все трансформаторы производства ООО «Тольяттинский трансформатор».

3.4 Выбор кабельных линий для питания распределительного пункта

Питание распределительного пункта осуществляется от главной понизительной подстанции калийного комбината. Для выбора питающих кабельных линий необходимо определить расчетный ток по выражению:

$$I_p = \frac{\sqrt{(P_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ}} + \sum_{i=1}^5 \Delta P_{\text{тр.}i})^2 + (Q_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ}} + \sum_{i=1}^5 \Delta Q_{\text{тр.}i})^2}}{n_{\text{КЛ}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.сети}}} \quad (33)$$

где $P_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ}}$ – расчетная активная мощность всех подстанций основного производства калийного комбината, кВт;

$\Delta P_{\text{тр.}i}$ – потери активной мощности в трансформаторах i -й ТП, кВт;

$Q_{\text{расч.}i}$ – расчетная реактивная мощность с учетом компенсации i -й ТП, квар;

$\Delta Q_{\text{тр.}i}$ – потери реактивной мощности в трансформаторах i -й ТП, квар;

$n_{\text{КЛ}}$ – количество питающих линий, принимаем $n_{\text{КЛ}} = 2$ шт.;

$U_{\text{ном.сети}}$ – номинальное напряжение питающей сети, принимаем согласно данных раздела 1 ВКР $U_{\text{ном.сети}} = 10$, кВ.

Выполним расчет для линии ГПП-РП по (33):

$$I_p = \frac{\sqrt{(7151,03 + 108,68)^2 + (564,87 + 468,87)^2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 211,68 \text{ (A)}$$

Предварительно, согласно [17], примем два трехжильных кабеля с сечением токопроводящей жилы 95 мм². Марку кабеля выберем по [8] АПВБВ 3×120мк/35-10.

Проверим линию необходимо проверить по величине потерь напряжения, определяемых по выражению:

$$\Delta U = U_{\text{ном}} - \left(3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \right) \quad (34)$$

где $I_{\text{расч}}$ – расчетный ток в линии определяемое выражением (33), А;

l – длина линии, км;

r_0 – удельное активное сопротивление линии, Ом/км;

x_0 – удельное индуктивное сопротивление линии, Ом/км;

$\cos \varphi, \sin \varphi$ – значения, соответствующие $\text{tg } \varphi$ в конце линии;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение линии, В.

Для выбранного кабеля АПВБП 3×120мк/70-10 с учетом прокладки в земле по(34) получим:

$$\Delta U = 10 - \left(3 \cdot 211,68 \cdot 0,78 \cdot (0,253 \cdot 0,99 + 0,092 \cdot 0,14) \right) = 9875,3 \text{ В}$$

Потеря напряжения в линии ГПП-РП составляет 1,2%, что удовлетворяет условиям выбора. Поэтому для питания РП основного производства калийного комбината принимаем кабель с изоляцией из шитого полиэтилена марки АПВБП 3×120мк/70-10.

Выбор кабелей для питания трансформаторных подстанций основного производства калийного комбината. Выбор кабеле выполним по расчетному току, определяемому по выражению (33).

Для ТП 1 по (33) получим:

$$I_{p,ТП1} = \frac{\sqrt{(688,85 + 12,45)^2 + (92,27 + 41,18)^2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 20,6 \text{ (А)} \quad (35)$$

По расчетному значению тока для питания ТП-1 принимаем кабель марки АПВБП 3×25/16.

Для остальных ТП основного производства калийного комбината расчеты сведем в таблицу 21.

Таблица 21 - Результаты выбора кабельных линий для питания ТП

Наименование ТП	$\Delta Q_{тр.i}$, квар	$\Delta P_{тр.i}$, кВт	$P_{расч.Σ.КУ.i}$, кВт	$Q_{расч.Σ.КУ.i}$, квар	I_p , А	Марка кабеля
ТП 1	42,18	42,2	688,8	92,3	20,6	АПВБП 3×16/16
ТП 2	163,3	163,3	2924,8	241,5	86,2	АПВБП 3×50/16
ТП3-1	84,1	84,1	1037,6	109,1	31,1	АПВБП 3×25/16
ТП 3 2	84,1	84,1	1037,6	109,1	31,1	АПВБП 3×25/16
ТП 4	95,2	95,2	1407,9	12,9	41,4	АПВБП 3×25/16

Выполним проверку кабельных линий, питающих трансформаторные подстанции основного производства калийного комбината по величине падения напряжения используя выражение (34), для ТП 1:

$$\Delta U = 10 \cdot 10^3 - (3 \cdot 20,6 \cdot 20,6 \cdot 10^{-3} \cdot (0,695 \cdot 0,99 + 0,21 \cdot 0,13)),$$

$$\Delta U = 9971,499 \text{ (В)}$$

Для всех остальных питающих линий расчет выполним аналогично линии до ТП 1, результаты расчетов сведем в таблицу 22.

