

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство производства фруктового сока»

Студент

С.Н. Зверев

(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Руководитель

В.И. Платов

(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Консультант

А.В. Кириллова

(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

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

_____ (личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

В данной квалификационной работе на тему «Электрооборудование и электрохозяйство производства фруктового сока» рассмотрены теоретические и практические решения по выбору электрооборудования для системы электроснабжения данного производства и обеспечения электрохозяйства.

Основанием для рассмотрения данного вопроса послужило задание на выполнение ВКР.

Определены цели и задачи выполнения квалификационной работы.

В данную работу включено:

- Анализ характерных особенностей нагрузки производства фруктового сока;
- Произведены расчёты электрической нагрузки производства;
- Выбор типа и количества трансформаторов в цеховую трансформаторную подстанцию с учетом мероприятий по компенсации реактивной мощности;
- Расчет токов короткого замыкания с учетом особенностей схемных решений системы электроснабжения данного производства;
- Выбор электрооборудования для системы электроснабжения данного производства;
- Анализ мероприятий по обеспечению электрохозяйства данного производства.

Работа содержит в себе пояснительную записку объёмом 61 листов, и графическую часть выполненную на 6 листах формата А1.

ABSTRAKT

In this qualifying work works on the topic "Electrical equipment and production of electricity from fruit juice", theoretical and practical solutions for the selection of electrical equipment for the system of electricity supply of this product and provision of electricity.

The basis for considering this issue was the designation for the implementation of WRC.

The goals and tasks of performance of qualification work are determined.

This work includes:

- analysis of characteristic features of fruit juice production;
- Electricity production calculations were made;
- selection of the type and number of transformers in the transformer substation of the workshop, taking into account reactive power compensation measures;
- Calculation of short-circuit currents taking into account the features of circuit solutions of the power supply system of this product;
- selection of electrical equipment for the power supply system of these products;
- Analysis of measures to ensure electric savings of this production.

The work contains an explanatory note in the volume of 61 sheets, and the graphic part is made on 6 sheets of the A1 format.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Краткая характеристика объекта проектирования	6
2 Определение ожидаемых электрических нагрузок по цеху	8
2.1 Расчёт системы освещения	19
3 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховой трансформаторной подстанции с учётом компенсации реактивной мощности	30
4 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения.....	33
5 Выбор электрооборудования схемы внутреннего электроснабжения предприятия цеха	35
6 Расчёт токов КЗ	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ.....	61

ВВЕДЕНИЕ

Электрическая энергия – это способность электромагнитного поля совершать работу, преобразовываясь в другие виды энергии [2]. Основными потребителями электроэнергии являются промышленные предприятия. Им свойственно постоянное развитие в процессе функционирования. Поэтому при проектировании любого производственного объекта большое внимание уделяется его системы электроснабжения.

Система электроснабжения – это совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией [6]. Система электроснабжения должна обладать высокой надёжностью, быть гибкой (предусматривать возможность дальнейшего развития объекта) и практичной (соответствовать характеру производимых работ). Данным требованиям уделяется большое внимание при расчётах [7].

Расчёт системы электроснабжения включает в себя: составление краткой характеристики и определение ожидаемых электрических нагрузок по объекту, расчёт системы освещения, выбор числа и мощности трансформаторов цеховой трансформаторной подстанции с учётом компенсации реактивной мощности, выбор схемы внутрицехового электроснабжения и электрооборудования к ней, а также расчёт токов короткого замыкания [14].

1 Краткая характеристика объекта проектирования

Цех по производству фруктового сока входит в состав крупного предприятия, осуществляющего переработку плодов и овощей. В здании цеха расположен технологический участок с поточными линиями (здесь на двух автоматизированных линиях происходят все важнейшие технологические процессы, завершающиеся фасовкой готовой продукции), а также бытовые (два гардероба) и вспомогательные помещения (склад специй, склад первичного сырья, склад тары, склад готовой продукции, мастерская и вентиляционное помещение). Во вспомогательных помещениях имеются наземные подъёмники и электротележки для совершения погрузочных операций и транспортировки. Все помещения, за исключением технологического участка, двухэтажные (высота одного этажа составляет 4,2 м). Цех по производству фруктового сока имеет следующие габариты: $A \times B \times H = 52 \times 30 \times 9$ м.

Внутри цеха расположена собственная комплектная трансформаторная подстанция (10/0,4 кВ), подключенная к приёмному пункту предприятия и осуществляющая электроснабжение рассматриваемого объекта.

Всё электрооборудование, применяемое в цеху, по бесперебойности электроснабжения относится к приёмникам второй категории. Работы по производству продукции ведутся круглосуточно (3 рабочие смены).

Представим имеющееся электрооборудование объекта в виде таблицы (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Перечень электрооборудования цеха

№ на плане	Наименование электрооборудования	Вариант	Примечание
		2	
		$P_{ЭП}$, кВт	
1, 24	Конвейеры ленточные	0,75	
2, 3, 25, 26	Унифицированные моечные машины	10,0	

Продолжение таблицы 1

4, 27	Конвейеры роликовые	11	
5	Станок токарный	6,4	
6, 7	Станки шлифовальные	2,8	
8	Станок сверлильный	4,5	1-фазный
9, 10	Вентиляторы	5	
11, 17, 23, 28	Электрические подъёмники передвижные	4,8	
12, 18	Элеваторы подачи фруктов в дробилку	11	
13, 19	Установки дробления фруктов	2,9	
14, 20	Подогреватели дроблёной фруктовой пасты	31	
15, 21	Установки экстракторные	29	
16, 22	Установки разлива сока с подогревателем	44	

2 Определение ожидаемых электрических нагрузок по цеху

Расчёт электрических нагрузок по цеху рациональнее производить методом упорядоченных диаграмм, так как имеются все необходимые сведения об электроприёмниках, а именно: их паспортные данные и количество. Метод упорядоченных диаграмм позволяет достаточно точно и просто рассчитать ожидаемые электрические нагрузки (точность результатов будет зависеть от равномерности распределения нагрузки по секциям: чем равномернее распределена нагрузка, тем выше точность), именно поэтому он является весьма востребованным [1].

К существенному недостатку данного метода можно отнести невозможность дальнейшего прогноза электрической нагрузки, однако на начальном этапе расчёта системы электроснабжения цеха предприятия этим можно пренебречь, предпочтение отдаётся скорости и точности получения результата [3].

Расчитаем ожидаемые электрические нагрузки цеха по производству фруктового сока.

Среди имеющихся электроприёмников есть один однофазный (сверлильный станок). При включение данного электроприёмника на фазное напряжение он будет учитываться как эквивалентный трёхфазный электроприёмник, при этом его мощность будет равна:

$$P = 3 \cdot P_n = 3 \cdot 4,5 = 13,5 \text{ кВт}$$

Распределяем нагрузку по секциям (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Распределение нагрузки по секциям

Секция 1	Приведённая нагрузка, кВт		Секция 2
РП1			РП2
Электрические подъёмники передвижные (4,8×2)	9,60	9,60	Электрические подъёмники передвижные (4,8×2)
			РП3
		6,40	Станок токарный (6,4×1)
		5,60	Станки шлифовальные (2,8×2)
		13,50	Станок сверлильный (13,5×1)
		10,00	Вентиляторы (5×2)
ЩО			
ШРА 1			ШРА2
Конвейер ленточный (0,75×1)	0,75	0,75	Конвейер ленточный (0,75×1)
Унифицированные моечные машины (10×2)	20,00	20,00	Унифицированные моечные машины (10×2)
Конвейер роликовый (11×1)	11,00	11,00	Конвейер роликовый (11×1)
Элеватор подачи фруктов в дробилку (11×1)	11,00	11,00	Элеватор подачи фруктов в дробилку (11×1)

Продолжение таблицы 2

Установка дробления фруктов (2,9×1)	2,90	2,90	Установка дробления фруктов (2,9×1)
Подогреватель дроблёной фруктовой пасты (31×1)	31,00	31,00	Подогреватель дроблёной фруктовой пасты (31×1)
Установка экстракторная (29×1)	29,00	29,00	Установка экстракторная (29×1)
Установка разлива сока с подогревателем (44×1)	44,00	44,00	Установка разлива сока с подогревателем (44×1)
Итого	159,25	194,75	Итого

Находим все необходимые величины и составляем сводную ведомость нагрузок:

- РП1 (к РП1 подключены два электрических передвижных подъёмника)

$$K_u = 0,45; \cos \varphi = 0,76; tg \varphi = 0,86$$

$$P_{cm} = P_{n\sum} \cdot K_u = 9,60 \cdot 0,45 = 4,32 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot tg \varphi = 4,32 \cdot 0,86 = 3,71 \text{ квар}$$

$$S_{cm} = \sqrt{P_{cm}^2 + Q_{cm}^2} = \sqrt{4,32^2 + 3,71^2} = 5,69 \text{ кВА}$$

$$P_{cm\sum (P11)} = 4,32 \text{ кВт};$$

$$Q_{cm\sum (P11)} = 3,71 \text{ квар}$$

$$S_{cm\sum (P11)} = \sqrt{P_{cm\sum (P11)}^2 + Q_{cm\sum (P11)}^2} = \sqrt{4,32^2 + 3,71^2} = 5,69 \text{ кВА}$$

$$m < 3; n_3 = n = 2$$

$$K_m = F(K_u, n_3) = 1,65; K_m' = 1,10$$

$$P_{m\sum (P11)} = K_m \cdot P_{cm\sum (P11)} = 1,65 \cdot 4,32 = 7,13 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Sigma (PPI)} = K_M \cdot Q_{cm \Sigma (PPI)} = 1,10 \cdot 3,71 = 4,08 \text{ квар}$$

$$S_{\Sigma (PPI)} = \sqrt{P_{\Sigma (PPI)}^2 + Q_{\Sigma (PPI)}^2} = \sqrt{7,13^2 + 4,08^2} = 8,22 \text{ кВА}$$

$$I_{M(PPI)} = \frac{S_{\Sigma (PPI)}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{8,22}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 12,50 \text{ А}$$

Для РП2 все расчёты будут идентичны.

- РП3 (к РП3 подключен токарный станок, два шлифовальных станка, сверлильный станок и два вентилятора)

Станок токарный:

$$K_u = 0,14; \cos \varphi = 0,50; \operatorname{tg} \varphi = 1,73$$

$$P_{cm} = P_{\Sigma} \cdot K_u = 6,40 \cdot 0,14 = 0,90 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 0,90 \cdot 1,73 = 1,56 \text{ квар}$$

Станки шлифовальные:

$$K_u = 0,14; \cos \varphi = 0,50; \operatorname{tg} \varphi = 1,73$$

$$P_{cm} = P_{\Sigma} \cdot K_u = 5,60 \cdot 0,14 = 0,78 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 0,78 \cdot 1,73 = 1,35 \text{ квар}$$

Станок сверлильный:

$$K_u = 0,10; \cos \varphi = 0,50; \operatorname{tg} \varphi = 1,73$$

$$P_{cm} = P_{\Sigma} \cdot K_u = 13,50 \cdot 0,10 = 1,35 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1,35 \cdot 1,73 = 2,34 \text{ квар}$$

Вентиляторы:

$$K_u = 0,70; \cos \varphi = 0,80; \operatorname{tg} \varphi = 0,75$$

$$P_{cm} = P_{\Sigma} \cdot K_u = 10,00 \cdot 0,70 = 7,00 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 7,00 \cdot 0,75 = 5,25 \text{ квар}$$

