

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)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений  
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство предприятия пищевой промышленности»

Студент

Д.А. Комаров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., доцент А.В.Кириллова

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

Тольятти 2020

## АННОТАЦИЯ

Предприятие пищевой промышленности занимается производством табачных изделий.

В бакалаврской работе рассмотрены следующие разделы: расчет электрических нагрузок по предприятию пищевой промышленности; определение числа и номинальной мощности силовых трансформаторов на комплектной трансформаторной подстанции (КТП), а также числа и мощности компенсирующих установок (КУ); определение и обоснование параметров электрической сети внутри предприятия; выбор автоматических выключателей и проводников по допустимому току; расчет токов короткого замыкания; контроль выбранных автоматических выключателей на термическую и динамическую стойкость; расчет контура защитного заземления; определение схемы и аппаратов системы пожарной сигнализации.

В бакалаврской работе представлен проект системы электроснабжения предприятия пищевой промышленности.

Пояснительная записка включает в себя 62 страниц, 11 рисунков, 15 таблиц и 20 источников литературы. Графическая часть включает в себя 6 чертежей формата А1.

## **ABSTRACT**

The food industry enterprise is engaged in the production of tobacco products.

In the bachelor work deals with the following topics: calculation of electrical loads in food processing company; determination of the number and nominal capacity of power transformers for package transformer substations, as well as the number and power compensation units; identification and justification of parameters of the electrical network inside the enterprise; selection of circuit breakers and conductors on the allowable current; calculation of short-circuit currents; control of selected circuit breakers for thermal and dynamic stability; the calculation circuit protective earth; determination of the scheme and devices of the fire alarm system.

In the bachelor's work, the project of the power supply system of the food industry enterprise is presented.

The explanatory note includes 62 pages, 11 figures, 15 tables and 20 sources of literature. The graphic part includes 6 drawings in A1 format.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 Характеристика промышленного предприятия .....	7
2 Расчет электрических нагрузок электрохозяйства .....	8
3 Расчет электрического освещения.....	16
4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов и компенсирующих устройств.....	21
5 Выбор схемы электроснабжения.....	23
6 Выбор элементов схемы электрохозяйства .....	25
6.1 Расчёт электрической нагрузки для распределительных устройств .....	25
6.2 Выбор сечений проводников распределительной сети.....	29
6.3 Выбор автоматических выключателей .....	31
6.4 Выбор трансформаторов тока.....	32
7 Расчет токов короткого замыкания .....	34
7.1 Расчёт токов короткого замыкания ниже 1000 В .....	35
7.2 Расчёт токов короткого замыкания выше 1000 В.....	42
8 Проверка выбранных аппаратов.....	48
8.1 Проверка аппаратов на защиту от токов короткого замыкания и перегрузок.....	48
8.2 Проверка на динамическую устойчивость .....	49
8.3 Проверка по отключающей способности .....	50
9 Расчет контура заземления.....	52
10 Выбор схемы и аппаратов пожарной сигнализации.....	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	60

## ВВЕДЕНИЕ

Пищевая промышленность представляет собой сложную сеть фермеров и различных предприятий, которые вместе поставляют большую часть продуктов питания, потребляемых населением мира. Хотя не существует формального определения этого термина, пищевая промышленность охватывает все аспекты производства и продажи продуктов питания. Она включает в себя такие области, как выращивание сельскохозяйственных культур и скота, производство сельскохозяйственного оборудования и агрохимикатов, обработка пищевых продуктов, упаковка и маркировка, хранение, распространение, нормативно-правовая база и другие.

Защите и контролю промышленных систем электропитания следует уделять особое внимание. Поскольку производственные процессы и установки стали более сложными и обширными, требования к повышению надежности источников электропитания также возросли.

Перерывы в электроснабжении уменьшают цикл работы электрооборудования, что приводит к остановке технологического процесса. Из-за этого предприятия терпят материальные убытки в виде брака продукции или же затрат на ремонт электрооборудования.

Поэтому актуальность моей ВКР заключается в обеспечении надежным электроснабжением предприятия пищевой промышленности, а также увеличение производительности выпуска продукции, путём использования современного оборудования.

Целями бакалаврской работы по теме «Электрооборудование и электрохозяйство предприятия пищевой промышленности» являются:

- определить номинальную мощность трансформатора для предприятия;
- разработать проект электроснабжения предприятия пищевой промышленности;
- осуществить контроль надежности аппаратов и проводников;
- разработать проект системы пожарной сигнализации.

Для того чтобы определить номинальную мощность трансформатора необходимо:

- произвести расчёт силовых и осветительных нагрузок на предприятии;
- выбрать число и мощность компенсирующих установок;
- выбрать число и номинальную мощность трансформатора.

Для того чтобы разработать проект электроснабжения предприятия пищевой промышленности необходимо:

- определиться с выбором рода тока, напряжения и способа выполнения силовой сети;
- в качестве освещения цеха, выбрать лампы, основываясь на расчете освещения;
- распределить нагрузку по распределительным щитам
- выбрать аппараты защиты для силовой сети, а также проводников;
- рассчитать контур заземления.

Для того чтобы осуществить контроль надежности аппаратов и проводников необходимо:

- рассчитать токи короткого замыкания;
- проверить аппаратов на защиту от токи короткого замыкания и перегрузок;
- проверить на динамическую устойчивость;
- проверить по отключающей способности.

Для того чтобы разработать проект системы пожарной сигнализации необходимо:

- выбрать схему подключения системы пожарной сигнализации;
- выбрать исполнительные устройства и приборы автоматики;
- обеспечить электропитанием системы пожарной сигнализации.

## 1 Характеристика промышленного предприятия

Предприятие пищевой промышленности занимается изготовлением табачных изделий, а именно кальянного табака. Предприятие входит в холдинг АО «Погарская сигаретно-сигарная фабрика».

Здание включает в себя следующие основные помещения: цех обработки сырья, где обустроены две автоматизированные линия подготовки сырья; цех варки сиропа, где осуществляется процесс смешивания компонентов, в определенных пропорциях, согласно рецепту, и варка в варочных котлах; цех томления, в котором происходит процесс варки табачного сырья вместе с сиропом; цех фасовки, где осуществляется фасовка готового продукта в упаковки, а затем в коробки, для дальнейшего складирования в помещении склада. Также предусмотрены служебные, технические и бытовые помещения.

Предприятие получает электроснабжение от отдельной комплектной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, расположенной на расстоянии 1,2 км от проектируемого здания. От этой же комплектной трансформаторной подстанции получают электроснабжение еще два предприятия с дополнительной нагрузкой.

Геологические исследования показали, что в районе проектируемого здания грунт – чернозем с температурой +15 °С. Каркас здания сооружен из бетонных блоков.

Размеры здания  $A \times B \times H = 42 \times 22,5 \times 5$  м.

Помещения склада сырья, цеха обработки сырья, РП, подсобного помещения, вентиляционной, склада хранения имеют высоту 5 м, все остальные 3,2 м.

Вывод: Определены планируемая площадь здания, высота, помещения для технологического оборудования, а также помещения, необходимые для функционирования предприятия.

## 2 Расчет электрических нагрузок электрохозяйства

Для того чтобы осуществить выбор номинальной мощности трансформатора, необходимо провести расчёты электрической нагрузки в пределах предприятия. Для расчёта используется метод коэффициента максимума.

В начале переведем все электроприемники в трехфазную нагрузку.

На рисунке 2.1 показано, как включается 1-фазные нагрузки на 3-фазное напряжение.

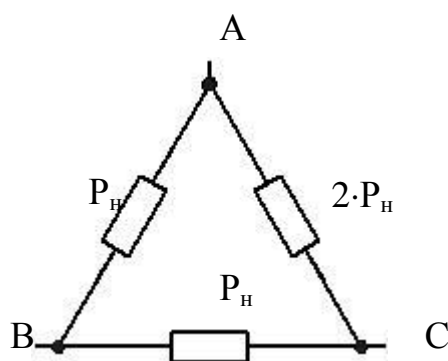


Рисунок 2.1 – Схема включения 1-фазной нагрузки на 3-фазное напряжение

По формулам (2.1) и (2.2) рассчитываем нагрузку на фазах А, В и С.

$$P_A = P_C = P_{\text{нб.ф}} = \frac{2 \cdot P_{\text{н}} + P_{\text{н}}}{2} \quad (2.1)$$

где  $P_{\text{нб.ф}}$  – мощность наибольшей нагрузки на фазу.

$$P_B = P_{\text{нм.ф}} = \frac{P_{\text{н}} + P_{\text{н}}}{2} \quad (2.2)$$

где  $P_{\text{нм.ф}}$  – мощность наименьшей нагрузки на фазу.

Затем рассчитываем неравномерность распределения нагрузок по фазам по формуле (2.3)



$$H = \frac{P_{\text{нб.ф}} - P_{\text{нм.ф}}}{P_{\text{нм.ф}}} \cdot 10^2 \quad (2.3)$$

Если неравномерность больше 15%, приведение 1-фазной нагрузки к 3-фазной рассчитываем по формуле (2.4)

$$P_y = 3 \cdot P_{\text{нб.ф}} \quad (2.4)$$

Если неравномерность меньше 15%, приведение 1-фазной нагрузки к 3-фазной рассчитываем по формуле (2.5)

$$P_y = P_A + P_B + P_C \quad (2.5)$$

Приведем 1-фазную нагрузку, работающую в длительном режиме, к 3-фазной нагрузке. Для этого объединяем все 1-фазные электроприемники, работающие в длительном режиме, в одну группу. К ним относятся: автомат для резки MC200 Shisha (2шт.,  $P_{\text{насп}} = 4,5$  кВт), автомат дозировочно-упаковочный (2 шт.,  $P_{\text{насп}} = 1,5$  кВт), упаковочный аппарат (2 шт.,  $P_{\text{насп}} = 3,6$  кВт). Схему (рисунок 2.2) включения 1-фазного электрооборудования на 3-фазное напряжение так, чтобы мощность на каждой фазе была наиболее равна.

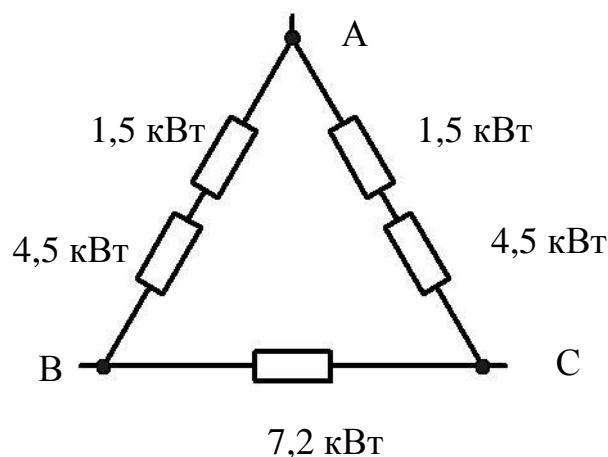


Рисунок 2.2 – Схема включения 1-фазной нагрузки на 3-фазное напряжение

По формулам (2.1) и (2.2) рассчитываем нагрузку на фазах А,В и С.

$$P_B = P_C = P_{\text{нб.ф}} = \frac{1,5 + 4,5 + 7,2}{2} = 6,6 \text{ кВт}$$

$$P_A = P_{\text{нм.ф}} = \frac{1,5 \cdot 2 + 4,5 \cdot 2}{2} = 6 \text{ кВт}$$

Затем рассчитываем неравномерность распределения нагрузок по фазам по формуле (2.3)

$$H = \frac{6,6 - 6}{6} \cdot 10^2 = 10\% < 15\%$$

Так как неравномерность меньше 15%, приведение 1-фазной нагрузки к 3-фазной рассчитываем по формуле (2.5)

$$P_y = P_A + P_B + P_C = 6 + 6,6 + 6,6 = 19,2 \text{ кВт}$$

Мощность остальных электроприемников, которые изначально работают в длительном режиме и имеющие трехфазную нагрузку, равна их паспортной мощности по выражению (2.6):

$$P_n = P_{\text{пасп}} \quad (2.6)$$

Результаты дальнейших расчётов будут сведены в сводную ведомость нагрузок, которая представлена в таблице 2.1.

