

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение производства фруктового сока

Студент

А.А. Шеховцов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

И.В. Горохов

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

Тольятти 2021

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 49 страниц пояснительной записки, 13 таблиц, 3 рисунка и 6 листов графической части.

Цель работы – разработка проекта системы электроснабжения производственного здания для производства фруктового сока.

В ходе работы произведен анализ технического состояния электрооборудования производственного здания для производства фруктового сока.

Для достижения поставленной цели будут решены следующие задачи:

- расчет электрических нагрузок;
- выбор системы освещения;
- выбор аппаратов защиты;
- выбор кабельных линий;
- расчет заземления;
- расчет молниезащиты;
- расчет релейной защиты.

Объектом исследования в представленной работе является производственное здание для производства фруктового сока.

Предметом исследования – электроснабжение производственного здания для производства фруктового сока.

Содержание

Введение.....	4
1 Общие сведения об объекте проектирования	6
2 Расчет электрических нагрузок часть	10
2.1 Расчет силовых электрических нагрузок	10
2.2 Расчет нагрузок освещения	16
2.3 Расчет общей нагрузки цеха.....	20
3 Выбор оборудования.....	21
3.1 Выбор силовых трансформаторов	21
3.2 Выбор кабеля 10 кВ.....	25
3.3 Расчет токов короткого замыкания	26
3.4 Проверка оборудования.....	30
4 Заземление и молниезащита	36
4.1 Заземление.....	36
4.2 Молниезащита	39
5 Релейная защита	42
Заключение	46
Список используемой литературы и используемых источников	ОШИБКА! ЗАКЛА

Введение

Основными факторами, формирующими качества соков, являются: технология производства и качество сырья для производства.

При производстве как в основном осветленных, так и неосветленных соков все составные части, растворенные в воде (кислоты, сахара, витамины, пектиновые вещества, минеральные вещества, аминокислоты), почти полностью переходят в сок, а нерастворимые или малорастворимые (полисахариды, липиды, каротиноиды, некоторые другие вещества) остаются в большей или меньшей степени в выжимках. Кроме того, на состав оказывают действие ферменты, тепловая обработка, сроки и условия хранения, так как может происходить преобразование компонентов, их потеря или образование новых веществ. При тепловой обработке и дальнейшем хранении могут изменяться органолептические показатели, уменьшаться пищевая и биологическая ценность.

Соки получают по следующей технологической схеме:

- измельчение плодов;
- нагревание мезги и обработка ферментами;
- извлечение сока;
- обработка фруктовых соков;

Объектом исследования в представленной работе является производственное здание для производства фруктового сока.

Предметом исследования – разработка системы электроснабжения для производственного здания производства фруктового сока.

Цель работы – разработка проекта системы электроснабжения производственного здания для производства фруктового сока.

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи:

- расчет электрических нагрузок;
- выбор системы освещения;
- выбор аппаратов защиты;
- выбор кабельных линий;
- расчет заземления;
- расчет молниезащиты;
- расчет релейной защиты.

Практическая значимость работы состоит в разработке проекта системы электроснабжения производственного здания для производства фруктового сока.

Для решения поставленных задач работа разделена на пять разделов.

1 Общие сведения об объекте проектирования

Производственное здание предназначено для производства фруктового сока. Оно содержит участок подготовки сырья, участок обработки, участок измельчения и участок розлива. «Кроме того, имеются вспомогательные, бытовые и служебные помещения.

Цех получает ЭСН от ГПП. Расстояние от ГПП до цеховой ТП - 0,8 км, а от энергосистемы до ГПП - 16 км.

Низкое напряжение на ГПП - 6 и 10 кВ, Количество рабочих смен - 2. Потребители цеха относятся ко 2 категории надежности ЭСН.

Грунт в районе цеха - суглинок при температуре +5 °С. Каркас здания смонтирован из блоков-секций длиной 8 м каждый.