Всего по РПЗ:

$$P_{\Sigma (РПЗ)} = 35,50 \text{ кВт}$$

$$P_{cm \Sigma (РПЗ)} = 10,03 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm \Sigma (РПЗ)} = 10,50 \text{ квар}$$

$$S_{cm \Sigma (РПЗ)} = \sqrt{P_{cm \Sigma (РПЗ)}^2 + Q_{cm \Sigma (РПЗ)}^2} = \sqrt{10,03^2 + 10,50^2} = 14,52 \text{ кВА}$$

$$m > 3; n_3 = n = 6$$

$$K_u = \frac{P_{cm \Sigma (РПЗ)}}{P_{\Sigma (РПЗ)}} = \frac{10,03}{35,50} = 0,28$$

$$K_m = F(K_u, n_3) = 1,88; K_m' = 1,10$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{cm \Sigma (РПЗ)}}{S_{cm \Sigma (РПЗ)}} = \frac{10,03}{14,52} = 0,69; \operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{cm \Sigma (РПЗ)}}{P_{cm \Sigma (РПЗ)}} = \frac{10,50}{10,03} = 1,05$$

$$P_{m \Sigma (РПЗ)} = K_m \cdot P_{cm \Sigma (РПЗ)} = 1,88 \cdot 10,03 = 18,86 \text{ кВт}$$

$$Q_{m \Sigma (РПЗ)} = K_m' \cdot Q_{cm \Sigma (РПЗ)} = 1,10 \cdot 10,50 = 11,55 \text{ квар}$$

$$S_{m \Sigma (РПЗ)} = \sqrt{P_{m \Sigma (РПЗ)}^2 + Q_{m \Sigma (РПЗ)}^2} = \sqrt{18,86^2 + 11,55^2} = 22,12 \text{ кВА}$$

$$I_{m(РПЗ)} = \frac{S_{m \Sigma (РПЗ)}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{22,12}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 33,65 \text{ А}$$

- ШРА1 (ШРА2)

Конвейер ленточный:

$$K_u = 0,50; \cos \varphi = 0,75; \operatorname{tg} \varphi = 0,87$$

$$P_{см} = P_{н\sum} \cdot K_u = 0,75 \cdot 0,50 = 0,38 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 0,38 \cdot 0,87 = 0,33 \text{ квар}$$

Унифицированные моечные машины:

$$K_u = 0,46; \cos \varphi = 0,65; \operatorname{tg} \varphi = 1,15$$

$$P_{см} = P_{н\sum} \cdot K_u = 20,00 \cdot 0,46 = 9,20 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 9,20 \cdot 1,15 = 10,58 \text{ квар}$$

Конвейер роликовый:

$$K_u = 0,50; \cos \varphi = 0,75; \operatorname{tg} \varphi = 0,87$$

$$P_{см} = P_{н\sum} \cdot K_u = 11,00 \cdot 0,50 = 5,50 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 5,50 \cdot 0,87 = 4,79 \text{ квар}$$

Элеватор подачи фруктов в дробилку:

$$K_u = 0,56; \cos \varphi = 0,75; \operatorname{tg} \varphi = 0,87$$

$$P_{см} = P_{н\sum} \cdot K_u = 11,00 \cdot 0,56 = 6,16 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 6,16 \cdot 0,87 = 5,36 \text{ квар}$$

Установка дробления фруктов:

$$K_u = 0,54; \cos \varphi = 0,77; \operatorname{tg} \varphi = 0,81$$

$$P_{см} = P_{н\sum} \cdot K_u = 2,90 \cdot 0,54 = 1,57 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1,57 \cdot 0,81 = 1,27 \text{ квар}$$

Подогреватель дроблёной фруктовой пасты:

$$K_u = 0,50; \cos \varphi = 0,85; \operatorname{tg} \varphi = 0,60$$

$$P_{cm} = P_{n\Sigma} \cdot K_u = 31,00 \cdot 0,50 = 15,50 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 15,50 \cdot 0,60 = 9,30 \text{ квар}$$

Установка экстракторная:

$$K_u = 0,60; \cos \varphi = 0,78; \operatorname{tg} \varphi = 0,82$$

$$P_{cm} = P_{n\Sigma} \cdot K_u = 29,00 \cdot 0,60 = 17,40 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 17,40 \cdot 0,82 = 14,27 \text{ квар}$$

Установка разлива сока с подогревателем:

$$K_u = 0,60; \cos \varphi = 0,78; \operatorname{tg} \varphi = 0,82$$

$$P_{cm} = P_{n\Sigma} \cdot K_u = 44,00 \cdot 0,60 = 26,40 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 26,40 \cdot 0,82 = 21,65 \text{ квар}$$

Всего по ШРА1 (ШРА2):

$$P_{n\Sigma (\text{ШРА1})} = 149,65 \text{ кВт}$$

$$P_{cm\Sigma (\text{ШРА1})} = 82,11 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm\Sigma (\text{ШРА1})} = 67,55 \text{ квар}$$

$$S_{cm\Sigma (\text{ШРА1})} = \sqrt{P_{cm\Sigma (\text{ШРА1})}^2 + Q_{cm\Sigma (\text{ШРА1})}^2} = \sqrt{82,11^2 + 67,55^2} = 106,33 \text{ кВА}$$

$$m > 3; n_{\text{э}} = n = 9$$

$$K_u = \frac{P_{cm\Sigma (\text{ШРА1})}}{P_{n\Sigma (\text{ШРА1})}} = \frac{82,11}{149,65} = 0,55$$

$$K_M = F(K_u, n_{\Sigma}) = 1,28; \quad K_M' = 1,10$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{\Sigma (ШРА1)}}{S_{\Sigma (ШРА1)}} = \frac{82,11}{106,33} = 0,77; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{\Sigma (ШРА1)}}{P_{\Sigma (ШРА1)}} = \frac{67,55}{82,11} = 0,82$$

$$P_{M \Sigma (ШРА1)} = K_M \cdot P_{\Sigma (ШРА1)} = 1,28 \cdot 82,11 = 105,10 \text{ кВт}$$

$$Q_{M \Sigma (ШРА1)} = K_M' \cdot Q_{\Sigma (ШРА1)} = 1,10 \cdot 67,55 = 74,31 \text{ квар}$$

$$S_{M \Sigma (ШРА1)} = \sqrt{P_{M \Sigma (ШРА1)}^2 + Q_{M \Sigma (ШРА1)}^2} = \sqrt{105,10^2 + 74,31^2} = 128,72 \text{ кВА}$$

$$I_{M(ШРА1)} = \frac{S_{M \Sigma (ШРА1)}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{128,72}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 195,80 \text{ А}$$

- Всего на ШНН

$$P_{\text{см}(ШНН)} = 4,32 \cdot 2 + 10,03 + 2 \cdot 82,11 = 182,89 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}(ШНН)} = 3,71 \cdot 2 + 10,50 + 2 \cdot 67,55 = 153,02 \text{ квар}$$

$$S_{\text{см}(ШНН)} = \sqrt{P_{\text{см}(ШНН)}^2 + Q_{\text{см}(ШНН)}^2} = \sqrt{182,89^2 + 153,02^2} = 238,46 \text{ кВА}$$

$$P_{M(ШНН)} = 7,13 \cdot 2 + 18,86 + 2 \cdot 105,10 = 243,32 \text{ кВт}$$

$$Q_{M(ШНН)} = 4,08 \cdot 2 + 11,55 + 2 \cdot 74,31 = 168,33 \text{ квар}$$

$$S_{M(ШНН)} = \sqrt{P_{M(ШНН)}^2 + Q_{M(ШНН)}^2} = \sqrt{243,32^2 + 168,33^2} = 295,87 \text{ кВА}$$

- Потери

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{M(ШНН)} = 0,02 \cdot 295,87 = 5,92 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{M(ШНН)} = 0,1 \cdot 295,87 = 29,59 \text{ квар}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{5,92^2 + 29,59^2} = 30,18 \text{ кВА}$$

- Всего на ВН

$$P_{M(ВН)} = P_{M(ШНН)} + \Delta P_T = 243,32 + 5,92 = 249,24 \text{ кВт}$$

$$Q_{m(BH)} = Q_{m(ШНН)} + \square Q_T = 168,33 + 29,59 = 197,92 \text{ квар}$$

$$S_{m(BH)} = S_{m(ШНН)} + \Delta S_T = 295,87 + 30,18 = 326,05 \text{ кВА}$$

Полученные результаты заносим в сводную ведомость нагрузок (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Сводная ведомость нагрузок без учёта системы освещения

Наименование РУ и ЭП	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену					Нагрузка максимальная				
	P_n , кВт	n	$P_{n\Sigma}$, кВт	K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	m	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	$S_{см}$, кВА	n_{Σ}	K_m	K_m'	P_m , кВт	Q_m , квар	S_m , кВА	I_m , А
РП1																	
Электрические подъёмники передвижные	4,80	2	9,60	0,45	0,76	0,86		4,32	3,71								
Всего по РП1	-	2	9,60	0,45	0,76	0,86	<3	4,32	3,71	5,69	2	1,65	1,10	7,13	4,08	8,22	12,50
РП2																	
Электрические подъёмники передвижные	4,80	2	9,60	0,45	0,76	0,86		4,32	3,71								
Всего по РП2	-	2	9,60	0,45	0,76	0,86	<3	4,32	3,71	5,69	2	1,65	1,10	7,13	4,08	8,22	12,50
РП3																	
Станок токарный	6,40	1	6,40	0,14	0,50	1,73		0,90	1,56								
Станки шлифовальные	2,80	2	5,60	0,14	0,50	1,73		0,78	1,35								
Станок сверлильный	13,50	1	13,50	0,10	0,50	1,73		1,35	2,34								
Вентиляторы	5,00	2	10,00	0,70	0,80	0,75		7,00	5,25								
Всего по РП3	-	6	35,50	0,28	0,69	1,05	>3	10,03	10,50	14,52	6	1,88	1,10	18,86	11,55	22,12	33,65

Продолжение таблицы 3

ШРА1 (ШРА2)																	
Конвейер ленточный	0,75	1	0,75	0,50	0,75	0,87		0,38	0,33								
Унифицированные моечные машины	10,00	2	20,00	0,46	0,65	1,15		9,20	10,58								
Конвейер роликовый	11,00	1	11,00	0,50	0,75	0,87		5,50	4,79								
Элеватор подачи фруктов в дробилку	11,00	1	11,00	0,56	0,75	0,87		6,16	5,36								
Установка дробления фруктов	2,90	1	2,90	0,54	0,77	0,81		1,57	1,27								
Подогреватель дроблёной фруктовой пасты	31,00	1	31,00	0,50	0,85	0,60		15,50	9,30								
Установка экстракторная	29,00	1	29,00	0,60	0,78	0,82		17,40	14,27								
Установка разлива сока с подогревателем	44,00	1	44,00	0,60	0,78	0,82		26,40	21,65								
Всего по ШРА1 (ШРА2)	-	9	149,65	0,55	0,77	0,82	>3	82,11	67,55	106,33	9	1,28	1,10	105,10	74,31	128,72	195,80
Всего на ШНН								182,89	153,02	238,46	-	-	-	243,32	168,33	295,87	-
Потери														5,92	29,59	30,18	-
Всего на ВН														249,24	197,92	326,05	-

2.1 Расчёт системы освещения

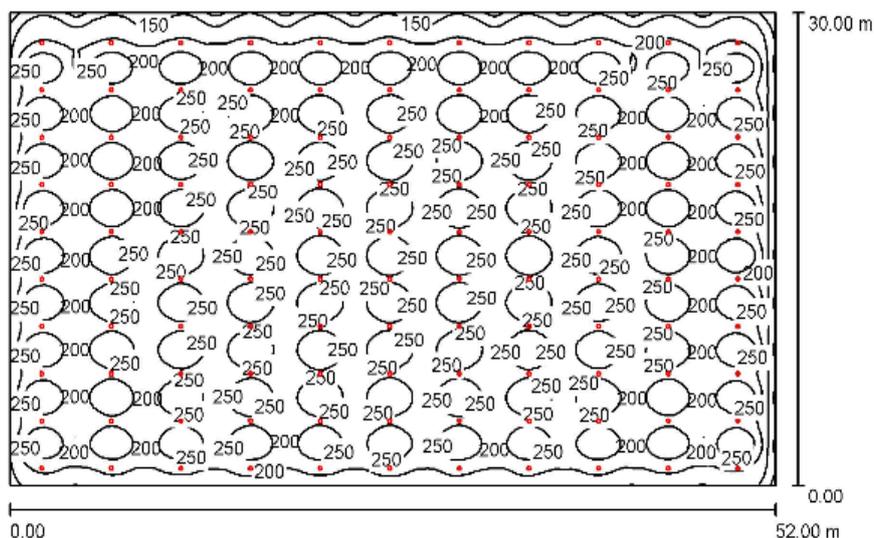
Расчёт системы освещения цеха по производству фруктового сока будет производиться в программе DIALux (отдельно будет определено необходимое количество светильников для основного и вспомогательных помещений).