Расчёты будут производиться согласно формулам (2.7-2.15):

– сумма мощностей однотипных электроприемников:

$$P_{\Sigma n} = P_n \cdot n \quad (2.7)$$

где  $n$  – число электроприемников данного электрооборудования, шт.

- средняя активная нагрузка:

$$P_c = K_{\text{И}} \cdot P_{\Sigma \text{н}} \quad (2.8)$$

где  $K_{\text{И}}$  – коэффициент использования, находится по справочнику.

- средняя реактивная нагрузка:

$$Q_c = K_{\text{И}} \cdot P_{\Sigma \text{н}} \cdot \text{tg } \varphi \quad (2.9)$$

где  $\text{tg } \varphi$  – коэффициент мощности, определяемый из справочника.

- эффективное число электроприемников определяется по формуле:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum_{i=1}^m n_i \cdot P_{\text{н}})^2}{\sum n_i \cdot P_{\text{н}}^2} \quad (2.10)$$

- расчетная активная нагрузка:

$$P_{\text{р}\Sigma} = K_{\text{р}} \cdot \sum_{i=1}^n K_{\text{И}} \cdot P_{\text{н}i} \quad (2.11)$$

где  $K_{\text{р}}$  – коэффициент расчетной мощности, которое определяется по справочным данным.

- расчетная реактивная мощность:

$$Q_{\text{р}\Sigma} = \sum_{i=1}^n K_{\text{И}} \cdot P_{\text{н}} \cdot \text{tg } \varphi_i \quad (2.12)$$

- расчетная полная мощность:

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \quad (2.13)$$

– токовая расчетная нагрузка:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (2.14)$$

– общий коэффициент использования:

$$K_{и\Sigma} = \frac{\sum P_c}{P_{н\Sigma}} \quad (2.15)$$

Пример расчёта электрооборудования «Элеватор 1». Согласно плану, число установок составляет  $n = 2$  шт. Номинальная мощность одной единицы электрооборудования составляет  $P_n = 1,2$  кВт.

Согласно формуле (2.7) находится установленная мощность:

$$P_{н\Sigma} = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \text{ кВт}$$

Для расчёта средних нагрузок, определим коэффициент использования, коэффициент активной мощности и коэффициент реактивной мощности, которые согласно справочным данным составляют:  $K_{и} = 0,45$ ;  $\cos\varphi = 0,6$ ;  $\operatorname{tg}\varphi = 1,33$ .

Согласно формулам (2.8) и (2.9) рассчитаем среднюю нагрузку:

$$P_c = 0,45 \cdot 2,4 = 1,08 \text{ кВт}$$

$$Q_c = 0,45 \cdot 2,4 \cdot 1,33 = 1,43 \text{ кВар}$$

Результаты расчёта остального электрооборудования в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Расчет нагрузок электрохозяйства

Исходные данные					Расчетные величины			Эффективное число ЭП $n_{\Sigma}$	Коэффициент расчетной нагрузки $K_p$	Расчетная мощность			Расчетный ток, А $I_p$	
по заданию технолога			по справочным данным		$K_{И} \cdot P_{н\Sigma}$	$K_{И} \cdot P_{н\Sigma} \cdot \text{tg}\phi$	$nP_n^2$			активная, кВт $P_{p\Sigma}$	реактивная, квар $Q_{p\Sigma}$	полная, кВА $S_p$		
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт. $n$	Номинальная (установленная) мощность, кВт	коэффициент использования $K_{И}$	коэффициент реактивной мощности $\cos\phi/\text{tg}\phi$										
1	2	3			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Элеватор 1	2	1,2	2,4	0,45	0,6/1,33	1,08	1,43	2,88						
Элеватор 2	1	1	1	0,45	0,6/1,33	0,45	0,6	1						
Элеватор 3	3	1,8	5,4	0,45	0,6/1,33	2,43	3,23	9,72						
Прямой транспортер 1	2	0,8	1,6	0,45	0,6/1,33	0,72	0,95	1,28						
Прямой транспортер 2	2	0,5	1	0,45	0,6/1,33	0,45	0,6	0,5						
Конвейер-грохоты вибрационный КГВ-0,3/1,5	2	2	4	0,5	0,6/1,33	2	2,66	8						
Конвейер-грохоты вибрационный КГВ-0,3/3,5	2	3	6	0,5	0,6/1,33	3	4	18						
Бланширователь ПБ-2000	2	1,5	3	0,6	0,65/1,17	1,8	2,1	4,5						
Воздуходувка	2	0,4	0,8	0,8	0,8/0,75	0,64	0,48	0,32						

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Сушильный барабан	2	4	8	0,7	0,95/0,32	5,6	1,8	32						
Группа 1-фазных эл.приемников Автомат для резки MC200 Shisha Автомат дизирувочно-упаковочный Автомат упаковочный	1(6)	19,2	19,2	0,6	0,5/1,73	11,52	19,92	368,64						
Котел для варки сиропа	4	4,2	16,8	0,7	0,8/0,75	11,76	8,82	70,56						
Котел томления	5	5	25	0,7	0,8/0,75	17,5	13,12	125						
Вентилятор	4	4,8	19,2	0,75	0,85/0,62	14,4	8,92	92,16						
Ленточно-винтовая мешалка	9	4,2	37,8	0,8	0,8/0,75	30,24	22,68	158,76						
Всего без освещения	48	53,6	151,20	0,68	-/0,88	103,59	91,31	892,32	26	0,85/1	88,05	91,31	126,84	183,07
Освещение											6,78	2,18		
Всего с учетом освещения											94,83	93,49	133,16	192,19

Вывод: Все электроприемники переведены на 3-х фазную нагрузку, а также на продолжительный режим работы. Рассчитана средняя активная и средняя реактивная мощность электроприемников с помощью коэффициентов мощности и использования. Рассчитана расчётная активная мощность и расчетная реактивная мощность с учетом мощностей освещения, которые составили, соответственно, 94,83 кВт и 93,49 квар. Полная расчетная мощность по предприятию составила 133,16 кВт.

### 3 Расчет электрического освещения

Расчет освещения на предприятии производится по методу коэффициента использования светового потока.

Для примера, расчет освещения, возьмем цех обработки сырья.

Размеры цех обработки сырья (рисунок 3.1):  $a * b * h * d * c = 16 * 18 * 5 * 12 * 6$  м.

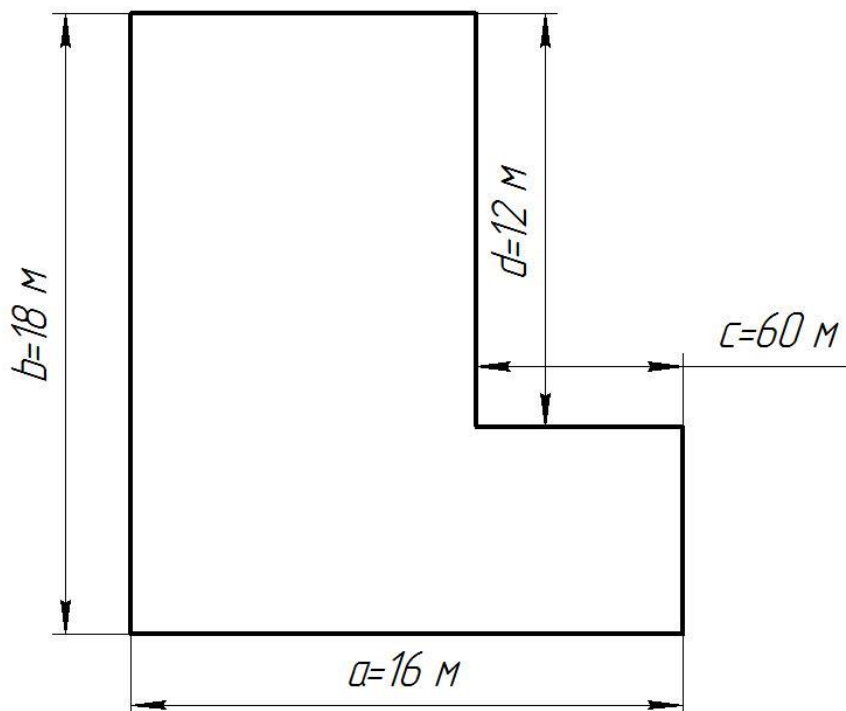


Рисунок 3.1 – Размер цеха обработки сырья

«Рассчитаем площадь помещения по формуле (2.1)» [13]:

$$S = (a \cdot b) - (d \cdot c) = (16 \cdot 18) - (12 \cdot 6) = 216 \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

«Определим индекс помещения по формуле(2.2)» [13]:

$$I = \frac{S}{(h - h_2) \cdot ((a + b) - (c + d))} \quad (3.2)$$

где  $h$  – высота помещения, м;

$h_2$  – высота рабочей поверхности, принимается равной 0,8 м.



$$I = \frac{216}{(5 - 0,8) \cdot ((16 + 18) - (6 + 12))} = 1,73$$

Принимается коэффициент запаса  $K_3$ , равный 1,5; коэффициент отражения потолка 80%; коэффициент отражения стен 30%; коэффициент отражения пола 20%.

«Количество светильников определяется по формуле(3.3)» [13]:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{л}} \quad (3.3)$$

где  $E$  – требуемая освещенность, лк;

$\eta$  – коэффициент использования;

$n$  – число ламп в одном светильнике, шт;

$\Phi_{л}$  – световой поток одной лампы, лм.

Для расчёта числа светильников примем:  $E = 300$  лк;  $\eta = 0,6$ ;  $\Phi_{л} = 15510$  лм.

«Определим количество светильников» [13]:

$$N = \frac{300 \cdot 216 \cdot 1,5}{0,6 \cdot 1 \cdot 15510} = 11 \text{ шт.}$$

Выбирается светильники марки Lighting Technologies HB Led 152 D100 5000K. Зона с освещенностью цеха обработки сырья представлена на рисунке 3.2.