Таблица 22 - Результаты расчета потер напряжения в питающих линиях

Наименование ТП	$\sin \varphi$	$\cos \varphi$	l , м	I_p , А	$P_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ.}i}$, кВт	$Q_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ.}i}$, квар	ΔU , В	ΔU , %
ТП 1	0,13	0,99	645,5	20,61	92,27	688,85	9971,5	0,29
ТП 3	0,13	0,99	161	31,08	120,76	1489,49	9989,8	0,1
ТП 3	0,08	1	91,5	31,08	120,76	1489,49	9994,2	0,06
ТП 2	0,11	0,99	41	87,76	218,14	2075,3	9993,1	0,07
ТП 4	0,01	1	180	41,37	12,94	1407,9	9984,9	0,15

По данным таблицы 22 все выбранные кабельные линии питающие трансформаторные подстанции основного производства калийного комбината удовлетворяют условиям выбора, относительные потери напряжения не превышают 0,3%.

Вывод по разделу.

В третьем разделе выполнен расчет картограммы нагрузок основного производства калийного комбината и определен центр электрических нагрузок. В центре электрических нагрузок принято разместить распределительный пункт, обеспечивающий питание трансформаторных подстанций цехов основного производства калийного комбината. Распределительный пункт запитан от шин главной понизительной подстанции калийного комбината. Размещение РП в центре электрических нагрузок позволит снизить протяженность кабельных линий до трансформаторных подстанций, а также их сечение и потери напряжения.

Представлены результаты выбора компенсирующих устройств в распределительной сети основного производства калийного комбината. Размещение установок компенсации реактивной мощности предложено выполнить на цеховых трансформаторных подстанциях. Такой подход позволяет снизить перетоки реактивной мощности по распределительной сети, а также снизить загрузку распределительных трансформаторов основного производства калийного комбината. Для ТП 1 выбраны две установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ-0,4-250-25 У1. Для ТП 2 выбраны две установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ-0,4-

1000-25 УЗ. На подстанциях ремонтно-механического цеха и главного корпуса сильвинитовой обогатительной фабрики – ТП 3-1 и ТП 3-2 принято установить четыре установки компенсации реактивной мощности АУКРМ-0,4-700-25 УЗ. На подстанции ТП 4 принято установить две установки АУКРМ-0,4-700-25 УЗ.

По результатам выбора установок компенсации реактивной мощности для трансформаторных подстанций значение коэффициентов реактивной мощности составило: для ТП 1 $\text{tg } \varphi_{\text{ТП 1}} = 0,13$, для ТП 2 $\text{tg } \varphi_{\text{ТП 2}} = 0,11$, для ТП 3-1 и ТП-3-2 $\text{tg } \varphi_{\text{ТП 3-1}} = \text{tg } \varphi_{\text{ТП 3-2}} = 0,08$, для ТП 4 $\text{tg } \varphi_{\text{ТП 4}} = 0,1$.

Выполнен выбор трансформаторов для подстанций основного производства калийного комбината. К установке на ТП приняты трансформаторы марки ТМГ – трехфазные (Т) масляные (М) герметичные (Г) трансформаторы производства ООО «Тольяттинский трансформатор». Для установки на ТП 1 приняты два трансформатора ТМГ 630/10/0,4. На ТП 2 приняты к установке два трансформатора ТМГ 1600/10/0,4. На подстанциях ремонтно-механического цеха и главного корпуса сильвинитовой обогатительной фабрики – ТП 3-1 и ТП 3-2 принято установить четыре трансформатора ТМГ 1600/10/0,4. На подстанции ТП 4 приняты к установке два трансформатора ТМГ 1250/10/0,4 кВ.

Для питания распределительного пункта основного производства калийного комбината от ГПП калийного комбината выбрано два кабеля марки АПВБП 3×120мк/70-10 – трехжильный алюминиевый (А) кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена (Пв) с броней (Б) покрытой оболочкой из поливинилхлоридного пластиката (П). выбранный кабель проверен по величине падения напряжения относительное значение которого не превысило 1,2%. Для питания подстанций основного производства калийного комбината выбраны также кабели марки АПВБП с сечениями жил от 16 мм² до 50 мм². Относительные потери напряжения в линиях, питающих подстанции основного производства калийного комбината не превысили 0,13%.

4 Расчет токов короткого замыкания и проверка выбранного оборудования

В рамках раздела выполнен расчет токов короткого замыкания системы электроснабжения основного производства калийного комбината. Представлены результаты проверки оборудования распределительной сети основного производства калийного комбината на стойкость к токам короткого замыкания.

4.1 Схема замещения для расчета токов короткого замыкания

На первом этапе расчета токов короткого замыкания составляется схема замещения и определяются ее параметры [5]. В схеме замещения необходимо учесть оборудование главной понизительной подстанции, и оборудование распределительной сети. Схему замещения составим до наиболее загруженной подстанции основного производства калийного комбината. Согласно данным предыдущих разделов ВКР наиболее загруженной подстанцией является подстанция сушильно-фильтровального цеха основного производства (ТП 2) калийного комбината. Согласно данным расчета коэффициент загрузки ТП-2 в режиме максимальных нагрузок составляет $K_{\text{заг.р.СФЦ}} = 0,65$, также ТП-2 является наиболее близко расположенной ТП к распределительному пункту основного производства калийного комбината. Расчетная схема для расчета токов короткого замыкания (КЗ) представлена на рисунке 6.