При вычислениях необходимы следующие данные: габариты помещений, нормированная освещённость и информация о характере производимых работ, высота подвеса и паспортные данные светильника (потребляемая мощность, количество ламп в светильнике, световой поток лампы и коэффициент использования светового потока), коэффициенты отражения (пола, потолка и стен) [10].

Для освещения цеха будут использованы светодиодные подвесные светильники (i75 LED 3800 840 MB GL); для бытовых и вспомогательных помещений – светодиодные накладные светильники (i40 – 1200 LED 4400 840 PC). Светодиодные светильники выбраны исходя из следующих соображений:

- 1) низкое потребление активной мощности;
 - 2) простота монтажа;
 - 3) различное рабочее напряжение;
 - 4) длительный срок службы (более 100000 часов);
 - 5) окупаемость;
- Цех по производству фруктового сока

Представим результаты расчёта системы освещения помещения цеха по производству фруктового сока (см. рисунки 1 – 2).



Высота помещения: 9.000 м, Монтажная высота: 8.600 м, Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:386

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	235	65	303	0.275
Полы	20	233	83	272	0.355
Потолок	70	38	24	45	0.633
Стенки (4)	50	48	28	149	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 м
 Растр: 128 x 128 Точки
 Краевая зона: 0.000 м

UGR

Левая стенка
 Нижняя стенка
 (CIE, SHR = 0.25.)

Вдоль-

<10
 <10

Поперек

<10
 <10

К оси светильников

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	110	Glamox i75083606 i75 LED 3800 840 MB GL (1.000)	3915	3930	50.0
			Всего: 430690	Всего: 432300	5500.0

Удельная подсоединенная мощность: 3.53 W/m² = 1.50 W/m²/100 lx (Поверхность основания: 1560.00 м²)

Рисунок 1 – Расчёт необходимого количества светильников для цеха

110 Шт. Glamox i75083606 i75 LED 3800 840 MB GL
 № изделия: i75083606
 Световой поток (Светильник): 3915 lm
 Световой поток (Лампы): 3930 lm
 Мощность светильников: 50.0 W
 Классификация светильников по CIE: 100
 CIE Flux Code: 99 99 100 100 100
 Комплектация: 1 x LED i75 5000 (Поправочный коэффициент 1.000).

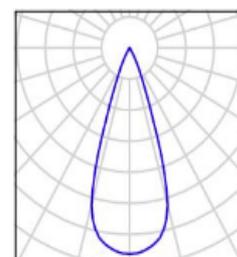


Рисунок 2 – Ведомость светильника i75 LED 3800 840 MB GL

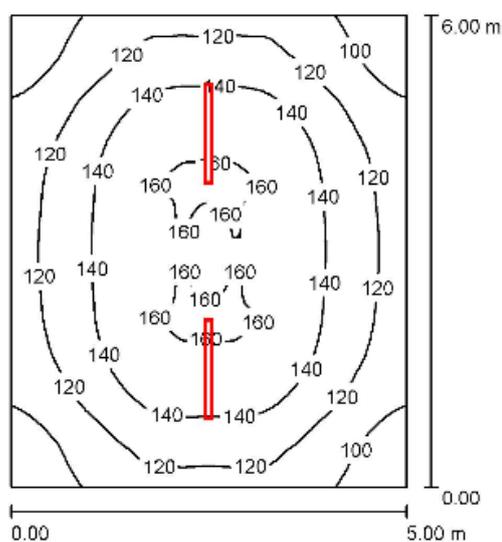
Реактивная мощность освещения равна:

$$\cos \varphi = 0,85 \Rightarrow \varphi = \arccos(0,85) = 31,8^\circ \Rightarrow \operatorname{tg}(31,8^\circ) = 0,62$$

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 5500 \cdot 0,62 = 3410 \text{ вар}$$

- Гардероб -1 (Гардероб - 2)

Представим результаты расчёта (см. рисунки 3 – 4).



Высота помещения: 4.200 м, Монтажная высота: 4.200 м, Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:78

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	131	86	162	0.655
Полы	20	107	78	128	0.726
Потолок	70	55	33	268	0.611
Стенки (4)	50	87	52	151	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 м
 Растр: 64 x 64 Точки
 Краевая зона: 0.000 м

UGR

Левая стенка 20
 Нижняя стенка 20
 (CIE, SHR = 0.25.)

Вдоль-

20

Поперек

18

К оси светильников

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	2	Glatox i40L42212 i40-1200 LED 4400 840 PC (1.000)	4442	4443	33.0
			Всего: 8884	Всего: 8886	66.0

Удельная подсоединенная мощность: $2.20 \text{ W/m}^2 = 1.68 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 30.00 m^2)

Рисунок 3 – Расчёт необходимого количества светильников для гардероба

2 шт.

Glamoх i40L42212 i40-1200 LED 4400 840 PC
№ изделия: i40L42212
Световой поток (Светильник): 4442 lm
Световой поток (Лампы): 4443 lm
Мощность светильников: 33.0 W
Классификация светильников по CIE: 93
CIE Flux Code: 42 72 90 93 100
Комплектация: 1 x LED i40 4400 840 (Поправочный коэффициент 1.000).

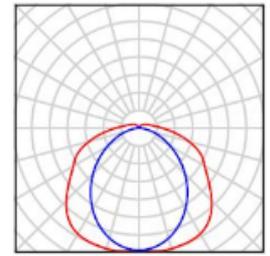


Рисунок 4 – Ведомость светильника i40 – 1200 LED 4400 840 PC

Так как помещения (гардероб-1, гардероб-2) двухэтажные, то:

$$P_{осв} = 66 \cdot 2 = 132 \text{ Вт}$$

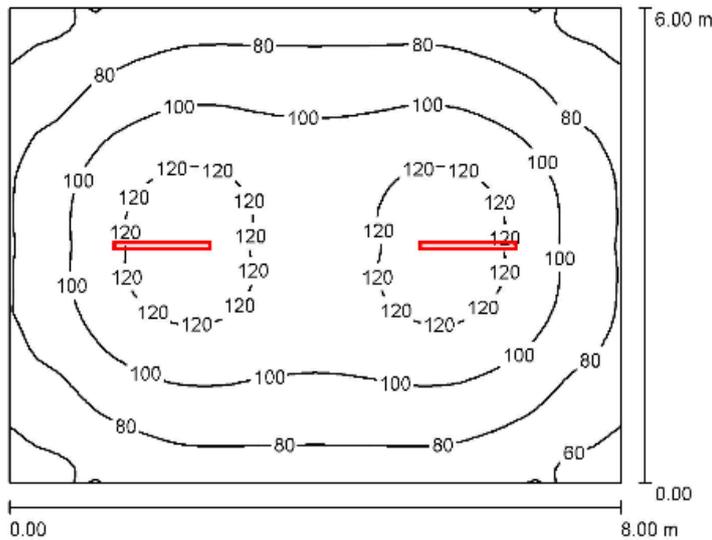
Реактивная мощность освещения равна:

$$\cos \varphi = 0,85 \Rightarrow \varphi = \arccos(0,85) = 31,8^\circ \Rightarrow \operatorname{tg}(31,8^\circ) = 0,62$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 132 \cdot 0,62 = 81,84 \text{ вар}$$

- Склад специй (склад первичного сырья, склад готовой продукции)

Ведомость используемых светильников представлена на рисунке 4. Представим результаты расчёта (см. рисунок 5).



Высота помещения: 4.200 м, Монтажная высота: 4.200 м, Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:78

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	95	54	130	0.565
Полы	20	81	54	98	0.669
Потолок	70	34	21	254	0.625
Стенки (4)	50	58	31	83	/

Рабочая плоскость:		UGR	Вдоль-	Поперек	К оси светильников
Высота:	0.850 м	Левая стенка	21	19	
Растр:	64 x 64 Точки	Нижняя стенка	20	18	
Краяевая зона:	0.000 м	(CIE, SHR = 0.25.)			

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	2	Glamoх i40L42212 i40-1200 LED 4400 840 PC (1.000)	4442	4443	33.0
			Всего: 8884	Всего: 8886	66.0

Удельная подсоединенная мощность: $1.38 \text{ W/m}^2 = 1.45 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 48.00 m^2)

Рисунок 5 – Расчёт необходимого количества светильников для склада специй

Так как помещения (склад специй, склад готовой продукции, склад первичного сырья) двухэтажные, то:

$$P_{осв} = 66 \cdot 2 = 132 \text{ Вт}$$

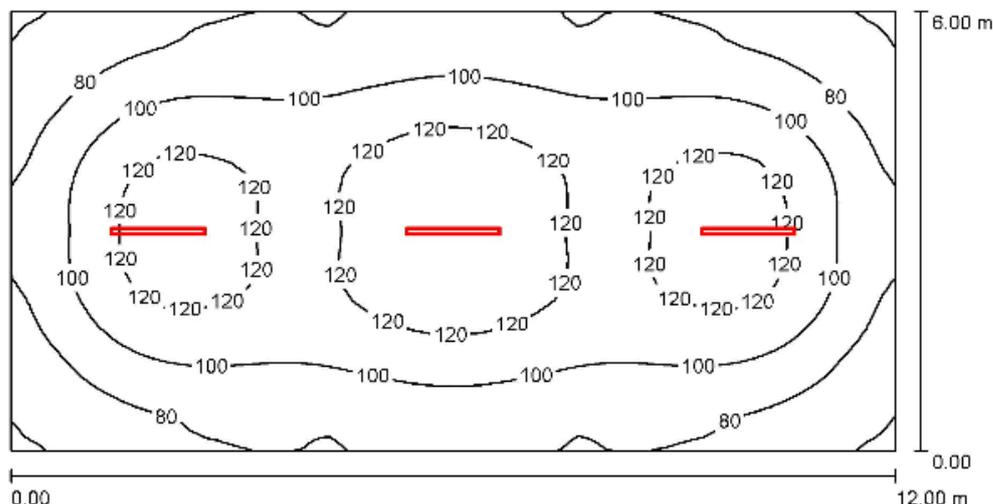
Реактивная мощность освещения равна:

$$\cos \varphi = 0,85 \Rightarrow \varphi = \arccos(0,85) = 31,8^\circ \Rightarrow \text{tg}(31,8^\circ) = 0,62$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg} \varphi = 132 \cdot 0,62 = 81,84 \text{ вар}$$

- Склад тары

Ведомость используемых светильников представлена на рисунке 4. Представим результаты расчёта (см. рисунок 6).



Высота помещения: 4.200 m, Монтажная высота: 4.200 m, Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:86

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	101	58	138	0.573
Полы	20	88	55	108	0.627
Потолок	70	35	22	254	0.623
Стенки (4)	50	62	32	85	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
 Растр: 64 x 32 Точки
 Краевая зона: 0.000 m

UGR

Левая стенка
 Нижняя стенка
 (CIE, SHR = 0.25.)

Вдоль-

22
 20

Поперек

19
 19

К оси светильников

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	3	Glatox i40L42212 i40-1200 LED 4400 840 PC (1.000)	4442	4443	33.0
			Всего: 13327	Всего: 13329	99.0

Удельная подсоединенная мощность: $1.38 \text{ W/m}^2 = 1.36 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 72.00 m^2)

Рисунок 6 – Расчёт необходимого количества светильников для склада тары

Так как помещение двухэтажное, то:

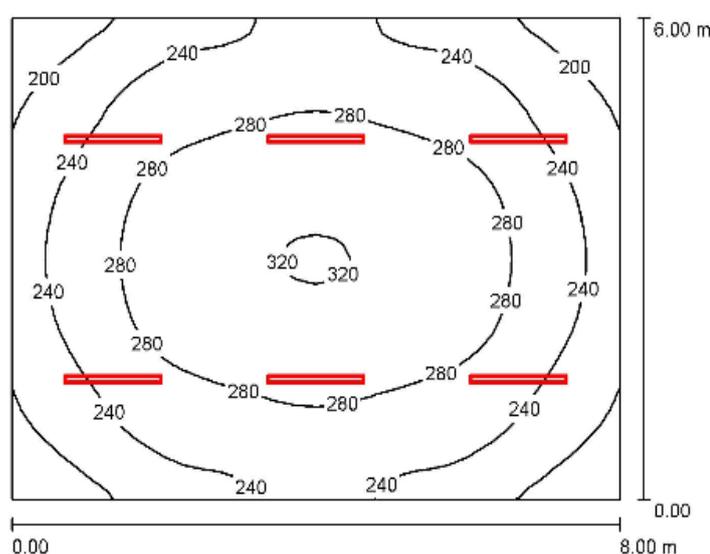
$$P_{осв} = 99 \cdot 2 = 198 \text{ Вт}$$

Реактивная мощность освещения равна:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 198 \cdot 0,62 = 122,76 \text{ вар}$$

- Мастерская

Ведомость используемых светильников представлена на рисунке 4. Представим результаты расчёта (см. рисунок 7).