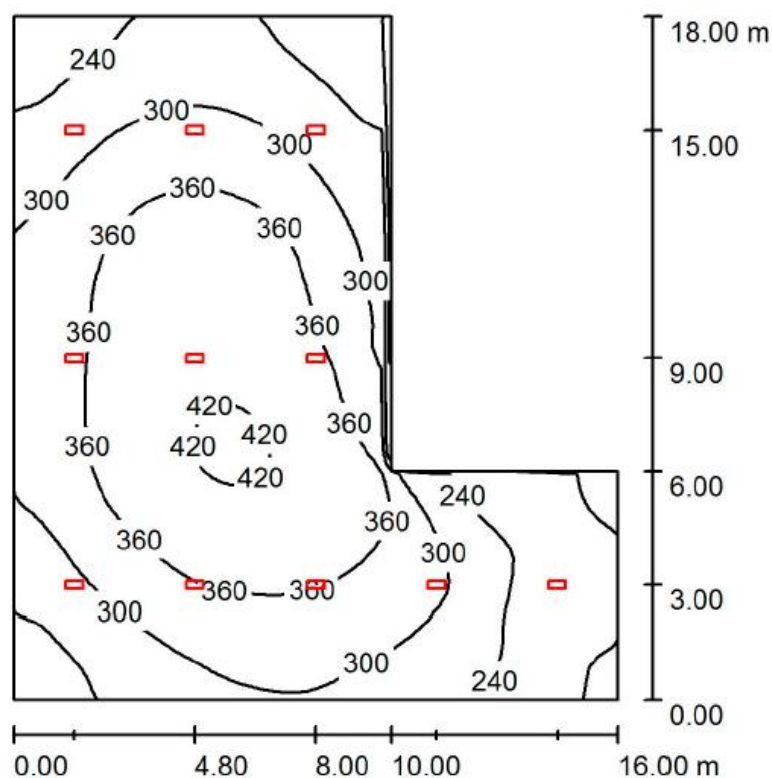


Рисунок 3.2 – Зона освещенности цеха

Мощность одного светильника равна  $P_{\text{л}} = 0,153$  кВт (из паспорта светильника).

«Рассчитаем активную и реактивную мощность освещения по формулам (3.4) и (3.5) для каждого помещения» [13]:

$$P_{\text{осв}} = N \cdot n \cdot P_{\text{л}} \quad (3.4)$$

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg } \varphi \quad (3.5)$$

где  $\text{tg } \varphi$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности светильника.

$$P_{\text{осв}} = 11 \cdot 1 \cdot 0,153 \cdot 1 = 1,68 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg } \varphi = 1,68 \cdot 0,33 = 0,55 \text{ кВар}$$

Для остальных помещений расчет электрического освещения рассчитывается аналогично этому и приводится в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Расчёт освещения по предприятию

Наименование помещения	Площадь, м <sup>2</sup>	Индекс помещения	Количество светильников, шт	Марка светильника	P <sub>осв</sub> , кВт	Q <sub>осв</sub> , кВар
Комната охраны	18	0,83	2	Lighting technologies Factory Prs Led 50	0,11	0,03
Гардероб	18	0,83	2		0,11	0,03
Химическая лаборатория	36	1,25	4		0,22	0,07
Офис	36	1,25	4		0,22	0,07
Сан. Узел м.	18	0,83	2		0,11	0,03
Сан. Узел ж	18	0,83	2		0,11	0,03
РП	18	0,47	2	Lighting Technologies HB Led 152 D100 5000K	0,30	0,1
ТП	18	0,47	2		0,30	0,1
Склад сырья	72	0,95	6		0,92	0,3
Цех обработки сырья	216	1,73	11		1,68	0,55
Коридор	96	1,42	8	Lighting technologies Factory Prs Led 50	0,44	0,14
Цех фасовки	101	1,8	8		0,44	0,14
Вентиляционная	36	0,71	4	Lighting Technologies HB Led 152 D100 5000K	0,61	0,2
Склад хранения	36	0,71	4	Lighting technologies Factory.Prs Led 50	0,22	0,07
Цех варки сиропа	36	1,25	4		0,22	0,07
Цех смешивания и настаивания	36	1,25	4		0,22	0,07
Цех томления	36	1,25	4		0,22	0,07
Склад готовой продукции	72	1,66	6		0,33	0,11
Всего	-	-	-	-	6,78	2,18

Расчитанные значения активной и реактивной мощности для освещения занесем в таблицу 2.1.

Вывод: Посчитана площадь каждого помещения. Так же для всех помещений посчитан индекс помещения. Выбрана оптимальный уровень освещенности равный 300 лк. Посчитано количество светильников, необходимое для освещения каждого помещения. Выбраны две марки светильников, используемые на предприятии это – Lightingtechnologiesfactory.PrsLed 50 и LightingTechnologiesHBLed 152 D100 5000K. Рассчитаны активная и реактивная мощность всех светильников на предприятии, которые составляют, соответственно, 6,78 кВт и 2,18 квар.

#### 4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов и компенсирующих устройств

Согласно ПУЭ все потребители делятся по электронадежности электроснабжения. На данном предприятии потребители относятся ко III категории. Таким образом, для функционирования системы электроснабжения, к установке принимаем два трансформатора.

В эксплуатации будут использоваться сухие трансформаторы с литой изоляцией, которые в отличие от маслонаполненных имеют пониженные потери холостого хода и потери короткого замыкания, сниженный уровень шума  $\leq 63$  Дб, высокую пожаробезопасность, низкие затраты на обслуживание. Все эти преимущества позволяют произвести монтаж трансформаторов внутри помещения, вблизи потребителей. Поэтому монтаж производится в помещении «ТП» оборудованном приточной и вытяжной вентиляцией.

- коэффициент загрузки, согласно ПУЭ:  $K_3 = 0,7$ ;
- число трансформаторов:  $N_T = 2$  шт.

Рассчитаем мощность трансформатора по формуле (4.1):

$$S_{HT} = \frac{S_{p\Sigma}}{K_3 \cdot N_T} \quad (4.1)$$

$$S_{HT} = \frac{133,16}{0,7 \cdot 2} = 95,11 \text{ кВА}$$

Выбираются 2КТП с двумя сухими трансформаторами, выполненные с литой изоляцией, ТСЗ-100/10/0,4 У4 производства группы компании «СВЭЛ».

Определяется расчетная мощность КУ по формуле (4.2):

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_{p\Sigma} \cdot (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k) = 0,9 \cdot 94,83 \cdot (0,88 - 0,33) = 46,94 \text{ квар} \quad (4.2)$$

Принимается  $\cos\varphi_k = 0,95$ , тогда  $\operatorname{tg}\varphi_k = 0,33$ .

$\alpha = 0,9$  – коэффициент, учитывающий повышение  $\cos\varphi$  естественным образом.

Выбирается АУКРМ 0,4 на 45 квар.

Определяются фактические значения  $\operatorname{tg}\varphi_\phi$  и  $\cos\varphi_\phi$  после компенсации реактивной мощности по формуле (4.3):

$$\operatorname{tg}\varphi_\phi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{\text{к.ст}}}{\alpha \cdot P_M} = 0,88 - \frac{45}{0,9 \cdot 94,83} = 0,35 \quad (4.3)$$

Отсюда  $\cos\varphi_\phi = 0,94$ .

Определяется окончательная расчетная полная мощность по формуле (4.4)

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{\text{к.п}})^2} = \sqrt{94,83^2 + (93,49 - 46,94)^2} = 105,64 \text{ кВА} \quad (4.4)$$

Определяется расчетная окончательная мощность, забираемая у трансформаторов

$$S_{\text{HT}} = \frac{S_p}{K_3 \cdot N_T} = \frac{105,64}{0,7 \cdot 2} = 75,45 \text{ кВА}$$

В результате определено число трансформаторов, необходимых для надежного электроснабжения электроприемников. Рассчитана расчетная мощность и выбрана компенсирующая установка АУКРМ 0,4 на 45 квар. Рассчитана расчетная мощность трансформатора, которая составила 75,45 кВА. Выбрана 2КТП с трансформаторами ТСЗ-100/10/0,4 У4.

## 5 Выбор схемы электроснабжения

Для электропитания предприятия пищевой промышленности выбирается переменный род тока. Это связано, во-первых, с тем, что большая часть электрооборудование на предприятии используют переменный ток, остальная часть комплектуется преобразовательными устройствами. Во-вторых, это экономически целесообразно, так как нет необходимости закупки специального оборудования, которое может увеличить затраты, выделяемые на проект. Двигатели постоянного тока (сервоприводы) используются на автоматизированных линиях упаковки и фасовки, питание которых осуществляется 1-фазным переменным напряжением, проходя через преобразователи-выпрямители.

Экономически целесообразно использовать напряжение на линии ввода в предприятие – 10 кВ, так как мощных потребителей на предприятии нет, и при этом потери электроэнергии будут меньше, чем при напряжении 6 кВ. Электроприемники предприятия питаются от сети напряжением 380/220 В, а осветительная нагрузка от 220 В.

Схема распределения сети внутри предприятия определяется технологическим процессом производства, планировкой помещений, расположением трансформаторной подстанции, электроприемников и требованиями, предъявляемыми к ним.

На предприятии рационально применить смешанную схему электроснабжения.

Таким образом, схема распределения электрохозяйства выполнена из следующих элементов:

- линии питания: от двух трансформаторов к панелям ввода ЩО-70;
- распределительные линии: от линейных панелей ЩО-70 к распределительным щитам;
- распределительные щиты ЩР1-8 напряжением 0,38 кВ;
- аппаратура коммутации и защиты.

Комплектная трансформаторная подстанция находится снаружи здания, что сокращает затраты на выделение площади под КТП внутри здания, его установку и обслуживание, но увеличивает потери, увеличением протяженности сетей низкого напряжения.

Вывод: Выбран род тока – переменный, а также величина напряжения внутри предприятия. Силовая распределительная сеть питается от 0,4 кВ, сеть электрического освещения от 0,23 кВ. Выбрана смешанная схема распределительной сети.



## **6 Выбор элементов схемы электрохозяйства**

Для того, чтобы схема электрохозяйства была надежной и экономичной необходимо осуществить выбор распределительных устройств, защитных аппаратов и проводники. Необходимо грамотно разместить распределительное оборудование, чтобы соблюсти нормы ПУЭ и добиться меньших затрат с экономической точки зрения. Основным параметром для предварительного выбора электрооборудования будет являться токовая нагрузка.

### **6.1 Расчёт электрической нагрузки для распределительных устройств**

В помещении «Распределительного пункта (РП)» производится монтаж панелей одностороннего обслуживания (ЩО-70). Панели ввода осуществляют прием электроэнергии от трансформаторов. Линейные панели производят распределение электроэнергии уже по распределительным шкафам (ШР). Панель секционная осуществляет ввод резерва, при обесточивании одного из трансформаторов.

На предприятии определяются места монтажа распределительных шкафов (ШР). Шкафы устанавливаются вблизи группы электроприемников, для уменьшения затрат на прокладку и закупку кабельных линий.

Расчёты электрической нагрузки необходимо произвести для определения тока, который понадобится для выбора защитных, измерительных устройств, а также проводников.

Для расчёта электрических нагрузок используются формулы из раздела 2. Только изменяется величина коэффициента расчетной мощности  $K_p$ , которая определяется по справочным данным.

В таблице 6.1 определено необходимое число распределительных устройств и рассчитана токовая нагрузка на них.