Расчет токов короткого замыкания выполняется на стороне выше 1000 В системы электроснабжения основного производства калийного комбината, так как все оборудование выбиралось на стороне 10 кВ. При расчете токов КЗ на стороне выше 1000 В учитываются только индуктивные сопротивления всех элементов входящих в расчетную схему. Сопротивления выключателей и шин распределительных устройств не учитываются [7].

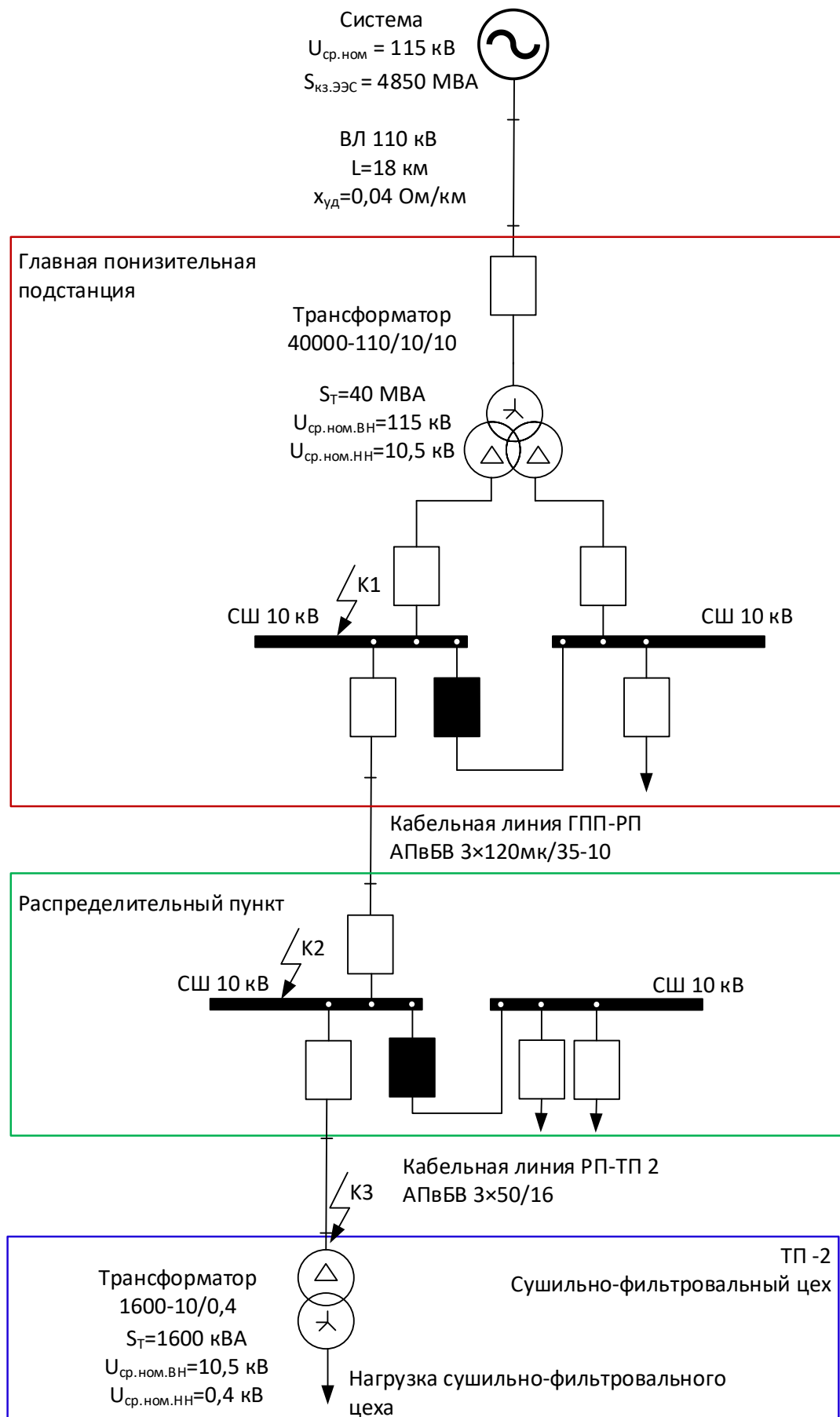


Рисунок 6 - Расчетная схема

Схема замещения, составленная на основании расчетной схемы (рисунок 6), а также на основании условий расчета токов КЗ на напряжении выше 1000 В представлена на рисунке 7.