Высота помещения: 4.200 м, Монтажная высота: 4.200 м, Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:78

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	259	171	322	0.658
Полы	20	224	161	273	0.720
Потолок	70	103	69	299	0.672
Стенки (4)	50	182	103	291	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 м
 Растр: 32 x 32 Точки
 Краевая зона: 0.000 м

UGR

Левая стенка
 Нижняя стенка
 (CIE, SHR = 0.25.)

Вдоль-

21
 20

Поперек

19
 18

К оси светильников

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	6	Glatox i40L42212 i40-1200 LED 4400 840 PC (1.000)	4442	4443	33.0
			Всего: 26653	Всего: 26658	198.0

Удельная подсоединенная мощность: $4.13 \text{ W/m}^2 = 1.59 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 48.00 m^2)

Рисунок 7 – Расчёт необходимого количества светильников для мастерской

Так как помещение двухэтажное, то:

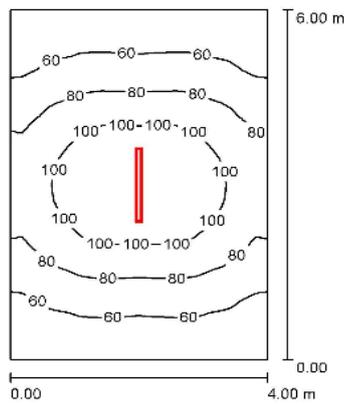
$$P_{осв} = 198 \cdot 2 = 396 \text{ Вт}$$

Реактивная мощность освещения равна:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg}\varphi = 396 \cdot 0,62 = 245,52 \text{ вар}$$

- Вентиляционная

Ведомость используемых светильников представлена на рисунке 4. Представим результаты расчёта (см. рисунок 8).



Высота помещения: 4.200 м, Монтажная высота: 4.200 м, Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:78

Поверхность	ρ [%]	$E_{ср}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{min} / E_{ср}$
Рабочая плоскость	/	78	44	118	0.569
Полы	20	63	41	83	0.658
Потолок	70	33	16	256	0.494
Стенки (4)	50	50	25	122	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 м
 Растр: 64 x 64 Точки
 Краевая зона: 0.000 м

UGR

Левая стенка
 Нижняя стенка
 (CIE, SHR = 0.25.)

Вдоль-

20
 20

Поперек

18
 18

К оси светильников

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	1	Glamox i40L42212 i40-1200 LED 4400 840 PC (1.000)	4442	4443	33.0
			Всего: 4442	Всего: 4443	33.0

Удельная подсоединенная мощность: $1.38 \text{ W/m}^2 = 1.76 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 24.00 m^2)

Рисунок 8 – Расчёт необходимого количества светильников для
 вентилиационной

Так как помещение двухэтажное, то:

$$P_{осв} = 33 \cdot 2 = 66 \text{ Вт}$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 66 \cdot 0,62 = 40,92 \text{ вар}$$

Суммарная активная и реактивная мощность системы освещения:

$$P_{\Sigma} = 5500 + 132 \cdot 5 + 198 + 396 + 66 = 6,82 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Sigma} = 3410 + 81,84 \cdot 5 + 122,76 + 245,52 + 40,92 = 4,23 \text{ квар}$$

Полная суммарная мощность системы освещения по объекту:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{6,82^2 + 4,23^2} = 8,03 \text{ кВА}$$

Суммарный ток равен:

$$I_{\Sigma (осв)} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{8,03}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 12,21 \text{ А}$$

Потери:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{м(ШНН)} = 0,02 \cdot 303,89 = 6,08 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{м(ШНН)} = 0,1 \cdot 303,89 = 30,39 \text{ квар}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{6,08^2 + 30,39^2} = 40,00 \text{ кВА}$$

Составим ведомость нагрузок по насосной станции с учётом системы освещения (см. таблицу 4).

Таблица 4 – Сводная ведомость нагрузок с учётом системы освещения

Наименование РУ и ЭП	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену						Нагрузка максимальная			
	P_n , кВт	n	$P_{n\Sigma}$, кВт	K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	m	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	$S_{см}$, кВА	n_{Σ}	K_m	K_m'	P_m , кВт	Q_m , квар	S_m , кВА	I_m , А
РП1																	
Электрические подъёмники передвижные	4,80	2	9,60	0,45	0,76	0,86		4,32	3,71								
Всего по РП1	-	2	9,60	0,45	0,76	0,86	<3	4,32	3,71	5,69	2	1,65	1,10	7,13	4,08	8,22	12,50
РП2																	
Электрические подъёмники передвижные	4,80	2	9,60	0,45	0,76	0,86		4,32	3,71								
Всего по РП2	-	2	9,60	0,45	0,76	0,86	<3	4,32	3,71	5,69	2	1,65	1,10	7,13	4,08	8,22	12,50
РП3																	
Станок токарный	6,40	1	6,40	0,14	0,50	1,73		0,90	1,56								
Станки шлифовальные	2,80	2	5,60	0,14	0,50	1,73		0,78	1,35								
Станок сверлильный	13,50	1	13,50	0,10	0,50	1,73		1,35	2,34								
Вентиляторы	5,00	2	10,00	0,70	0,80	0,75		7,00	5,25								
Всего по РП3	-	6	35,50	0,28	0,69	1,05	>3	10,03	10,50	14,52	6	1,88	1,10	18,86	11,55	22,12	33,65

Продолжение таблицы 4

ШРА1 (ШРА2)																	
Конвейер ленточный	0,75	1	0,75	0,50	0,75	0,87		0,38	0,33								
Унифицированные моечные машины	10,00	2	20,00	0,46	0,65	1,15		9,20	10,58								
Конвейер роликовый	11,00	1	11,00	0,50	0,75	0,87		5,50	4,79								
Элеватор подачи фруктов в дробилку	11,00	1	11,00	0,56	0,75	0,87		6,16	5,36								
Установка дробления фруктов	2,90	1	2,90	0,54	0,77	0,81		1,57	1,27								
Подогреватель дроблёной фруктовой пасты	31,00	1	31,00	0,50	0,85	0,60		15,50	9,30								
Установка экстракторная	29,00	1	29,00	0,60	0,78	0,82		17,40	14,27								
Установка разлива сока с подогревателем	44,00	1	44,00	0,60	0,78	0,82		26,40	21,65								
Всего по ШРА1 (ШРА2)	-	9	149,65	0,55	0,77	0,82	>3	82,11	67,55	106,33	9	1,28	1,10	105,10	74,31	128,72	195,80
Освещение								6,82	4,23	8,03	-	-	-	6,82	4,23	8,03	12,21
Всего на ШНН								189,71	157,25	246,41	-	-	-	250,14	172,56	303,89	-
Потери														6,08	30,39	40,00	-
Всего на ВН														256,22	202,95	343,89	-

3 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховой трансформаторной подстанции с учётом компенсации реактивной мощности

В данном разделе будет осуществляться выбор трансформаторов для цеховой комплектной трансформаторной подстанции рассматриваемого объекта с учетом компенсации реактивной мощности.

Для расчёта мощности компенсирующего устройства нужны следующие данные (см. таблицу 5).

Таблица 5 – Данные для расчёта мощности КУ

$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_m	Q_m	S_m
0,77	0,83	250,14	172,56	303,89

Расчётная мощность компенсирующего устройства равна [9]:

$$\cos \varphi_k = 0,95 \Rightarrow tg \varphi_k = 0,33$$

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_m \cdot (tg \alpha - tg \varphi_k) = 0,9 \cdot 250,14 \cdot (0,83 - 0,33) = 112,56 \text{ квар}$$

⇒ Выбираем 2×УК2–0,38–50

$tg \varphi_\phi$ и $\cos \varphi_\phi$ после компенсации реактивной мощности:

$$tg \varphi_\phi = tg \varphi - \frac{Q_{к.см}}{\alpha \cdot P_m} = 0,83 - \frac{100}{0,9 \cdot 250,14} = 0,83 - 0,44 = 0,39$$

$$\cos \varphi_\phi = \cos(\arctg 0,39) = 0,93$$

Находим расчётную мощность трансформатора:

$$S_{BH} = \sqrt{256,22^2 + (202,95 - 100)^2} = 276,13 \text{ кВА}$$

$$S_{HH} = \sqrt{250,14^2 + (172,56 - 100)^2} = 260,45 \text{ кВА}$$

$$\Rightarrow S_p = 0,7 \cdot S_{BH} = 0,7 \cdot 276,13 = 193,29 \text{ кВА}$$

Потери:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{HH} = 0,02 \cdot 260,45 = 5,21 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{HH} = 0,1 \cdot 260,45 = 26,05 \text{ квар}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{5,21^2 + 26,05^2} = 26,57 \text{ кВА}$$

Представим сводную ведомость нагрузок по цеху с учётом влияния КУ (см. таблицу 6).

Таблица 6 – Сводная ведомость нагрузок по НС с учётом КУ

Параметр	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_m , кВт	Q_m , квар	S_m , кВА
Всего на НН без КУ	0,77	0,83	250,14	172,56	303,89
КУ				100	
Всего на НН с КУ	0,93	0,39	250,14	72,56	260,45
Потери			5,21	26,05	26,57
Всего ВН с КУ			255,35	98,61	276,13

Опираясь на результаты расчёта, для цеховой комплектной трансформаторной подстанции (10/0,4 кВ) рассматриваемого объекта выбираем два масляных трансформатора: 2×ТМ-250-10/0,4. Так как все электроприёмники цеха по производству фруктового сока относятся ко второй категории надёжности электроснабжения, то электроснабжение цеха необходимо осуществлять от двух независимых источников питания [2].

Исходя из меньшей стоимости (масляные трансформаторы в 2 раза дешевле сухих) и категории пожароопасности (цех по производству фруктового сока относится к помещениям с пониженной пожароопасностью (категория Д)), было принято решение о выборе для цеховой КТП масляных трансформаторов.

Представим технические характеристики трансформатора (см. таблицу 7).

Таблица 7 – Технические характеристики трансформатора ТМ-250-10/0,4

Параметр	Значение
$S_{ном}$, кВА	250
Напряжение обмотки ВН, кВ	10
Напряжение обмотки НН, кВ	0,4
ΔP_{XX} , кВт	0,74
ΔP_{K3} , кВт	3,7
U_{K3} , %	4,5
i_{XX} , %	2,3
R_T , мОм	9,4
X_T , мОм	27,2
Z_T , мОм	28,7
$Z_T^{(1)}$, мОм	311

4 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения

Схема внутрицехового электроснабжения – это элемент системы электроснабжения производственного объекта, предназначенный для питания электрооборудования, а также распределения электрической энергии по территории цеха [12]. Выбранная схема должна быть надёжной, гибкой, безопасной и практичной (соответствовать характеру производимых работ и условиям окружающей среды) [5].

В качестве схемы внутрицехового электроснабжения будет использоваться смешанная схема. Во-первых, смешанные (радиально-магистральные) схемы применимы для электроприёмников любой категории надёжности электроснабжения [13]. Во-вторых, в настоящее время редко применяются только радиальные или магистральные схемы (схемы по отдельности не обладают достоинствами, характерными смешанной схеме; при выборе схемы акцент ставится на обеспечение высокого уровня надёжности и бесперебойности электроснабжения). В-третьих, смешанная схема удовлетворяет всем ранее перечисленным требованиям и имеет важное достоинство – возможность к модернизации при развитии предприятия.

Представим схему внутрицехового электроснабжения рассматриваемого объекта (см. рисунок 9).