Таблица 6.1 – Расчет нагрузок по распределительным шкафам

Исходные данные					Расчетные величины			Эффективное число ЭП $n_{\Sigma}$	Коэффициент расчетной нагрузки $K_p$	Расчетная мощность			Расчетный ток, А $I_p$	
по заданию технолога			по справочным данным		$K_{И} \cdot P_{н\Sigma}$	$K_{И} \cdot P_{н\Sigma} \cdot \text{tg}\phi$	$nP_n^2$			активная, кВт $P_{p\Sigma}$	реактивная, квар $Q_{p\Sigma}$	полная, кВА $S_p$		
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт. $n$	Номинальная (установленная) мощность, кВт	коэффициент использования $K_{И}$	коэффициент реактивной мощности $\cos\phi/\text{tg}\phi$										
1	2	3			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Эlevator 1	2	1,2	2,4	0,45	0,6/1,33	1,08	1,43	2,88						
Конвейер-грохоты виброц. КГВ-0,3/1,5	2	2	4	0,5	0,6/1,33	2	2,66	8						
Бланширователь ПБ-2000	2	1,5	3	0,6	0,65/1,17	1,8	2,1	4,5						
Воздуходувка	2	0,4	0,8	0,8	0,8/0,75	0,64	0,48	0,32						
<b>Итого по ШР1</b>	<b>8</b>	<b>5,1</b>	<b>10,2</b>	<b>0,54</b>	<b>-/1,2</b>	<b>5,52</b>	<b>6,67</b>	<b>15,7</b>	<b>7</b>	<b>1,07/1,1</b>	<b>5,9</b>	<b>7,33</b>	<b>9,41</b>	<b>14,3</b>
Автомат для резки MC200 Shisha	1	4,5	4,5	0,6	0,5/1,73	2,7	4,67	20,25						
Эlevator 2	1	1	1	0,45	0,6/1,33	0,45	0,6	1						
Эlevator 3	1	1,8	1,8	0,45	0,6/1,33	0,81	1,07	3,24						
Прямой транспортер 1	1	0,8	0,8	0,45	0,6/1,33	0,36	0,47	0,64						
Конвейер-грохоты вибращ. КГВ-0,3/3,5	1	3	3	0,5	0,6/1,33	1,5	2	9						

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Сушильный барабан	1	4	4	0,7	0,95/0,32	2,8	0,89	16						
<b>Итого по ШР2</b>	<b>6</b>	<b>15,1</b>	<b>15,1</b>	<b>0,57</b>	<b>-/1,12</b>	<b>8,62</b>	<b>9,7</b>	<b>50,13</b>	<b>5</b>	<b>1,09/1,1</b>	<b>9,4</b>	<b>10,67</b>	<b>14,22</b>	<b>21,6</b>
Автомат для резки MC200 Shisha	1	4,5	4,5	0,6	0,5/1,73	2,7	4,67	20,25						
Элеватор 3	2	1,8	3,6	0,45	0,6/1,33	1,62	2,15	6,48						
Прямой транспортер 1	1	0,8	0,8	0,45	0,6/1,33	0,36	0,47	0,64						
Конвейер-грохоты вибрац. КГВ-0,3/3,5	1	3	3	0,5	0,6/1,33	1,5	2	9						
Сушильный барабан	1	4	4	0,7	0,95/0,32	2,8	0,89	16						
<b>Итого по ШР3</b>	<b>6</b>	<b>14,1</b>	<b>15,9</b>	<b>0,56</b>	<b>-/1,13</b>	<b>8,98</b>	<b>10,18</b>	<b>52,37</b>	<b>5</b>	<b>1,09/1,1</b>	<b>9,78</b>	<b>11,2</b>	<b>14,87</b>	<b>22,6</b>
Автомат дизирувочно-упаковочный	2	3,6	7,2	0,6	0,5/1,73	4,32	7,47	25,92						
Прямой транспортер 2	2	0,5	1	0,45	0,6/1,33	0,45	0,6	0,5						
Автомат упаковочный	2	1,5	3	0,6	0,6/1,73	1,8	3,11	4,5						
<b>Итого по ШР4</b>	<b>6</b>	<b>5,6</b>	<b>11,2</b>	<b>0,58</b>	<b>-/1,7</b>	<b>6,57</b>	<b>11,18</b>	<b>30,92</b>	<b>4</b>	<b>1,12/1,1</b>	<b>7,35</b>	<b>12,3</b>	<b>14,32</b>	<b>21,75</b>
Котел для варки сиропа	4	4,2	16,8	0,7	0,8/0,75	11,76	8,82	70,56						
ШР6: Вентилятор	4	4,8	19,2	0,75	0,85/0,62	14,4	8,92	92,16						
<b>Итого по ШР5</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>36</b>	<b>0,72</b>	<b>-/0,67</b>	<b>26,16</b>	<b>17,74</b>	<b>162,72</b>	<b>8</b>	<b>1/1,1</b>	<b>26,16</b>	<b>19,51</b>	<b>32,63</b>	<b>49,57</b>

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ленточно-винтовая мешалка	9	4,2	37,8	0,8	0,8/0,75	30,24	22,68	158,76						
<b>Итого по ШР7</b>	<b>9</b>	<b>4,2</b>	<b>37,8</b>	<b>0,8</b>	<b>-/0,75</b>	<b>30,24</b>	<b>22,68</b>	<b>158,76</b>	<b>9</b>	<b>1/1,1</b>	<b>30,22</b>	<b>24,94</b>	<b>39,18</b>	<b>59,52</b>
Котел томления	5	5	25	0,7	0,8/0,75	17,5	13,12	125						
<b>Итого по ШР8</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>25</b>	<b>0,7</b>	<b>-/0,75</b>	<b>17,5</b>	<b>13,12</b>	<b>125</b>	<b>5</b>	<b>1,03</b>	<b>17,5</b>	<b>14,43</b>	<b>22,68</b>	<b>34,45</b>

## 6.2 Выбор сечений проводников распределительной сети

К кабелям в пищевой промышленности применяются ряд требований. При выборе проводников на предприятии нужно учесть их устойчивость к вибрации, воздействию пара и химическим веществам. В качестве проводника электрической энергии принимается кабель марки ВВГнг, который имеет высокую степень негорючести. Выбор пал на медные жилы, потому что, по сравнению с алюминиевыми жилами, медные имеют низкое удельное сопротивление, высокую механическую прочность. Так как электропитание осуществляется в основном через трехфазную сеть, то выбирается четырехжильный кабель, который имеет три фазные жилы и одну нейтраль.

Для защиты кабелей, в местах с вредными воздействиями, используют, металлические трубы, которые препятствуют контакту с внешней средой. В зонах, в которых нет вредных воздействий кабели прокладываются в кабель каналах.

Выбор кабеля производим по расчетному току. Токи в распределительных устройствах посчитаны в таблице 6.1. Для определения расчетного тока электроприемника применяется формула (6.1):

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} \quad (6.1)$$

Для примера выполним расчёт расчетного тока для «Элеватор 1» согласно формуле (6.1)

$$I_p = \frac{1,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,6} = 3,04 \text{ А}$$

По формуле (6.1) проведем расчёты и для других электроприемников и и результаты занесём в таблице 6.2.

По расчётному току выберем сечение жил, согласно таблицам, из справочных данных.

Сечение жилсиловых кабелей не должно быть меньше 2,5 мм<sup>2</sup>.

Таблица 6.2 – Выбор сечения кабеля

№	Наименование	I <sub>р</sub> , А	I <sub>доп</sub> , А	Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Марка кабеля
1	2	3	4	5	6
1	ШР1	14,3	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
2	ШР2	21,6	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
3	ШР3	22,6	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
4	ШР4	21,75	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
5	ШР5	49,57	50	10	ВВГнг 4х10
6	ШР7	59,52	75	16	ВВГнг 4х16
7	ШР8	34,45	40	6	ВВГнг 4х6
8	Элеватор 1	3,04	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
9	Элеватор 2	2,53	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
10	Элеватор 3	4,55	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
11	Прямой транспортер 1	2,02	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
12	Прямой транспортер 2	1,26	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
13	Конвейер-грохоты вибрац. КГВ-0,3/1,5	5,06	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
14	Конвейер-грохоты вибрац. КГВ-0,3/3,5	7,6	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
15	Бланширователь ПБ-2000	3,5	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
16	Воздуходувка	0,76	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
17	Сушильный барабан	6,4	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
18	Автомат для резки MC200 Shisha	13,67	25	2,5	ВВГнг 2х2,5
19	Автомат дизировочно-упаковочный	4,55	25	2,5	ВВГнг 2х2,5
20	Автомат упаковочный	10,93	25	2,5	ВВГнг 2х2,5
21	Котел для варки сиропа	7,97	25	2,5	ВВГнг 4х2,5

Продолжение таблицы 6.2

1	2	3	4	5	6
22	Котел томления	9,49	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
23	Вентилятор	8,58	25	2,5	ВВГнг 4х2,5
24	Ленточно-винтовая мешалка	7,97	25	2,5	ВВГнг 4х2,5

### 6.3 Выбор автоматических выключателей

Выбор автоматического выключателя зависит от площади сечения жил, которые необходимо защитить. Поэтому выбор аппаратов выполняется по расчетным токам  $I_p$ , из пункта 6.2.

Условия выбора автоматического выключателя представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Условия выбора автоматического выключателя

Наименование защитного аппарата	С одним ЭД	С несколькими ЭД
Автоматический выключатель с комбинированным расцепителем серии ВА	$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_p$	$I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_p$

В таблице 6.4 выбираем аппараты защиты с условием того, что производится подключения электроприемников с несколькими электродвигателями.

Таблица 6.4 – Выбор автоматических выключателей

№	Наименование	$I_p$ , А	$1,1 \cdot I_p$ , А	$I_{н.р}$ , А	$I_{пкс}$ , кА	$I_{н.а}$ , А	Марка аппарата
1	ЩР1	14,3	15,73	16	3	25	ВА 51-25-3
2	ЩР2	21,6	23,76	25	3	25	ВА 51-25-3
3	ЩР3	22,6	24,86	25	3	25	ВА 51-25-3
4	ЩР4	21,75	23,92	25	3	25	ВА 51-25-3
5	ЩР5	49,57	54,52	63	5	63	ВА 51-29-3
6	ЩР7	59,52	65,47	63	7	100	ВА 51-31-3
7	ЩР8	34,45	37,89	40	5	63	ВА 51-29-3

В таблице 6.5 выберем аппараты защиты с условием того, что производится подключение электроприемников с одним электродвигателем.

Таблица 6.5 – Выбор автоматических выключателей электроприемников

№	Наименование	$I_p$ , А	$1,25 \cdot I_p$ , А	$I_{н.р}$ , А	$I_{пкс}$ , кА	$I_{н.а}$ , А	Марка аппарата
1	Элеватор 1	3,04	3,8	4	1,5	25	ВА 51-25-3
2	Элеватор 2	2,53	3,16	4	1,5	25	ВА 51-25-3
3	Элеватор 3	4,55	5,68	6,3	2	25	ВА 51-25-3
4	Прямой транспортер 1	2,02	2,52	3,15	1,5	25	ВА 51-25-3
5	Прямой транспортер 2	1,26	1,57	1,6	3	25	ВА 51-25-3
6	Конвейер-грохоты вибрационный КГВ-0,3/1,5	5,06	6,32	8	2	25	ВА 51-25-3
7	Конвейер-грохоты вибрационный КГВ-0,3/3,5	7,6	9,5	10	2,5	25	ВА 51-25-3
8	Бланширователь ПБ-2000	3,5	4,37	5	1,5	25	ВА 51-25-3
9	Воздуходувка	0,76	0,95	1	3	25	ВА 51-25-3
10	Сушильный барабан	6,4	8	8	2	25	ВА 51-25-3
11	Автомат для резки МС200 Shisha	13,67	17,08	20	3	25	ВА 51-25-1
12	Автомат дизировочно- упаковочный	4,55	5,68	6,3	2	25	ВА 51-25-1
13	Автомат упаковочный	10,93	13,66	16	3	25	ВА 51-25-1
14	Котел для варки сиропа	7,97	9,96	10	2,5	25	ВА 51-25-3
15	Котел томления	9,49	11,86	12,5	2,5	25	ВА 51-25-3
16	Вентилятор	8,58	10,72	12,5	2,5	25	ВА 51-25-3
17	Ленточно-винтовая мешалка	7,97	9,96	10	2,5	25	ВА 51-25-3

#### 6.4 Выбор трансформаторов тока

При выборе трансформатора тока учитывается выполнение требований ГОСТ 7746-2015 «Трансформаторы тока. Общие технические условия.»