Размеры цеха АхВхН = 48 х 30 х 8.» [7]

Все помещения, кроме станочного помещения, двухэтажные высотой 3,6 м. Расположение основного ЭО показано на рисунке 1.

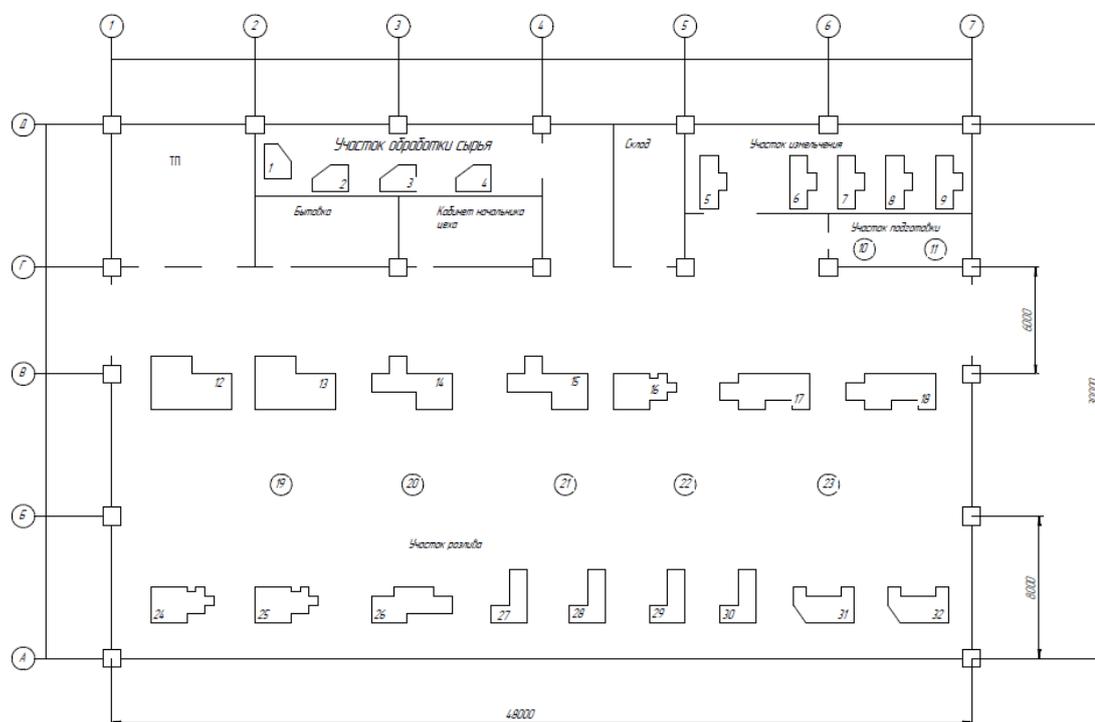


Рисунок 1 – План расположения оборудования

Перечень ЭО цеха дан в таблице 1.

Таблица 1 - Перечень ЭО цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Р _{эп} , кВт
1...4	Теплообменник	31,2
5...9	Дробилка	28
10, 11	Мойка	10
12, 13	Пресс	33
14, 15	Сепаратор	10,5
16, 24, 25	Фильтр	14
17, 18	Установка подогрева	12
19...23	Установка розлива	6,5
26	Установка смешивания	11
27...30	Установка пастеризации	5,2
31, 32	Установка фасовки	6

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяют на следующие три категории:

Электроприемники I категории - электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству; повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Из состава электроприемников I категории выделяют особую группу электроприемников, бесперебойная работы которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования.

Электроприемники II категории - электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции,

массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники III категории - все остальные электроприемники, не подходящие под определения I и II категорий.