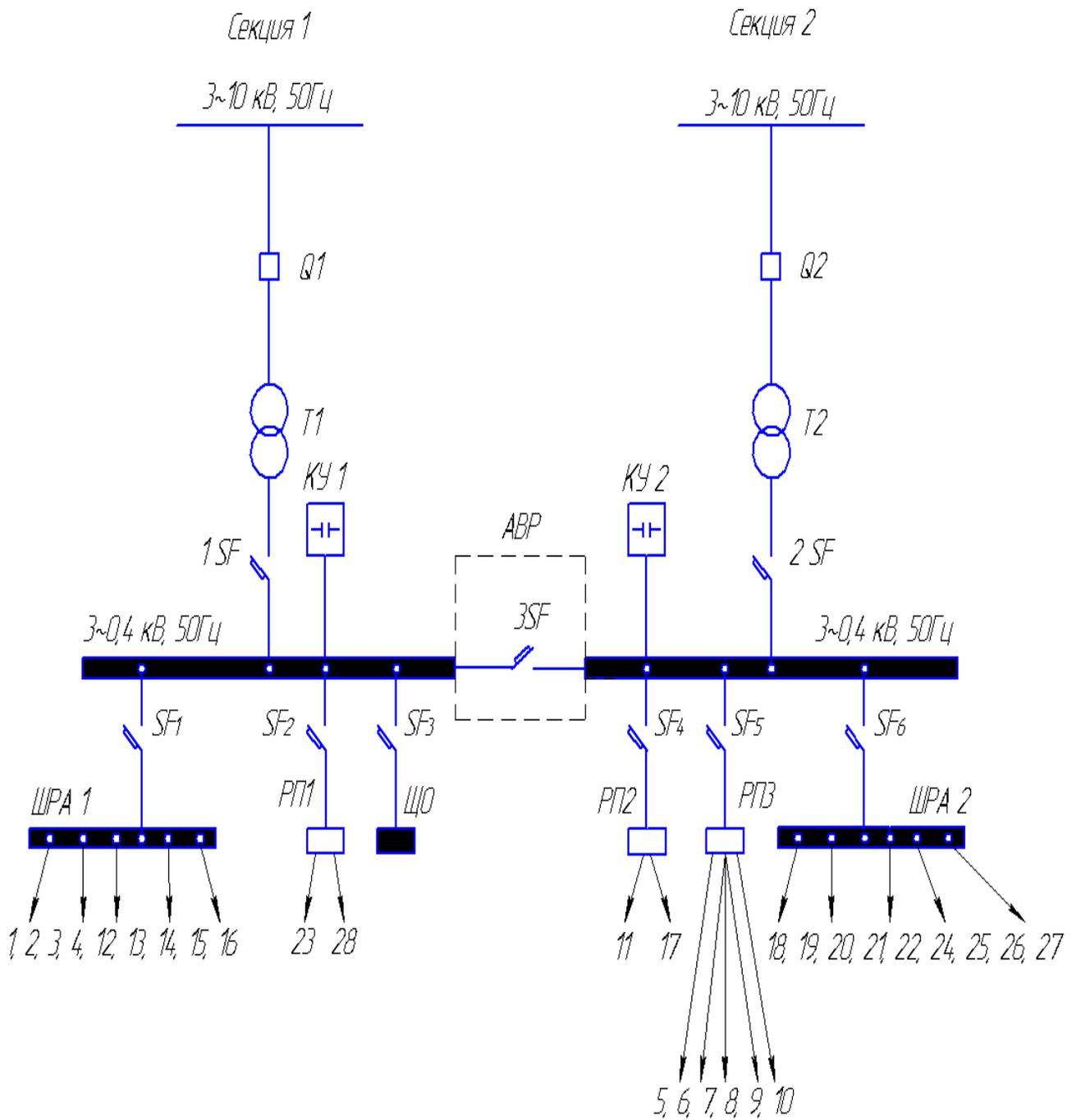


Рисунок 9 – Схема внутрицехового электроснабжения

5 Выбор электрооборудования схемы внутреннего электроснабжения предприятия цеха

Выбираем автоматические выключатели:

- 1SF, 2SF

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по току трансформатора [8]:

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 361,27 \text{ А}$$

$$I_{н.р} \geq I_T = 361,27 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51 – 37. Характеристики автомата представим в виде таблицы (см. таблицу 8).

Таблица 8 – Характеристики ВА 51-37

Номинальный ток, А		Кратность уставки		$I_{откл}$, кА
$I_{н.а}$	$I_{н.р}$	$Ky(ТР)$	$Ky(ЭМР)$	
400	400	1,25	10	25

- SF1, SF6

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по максимальному току в линии (I_M):

$$I_M = 195,80 \text{ А}$$

$$I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_M = 1,1 \cdot 195,80 = 215,38 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51 – 35. Характеристики автомата представим в виде таблицы (см. таблицу 9).

Таблица 9 – Характеристики ВА 51 – 35

Номинальный ток, А		Кратность уставки		$I_{откл}$, кА
$I_{н.а}$	$I_{н.р}$	$K_y(ТР)$	$K_y(ЭМР)$	
250	250	1,25	12	15

Определяем пиковый ток для мощного электроприёмника (установка разлива сока с подогревом):

$$I_{н.нб} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{44}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,78 \cdot 0,8} = 107,26 \text{ А}$$

$$I_{н.нб} = 6,5 \cdot I_{н.нб} = 6,5 \cdot 107,26 = 697,19 \text{ А}$$

$$I_{н.нб} \cdot K_u = 107,26 \cdot 0,60 = 64,36 \text{ А}$$

$$I_{пик} = I_{н.нб} + I_M - I_{н.нб} \cdot K_u = 697,19 + 195,80 - 64,36 = 828,63 \text{ А}$$

Ток и кратность отсечки:

$$I_o \geq 1,25 \cdot I_{пик} = 1,25 \cdot 828,63 = 1035,79 \text{ А}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{1035,79}{250} = 4,10$$

- SF2, SF4

В качестве распределительных пунктов используются: ПР85 – 001 – 21 – У3 ($I_H = 160 \text{ А}$, $I_{раб} = 128 \text{ А}$, количество автоматических выключателей – 3).

Производим выбор автоматических выключателей:

$$I_{дл} = I_{раб} = 128 \text{ А}$$

$$I_{н.р} \geq 1,10 \cdot I_{дл} = 1,10 \cdot 128 = 140,80 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51-33. Характеристики автомата представим в таблице (см. таблицу 10)

Таблица 10 – Характеристики ВА 51 – 33

Номинальный ток, А		Кратность уставки		$I_{откл}$, кА
$I_{н.А}$	$I_{н.Р}$	$K_u(ТР)$	$K_u(ЭМР)$	
160	160	1,25	10	12,5

Выбор автоматических выключателей SF23, SF28, SF11, SF17 будет осуществляться по максимальному току в линии (I_M):

$$I_M = 12,50 \text{ А}$$

$$I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_M = 1,1 \cdot 12,50 = 13,75 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51 – 25. Характеристики автомата представим в виде таблицы (см. таблицу 11).

Таблица 11 – Характеристики ВА 51 – 25

Номинальный ток, А		Кратность уставки		$I_{откл}$, кА
$I_{н.А}$	$I_{н.Р}$	$K_u(ТР)$	$K_u(ЭМР)$	
25	25	1,35	10	3,8

Определяем пиковый ток :

$$I_{н.нб} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{4,80}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,76 \cdot 0,86} = 11,17 \text{ А}$$

$$I_{н.нб} = 6,5 \cdot I_{н.нб} = 6,5 \cdot 11,17 = 72,61 \text{ А}$$

$$I_{н.нб} \cdot K_u = 11,17 \cdot 0,45 = 5,03 \text{ А}$$

$$I_{тик} = I_{н.нб} + I_M - I_{н.нб} \cdot K_u = 72,61 + 12,50 - 5,03 = 80,08 \text{ А}$$

Ток и кратность отсечки:

$$I_o \geq 1,25 \cdot I_{\text{тик}} = 1,25 \cdot 80,08 = 100,10 \text{ А}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{\text{н.р}}} = \frac{100,10}{25} = 4,00$$

- SF3

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по току в линии:

$$I = 12,21 \text{ А}$$

$$I_{\text{н.р}} \geq I_T = 12,21 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51 – 25. Характеристики автомата представлены таблице 11.

- SF5

В качестве распределительных пунктов используются: ПР85 – 002 – 21 – У3 ($I_H = 160 \text{ А}$, $I_{\text{раб}} = 128 \text{ А}$, количество автоматических выключателей – 6).

Производим выбор автоматических выключателей:

$$I_{\text{дл}} = I_{\text{раб}} = 128 \text{ А}$$

$$I_{\text{н.р}} \geq 1,10 \cdot I_{\text{дл}} = 1,10 \cdot 128 = 140,80 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51-33. Характеристики автомата приведены в таблице 10.

Выбор автоматических выключателей (SF5 – SF10) будет осуществляться по максимальному току в линии (I_M):

$$I_M = 33,65 \text{ А}$$

$$I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_M = 1,1 \cdot 33,65 = 37,02 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51Г – 31. Характеристики автомата представим в виде таблицы (см. таблицу 12).

Таблица 12 – Характеристики ВА 51Г – 31

Номинальный ток, А		Кратность уставки		$I_{откл}$, кА
$I_{н.А}$	$I_{н.Р}$	$K_u(TP)$	$K_u(\text{ЭМР})$	
100	50	1,35	7	5

Определяем пиковый ток :

$$I_{н.нб} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{13,50}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,50 \cdot 0,85} = 48,32 \text{ А}$$

$$I_{н.нб} = 6,5 \cdot I_{н.нб} = 6,5 \cdot 48,32 = 314,08 \text{ А}$$

$$I_{н.нб} \cdot K_u = 48,32 \cdot 0,10 = 4,83 \text{ А}$$

$$I_{пик} = I_{н.нб} + I_M - I_{н.нб} \cdot K_u = 314,08 + 33,65 - 4,83 = 342,90 \text{ А}$$

Ток и кратность отсечки:

$$I_o \geq 1,25 \cdot I_{пик} = 1,25 \cdot 342,90 = 428,63 \text{ А}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{428,63}{50} = 8,57$$

- SF1 (ШРА1 – конвейер ленточный)

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по току электроприёмника:

$$I_{д} = \frac{P_{н}}{\sqrt{3} \cdot U_{н} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{0,75}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,75 \cdot 0,87} = 1,75 \text{ А}$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_{д} = 1,25 \cdot 1,75 = 2,19 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51Г – 25. Характеристики автомата представим в таблице 13.

Таблица 13 – Характеристики ВА 51Г – 25

Номинальный ток, А		Кратность уставки		$I_{откл}$, кА
$I_{н.а}$	$I_{н.р}$	$K_{у(ТР)}$	$K_{у(ЭМР)}$	
25	2,5	1,20	14	1,5

Ток и кратность отсечки:

$$I_o \geq 1,20 \cdot I_{н} = 1,20 \cdot 6,50 \cdot 1,75 = 13,65 \text{ А}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{13,65}{2,50} = 5,46$$

- SF2, SF3 (ШРА1 – унифицированные моечные машины)

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по току электроприёмника:

$$I_{д} = \frac{P_{н}}{\sqrt{3} \cdot U_{н} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{10,00}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,80} = 29,25 \text{ А}$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_{д} = 1,25 \cdot 29,25 = 36,56 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51Г – 31. Характеристики автомата представлены в таблице 12.

Ток и кратность отсечки:

$$I_o \geq 1,20 \cdot I_n = 1,20 \cdot 6,50 \cdot 29,25 = 228,15 \text{ А}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{228,15}{50} = 4,56$$

- SF4 (ШРА1 – конвейер роликовый)

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по току электроприёмника:

$$I_{д} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{11,00}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,75 \cdot 0,87} = 25,64 \text{ А}$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_{д} = 1,25 \cdot 25,64 = 32,05 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51Г – 31. Характеристики автомата представлены в таблице 12.

Ток и кратность отсечки:

$$I_o \geq 1,20 \cdot I_n = 1,20 \cdot 6,50 \cdot 25,64 = 200,00 \text{ А}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{200,00}{50} = 4,00$$

- SF12 (ШРА1 – элеватор подачи фруктов в дробилку)

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по току электроприёмника:

$$I_{д} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{11,00}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,75 \cdot 0,87} = 25,64 \text{ А}$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_{д} = 1,25 \cdot 25,64 = 32,05 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51Г – 31. Характеристики автомата представлены в таблице 12.