Выбор производится по напряжению, по току первичной и вторичной обмотки, по классу точности и по конструктивному исполнению. Из ряда напряжений выбирается минимальное, которое составляет 0,66 кВ. Ток первичной обмотки выбирается из условия, что ток первичной обмотки трансформатора тока будет больше чем расчётный ток, определенный в таблице 6.2. Ток вторичной обмотки выбирается 5 А. Так как трансформаторы тока предназначены для передачи измерительной информации, то класс точности выбирается 0,5. По конструктивному



исполнению выбираются трансформаторы тока ТТИ-А, которые соответствуют ГОСТу. Преимуществами этих трансформаторов тока являются, то что они могут использоваться для шин и кабелей различных сечений, неразборный корпус, луженная жила, в которую возможно подключить как медные, так и алюминиевые шины.

В таблице 6.6 показаны выбранные трансформаторы тока.

Таблица 6.6 – Выбор трансформаторов тока

№	Название	$I_p$ , А	$I_{н.т}$ , А	Марка
1	ЩР1	14,3	15	ТТИ-А 15/5А 5ВА 0,5
2	ЩР2	21,6	25	ТТИ-А 25/5А 5ВА 0,5
3	ЩР3	22,6	25	ТТИ-А 25/5А 5ВА 0,5
4	ЩР4	21,75	25	ТТИ-А 25/5А 5ВА 0,5
5	ЩР5	49,57	50	ТТИ-А 50/5А 5ВА 0,5
6	ЩР7	59,52	60	ТТИ-А 60/5А 5ВА 0,5
7	ЩР8	34,45	40	ТТИ-А 40/5А 5ВА 0,5

В результате по данному разделу выбрано нужное количество распределительных устройств для электроприемников. Выбрано сечение и марка кабеля для питания распределительных устройств и электроприемников. Выбраны автоматические выключатели для защиты каждого электроприемника и распределительного устройства. Выбраны трансформаторы тока для измерения нагрузки на распределительных устройствах.

## 7 Расчет токов короткого замыкания

Прежде чем выполнять расчет необходимо составить однолинейную схему с выбранными зонами возможного короткого замыкания. Для расчета выберем цепь электропитания от трансформатора до электроприемника №14.

Однолинейная схема показана на рисунке 7.1.

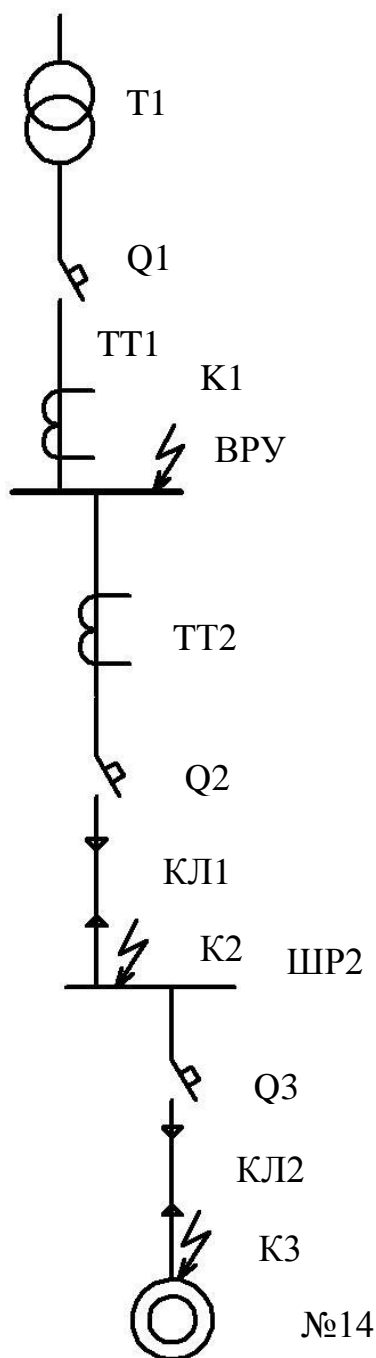


Рисунок 7.1 – Однолинейная схема с выбранными зонами короткого замыкания

## 7.1 Расчёт токов короткого замыкания ниже 1000 В

### 7.1.1 Расчет токов трехфазного и двухфазного короткого замыкания

Перед началом расчёта необходимо определить активные и реактивные элементы схемы (рисунок 7.1). После определение всех элементов схемы составляется схема замещения с указанием точек короткого замыкания.

Схема замещения показана на рисунке 7.2.

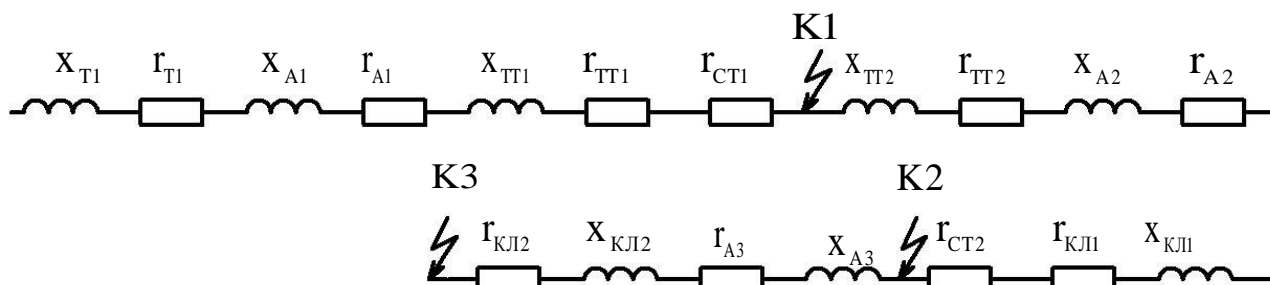


Рисунок 7.2 – Схема замещения

Далее определяются сопротивления активных и индуктивных элементов схемы замещения. Так как нет достоверных сведений о переходных сопротивлениях контактов, в расчетах используются общепринятые средние значения. Сопротивления силового трансформатора, всех автоматических выключателей и трансформаторов тока определяются из справочных данных. Принятые значения активных и индуктивных сопротивлений показаны в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Значения активных и индуктивных сопротивлений схемы замещения

Элемент схемы замещения	Активное сопротивление, мОм	Индуктивное сопротивление, мОм	Обозначение на схеме замещения
1	2	3	4
Распределительные устройства подстанции	15	-	$r_{ст1}$
Вторичные распределительные устройства	20	-	$r_{ст2}$
Силовой трансформатор ТСЗ	31,5	64,7	$r_{Т1}, X_{Т1}$
Автоматический выключатель к ВРУ	0,12	0,13	$r_{А1}, X_{А1}$
Автоматический выключатель к ШР2	0,7	0,7	$r_{А2}, X_{А2}$

Продолжение таблицы 7.1

1	2	3	4
Автоматический выключатель электроприемника	2,4	2	$r_{A3}, X_{A3}$
Трансформатор тока к ВРУ	0,05	0,07	$r_{ТТ1}, X_{ТТ1}$
Трансформатор тока к ШР2	0,75	1,2	$r_{ТТ2}, X_{ТТ2}$

Сопротивление кабельных линий рассчитываются по формулам.

Индуктивное сопротивление кабельных линий рассчитывается по формуле (7.1):

$$X_{\text{кл}} = X_0 \cdot l \quad (7.1)$$

где  $X_0$  – удельное индуктивное сопротивление кабеля, мОм/м;

$l$  – длина кабельной линии, м.

Активное сопротивление кабельных линий рассчитывается по формуле (7.2):

$$r_{\text{кл}} = r_0 \cdot l \quad (7.2)$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление кабеля, мОм/м.

Активное сопротивление нулевой последовательности рассчитывается по формуле (7.3):

$$r_n = 2 \cdot r_0 \cdot l \quad (7.3)$$

Индуктивное сопротивление нулевой последовательности рассчитывается по формуле (7.4):

$$x_n = 0,4 \cdot l \quad (7.4)$$

Длина кабельной линии КЛ1 равна 28,2 м.

Рассчитывается активное и индуктивное сопротивление кабельной линии КЛ1, согласно формулам (7.1) и (7.2):

$$r_{\text{КЛ1}} = 0,29 \cdot 28,2 = 8,17 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{КЛ1}} = 0,06 \cdot 28,2 = 1,69 \text{ мОм}$$

Рассчитывается активное и индуктивное сопротивление нулевой последовательности, согласно формулам (7.3) и (7.4):

$$r_{\text{n.КЛ1}} = 2 \cdot 0,29 \cdot 28,2 = 16,35 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{n.КЛ1}} = 0,4 \cdot 28,2 = 11,28 \text{ мОм}$$

По аналогии с расчётом кабельной линии КЛ1 выполним расчёт кабельной линии КЛ2. Длина кабельной линии КЛ2 равна 4 м.

$$r_{\text{КЛ2}} = 0,29 \cdot 4 = 1,16 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{КЛ2}} = 0,06 \cdot 4 = 0,24 \text{ мОм};$$

$$r_{\text{n.КЛ2}} = 2 \cdot 0,29 \cdot 4 = 2,32 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{n.КЛ2}} = 0,4 \cdot 4 = 1,6 \text{ мОм}.$$

Выполним объединение активных и индуктивных сопротивлений между точками короткого замыкания. Упрощенная схема замещения представлена на рисунке 7.3.

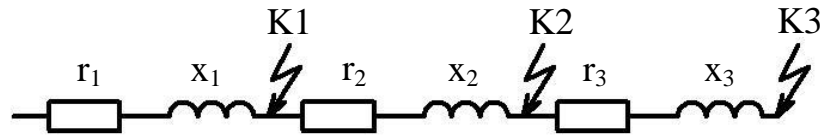


Рисунок 7.3 – Упрощенная схема замещения

Просуммируем активные и индуктивные сопротивления:

$$r_1 = r_{T1} + r_{A1} + r_{TT1} + r_{cr1} = 31,5 + 0,12 + 0,05 + 15 = 46,67 \text{ мОм};$$

$$x_1 = x_{T1} + x_{A1} + x_{TT1} = 64,7 + 0,13 + 0,07 = 64,9 \text{ мОм};$$

$$r_2 = r_{A2} + r_{TT2} + r_{KJI} + r_{cr2} = 0,7 + 0,75 + 8,17 + 20 = 29,62 \text{ мОм};$$

$$x_2 = x_{A2} + x_{TT2} + x_{KJI} = 0,7 + 1,2 + 1,69 = 3,59 \text{ мОм};$$

$$r_3 = r_{A3} + r_{KJI2} = 2,4 + 1,16 = 3,56 \text{ мОм};$$

$$x_3 = x_{A3} + x_{KJI2} = 2 + 0,24 = 2,24 \text{ мОм}.$$

Для расчета токов будем использовать следующие формулы:

– «коэффициент действующего значения тока согласно формуле (7.5)» [19]:

$$q = \sqrt{1 + (K_y - 1)^2} \quad (7.5)$$

где  $K_y$  – ударный коэффициент.