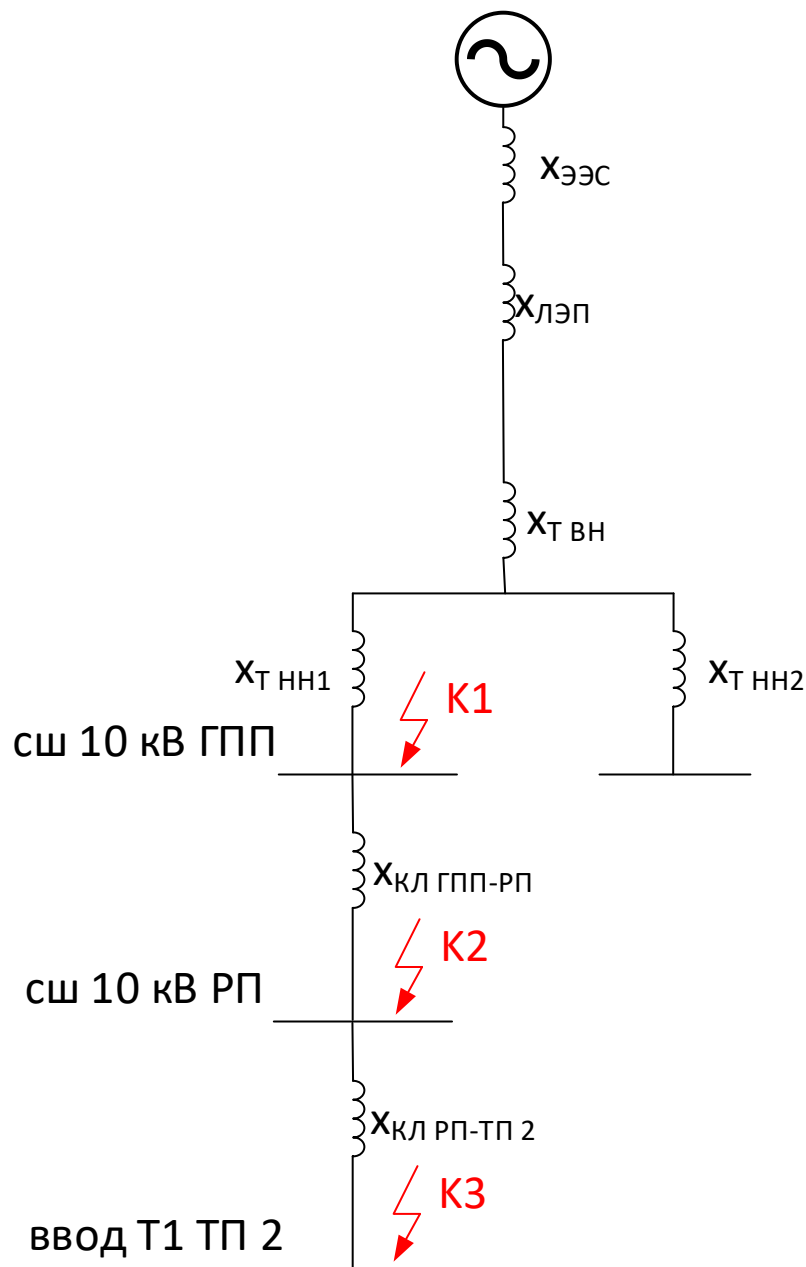


Рисунок 7 - Схема замещения

Для схемы замещения, представленной на рисунке 7 необходимо определить параметры входящих в нее элементов – индуктивных сопротивлений [11].

Сопротивление энергосистемы:

$$x_{\text{ЭЭС}} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{кз.ЭЭС}}} = \frac{1000}{4850} = 0,2 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление линии 110 кВ от энергосистемы до ГПП калийного комбината:

$$x_{\text{ЛЭП}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном}}^2} = 0,4 \cdot 18 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,544 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление обмотки высокого напряжения трансформатора ГПП калийного комбината:

$$x_{\text{Т.ВН}} = \frac{U_{\text{кз.ВН}}}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{транс.ГПП}}} = \frac{1,13}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 0,282 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление обмотки низкого напряжения трансформатора ГПП:

$$x_{\text{Т.НН}} = \frac{U_{\text{кз.НН}}}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{транс.ГПП}}} = \frac{18,4}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 4,6 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление кабельной линии 10 кВ от ГПП до РП основного производства калийного комбината:

$$x_{\text{КЛ ГПП-РП}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном}}^2} = 0,089 \cdot 0,78 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,629 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление кабельной линии 10 кВ от РП основного производства калийного комбината до ТП 2 сушильно-фильтровального цеха:

$$x_{\text{КЛ РП-ТП 2}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном}}^2} = 0,104 \cdot 0,041 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,038 \text{ (о. е)}$$

Определим сопротивления до каждой расчетной точки согласно схеме замещения (рисунок 7).

Сопротивление до расчетной точки К1 (рисунок 7):

$$x_{\Sigma.K1} = x_{ЭЭС} + x_{ЛЭП} + x_{Т.ВН} + x_{Т.НН}$$

$$x_{\Sigma.K1} = 0,2 + 0,544 + 0,282 + 4,6 = 5,626 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление до расчетной точки К2 (рисунок 7):

$$x_{\Sigma.K2} = x_{\Sigma.K1} + x_{КЛ \text{ ГПП-РП}}$$

$$x_{\Sigma.K2} = 5,626 + 0,629 = 6,255 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление до расчетной точки К3 (рисунок 7):

$$x_{\Sigma.K3} = x_{\Sigma.K2} + x_{КЛ \text{ РП-ТП 2}} = 6,255 + 0,038 = 6,293 \text{ (о. е)}$$

Расчетные значения сопротивлений до расчетных точек К3 сведем в таблицу 23.