Ток и кратность отсечки:

$$I_o \geq 1,20 \cdot I_n = 1,20 \cdot 6,50 \cdot 25,64 = 200,00 \text{ А}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{200,00}{50} = 4,00$$

- SF13 (ШРА1 – установка дробления фруктов)

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по току электроприёмника:

$$I_{д} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{2,90}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,77 \cdot 0,81} = 7,07 \text{ А}$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_{д} = 1,25 \cdot 7,07 = 8,83 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51 – 25. Характеристики автомата представлены в таблице 11.

Ток и кратность отсечки:

$$I_o \geq 1,20 \cdot I_n = 1,20 \cdot 6,50 \cdot 7,07 = 55,15 \text{ А}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{55,15}{25} = 2,21$$

- SF14 (ШРА1 – подогреватель дроблёной фруктовой пасты)

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по току электроприёмника:

$$I_D = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{31,00}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,90} = 61,64 \text{ А}$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_D = 1,25 \cdot 61,64 = 77,05 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51Г – 31. Характеристики автомата представим в таблице 14.

Таблица 14 – Характеристики ВА 51Г – 31

Номинальный ток, А		Кратность уставки		$I_{откл}$, кА
$I_{н.а}$	$I_{н.р}$	$Ky(TP)$	$Ky(\text{ЭМР})$	
100	100	1,35	10	7

Ток и кратность отсечки:

$$I_o \geq 1,20 \cdot I_n = 1,20 \cdot 6,50 \cdot 61,64 = 480,79 \text{ А}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{480,79}{100} = 4,81$$

- SF15 (ШРА1 – установка экстракторная)

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по току электроприёмника:

$$I_D = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{29,00}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,78 \cdot 0,82} = 68,97 \text{ А}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_D = 1,25 \cdot 68,97 = 86,21 \text{ А}$$

⇒ Выбираем ВА 51Г – 31. Характеристики автомата представлены в таблице 14. Ток и кратность отсечки:

$$I_o \geq 1,20 \cdot I_n = 1,20 \cdot 6,50 \cdot 68,97 = 537,97 \text{ A}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{537,97}{100} = 5,38$$

- SF16 (ШРА1 – установка разлива сока с подогревателем)

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться по току электроприёмника:

$$I_D = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{44,00}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,78 \cdot 0,82} = 104,64 \text{ A}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_D = 1,25 \cdot 104,64 = 130,80 \text{ A}$$

⇒ Выбираем ВА 51 – 33. Характеристики автомата представим в таблице 15.

Таблица 15 – Характеристики ВА 51 – 33

Номинальный ток, А		Кратность уставки		$I_{откл}$, кА
$I_{н.а}$	$I_{н.р}$	$K_u(TP)$	$K_u(ЭМР)$	
160	160	1,25	10	12,5

Ток и кратность отсечки:

$$I_o \geq 1,20 \cdot I_n = 1,20 \cdot 6,50 \cdot 104,64 = 816,19 \text{ A}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{816,19}{160} = 5,10$$

Для электроприёмников на ШРА 2 результаты выбора и расчёты те же.

По расчётному току ($I_p = 195,80 \text{ A}$) выбираем распределительные алюминиевые шинопроводы: ШРА 4 – 250 – 32 – У3. Представим характеристики шинопровода (см. таблицу 16).

Таблица 16 – Характеристики ШРА 4 – 250 – 32 – У3.

Параметр	$I_{НОМ}$, А	$U_{НОМ}$, В	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	Z_0 , Ом/км	$\Delta U_{(100,м)}$, В	Сечение, мм	Степень защиты
Значение	250	660	0,21	0,21	0,24	6,5	35 × 5	IP 32

Выбираем силовые кабели (выбор производится по допустимой токовой нагрузке и соответствию выбранному аппарату защиты):

- ШНН – ШРА1 (автоматический выключатель SF1):

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{y(\Pi)}$$

$$I_{доп} = 1 \cdot (1,25 \cdot I_{н.р}) = 1,25 \cdot 250 = 312,50 \text{ А}$$

⇒ Выбираем АВВГ – 1 × 150 ($I_{доп} = 340 \text{ А}$)

- ШРА1 – конвейер ленточный (автоматический выключатель SF1):

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{y(\Pi)}$$

$$I_{доп} = 1 \cdot (1,25 \cdot I_{н.р}) = 1,25 \cdot 2,50 = 3,13 \text{ А}$$

⇒ Выбираем АВВГ – 3 × 2,5 ($I_{доп} = 19 \text{ А}$)

- ШРА1 – унифицированные моечные машины, конвейер роликовый, элеватор подачи фруктов в дробилку (автоматические выключатели SF2, SF3, SF4, SF12):

$$I_{доп} = 1 \cdot (1,25 \cdot I_{н.р}) = 1,25 \cdot 50 = 62,50 \text{ А}$$

⇒ Выбираем АВВГ – 3 × 25 ($I_{доп} = 75 \text{ А}$)

- ШРА1 – установка дробления фруктов (автоматический выключатель SF13):

$$I_{доп} = 1 \cdot (1,25 \cdot I_{н.р}) = 1,25 \cdot 25 = 31,25 \text{ А}$$

⇒ Выбираем АВВГ – 3×6 ($I_{\text{дон}} = 32 \text{ A}$)

- ШРА1 – подогреватель дроблёной фруктовой пасты, установка экстракторная (автоматические выключатели SF14, SF15):

$$I_{\text{дон}} = 1 \cdot (1,25 \cdot I_{\text{н.р}}) = 1,25 \cdot 100 = 125,00 \text{ A}$$

⇒ Выбираем АВВГ – 3×70 ($I_{\text{дон}} = 140 \text{ A}$)

- ШРА1 – установка разлива сока с подогревателем (автоматический выключатель SF16):

$$I_{\text{дон}} = 1 \cdot (1,25 \cdot I_{\text{н.р}}) = 1,25 \cdot 100 = 125,00 \text{ A}$$

⇒ Выбираем АВВГ – 3×70 ($I_{\text{дон}} = 140 \text{ A}$)

Силовые кабели для электроприёмников, подключенных к ШРА2 аналогичны.

- ШНН – РП1, РП2 (автоматические выключатели SF2, SF4):

$$I_{\text{дон}} = 1 \cdot (1,25 \cdot I_{\text{н.р}}) = 1,25 \cdot 160 = 200 \text{ A}$$

⇒ Выбираем АВВГ – 3×120 ($I_{\text{дон}} = 200 \text{ A}$)

- РП1 (РП2) – электрические подъёмники передвижные (автоматические выключатели SF23, SF28, SF11, SF17):

$$I_{\text{дон}} = 1 \cdot (1,25 \cdot I_{\text{н.р}}) = 1,25 \cdot 25 = 31,25 \text{ A}$$

⇒ Выбираем АВВГ – 3×6 ($I_{\text{дон}} = 32 \text{ A}$)

- ШНН – ЩО (автоматический выключатель SF3):

$$I_{\text{доп}} = 1 \cdot (1,25 \cdot I_{\text{н.р}}) = 1,25 \cdot 25 = 31,25 \text{ А}$$

⇒ Выбираем АВВГ – 3×6 ($I_{\text{доп}} = 32 \text{ А}$)

- ШНН – РПЗ (автоматический выключатель SF5):

$$I_{\text{доп}} = 1 \cdot (1,25 \cdot I_{\text{н.р}}) = 1,25 \cdot 160 = 200 \text{ А}$$

⇒ Выбираем АВВГ – 3×120 ($I_{\text{доп}} = 200 \text{ А}$)

- РПЗ – станок токарный, станки шлифовальные, станок сверлильный, вентиляторы (автоматические выключатели SF5 – SF10):

$$I_{\text{доп}} = 1 \cdot (1,25 \cdot I_{\text{н.р}}) = 1,25 \cdot 50 = 62,50 \text{ А}$$

⇒ Выбираем АВВГ – 3×25 ($I_{\text{доп}} = 75 \text{ А}$)

Составляем сводную ведомость выбранных кабельных линий (см. таблицу 17).

Таблица 17 – Сводная ведомость выбранных КЛ

Расположение	АЗ	Силовой кабель	Число используемых кабелей	$I_{\text{доп}}, \text{ А}$	Прокладка
ШНН – ШРА1 (ШРА2)	ВА 51 – 35	АВВГ - 1×150	1	340	открытая
ШРА1 (ШРА2) – конвейер ленточный	ВА 51Г – 25	АВВГ - 3×2,5	1	19	открытая

Продолжение таблицы 17

ШРА1 (ШРА2) – унифицированные моечные машины	ВА 51 – 35	АВВГ - 3×25	2	75	открытая
ШРА1 (ШРА2) – конвейер роликовый	ВА 51 – 35	АВВГ - 3×25	1	75	открытая
ШРА1 (ШРА2) – элеватор подачи фруктов в дробилку	ВА 51 – 35	АВВГ - 3×25	1	75	открытая
ШРА1 (ШРА2) – установка дробления фруктов	ВА 51 – 25	АВВГ - 3×6	1	32	открытая
ШРА1 (ШРА2) – подогреватель дроблёной фруктовой пасты	ВА 51Г – 31	АВВГ - 3×70	1	140	открытая
ШРА1 (ШРА2) – установка экстракторная	ВА 51Г – 31	АВВГ - 3×70	1	140	открытая
ШРА1 (ШРА2) – установка разлива сока с подогревателем	ВА 51 – 33	АВВГ - 3×70	1	140	открытая
ШНН – РП1 (РП2)	ВА 51 – 33	АВВГ - 3×120	1	200	открытая

Продолжение таблицы 17

РП1 (РП2) – электрические подъёмники передвижные	ВА 51 – 25	АВВГ - 3×6	4	32	открытая
ШНН - ЩО	ВА 51 – 25	АВВГ - 3×6	1	32	открытая
ШНН – РПЗ	ВА 51 – 33	АВВГ - 3×120	1	200	открытая
РПЗ – станок токарный	ВА 51Г – 31	АВВГ - 3×25	1	75	открытая
РПЗ – станки шлифовальные	ВА 51Г – 31	АВВГ - 3×25	2	75	открытая
РПЗ – станок сверлильный	ВА 51Г – 31	АВВГ - 3×25	1	75	открытая
РПЗ – вентиляторы	ВА 51Г – 31	АВВГ - 3×25	2	75	открытая

6 Расчёт токов КЗ

Расчёт токов короткого замыкания проводится с целью проверки ранее выбранного оборудования внутрицеховой схемы электроснабжения, а также учёта всех негативных последствий, которые могут возникнуть при переходном процессе [11;15]. Расчёт токов короткого замыкания будет производиться для самого неблагоприятного случая (КЗ на линии с самым мощным электроприёмником – установка разлива сока с подогревателем) [4]. Для вычислений нужна расчётная схема электроснабжения (см. рисунок 10).