– «ток трехфазного короткого замыкания согласно формуле (7.6)» [19]:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} \quad (7.6)$$

– «ток двухфазного короткого замыкания находится по формуле (7.7)» [19]:

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3}^{(3)} \quad (7.7)$$

– «ударный ток находится по формуле (7.8)» [19]:

$$i_y = \sqrt{3} \cdot K_y \cdot I_{K3}^{(3)} \quad (7.8)$$

– «действующее значение ударного тока находится по формуле (7.9)» [19]:

$$I_y = q \cdot I_{K3}^{(3)} \quad (7.9)$$

«Рассчитаем полное сопротивление до точки К1» [19]:

$$Z_{K1} = \sqrt{46,67^2 + 64,9^2} = 79,93 \text{ мОм}$$

«С помощью отношение  $\frac{r_{K1}}{x_{K1}}$  определяется ударный коэффициент» [19]:

$$\frac{r_{K1}}{x_{K1}} = \frac{46,67}{64,9} = 0,72$$

Определяется ударный коэффициент по графику зависимости

$K_y = F\left(\frac{r_{K1}}{x_{K1}}\right)$ , представленный на рисунке 7.4.

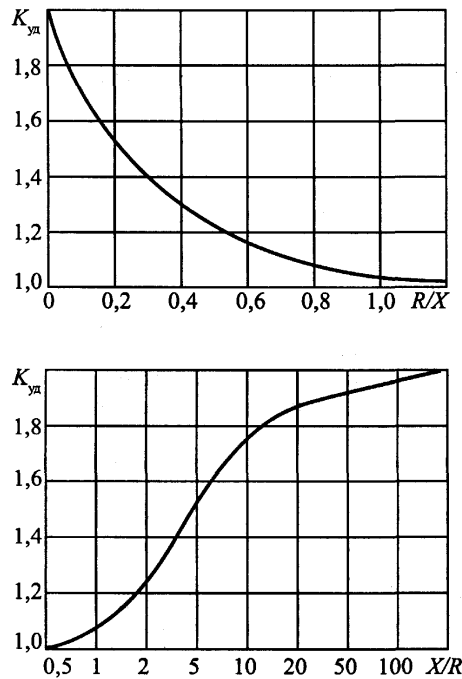


Рисунок 7.4 – График зависимости  $K_y = F\left(\frac{r_{K1}}{X_{K1}}\right)$

Согласно графику,  $K_{y.K1} = 1,12$ . «Тогда коэффициент действующего значения тока равен» [19]:

$$q_{K1} = \sqrt{1 + (1,12 - 1)^2} = 1$$

«Ток трехфазного короткого замыкания в точке К1» [19]:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 79,93} = 0,03 \text{ кА}$$

«Ток двухфазного короткого замыкания равен» [19]:

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,03 = 0,026 \text{ Ка}$$

«Ударный ток для точки К31 составит» [19]:



$$i_{y.K1} = \sqrt{2} \cdot 1,12 \cdot 0,03 = 0,047 \text{ кА}$$

«Действующее значение ударного тока» [19]:

$$I_{y.K1} = 1 \cdot 0,03 = 0,03 \text{ кА}$$

Расчёт точек К2 и К3 ведётся аналогично рассчитанной точки К1. Расчёты всех точек короткого замыкания представлены в таблице 7.2.

### 7.1.2 Расчет токов однофазного короткого замыкания

Для расчёта токов однофазного короткого замыкания необходимо составить схему замещения нулевой последовательности. Схема замещения нулевой последовательности представлена на рисунке 7.6.

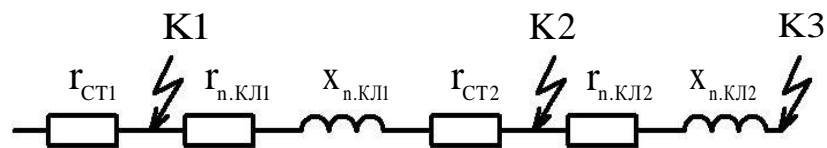


Рисунок 7.6 – Схема замещения нулевой последовательности

Выполним расчёт полного сопротивления для каждой точки короткого замыкания. Значения переходных сопротивлений контактов примем такими же, как в пункте 7.1.

$$Z_{n1} = 15 \text{ мОм};$$

$$r_{n2} = r_{cr1} + r_{n.KJ1} + r_{cr2} = 15 + 16,35 + 20 = 51,35 \text{ мОм};$$

$$x_{n2} = x_{n.KJ1} = 11,28 \text{ мОм};$$

$$Z_{n2} = \sqrt{r_{n2}^2 + x_{n2}^2} = \sqrt{51,35^2 + 11,28^2} = 52,57 \text{ мОм};$$

$$r_{n3} = r_{n2} + r_{n.KJ2} = 51,35 + 2,32 = 53,67 \text{ мОм};$$

$$x_{n3} = x_{n2} + x_{n.KJ2} = 11,28 + 1,6 = 12,88 \text{ мОм};$$

$$Z_{n3} = \sqrt{r_{n3}^2 + x_{n3}^2} = \sqrt{53,67^2 + 12,88^2} = 55,19 \text{ мОм}.$$

«Ток однофазного короткого замыкания рассчитаем по формуле (7.8):

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{U_{\text{н.ф}}}{Z_{\text{н}} + \frac{Z_{\text{Т}}^{(1)}}{3}} \quad (7.8)$$

где  $U_{\text{н.ф}}$  – номинальное фазное напряжение, кВ;

$Z_{\text{н}}$  – полное сопротивление нулевой последовательности до точки КЗ;

$Z_{\text{Т}}^{(1)}$  – полное сопротивление трансформатора при однофазном КЗ, для трансформатора 100 кВА  $Z_{\text{Т}}^{(1)} = 779 \text{ мОм}$ .» [19]

«Ток однофазного короткого замыкания для точки К1» [19]:

$$I_{\text{к1}}^{(1)} = \frac{0,23}{15 + \frac{779}{3}} = 0,006 \text{ кА}.$$

По такому же принципу рассчитан ток однофазного короткого замыкания для точек К2 и К3. Значения занесен в таблицу 7.2.

Таблица 7.2 – Сводная расчетная таблица токов короткого замыкания

Точка КЗ	$r_{\text{кз}}$ , мОм	$x_{\text{кз}}$ , мОм	$Z_{\text{кз}}$ , мОм	$\frac{r_{\text{кз}}}{x_{\text{кз}}}$	$K_{\text{у}}$	$q$	$I_{\text{кз}}^{(3)}$ , кА	$I_{\text{кз}}^{(2)}$ , кА	$Z_{\text{н}}$ , мОм	$I_{\text{кз}}^{(1)}$ , кА	$i_{\text{у}}$ , кА	$I_{\text{у}}$ , кА
К1	46,67	64,9	79,93	0,72	1,12	1	0,03	0,026	15	0,006	0,047	0,03
К2	29,62	3,59	29,83	8,25	1,7	1,22	0,007	0,006	52,57	0,003	0,017	0,008
К3	3,56	2,24	4,2	1,59	1,17	1,01	0,055	0,047	55,19	0,003	0,09	0,055

В результате расчётов наиболее опасным оказывается трехфазное короткое замыкание в точке К3, т.е. на электроприемнике 14.

## 7.2 Расчёт токов короткого замыкания выше 1000 В

### 7.2.1 Расчет токов трехфазного и двухфазного короткого замыкания

Для расчётов составляется расчётная схема, которая представлена на рисунке 7.7.

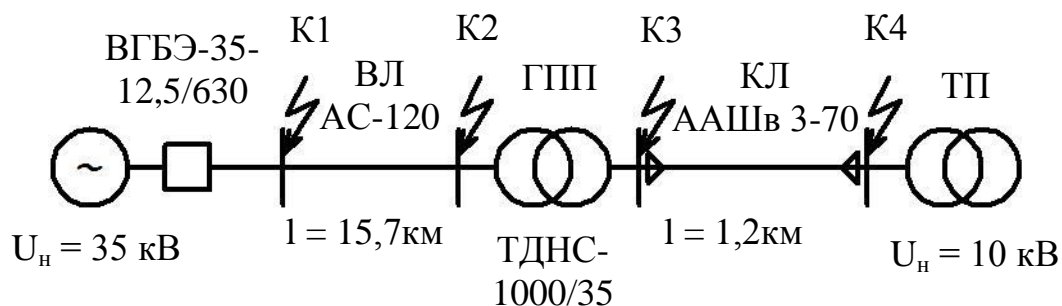


Рисунок 7.7 – Расчётная схема для сети выше 1000 В

Рассчитывается мощность короткого замыкания системы по формуле (7.9):

$$S_{\text{кз.сис}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном}} \cdot I_{\text{откл.ном}} \quad (7.9)$$

где  $U_{\text{ср.ном}}$  – среднее номинальное напряжение, кВ.  $U_{\text{ср.ном}} = 37$  кВ;

$I_{\text{откл.ном}}$  – номинальный ток отключения, кА.  $I_{\text{откл.ном}} = 12,5$  кА.

$$S_{\text{кз.сис}} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 12,5 = 801 \text{ МВА}$$

Расчёты ведутся в относительных единицах, поэтому примем базисную мощность  $S_б = 100$  МВА.

Далее определяются сопротивления всех элементов схемы.

Рассчитывается сопротивление системы по формуле (7.10):

$$x_{\text{сис}} = \frac{S_б}{S_{\text{кз.сис}}} \quad (7.10)$$

$$x_{\text{сис}} = \frac{100}{801} = 0,12 \text{ о.е.}$$

Рассчитывается активное и индуктивное сопротивления воздушной линии ВЛ по формулам (7.11) и (7.12):

$$r_{\text{ВЛ}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{\text{ср.ном}}^2} \quad (7.11)$$

$$x_{\text{ВЛ}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{\text{ср.ном}}^2} \quad (7.12)$$

где  $r_0$  – активное сопротивление провода ВЛ, Ом/км.  $r_0 = 0,27$  Ом/км;

$x_0$  - индуктивное сопротивление провода ВЛ, Ом/км.  $x_0 = 0,3$  Ом/км;

$l$  – длина провода, км.  $l = 15,7$  км.

$$r_{\text{ВЛ}} = \frac{0,27 \cdot 15,7 \cdot 100}{37^2} = 0,31 \text{ о.е.}$$

$$x_{\text{ВЛ}} = \frac{0,3 \cdot 15,7 \cdot 100}{37^2} = 0,34 \text{ о.е.}$$

Рассчитывается сопротивление силового трансформатора по формуле (7.13):

$$x_{\text{тр}} = \frac{u_{\text{кз}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{ном.тр}}} \quad (7.13)$$

где  $u_{\text{кз}}$  – напряжение короткого замыкания, %.  $u_{\text{кз}} = 8$  %;

$S_{\text{ном.тр}}$  – номинальная мощность трансформатора, МВА.  $S_{\text{ном.тр}} = 10$  МВА.

$$x_{\text{тр}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,8 \text{ о.е.}$$

Рассчитывается активное и индуктивное сопротивления кабельной линии КЛ по формулам (7.11) и (7.12), при  $r_0 = 0,447$  Ом/км,  $x_0 = 0,0612$  Ом/км,  $l = 1,2$  км,  $U_{\text{ср.ном}} = 10,5$  кВ:

$$r_{\text{кЛ}} = \frac{0,447 \cdot 1,2 \cdot 100}{10,5^2} = 0,48 \text{ о.е.}$$

$$x_{\text{кЛ}} = \frac{0,0612 \cdot 1,2 \cdot 100}{10,5^2} = 0,06 \text{ о.е.}$$

Для наглядности составим схему замещения, которая представлена на рисунке 7.8.