Таблица 23 - Результирующие сопротивления до точек К3

Расчетная точка	Обозначение параметра	Значение параметра
К 1	$x_{\Sigma.K1}$	5,626
К 2	$x_{\Sigma.K2}$	6,255
К 3	$x_{\Sigma.K3}$	6,293

Составлены расчетная схема и схема замещения для определения токов короткого замыкания в системе электроснабжения основного производства калийного комбината. Для схемы замещения определены параметры и результирующие сопротивления до трех расчетных точек короткого замыкания. На основе полученных значений выполним расчет токов короткого

замыкания в спроектированной системе электроснабжения основного производства калийного комбината.

4.2 Расчет токов короткого замыкания

Для каждой расчетной точки согласно схеме замещения (рисунок 7) определим значения базисных токов.

Базисный ток для точек К1, К2 и К3 будет иметь одинаковые значения так как на этой части сети не происходит трансформации напряжения.

Базисный ток для К1, К2 и К3:

$$I_{\text{баз}} = I_{\text{баз.К1}} = I_{\text{баз.К2}} = I_{\text{баз.К3}} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,98 \text{ (кА)}$$

Трехфазный ток короткого замыкания в точке К1:

$$I_{\text{п0.К1}}^{(3)} = \frac{E''_{*6}}{x_{\Sigma.К1}} \cdot I_{\text{баз}} = \frac{1}{5,626} \cdot 54,98 = 9,7 \text{ (кА)}$$

Трехфазный ток короткого замыкания в точке К2:

$$I_{\text{п0.К2}}^{(3)} = \frac{E''_{*6}}{x_{\Sigma.К2}} \cdot I_{\text{баз}} = \frac{1}{6,255} \cdot 54,98 = 8,789 \text{ (кА)}$$

Трехфазный ток короткого замыкания в точке К3:

$$I_{\text{п0.К3}}^{(3)} = \frac{E''_{*6}}{x_{\Sigma.К3}} \cdot I_{\text{баз.К3}} = \frac{1}{6,293} \cdot 54,98 = 8,736 \text{ (кА)}$$

Ударный ток трехфазного КЗ в точке К1:

$$i_{уд.К1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{п0.К1}^{(3)} \cdot K_{уд.К1} = \sqrt{2} \cdot 9,7 \cdot 1,8 = 24,69 \text{ (кА)}$$

Ударный ток трехфазного КЗ в точке К2:

$$i_{уд.К2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{п0.К2}^{(3)} \cdot K_{уд.К2} = \sqrt{2} \cdot 8,789 \cdot 1,9 = 23,61 \text{ (кА)}$$

Ударный ток трехфазного КЗ в точке К3:

$$i_{уд.К3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{п0.К3}^{(3)} \cdot K_{уд.К3} = \sqrt{2} \cdot 8,736 \cdot 1,94 = 23,967 \text{ (кА)}$$

Для системы электроснабжения основного производства калийного комбината выполним расчет двухфазных токов короткого замыкания.

Для расчета двухфазных токов короткого замыкания примем согласно [19], что сопротивления прямой и обратной последовательностей равны. Расчет двухфазных токов КЗ выполним для точек К2 и К3, для проверки оборудования распределительной сети основного производства калийного комбината.

Двухфазный ток короткого замыкания в точке К2:

$$I_{п0.К2}^{(2)} = \frac{3 \cdot I_{баз.К2} \cdot E''_{*6}}{2 \cdot x_{\Sigma.К2}} = \frac{3 \cdot 54,98 \cdot 1}{2 \cdot 6,255} = 13,18 \text{ (кА)}$$

Ударный ток двухфазного короткого замыкания в точке К2:

$$i_{уд.К2}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot I_{п0.К2}^{(2)} \cdot K_{уд.К2} = \sqrt{2} \cdot 13,18 \cdot 1,9 = 35,4 \text{ (кА)}$$

Двухфазный ток короткого замыкания в точке К3:

$$I_{\text{п0.КЗ}}^{(2)} = \frac{3 \cdot I_{\text{баз.КЗ}} \cdot E''_{*6}}{2 \cdot x_{\Sigma.\text{КЗ}}} = \frac{3 \cdot 54,98 \cdot 1}{2 \cdot 6,293} = 13,1 \text{ (кА)}$$

Ударный ток двухфазного короткого замыкания в точке КЗ:

$$i_{\text{уд.КЗ}}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0.КЗ}}^{(2)} \cdot K_{\text{уд.КЗ}} = \sqrt{2} \cdot 13,1 \cdot 1,9 = 37,86 \text{ (кА)}$$

Полученные расчетные значения токов короткого замыкания сведем в таблицу 24.

Таблица 24 - Результаты расчета токов короткого замыкания

Вид короткого замыкания	Тип тока КЗ	Точки короткого замыкания		
		К1	К2	К3
Трехфазное КЗ, кА	$I_{\text{п0}}^{(3)}$	9,7	8,789	8,736
	$i_{\text{уд}}^{(3)}$	24,69	23,61	23,967
Двухфазное КЗ, кА	$I_{\text{п0}}^{(2)}$	-	13,18	13,1
	$i_{\text{уд}}^{(2)}$	-	35,4	37,86

По полученным значениям выполним проверку выбранного оборудования системы электроснабжения основного производства калийного комбината.