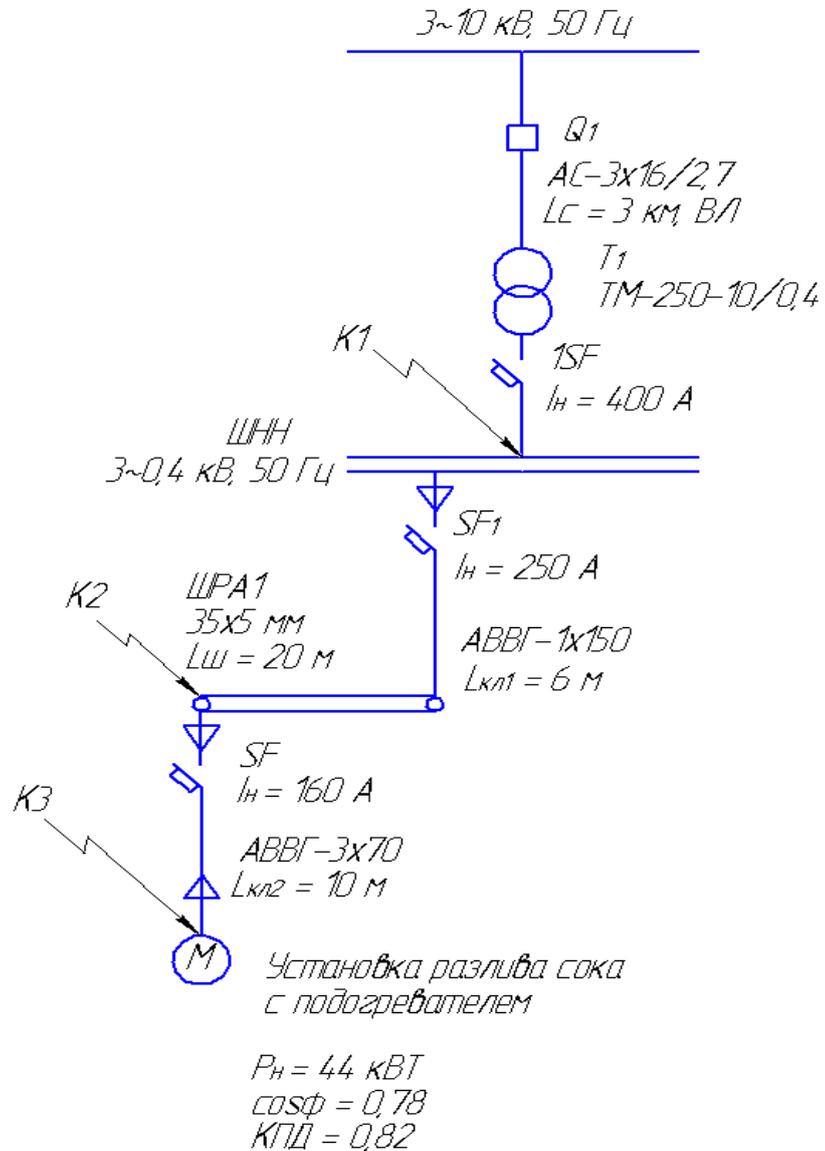


Рисунок 10 – Схема электроснабжения для расчёта КЗ

Находим сопротивления элементов для составления схемы замещения:

- Система:

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_c} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,45 \text{ A}$$

Наружная ВЛ: АС – 3×16/2,7 ($I_{don} = 111 \text{ A}$)

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$$

$$X_c' = x_0 \cdot L_c = 0,40 \cdot 3 = 1,20 \text{ Ом}$$

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma \cdot S} = \frac{10^3}{30 \cdot 16} = 2,08 \text{ Ом/км}$$

$$R_c' = r_0 \cdot L_c = 2,08 \cdot 3 = 6,24 \text{ Ом}$$

$$R_c = R_c' \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 6,24 \cdot \left(\frac{0,40}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 9,98 \text{ мОм}$$

$$X_c = X_c' \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 1,20 \cdot \left(\frac{0,40}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 1,92 \text{ мОм}$$

- Трансформатор ТМ – 1600 – 10/0,4:

Все необходимые характеристики трансформатора представлены в таблице 7.

- Автоматические выключатели:

$$1SF: R_{1SF} = 0,15 \text{ мОм}; X_{1SF} = 0,17 \text{ мОм}; R_{I1SF} = 0,40 \text{ мОм}$$

$$SF_1: R_{SF1} = 0,40 \text{ мОм}; X_{SF1} = 0,50 \text{ мОм}; R_{I1SF1} = 0,60 \text{ мОм}$$

$$SF: R_{SF} = 0,70 \text{ мОм}; X_{SF} = 0,70 \text{ мОм}; R_{I1SF} = 0,70 \text{ мОм}$$

- КЛ 1 (АВВГ - 1×150):

$$r_0' = 0,21 \text{ мОм/м}$$

$$x_0' = 0,06 \text{ мОм/м}$$

$$R_{КЛ1} = r_0' \cdot L_{КЛ1} = 0,21 \cdot 6 = 1,26 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ1} = x_0' \cdot L_{КЛ1} = 0,06 \cdot 10 = 0,60 \text{ мОм}$$

- КЛ 2 (АВВГ - 3×70):

$$r_0' = 0,45 \text{ мОм/м}$$

$$x_0' = 0,06 \text{ мОм/м}$$

$$r_0 = \frac{1}{2} \cdot r_0' = \frac{1}{3} \cdot 0,45 = 0,15 \text{ мОм/м}$$

$$R_{КЛ2} = r_0 \cdot L_{КЛ2} = 0,15 \cdot 10 = 1,50 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ2} = x_0 \cdot L_{КЛ2} = 0,06 \cdot 10 = 0,60 \text{ мОм}$$

- ШРА1 (ШРА4 – 250 – 32 – У3):

Все необходимые характеристики шинопровода представлены в таблице

16.

$$R_{ш} = r_0 \cdot L_{ш} = 0,21 \cdot 20 = 4,20 \text{ мОм}$$

$$X_{ш} = x_0 \cdot L_{ш} = 0,21 \cdot 20 = 4,20 \text{ мОм}$$

- Ступени распределения:

$$R_{C1} = 15 \text{ мОм}$$

$$R_{C2} = 20 \text{ мОм}$$

Изобразим схему замещения (см. рисунок 11).

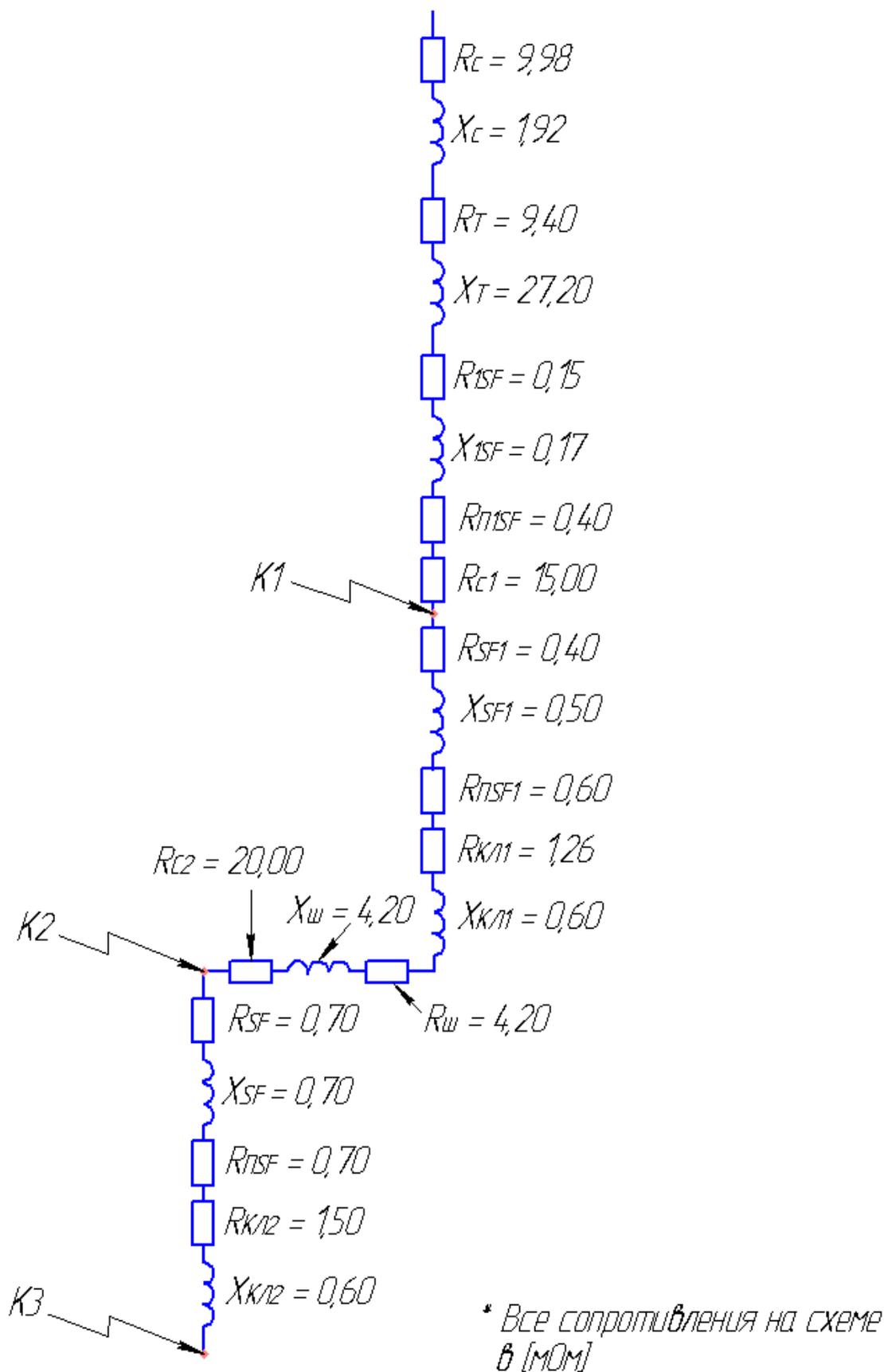


Рисунок 11 – Схема замещения

Находим эквивалентные сопротивления для упрощения схемы:

$$R_{\Sigma 1} = R_c + R_T + R_{1SF} + R_{II1SF} + R_{c1} = 9,98 + 9,40 + 0,15 + 0,40 + 15,00 = 34,93 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma 1} = X_c + X_T + X_{1SF} = 1,92 + 27,20 + 0,17 = 29,29 \text{ мОм}$$

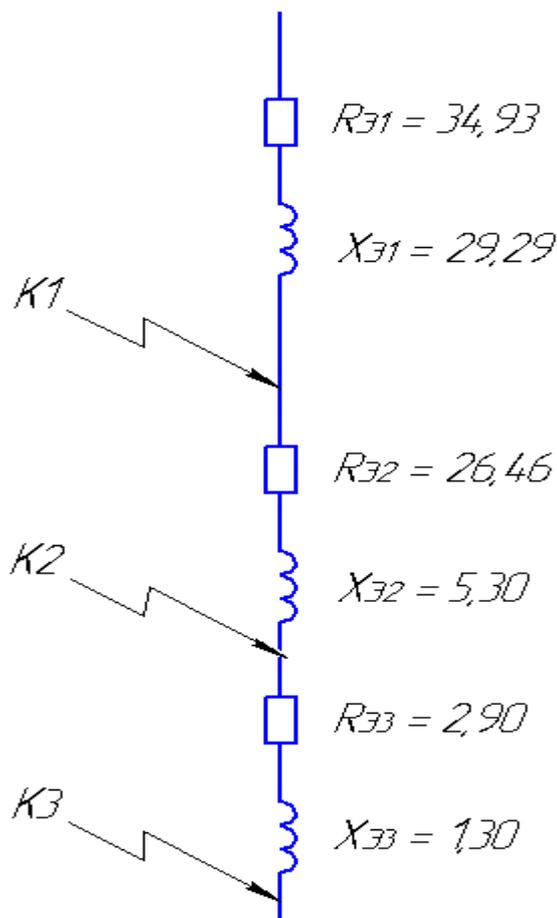
$$R_{\Sigma 2} = R_{SF1} + R_{II SF1} + R_{KII1} + R_u + R_{C2} = 0,40 + 0,60 + 1,26 + 4,20 + 20,00 = 26,46 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma 2} = X_{SF1} + X_{KII1} + X_u = 0,50 + 0,60 + 4,20 = 5,30 \text{ мОм}$$

$$R_{\Sigma 3} = R_{SF} + R_{II SF} + R_{KII2} = 0,70 + 0,70 + 1,50 = 2,90 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma 3} = X_{SF} + X_{KII2} = 0,70 + 0,60 = 1,30 \text{ мОм}$$

Представим упрощённую схему замещения (см. рисунок 12).