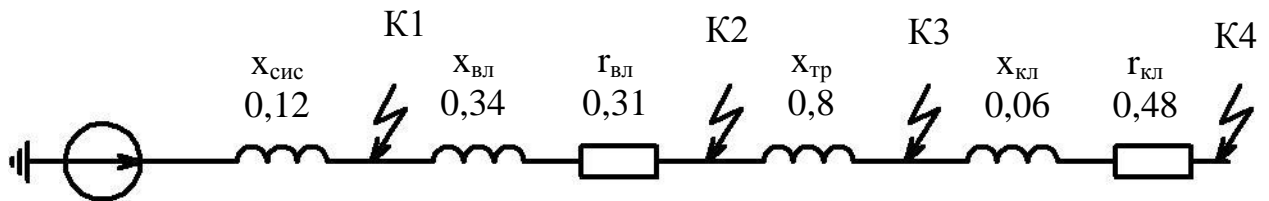


Рисунок 7.8 – Схема замещения сети выше 1 кВ

Рассчитывается полное сопротивление до каждой точки короткого замыкания.

$$Z_{\text{к1}} = x_{\text{сис}} = 0,12 \text{ о.е.}$$

$$Z_{\text{к2}} = \sqrt{(x_{\text{сис}} + x_{\text{ВЛ}})^2 + (r_{\text{ВЛ}})^2} = \sqrt{(0,12 + 0,34)^2 + 0,31^2} = 0,55 \text{ о.е.}$$

$$Z_{\text{к3}} = \sqrt{(x_{\text{сис}} + x_{\text{ВЛ}} + x_{\text{тр}})^2 + (r_{\text{ВЛ}})^2} = \sqrt{(0,12 + 0,34 + 0,8)^2 + 0,31^2} = 1,29 \text{ о.е.}$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{к4}} &= \sqrt{(x_{\text{сис}} + x_{\text{ВЛ}} + x_{\text{тр}} + x_{\text{кЛ}})^2 + (r_{\text{ВЛ}} + r_{\text{кЛ}})^2} = \\ &= \sqrt{(0,12 + 0,34 + 0,8 + 0,06)^2 + (0,31 + 0,48)^2} = 1,54 \text{ о.е.} \end{aligned}$$

Далее рассчитываются токи короткого замыкания.

Для начала находится базисный ток для ступени трансформации по формуле (7.14):

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном}}} \quad (7.14)$$

Рассчитывается ток трехфазного короткого замыкания по формуле (7.15):

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{I_6}{Z} \quad (7.15)$$

Из трехфазного тока КЗ рассчитывается ток двухфазного короткого замыкания по уже известной формуле (7.7).

Ударный ток рассчитывается также из уже известной формуле (7.8).

Для примера выполняется расчёт намеченной точки К1.

Рассчитывается базисный ток по формуле (7.14)

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА}$$

Рассчитывается ток трехфазного КЗ по формуле (7.15)

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{1,56}{0,12} = 13 \text{ кА}$$

Рассчитывается ток двухфазного КЗ по формуле (7.7)

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 13 = 11,25 \text{ кА}$$

Рассчитывается ударный ток по формуле (7.8) при  $K_y = 1,8$ .

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 13 = 33,1 \text{ кА}$$

Остальные точки короткого замыкания рассчитываются также, как и точка К1. Результаты показаны в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Сводная ведомость токов короткого замыканием выше 1 кВ

Точки КЗ	К1	К2	К3	К4
----------	----	----	----	----

Токи, кА	$I_{КЗ}^{(3)}$	13	2,83	4,26	3,57
	$I_{КЗ}^{(2)}$	11,25	2,45	3,69	3,1
	$i_{уд}$	33,1	7,2	10,84	9,08

В пункте коротких замыканий ниже 1 кВ рассчитаны токи трехфазного, двухфазного и однофазного КЗ в трех точках, а также ударные токи. В пункте короткие замыкания выше 1 кВ рассчитаны токи трехфазного и двухфазного короткого замыкания в четырех точках, а также ударные токи.

## 8 Проверка выбранных аппаратов

Подвергнем проверкам автоматические выключатели. Все проверки проводятся согласно с ГОСТ Р 50345-2010 «Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Автоматические выключатели для переменного тока.»

### 8.1 Проверка аппаратов на защиту от токов короткого замыкания и перегрузок

Контроль соблюдения параметров осуществляется для нормальной и аварийной работы автоматических выключателей. Для правильной работы автоматического выключателя необходимо осуществить выбор номинального тока расцепителя из условия что  $I_{н.р} \geq I_p$ .

Проверку соблюдения условий представлена в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Проверка соблюдения условий для автоматического выключателя

№	Наименование электроприемника	Автоматический выключатель	$I_p$ , А	$I_{н.а}$ , А	$I_{н.р}$ , А	Проверка
1	2	3	4	5	6	7
1	Элеватор 1	ВА 51-25	3,8	25	4	прошел
2	Элеватор 2	ВА 51-25	3,16	25	4	прошел
3	Элеватор 3	ВА 51-25	5,68	25	6,3	прошел
4	Прямой транспортер 1	ВА 51-25	2,52	25	3,15	прошел
5	Прямой транспортер 2	ВА 51-25	1,57	25	1,6	прошел
6	Конвейер-грохоты вибрац. КГВ-0,3/1,5	ВА 51-25	6,32	25	8	прошел
7	Конвейер-грохоты вибрац. КГВ-0,3/3,5	ВА 51-25	9,5	25	10	прошел
8	Бланширователь ПБ-2000	ВА 51-25	4,37	25	5	прошел
9	Воздуходувка	ВА 51-25	0,95	25	1	прошел



Продолжение таблицы 8.1

1	2	3	4	5	6	7
10	Сушильный барабан	ВА 51-25	8	25	8	прошел
11	Автомат для резки MC200 Shisha	ВА 51-25	17,08	25	20	прошел
12	Автомат дизиловочно-упаковочный	ВА 51-25	5,68	25	6,3	прошел
13	Автомат упаковочный	ВА 51-25	13,66	25	16	прошел
14	Котел для варки сиропа	ВА 51-25	9,96	25	10	прошел
15	Котел томления	ВА 51-25	11,86	25	12,5	прошел
16	Вентилятор	ВА 51-25	10,72	25	12,5	прошел
17	Ленточно-винтовая мешалка	ВА 51-25	9,96	25	10	прошел
18	ЩР1	ВА 51-25	15,73	25	16	прошел
19	ЩР2	ВА 51-25	23,76	25	25	прошел
20	ЩР3	ВА 51-25	24,86	25	25	прошел
21	ЩР4	ВА 51-25	23,92	25	25	прошел
22	ЩР5	ВА 51-25	54,52	63	63	прошел
23	ЩР7	ВА 51-25	65,47	100	63	прошел
24	ЩР8	ВА 51-25	37,89	63	40	прошел
25	ВРУ	ВА 51-35	192,19	250	200	прошел

Проверка показала, что все автоматические выключатели прошли проверку.

## 8.2 Проверка на динамическую устойчивость

Нарушение динамической устойчивости могут возникать вследствие различных возмущений в энергосистеме, что может привести к выходу из синхронной работы оборудования. Для проверки автоматических выключателей воспользуемся ударными токами короткого замыкания. Условие выполнения динамической устойчивости является выражение:

$I_{\text{дин}} \geq i_y$ , где  $I_{\text{дин}}$  – ток динамической стойкости.

«Ток динамической устойчивости определяется по формуле (8.1):

$$I_{\text{дин}} = n \cdot I_{\text{пкс}} \quad (8.1)$$

где  $n$  – коэффициент характеризующий отношение наибольшей включающей способности к наибольшей отключающей способности. Коэффициент  $n$  принимаем равным 1,41 для выключателей с предельной коммутирующей способностью до 1500 А;

$I_{\text{дин}}$  – ток предельной коммутационной способности. Определяется из паспорта автоматического выключателя.» [19]

Проверку произведёт для всех точек короткого замыкания, результаты показаны в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Проверка на динамическую стойкость

№	Наименование	$i_{\text{у.кз1}}$ , кА	$i_{\text{у.кз2}}$ , кА	$i_{\text{у.кз3}}$ , кА	$n \cdot I_{\text{пкс}}$ , кА	Марка автоматического выключателя
1	Сушильный барабан	-	-	0,09	2,82	ВА 51-25
2	ЩР2	-	0,017	0,09	4,23	ВА 51-25
3	ВРУ	0,047	0,017	0,09	21,15	ВА 52-39

По результатам из таблицы 8.2, автоматические выключатели способны выдержать ударные токи короткого замыкания.

### 8.3 Проверка по отключающей способности

Также автоматические выключатели имеют важный параметр – это предельно коммутационная способность (ПКС), которая определяет надежность срабатывания автоматического выключателя. Показателем способности является максимальный ток, при котором защитный аппарат точно сможет произвести размыкание необходимого участка цепи.

Условие выполнения выбора по отключающей способности является выражение:  $I_{\text{пкс}} \geq I_{\text{кз}}^{(3)}$ .

Проверку произведёт для всех точек короткого замыкания, результаты показаны в таблице 8.3.

Таблица 8.3 – Проверка по отключающей способности

№	Наименование	$I_{K1}^{(3)}$ , кА	$I_{K2}^{(3)}$ , кА	$I_{K3}^{(3)}$ , кА	$I_{пкс}$ , кА	Марка автоматического выключателя
1	Сушильный барабан	-	-	0,055	2	ВА 51-25
2	ЩР2	-	0,007	0,055	3	ВА 51-25
3	ВРУ	0,01	0,007	0,055	15	ВА 51-35

По результатам из таблицы 8.3, автоматические выключатели способны выдержать токи трехфазного короткого замыкания.

Вывод: Успешно проведена проверка автоматических выключателей по защите от токов КЗ и перегрузок. Также успешно проведена проверка по динамической устойчивости и по отключающей способности.

## 9 Расчет контура заземления

Для расчёта количества заземляющих устройств необходимо определить удельное сопротивление почвы. Зная сопротивление выбирается тип заземляющего устройства, его форма и размеры.

Выбираются прутковые заземлители для заземления КТП 10/0,4 кВ.