Электроприемники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Для электроснабжения особой группы электроприемников I категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания. В качестве третьего независимого источника питания для особой группы электроприемников и в качестве второго независимого источника питания для остальных электроприемников I категории могут быть использованы местные электростанции, электростанции энергосистем (в частности, шины генераторного напряжения), специальные агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т. п. Если резервированием электроснабжения нельзя обеспечить необходимой непрерывности технологического процесса или если резервирование электроснабжения экономически нецелесообразно, должно быть осуществлено технологическое резервирование, например, путем установки взаимно резервирующих технологических агрегатов, специальных устройств безаварийного останова технологического процесса, действующих при нарушении электроснабжения.

Электроснабжение электроприемников I категории с особо сложным непрерывным технологическим процессом, требующим длительного времени на восстановление рабочего режима, при наличии технико-

экономических обоснований рекомендуется осуществлять от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, к которым предъявляются дополнительные требования, определяемые особенностями технологического процесса.

Для электроприемников II категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Допускается питание электроприемников II категории по одной воздушной линии (ВЛ), в том числе с кабельной вставкой, если обеспечена возможность проведения аварийного ремонта этой линии за время не более 1 суток. Кабельные вставки этой линии должны выполняться двумя кабелями, каждый из которых выбирается по наибольшему длительному току ВЛ. Допускается питание электроприемников II категории по одной кабельной линии, состоящей не менее чем из двух кабелей, присоединенных к одному общему аппарату.

Выводы по разделу 1

Определены основные потребители электрической энергии в здании, предназначенном для производства фруктового сока. Перечень этих потребителей представлен в таблице 1. Также приставлен перечень категорий потребителей электрической энергии.

2 Расчет электрических нагрузок часть

2.1 Расчет силовых электрических нагрузок

«Цех по категории надежности ЭСН относится к потребителям II категории.

Магистральные схемы питания находят широкое применение не только для питания многих электроприемников одного технологического агрегата, но также большого числа сравнительно мелких приемников, не связанных единым технологическим процессом. К таким потребителям относятся металлорежущие станки в цехах механической обработки металлов и другие потребители, распределенные по площади цеха.

Магистральные схемы, выполненные шинпроводами, обеспечивают высокую надежность, гибкость и универсальность цеховых сетей, что позволяет технологам перемещать оборудование внутри цеха без существенных переделок электрических сетей.» [18]

К шинам низшего напряжения трансформаторной подстанции подключены два ШРА, РП.

Для примера далее приведены расчеты для РП-1. Расчеты для ШРА-1 и ШРА-2 производятся аналогично и приведены в таблице 2.

Максимальная мощность электроприемников РП (ШРА) за смену определяется по формуле 1 [3, 4]:

$$P_{CM} = \Sigma P_v \cdot k_{u,yz} \quad (1)$$

где $k_{u,yz}$ – коэффициент использования электроприемников;

ΣP_v – номинальная мощность электроприемников, кВт;

P_{CM} – максимальная мощность электроприемников РП (ШРА) за смену, кВт.

Для теплообменников максимальная мощность за смену составит:

$$P_{CM} = 124,8 \cdot 0,2 = 25 \text{ кВт}$$

Для дробилок максимальная мощность за смену составит:

$$P_{CM} = 140 \cdot 0,6 = 77 \text{ кВт}$$

Для моек максимальная мощность за смену составит:

$$P_{CM} = 20 \cdot 0,6 = 12 \text{ кВт}$$

Общая среднесменная активная мощность, в таком случае, составит 113 кВт.

Среднесменная реактивная нагрузка определяется по формуле 3 [3, 4]:

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

Для теплообменников реактивная мощность за смену составит:

$$Q_{CM} = 25 \cdot 0,7 = 17,1 \text{ квар}$$

Для дробилок реактивная мощность за смену составит:

$$Q_{CM} = 77 \cdot 0,95 = 73,2 \text{ квар}$$

Для моек реактивная мощность за смену составит:

$$Q_{CM} = 12 \cdot 0,9 = 10,2 \text{ квар}$$

Общая среднесменная реактивная мощность, в таком случае, составит 100,5 квар.