**Все сопротивления на схеме в [мОм]*

Рисунок 12 – Упрощённая схема замещения

Сопровитления каждой точки КЗ равны:

$$R_{\kappa 1} = R_{\vartheta 1} = 34,93 \text{ мОм}$$

$$X_{\kappa 1} = X_{\vartheta 1} = 29,29 \text{ мОм}$$

$$Z_{\kappa 1} = \sqrt{R_{\kappa 1}^2 + X_{\kappa 1}^2} = \sqrt{34,93^2 + 29,29^2} = 45,59 \text{ мОм}$$

$$R_{\kappa 2} = R_{\vartheta 1} + R_{\vartheta 2} = 34,93 + 26,46 = 61,39 \text{ мОм}$$

$$X_{\kappa 2} = X_{\vartheta 1} + X_{\vartheta 2} = 29,29 + 5,30 = 34,59 \text{ мОм}$$

$$Z_{\kappa 2} = \sqrt{R_{\kappa 2}^2 + X_{\kappa 2}^2} = \sqrt{61,39^2 + 34,59^2} = 70,46 \text{ мОм}$$

$$R_{\kappa 3} = R_{\kappa 2} + R_{\vartheta 3} = 61,39 + 2,90 = 64,29 \text{ мОм}$$

$$X_{\kappa 3} = X_{\kappa 2} + X_{\vartheta 3} = 34,59 + 1,30 = 35,89 \text{ мОм}$$

$$Z_{\kappa 3} = \sqrt{R_{\kappa 3}^2 + X_{\kappa 3}^2} = \sqrt{64,29^2 + 35,89^2} = 73,63 \text{ мОм}$$

$$\frac{R_{\kappa 1}}{X_{\kappa 1}} = \frac{34,93}{29,29} = 1,19 ; \quad \frac{R_{\kappa 2}}{X_{\kappa 2}} = \frac{61,39}{34,59} = 1,77 ; \quad \frac{R_{\kappa 3}}{X_{\kappa 3}} = \frac{64,29}{35,89} = 1,79$$

Ударный коэффициент (K_y) и коэффициент действующего значения ударного тока (q) равны:

$$K_{y1} = F\left(\frac{R_{\kappa 1}}{X_{\kappa 1}}\right) = F(1,19) = 1,00$$

$$K_{y2} = F\left(\frac{R_{\kappa 2}}{X_{\kappa 2}}\right) = F(1,77) = 1,00$$

$$K_{y3} = F\left(\frac{R_{\kappa 3}}{X_{\kappa 3}}\right) = F(1,79) = 1,00$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2 \cdot (K_{y1} - 1)^2} = 1,00 ; \quad q_2 = q_3 = 1,00$$

Рассчитываем токи трёхфазного короткого замыкания ($I_k^{(3)}$):

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{U_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1}} = \frac{0,40 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 45,59} = 5,07 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^{(3)} = \frac{U_{k2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{k2}} = \frac{0,40 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 70,46} = 3,28 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^{(3)} = \frac{U_{k3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{k3}} = \frac{0,40 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 73,63} = 3,14 \text{ кА}$$

Рассчитываем токи трёхфазного короткого замыкания в установившемся режиме ($I_\infty^{(3)}$):

$$I_{\infty k1}^{(3)} = q_1 \cdot I_{k1}^{(3)} = 1,00 \cdot 5,07 = 5,07 \text{ кА}$$

$$I_{\infty k2}^{(3)} = q_2 \cdot I_{k2}^{(3)} = 1,00 \cdot 3,28 = 3,28 \text{ кА}$$

$$I_{\infty k3}^{(3)} = q_3 \cdot I_{k3}^{(3)} = 1,00 \cdot 3,14 = 3,14 \text{ кА}$$

Рассчитываем ударные токи (i_y):

$$i_{yk1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{k1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 5,07 = 7,15 \text{ кА}$$

$$i_{yk2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{k2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 3,28 = 4,62 \text{ кА}$$

$$i_{yk3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{k3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 3,14 = 4,43 \text{ кА}$$

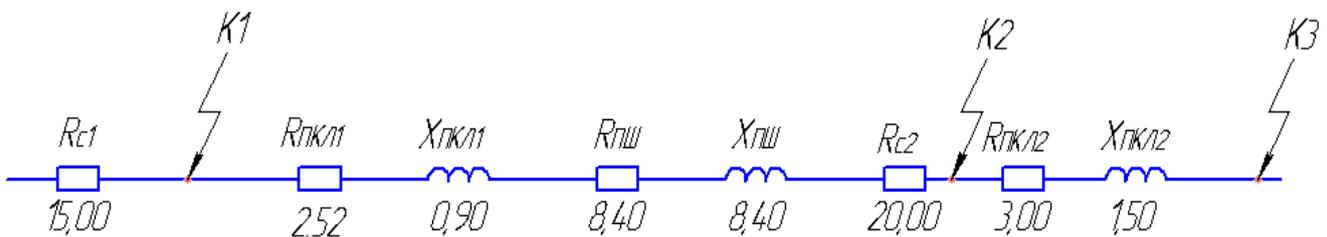
Рассчитываем токи двухфазного короткого замыкания ($I_k^{(2)}$):

$$I_{k1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,07 = 4,39 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k2}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,28 = 2,84 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,14 = 2,72 \text{ кА}$$

Рассчитаем токи однофазного короткого замыкания ($I_k^{(1)}$). Для этого воспользуемся схемой (см. рисунок 13).



* Все сопротивления на схеме в [МОм]

Рисунок 13 – Схема замещения для расчёта токов однофазного КЗ

Находим сопротивления элементов схемы замещения:

$$X_{пкЛ1} = x_{0П} \cdot L_{кЛ1} = 0,15 \cdot 6 = 0,90 \text{ МОм}$$

$$R_{пкЛ1} = 2 \cdot r_{0П} \cdot L_{кЛ1} = 2 \cdot 0,21 \cdot 6 = 2,52 \text{ МОм}$$

$$X_{пкЛ2} = x_{0П} \cdot L_{кЛ2} = 0,15 \cdot 10 = 1,50 \text{ МОм}$$

$$R_{пкЛ2} = 2 \cdot r_{0П} \cdot L_{кЛ2} = 2 \cdot 0,15 \cdot 10 = 3,00 \text{ МОм}$$

$$X_{пш} = x_{0Пш} \cdot L_{ш} = 0,42 \cdot 20 = 8,40 \text{ МОм}$$

$$R_{пш} = r_{0Пш} \cdot L_{ш} = 0,42 \cdot 20 = 8,40 \text{ МОм}$$

$$Z_{П1} = 15,00 \text{ мОм}$$

$$R_{П2} = R_{c1} + R_{ПКЛ1} + R_{Пuu} + R_{c2} = 15,00 + 2,52 + 8,40 + 20,00 = 45,92 \text{ мОм}$$

$$X_{П2} = X_{ПКЛ1} + X_{Пuu} = 0,90 + 8,40 = 9,30 \text{ мОм}$$

$$Z_{П2} = \sqrt{R_{П2}^2 + X_{П2}^2} = \sqrt{45,92^2 + 9,30^2} = 46,85 \text{ мОм}$$

$$R_{П3} = R_{П2} + R_{ПКЛ2} = 45,92 + 3,00 = 48,92 \text{ мОм}$$

$$X_{П3} = X_{П2} + X_{ПКЛ2} = 9,30 + 1,50 = 10,80 \text{ мОм}$$

$$Z_{П3} = \sqrt{R_{П3}^2 + X_{П3}^2} = \sqrt{48,92^2 + 10,80^2} = 50,10 \text{ мОм}$$

Рассчитываем токи однофазного короткого замыкания ($I_k^{(1)}$):

$$I_{k1}^{(1)} = \frac{U_{\text{кф}}}{Z_{П1} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{15 + \frac{311}{3}} = 1,94 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^{(1)} = \frac{U_{\text{кф}}}{Z_{П2} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{46,85 + \frac{311}{3}} = 1,46 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^{(1)} = \frac{U_{\text{кф}}}{Z_{П3} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{50,10 + \frac{311}{3}} = 1,43 \text{ кА}$$

Результаты расчётов представим в виде таблицы (см. таблицу 18).

Таблица 18 – Сводная ведомость расчёта токов КЗ

Точка КЗ	R_{κ} , мОм	X_{κ} , мОм	Z_{κ} , мОм	$\frac{R_{\kappa}}{X_{\kappa}}$	K_y	q	$I_k^{(3)}$, кА	i_y , кА	$I_{\infty}^{(3)}$, кА	$I_k^{(2)}$, кА	$Z_{П}$, кА	$I_k^{(1)}$, кА
К1	34,93	29,29	45,59	1,19	1,00	1,00	5,07	7,15	5,07	4,39	15,00	1,94
К2	61,39	34,59	70,46	1,77	1,00	1,00	3,28	4,62	3,28	2,84	46,85	1,46
К3	64,29	35,89	73,63	1,79	1,00	1,00	3,14	4,43	3,14	2,72	50,10	1,43

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы был произведён расчёт системы электроснабжения цеха по производству фруктового сока. Рассматриваемый объект является структурным звеном современного предприятия по переработке плодов и овощей. Данному предприятию, как и любому производственному объекту свойственно постоянное развитие, которое напрямую зависит от рациональности электроснабжения потребителей, входящих в его состав.

Расчёт системы электроснабжения начинался с выбора и обоснования схемы внутрицехового электроснабжения. Для электроснабжения цеха была выбрана смешанная схема (данное решение принято исходя из соображений о надёжности, практичности и возможности схемы к модернизации при развитии объекта).

Определение ожидаемых электрических нагрузок по цеху производилось методом упорядоченных диаграмм. Все найденные параметры заносились в сводную ведомость нагрузок. В этом же разделе курсовой работы осуществлялся расчёт системы освещения всего цеха и вспомогательных помещений, входящих в его состав. Расчёты производились в программе DIALux.

Выбор трансформаторов для собственной цеховой комплектной трансформаторной подстанции производился с учётом компенсации реактивной мощности. Электроприёмники цеха по производству фруктового сока относятся ко второй категории надёжности, поэтому для их электроснабжения были выбраны два независимых источника питания: $2 \times \text{ТМ-250-10/0,4}$.

В качестве электрооборудования для схемы электроснабжения цеха были выбраны аппараты защиты (автоматические выключатели) и кабельные линии. На основании результатов расчёта токов короткого замыкания производились

проверки выбранного оборудования, которые показали, что все элементы схемы полностью удовлетворяют установленным требованиям.

Итогом всей работы стало получение варианта схемы внутрицехового электроснабжения для рассматриваемого объекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. – М.: МЭИ, 2013. – 412 с.
2. Правила устройства электроустановок, Седьмое издание. М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2002 г.
3. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Б.И. Кудрин. – М.: ИЦ Академия, 2013. – 352 с.
4. Хавроничев, С.В. Расчёт токов коротких замыканий и проверка электрооборудования: учебное пособие / С.В. Хавроничев, И.Ю. Рыбкина. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. – 56 с.
5. Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебно-методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования / В.В.Вахнина, А.Н.Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2007. – 54 с.
6. Фролов, Ю.М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: Лань, 2013. – 480 с.
7. Хорольский, В.Я. Надёжность электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. – М.: Форум Инфра – М, 2013. – 128 с.
8. Хорольский, В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. – М.: Дрофа, 2013. – 288 с.
9. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / В.В. Вахнина. – Изд. 2-е. – Тольятти: ТГУ, 2011. – 69 с.
10. Мельников, М.А. Внутрицеховое электроснабжение: учебное пособие / М.А. Мельников. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 167 с.
11. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов / Сибикин Ю.Д. – Москва: Форум, 2015. – 384 с.

12. ПАО «РАДИУС-Автоматика». Комплекс оборудования релейной защиты и автоматики для сетей 0,4 кВ до 110 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rza.ru/catalog>.
13. Каталог электрооборудования «Электрощит» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://electroshield.ru>
14. Электроснабжение административных зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://projectsdevelop.com/power_supply_of_office_buildings.
15. ABB PRODUCT-DETAILS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://new.abb.com/products>.
16. Power System Protection Forum [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://forum.pearlabs.com/>.
17. Gaty, L.R. Calculation of short circuit current / L.R. Gaty // Journal of IEEE. – 2014. – Vol. 74. – No. 2. – Pp. 200 – 205
18. Curry, J.M. In-house power supply of enterprises / J. M. Curry // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2015. – Pp. 720 – 727
19. Soler, M.K. Methodology for multiobjective optimization of the AC railway power supply system / M.K. Soler // Journal of IEEE. – 2013. – Pp. 531 – 542
20. Wang, B.C. Power supply / B.C. Wang // Power Systems, IEEE Transactions on. – 2014. – Pp. 350 – 357.