«Ток однофазного замыкания на землю в сети 10 кВ определяется по формуле (9.1)

$$I_3 = U_H \cdot (35 \cdot L_K + L_B) / 350, \quad (9.1)$$

где  $U_H$  – номинальное линейное напряжение сети, кВ.  $U_H = 10$  кВ;

$L_K$  – длина кабельных линий, км.  $L_K = 1,2$  км;

$L_B$  – длина воздушных линий, км.  $L_B = 0$  км.» [11]

$$I_3 = 10 \cdot (35 \cdot 1,2 + 0) / 350 = 1,2 \text{ А}$$

«Сопротивление заземляющего устройства для сети 10 кВ при общем заземлении определяется по формуле 9.2» [11]

$$R_3 = 125 / I_3 \quad (9.2)$$

$$R_3 = 125 / 1,2 = 104,16 \text{ Ом}$$

«Сопротивление заземляющих устройств для сети 380/220 В должно быть не более 4 Ом. Применяем наименьшее сопротивление заземляющих устройств 4 Ом.» [11]

«Расчетное удельное сопротивления грунта определяется по формуле (9.3)

$$\rho = \rho_{\text{изм}} \cdot \psi, \quad (9.3)$$

где  $\rho_{\text{изм}}$  – удельное сопротивление чернозема, Ом·см. Принимается равным  $\rho_{\text{изм}} = 0,3 \cdot 10^4$  Ом·см;

$\psi$  – коэффициент сезонности, принимается равным  $\psi = 1,36$ .» [11]

$$\rho = 0,3 \cdot 10^4 \cdot 1,36 = 0,4 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

«Сопротивление пруткового заземлителя определяется по формуле (9.4)» [11]

$$R_0 = 0,00227 \cdot \rho \quad (9.4)$$

$$R_0 = 0,00227 \cdot 0,4 \cdot 10^4 = 9,08 \text{ Ом}$$

Принимается размещение заземлителей расстоянием между ними 6 м.

«Число заземлителей определяется по формуле (9.5)

$$n = R_0 / (\eta \cdot R_3), \quad (9.5)$$

где  $\eta$  – коэффициент использования, принимается равным  $\eta = 0,8$ .» [11]

$$n = 9,08 / (0,8 \cdot 4) = 3 \text{ шт.}$$

Вывод: Рассчитан ток однофазного замыкания на землю, необходимого для расчета числа заземлителей, а также сопротивление пруткового заземлителя.

## **10 Выбор схемы и аппаратов пожарной сигнализации**

Первый шаг для защиты жизни и имущества от последствий пожаров является правильный выбор схемы и типов аппаратов для монтажа качественной и надежной системы пожарной сигнализации.

Нормы и правила проектирования установок пожарной сигнализации описаны в СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (с Изменением N 1)».

Схема проектирования системы пожарной сигнализации выбирается кольцевая. В отличие от радиальной, для кольцевой достаточно используется один шлейф, что уменьшает затраты на соединительные провода в отличие от радиальной.

Согласно пункту 13.15.1 «В качестве шлейфов пожарной сигнализации и соединительных линий связи могут применяться как проводные, так и не проводные каналы связи.» В проекте будут использоваться проводные каналы связи, так как они дешевле и надежнее беспроводных.

Для обработки и передачи сигналов извещателей выбираются контроллер С2000 – КДЛ и блок индикации с клавиатурой С2000-БКИ производства Болид.

В качестве устройств сигнализации выбираются три типа извещателей: точечные дымовые марки ДИП-34А-04, точечные тепловые марки С2000-ИП-03, ручные марки ИПР 513-3АМ.

Точечные тепловые извещатели устанавливаются в помещении склада сырья, так как в этом помещении есть шанс ложного срабатывания из-за пара, вырабатываемого промышленным оборудованием. Во всех остальных помещениях устанавливаются точечные дымовые. Ручные извещатели устанавливаются на путях выхода из здания.

Монтаж точечных дымовых извещателей производится согласно пункту 13.4. «Площадь, контролируемая одним точечным дымовым

пожарным извещателем, а также максимальное расстояние между извещателями, извещателем и стеной необходимо определять по таблице 13.3, но не превышая величин, указанных в технических условиях и паспортах на извещатели конкретных типов.»

Монтаж точечных тепловых извещателей производится согласно пункту 13.6.1 «Площадь, контролируемая одним точечным тепловым пожарным извещателем, а также максимальное расстояние между извещателями, извещателем и стеной необходимо определять по таблице 13.5, но не превышая величин, указанных в технических условиях и паспортах на извещатели.»

Согласно пункту 13.15.4 «Электрические проводные шлейфы пожарной сигнализации и соединительные линии следует выполнять самостоятельными проводами и кабелями с медными жилами.» Поэтому выбирается медный провод.

Для того чтобы определить сечение медного провода рассчитывается общее количество каждого типа извещателей, по паспортным данным находится максимально потребляемый ток и напряжение извещателей. Исходные данные для расчета сечения представлены в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Данные для расчета

Наименование прибора	Количество, шт	Напряжение, В	Допустимое минимальное напряжение, В	Ток потребления, мА	Суммарный ток потребления, мА
Извещатель дымовой ДИП-34А-04	39	12	2	0,5	19,5
Извещатель тепловой С2000-ИП-03	6				3
Извещатель ручной ИПР 513-3АМ	5		1,5		7,5
Всего	52	-	-	-	30

Рассчитывается сечение провода по формуле (10.1)

$$S = \frac{2 \cdot \Sigma I \cdot \Sigma L \cdot \rho \cdot K}{\Delta U_{\text{доп}}} \cdot K \quad (10.1)$$

где  $\Sigma I$  – общий потребляемый ток, А;

$\Sigma L$  – общая длина провода, м.  $\Sigma L = 225$  м;

$\rho$  – удельное сопротивление медного провода, Ом·мм<sup>2</sup>/м.  $\rho = 0,0175$  Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$\Delta U_{\text{доп}}$  – допустимая потеря напряжения, В;

$K$  – коэффициент учитывающий равномерность распределения нагрузки (при равномерной нагрузке  $K = 0,5$ ).

$$S = \frac{2 \cdot 0,030 \cdot 225 \cdot 0,0175}{1,5} \cdot 0,5 = 0,078 \text{ мм}^2$$

Согласно пункту 13.15.12 «Диаметр медных жил проводов и кабелей должен быть определен из расчета допустимого падения напряжения, но не менее 0,5 мм.». Поэтому выбирается провод марки КПСЭнг(А)-FRLS 1x2x0.5.

Согласно пункту 15.1 «По степени обеспечения надежности электроснабжения системы противопожарной защиты следует относить к I категории согласно Правилам устройства электроустановок, за исключением электродвигателей компрессора, насосов дренажного и подкачки пенообразователя, относящихся к III категории электроснабжения, а также случаев, указанных в п.п.15.3, 15.4.» Поэтому, в качестве автономного резервного питания выбирается шкаф с резервированным источником (ШПС-24) с двумя аккумуляторными батареями, напряжением 12 В и емкостью по 17 А\*ч каждый.

Вывод: Выбраны необходимое оборудование для пожарной сигнализации, а именно извещатели марок ДИП-34А-04, С2000-ИП-03, ИПР



513-3AM, контроллер марки С2000 – КДЛ и блок индикации с клавиатурой С2000-БКИ производства Болид. Выбран провод марки КПСЭнг(А)-FRLS 1x2x0.5. В качестве автономного резервного источника питания используются две аккумуляторные батареи, напряжения 12 В.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе спроектирован учебный проект по теме «Электрооборудование и электрохозяйство предприятия пищевой промышленности».

По результатам расчёта силовых и осветительных нагрузок достигнуты следующие показатели:

- расчетная активная мощность составила 94,83 кВт с учетом мощности освещения 6,78 кВт; расчетная реактивная мощность составила 93,49 квар с учетом мощности освещения 2,18 квар; расчетная полная мощность составила 133,16 кВА; ток нагрузки составил 192,19 А;
- для компенсации реактивной мощности рассчитана и выбрана компенсирующая установка АУКРМ 0,4 кВ с заявленной мощностью 45 квар;
- необходимая мощность для электропитания предприятия составила 75,45кВА, поэтому выбрана 2КТП с установленными в ней сухими трансформаторами ТСЗ-100/10/0,4 У4.

В проектировании схемы электрохозяйства достигнуты следующие показатели:

- в качестве электроснабжения электрооборудования выбран переменный ток напряжением 380 В для электрооборудования и напряжение 220 В для освещения предприятия;
- выбрана схема силовой сети – смешанная;
- в качестве освещения выбраны 52 лампы марки Lighting technologies Factory Prs Led 50 и 25 лампы марки Lighting Technologies HB Led 152 D100 5000K;
- выбраны автоматические выключатели серии ВА для защиты электрооборудования от аварийных режимов работы, трансформаторы тока марки ТИИ-А, а также кабели с медными жилами марки ВВГ.

По расчётам тока короткого замыкания, проведены проверки электрооборудования, которые показали следующие выводы:

- рассчитан ток трехфазного, двухфазного и однофазного короткого замыкания;
- аппараты успешно прошли проверку и окончательно утверждены к установке на предприятии;
- рассчитанная цепь короткого замыкания прошла проверку на динамическую устойчивость;
- рассчитанная цепь короткого замыкания прошла проверку по отключающей способности.

Разработан проект пожарной сигнализации, в котором выбрано следующее оборудование:

- выбрана кольцевая схема подключения исполнительных устройств;
- выбраны извещатели марок ДИП-34А-04, С2000-ИП-03, ИПР 513-3АМ, контроллер марки С2000 – КДЛ и блок индикации с клавиатурой С2000-БКИ;
- для автономного резервного источника питания выбраны два аккумуляторных батареи, напряжения 12 В;
- разработан план расположения электрооборудования пожарной сигнализации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бартоломей П.А. Информационное обеспечение задач электроэнергетики: учебное пособие, 2-е изд., стер. М.: Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. 108 с.
2. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Москва: Издательский дом МЭИ, 2016. 188 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/72323> (дата обращения: 15.03.2020).
3. Kuffel E., Zaengl W.S., Kuffel J. High Voltage Engineering. Fundamentals. Oxford: Newnes, 2014. 539 p.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Феникс, 2018. 382 с.
5. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.
6. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С. Основы электроснабжения. Учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 173 с.
7. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko\\_EUMI\\_Z.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf) (дата обращения: 02.03.2020).
8. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko\\_EUMI\\_Z.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf) (дата обращения: 02.03.2020).

9. Chapman S.J. Instructor's Manual to accompany Electric Machinery and Power System Fundamentals, Second Edition. USA: McGraw-Hill, 2011. 307 p.
10. Сазонова Т.В., Шлейников В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие. М.: Бибком, 2016. 110 с.
11. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий [Электронный ресурс]: учебник. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2019. 405 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003810> (дата обращения: 22.03.2020).
12. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.
13. Вахнина В.В., Черненко А.Н., Самолина О.В., Рыбалко Т.А. Проектирование осветительных установок [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 107 с. URL: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko\\_%20EUI\\_Z.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko_%20EUI_Z.pdf) (дата обращения: 26.03.2020).
14. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов [Электронный ресурс]: Учебное пособие. 2-е изд. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 352 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/494251> (дата обращения 06.04.2020).
15. Rajan R., Fernandez F.M. Power control strategy of photovoltaic plants for frequency regulation in a hybrid power system // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №110. pp. 171-183.
16. Rajendra P. Fundamentals of electrical engineering. - PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 1064 p.

17. Матаев У.М. Практикум по электроэнергетике (в примерах с решениями): учебное пособие. Алматы: Нур-Принт, Казахский национальный аграрный университет, 2014. 195 с.
18. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Петров Д.В. Технико-экономические расчеты распределительных электрических цепей: учебное пособие. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 96 с.
19. Кудряков А.Г., Сазыкин В.Г. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник. Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. 263 с.
20. Sahdev S.K. Basic Electrical Engineering. Pearson India, 2015. 768 p.