4.3 Проверка оборудования на стойкость токам короткого замыкания

Выполним проверку выбранных кабельных линий 10 кВ на стойкость токам короткого замыкания. Согласно [1] и [15] кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена необходимо проверять на термическую стойкость к двухфазным КЗ.

Выполним проверку выбранного кабеля марки АПвБП 3×120мк/70-10 для линии ГПП – РП.

Для выбранного кабеля сечение экрана $S_{\text{экр}} = 70 \text{ мм}^2$. Допустимый ток для данного сечения экрана согласно [15] $I_{\text{доп.экр}} = 14,3 \text{ кА}$. Расчетное значение двухфазного короткого замыкания в точке К2 согласно данным таблицы 24 $I_{\text{п0.К2}}^{(2)} = 13,8 \text{ кА}$.

Условие соответствия сечения экрана выбранного кабеля:

$$I_{\text{доп.экр}} > I_{\text{п0}}^{(2)} \quad (36)$$

Для линии ГПП – РП с кабелем марки АПВБП 3×120мк/70-10 условие (36) запишется в виде:

$$14,3 > 13,8$$

Так как условие (36) для линии ГПП – РП с кабелем марки АПВБП 3×120мк/70-10 выполняется, то выбранный кабель может быть использован в системе электроснабжения основного производства калийного комбината.

Выводы по разделу.

Составлены расчетная схема и схема замещения для определения токов короткого замыкания в системе электроснабжения основного производства калийного комбината. Для схемы замещения определены параметры и результирующие сопротивления до трех расчетных точек короткого замыкания. На основе полученных значений выполнен расчет токов короткого замыкания в спроектированной системе электроснабжения основного производства калийного комбината. По результатам расчета токов короткого замыкания определены значения трехфазного тока КЗ на шинах 10 кВ ГПП калийного комбината – точка К1. В точке К1 $I_{\text{п0.К1}}^{(3)} = 9,7 \text{ кА}$, $i_{\text{уд.К1}}^{(3)} = 24,69 \text{ кА}$. Также выполнен расчет токов КЗ на шинах РП 10 кВ основного производства калийного комбината – точка К2. В точке К2 $I_{\text{п0.К2}}^{(3)} = 8,8 \text{ кА}$, $i_{\text{уд.К2}}^{(3)} = 23,6 \text{ кА}$.

В точке КЗ – ввод трансформатора Т1 трансформаторной подстанции ТП 2

$$I_{п0.КЗ}^{(3)} = 8,736 \text{ кА}, i_{уд.КЗ}^{(3)} = 23,97 \text{ кА}.$$

Выполнен расчет несимметричных токов короткого замыкания в распределительной сети основного производства калийного комбината – точки

К2 и К3. Ток двухфазного короткого замыкания в точке К2 $I_{п0.К2}^{(2)} = 13,18 \text{ кА}$,

$i_{уд.К2}^{(2)} = 35,4 \text{ кА}$. В точке КЗ – ввод трансформатора Т1 трансформаторной

подстанции ТП 2 ток двухфазного короткого замыкания $I_{п0.КЗ}^{(2)} = 13,1 \text{ кА}$,

$i_{уд.КЗ}^{(2)} = 37,86 \text{ кА}$.

По результатам расчета токов короткого замыкания выполнена проверка кабельной линии от ГПП калийного комбината до РП основного производства калийного комбината выполненной маркой кабеля АПвБП 3×120мк/70-10 с сечением $S_{экр} = 70 \text{ мм}^2$. По результатам проверки выбранный кабель может быть использован в системе электроснабжения так как стойкость экрана к двухфазному току короткого замыкания удовлетворяет условию выбора, т.е. допустимый ток экрана превышает расчетный ток двухфазного КЗ в конце кабельной линии.

Заключение

В выпускной квалификационной работе выполнен проект электроснабжения предприятия по производству калийных минеральных удобрений. Объект выпускной квалификационной работы, калийный комбинат расположен в Пермском крае. Место расположения объекта выпускной квалификационной работы связано с близостью источника сырья. Добыча сырья для производства калийных удобрений на объекте ВКР происходит на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей.

В первом разделе выпускной квалификационной работы определен генеральный план группы цехов основного производства калийного комбината. Площадь территории, занимаемая объектом ВКР, составляет 1168998,4 м². Также в первом разделе представлено краткое описание технологического процесса производства калийных удобрений на объекте ВКР.