По формуле 3 определяют средневзвешенное значение коэффициента использования цеха [3, 4]:

$$k_{u.yz.} = \frac{\Sigma P_{CM}}{\Sigma P_{y\Sigma}} \quad (3)$$

где ΣP_{CM} – среднесменная мощность узла потребителей, кВт;

ΣP_y – суммарная номинальная мощность РП, кВт.

$$k_{u.yz.} = \frac{113}{284,8} = 0,4$$

Далее по формуле 4 определяют средневзвешенное значение $\text{tg}\phi$, а по его значению в таблице определяем $\cos\phi$ [3, 4]:

$$\text{tg}_{\phi.yz.} = \frac{\Sigma Q_{CM}}{\Sigma P_{CM}} \quad (4)$$

где ΣQ_{CM} – среднесменная реактивная мощность узла, квар;

ΣP_{CM} – среднесменная активная мощность узла, кВт.

$$\text{tg}_{\phi.yz.} = \frac{100,5}{113} = 0,89$$

В соответствии с практикой проектирования принимается $k'_M = 1,1$ при $n_{\text{э}} \leq 10$; $k'_M = 1$ при $n_{\text{э}} > 10$.

$$k_M = 1 + 2,6 \cdot \sqrt{k_{u,yz.}} \cdot \left(\frac{1}{k_{u,yz.}} - 1\right) \cdot n_3^{-0,75} \quad (5)$$

$$k_M = 1 + 2,6 \cdot \sqrt{0,4} \cdot \left(\frac{1}{0,4} - 1\right) \cdot 8,8^{-0,75} = 2,3$$

Максимальные значения активной и реактивной мощности [3, 4]:

$$P_M = P_{CM} \cdot k_M \quad (6)$$

$$Q_M = Q_{CM} \cdot k'_M \quad (7)$$

где P_{CM} – среднесменная активная мощность, кВт.

Q_{CM} – среднесменная активная мощность, квар.

k_M – коэффициент максимума активной нагрузки;

k'_M – коэффициент максимума реактивной нагрузки.

Для теплообменников максимальная мощность составит:

$$P_M = 25 \cdot 2,3 = 58,5 \text{ кВт}$$

Для дробилок максимальная мощность составит:

$$P_M = 77 \cdot 2,3 = 180,4 \text{ кВт}$$

Для моек максимальная мощность составит:

$$P_M = 12 \cdot 2,3 = 25,8 \text{ кВт}$$

Общая максимальная активная мощность, в таком случае, составит 264,6 кВт.

Для теплообменников максимальная реактивная мощность составит:

$$Q_M = 17,1 \cdot 1,1 = 18,8 \text{ квар}$$

Для дробилок максимальная реактивная мощность составит:

$$Q_M = 73,2 \cdot 1,1 = 80,5 \text{ квар}$$

Для моек максимальная реактивная мощность составит:

$$Q_M = 10,2 \cdot 1,1 = 11,3 \text{ квар}$$

Общая максимальная реактивная мощность, в таком случае, составит 110,5 квар.

По формуле (8) определяется полная расчетная мощность (S_M) [3, 4]:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} \quad (8)$$

$$S_M = \sqrt{264,6^2 + 110,5^2} = 287,0 \text{кВа}$$

По формуле (9) определяем расчетный ток узла (I_M) [6-8]:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Л}}} \quad (9)$$

Для РП-1:

$$I_M = \frac{287,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 436,05 \text{ А}$$

Сводная ведомость нагрузок по цеху приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Сводная ведомость нагрузок