Во втором разделе ВКР выполнен подробный расчет электрических нагрузок ремонтно-механического цеха основного производства калийного комбината. Электрические нагрузки рассчитаны с учетом условий и режимов работы основного технологического оборудования ремонтно-механического цеха и спроектированной системы освещения помещений цеха. Получены значения активной $P_{\text{расч.РМЦ}} = 54,17$ (кВт) реактивной $Q_{\text{расч.РМЦ}} = 69,93$ (квар) и полной $S_{\text{расч.РМЦ}} = 85,12$ (кВА). Для системы освещения ремонтно-механического цеха использованы светодиодные светильники. Для помещения основного производства использован светодиодный светильник марки HB LED 100 D140 – 49 шт., для бытовых помещений использован светильник марки SLICK STANDART 1200 4000K – 9 шт., для всех остальных помещений SIMPLE EVO (1200) 40W OPL 850 WH – 24 шт. Выполнен расчет мощности всех цехов основного производства калийного комбината. Получены значения активной $P_{\text{расч.ОПКК}} = 7151,03$ (кВт) реактивной $Q_{\text{расч.ОПКК}} = 7334,8$ (квар) и полной $S_{\text{расч.ОПКК}} = 10290,63$ (кВА) мощностей.

В третьем разделе выполнен расчет картограммы нагрузок основного производства калийного комбината и определен центр электрических нагрузок. В центре электрических нагрузок принято разместить распределительный пункт, обеспечивающий питание трансформаторных подстанций цехов основного производства калийного комбината. Распределительный пункт запитан от шин главной понизительной подстанции калийного комбината. Размещение РП в центре электрических нагрузок позволит снизить протяженность кабельных линий до трансформаторных подстанций, а также их сечение и потери напряжения.

Представлены результаты выбора компенсирующих устройств в распределительной сети основного производства калийного комбината. Размещение установок компенсации реактивной мощности предложено выполнить на цеховых трансформаторных подстанциях. Такой подход позволяет снизить перетоки реактивной мощности по распределительной сети, а также снизить загрузку распределительных трансформаторов основного производства калийного комбината. Для ТП 1 выбраны две установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ-0,4-250-25 У1. Для ТП 2 выбраны две установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ-0,4-1000-25 У3. На подстанциях ремонтно-механического цеха и главного корпуса сильвинитовой обогатительной фабрики – ТП 3-1 и ТП 3-2 принято установить четыре установки компенсации реактивной мощности АУКРМ-0,4-700-25 У3. На подстанции ТП 4 принято установить две установки АУКРМ-0,4-700-25 У3.

По результатам выбора установок компенсации реактивной мощности для трансформаторных подстанций значение коэффициентов реактивной мощности составило: для ТП 1 $\text{tg } \varphi_{\text{ТП 1}} = 0,13$, для ТП 2 $\text{tg } \varphi_{\text{ТП 2}} = 0,11$, для ТП 3-1 и ТП-3-2 $\text{tg } \varphi_{\text{ТП 3-1}} = \text{tg } \varphi_{\text{ТП 3-2}} = 0,08$, для ТП 4 $\text{tg } \varphi_{\text{ТП 4}} = 0,1$.

Выполнен выбор трансформаторов для подстанций основного производства калийного комбината. К установке на ТП приняты трансформаторы марки ТМГ – трехфазные (Т) масляные (М) герметичные (Г) трансформаторы производства ООО «Тольяттинский трансформатор». Для

установки на ТП 1 приняты два трансформатора ТМГ 630/10/0,4. На ТП 2 приняты к установке два трансформатора ТМГ 1600/10/0,4. На подстанциях ремонтно-механического цеха и главного корпуса сильвинитовой обогатительной фабрики – ТП 3-1 и ТП 3-2 принято установить четыре трансформатора ТМГ 1600/10/0,4. На подстанции ТП 4 приняты к установке два трансформатора ТМГ 1250/10/0,4 кВ.

Для питания распределительного пункта основного производства калийного комбината от ГПП калийного комбината выбрано два кабеля марки АПвБП 3×120мк/35-10 – трехжильный алюминиевый (А) кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена (Пв) с броней (Б) покрытой оболочкой из поливинилхлоридного пластиката (П). выбранный кабель проверен по величине падения напряжения относительное значение которого не превысило 1,2%. Для питания подстанций основного производства калийного комбината выбраны также кабели марки АПвБП с сечениями жил от 16 мм² до 50 мм². Относительные потери напряжения в линиях, питающих подстанции основного производства калийного комбината не превысили 0,13%.

В четвертом разделе выпускной квалификационной работы выполнен расчет симметричных и не симметричных токов короткого замыкания для проектируемой системы электроснабжения основного производства калийного комбината. Для расчета токов короткого замыкания на первом этапе составлены расчетная схема и схема замещения. На втором этапе для схемы замещения определены параметры и результирующие сопротивления до трех расчетных точек короткого замыкания. На основе полученных значений выполнен расчет токов короткого замыкания в спроектированной системе электроснабжения основного производства калийного комбината. По результатам расчета токов короткого замыкания определены значения трехфазного тока КЗ на шинах 10 кВ ГПП калийного комбината – точка К1. В точке К1 $I_{п0.К1}^{(3)} = 9,7$ кА, $i_{уд.К1}^{(3)} = 24,69$ кА. Также выполнен расчет токов КЗ на шинах РП 10 кВ основного производства калийного комбината – точка К2. В

точке К2 $I_{п0.К2}^{(3)} = 8,8$ кА, $i_{уд.К2}^{(3)} = 23,6$ кА. В точке К3 – ввод трансформатора Т1 трансформаторной подстанции ТП 2 $I_{п0.К3}^{(3)} = 8,736$ кА, $i_{уд.К3}^{(3)} = 23,97$ кА.

Выполнен расчет несимметричных токов короткого замыкания в распределительной сети основного производства калийного комбината – точки К2 и К3. Ток двухфазного короткого замыкания в точке К2 $I_{п0.К2}^{(2)} = 13,18$ кА, $i_{уд.К2}^{(2)} = 35,4$ кА. В точке К3 – ввод трансформатора Т1 трансформаторной подстанции ТП 2 ток двухфазного короткого замыкания $I_{п0.К3}^{(2)} = 13,1$ кА, $i_{уд.К3}^{(2)} = 37,86$ кА.

По результатам расчета токов короткого замыкания выполнена проверка кабельной линии от ГПП калийного комбината до РП основного производства калийного комбината выполненной маркой кабеля АПвБП 3×120мк/70-10 с сечением $S_{экр} = 70$ мм². По результатам проверки выбранный кабель может быть использован в системе электроснабжения так как стойкость экрана к двухфазному току короткого замыкания удовлетворяет условию выбора, т.е. допустимый ток экрана превышает расчетный ток двухфазного КЗ в конце кабельной линии.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы все поставленные задачи выполнены, цель достигнута.

Список используемой литературы

1. Вихман А.Е. Проверка экранов одножильных кабелей 10кВ с СПЭ-изоляцией на термическую стойкость при двойном замыкании на землю // Энергобезопасность и энергосбережение, Т. 33, № 3, 2010. С. 30-33.
2. Галимова А.А. Критерии выбора коэффициента загрузки силового трансформатора при проектировании подстанций распределительных сетей // Проблемы энергетики, Т. 5, № 6, 2013. С. 66-71.
3. Гашкова В.И., Миролубов В.Р. Основы технологии минеральных удобрений. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2018. 88 с.
4. ГОСТ 9680-77. Трансформаторы силовые мощностью 0,01 кВ·А и более. Ряд номинальных мощностей. М.: Издательство стандартов, 1977. 4 с.
5. ГОСТ Р 52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. М.: Стандартинформ, 2007. 39 с.
6. Данные о запасах [Электронный ресурс] // Официальный сайт АО «Верхнекамская Калийная Компания»: [сайт]. [2016]. URL: https://www.verkhnekamskpotashcompany.ru/mpp/resources_info/ (дата обращения: 02.02.2024).
7. Ерошенко С.А., Егоров А.О., Сенюк М.Д., Загидулин М.Р., Зиновьев К.А., Хальясмаа А.И. Расчет коротких замыканий в энергосистемах: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2019. 108 с.
8. Завод «Севкабель». Каталог продукции // Веб-сайт компании Завод «Севкабель». 2021. URL: <https://sevcable.ru/catalog/> (дата обращения: 02.05.2024).
9. Казарин В.Е. Совершенствование методики расчета освещения методом удельной мощности светодиодными световыми приборами сельскохозяйственных предприятий и организаций // Процессы и машины агроинженерных систем, Т. 2, № 172, 2019. С. 172-176.

10. Конденсаторные установки АУКРМ-0,4 [Электронный ресурс] // Официальный сайт завода "Элком-Энерго" : [сайт]. [2024]. URL: https://elcom-energo.ru/catalog/kondensatornye-ustanovki-0-4-kv-krm-ukrm-aukrm-ukm58-aku-kku-i-drugie/reguliruemye-kondensatornye-ustanovki-aukrm-0-4/?PAGEN_1=5 (дата обращения: 11.04.2024).
11. Крючков Н.П. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования. М.: Академия, 2015.
12. Народонаселение [Электронный ресурс] // Организация объединенных наций: [сайт]. [2023]. URL: <https://www.un.org/ru/global-issues/population> (дата обращения: 10.02.2024).
13. Обзор серии светодиодных светильников ООО "Световые Технологии" [Электронный ресурс] // Официальный сайт производителя светодиодных светильников ООО "Световые Технологии": [сайт]. [2023]. URL: <https://www.ltcompany.com/series/fregat-led> (дата обращения: 01.03.2024).
14. ООО "Тольяттинский Трансформатор". Трансформаторы силовые серии ТМГ // Официальный сайт производителя трансформаторного оборудования ООО "Тольяттинский Трансформатор". 2014. URL: https://www.transformator.com.ru/upload/iblock/6e1/2014_Transformatory-silovye-serii-TMG.pdf (дата обращения: 05.03.2024).
15. Пастухова И.В., Насановский Л.Г. Особенности расчета электрокабелей высокого напряжения // Информационный вестник, Т. 14, № 3, 2014. С. 9-11.
16. Печковский В.В., Александрович Х.М., Пинаев Г.В. Технология калийных удобрений. Минск: «Вышэйшая школа, 1968. 264 с.
17. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. Москва: Издательство Проспект, 2020. 832 с.
18. Программа для расчета освещения DIALux evo [Электронный ресурс] // DIALux: [сайт]. [2024]. URL: <https://www.dialux.com/en-GB/download> (дата обращения: 02.02.2024).

19. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. М.: Академия, 2013. 449 с.

20. Смирнов АГ, редактор. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. М: ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ, 1992. 12 с.