Наименование	n	Установленная мощность		m	$k_{u,uz}$	cos φ	tgφ	Средняя мощность		нэ	км	к'м	Максимальная мощность		
		Py кВт	ΣPy кВт					Pсм кВт	Qсм кВт				Pм кВт	Qм квар	Sm кВА
ПП 1															
Теплообменник	4	52	124,8	-	0,2	0,6	0,7	25,0	17,1	-	-	-	58,5	18,8	61,4
Дробилка	5	28	140	-	0,6	0,8	1,0	77,0	73,2	-	-	-	180,4	80,5	197,5
Мойка	2	10	20	-	0,6	0,8	0,9	12,0	10,2	-	-	-	25,8	11,3	28,1
Итого по ПП 1:	11	-	284,8	1,9	0,4		0,9	113,0	100,5	2,3	2,3	1,1	264,6	110,5	287,0
ШРА 1															
Пресс	2	33	66	-	0,2	0,7	0,8	11,2	8,5	-	-	-	34,6	9,4	35,8
Сепаратор	2	10,5	21	-	0,2	0,7	0,8	3,6	2,7	-	-	-	11,0	3,0	11,4
Фильтр	1	14	14	-	0,2	0,7	0,8	2,4	1,8	-	-	-	7,3	2,0	7,6
Установка подогрева	2	12	24	-	0,2	0,7	0,8	4,1	3,1	-	-	-	12,6	3,4	13,0
Установка розлива	5	6,5	8,125	-	0,1	0,5	0,5	0,8	0,4	-	-	-	2,5	0,5	2,6
Итого по ШРА 1	12	-	133,13	0,3	0,2	0,8	0,8	22,06	16,60	3,5	3,1	1,1	67,97	18,26	70,39
ШРА-2															
Фильтр	2	14	28	-	0,2	0,7	1,2	4,8	5,6	-	-	-	13,8	6,1	15,1
Установка смешивания	1	11	11	-	0,2	0,7	1,2	1,9	2,2	-	-	-	5,4	2,4	5,9
Установка пастеризации	4	5,2	20,8	-	0,2	0,7	1,2	3,5	4,1	-	-	-	10,3	4,5	11,2
Установка фасовки	2	6	12	-	0,2	0,7	1,2	2,0	2,4	-	-	-	5,9	2,6	6,5
Итого по ШРА-2:	9	-	71,8	0,5	0,2	0,7	1,2	12,206	14,3	3,9	2,9	1,1	35,4	41,4	54,5
Итого по цеху:		-	489,7	-	0,3	0,8	0,9	147,2	131,3	5,7	1,9	1,1	368,0	101,1	411,9

2.2 Расчет нагрузок освещения

«Исходные данные:

- длина цеха $A = 48$ м;
- ширина цеха $B = 30$ м;
- высота цеха $h = 8$ м;
- напряжение системы освещения 220 В;
- коэффициенты отражения согласно:
 $\rho_{\text{пот}} = 0,5$; $\rho_{\text{ст}} = 0,3$; $\rho_{\text{пол}} = 0,2$;
- минимальная освещенность согласно:
 $E_{\text{РАБ.}} = 300$ лк; $E_{\text{АВ.}} = 30$ лк.

Т.к. высота цеха 8 м, целесообразно использовать светодиодные светильники ДИУС-240, световой поток $\Phi_{\text{л}} = 34700$ лм, коэффициент мощности 0,98. Маркировка степени защиты светильников IP67.

Расчётная высота подвеса светильников» [12,22]:

$$h_p = h - (h_c + h_{\text{рп}}) \quad (10)$$

где $h_c = 0,1$ м – расстояние от светильников до перекрытия;

$h_{\text{рп}} = 0,8$ м – высота расчетной поверхности над полом.

$$h_p = 8 - (0,1 + 0,8) = 7,1 \text{ м}$$

«Отношение потока, падающего на освещаемую поверхность ко всему потоку ламп, называется коэффициентом использования η . Зависимость η от площади помещения, высоты и формы учитывается индексом помещения i .

Индекс помещения» [12]:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)} \quad (11)$$

$$i = \frac{48 \cdot 30}{9,1 \cdot (48 + 30)} = 2,03$$

«Индекс помещения округляется до ближайшего табличного значения $i = 3$ » [12].

«При принятых коэффициентах отражения и индексе помещения $i = 6$ коэффициент использования $\eta = 0,94$ » [12].

«Определяем требуемое количество светильников» [12]:

$$n = \frac{E_{\text{раб}} \cdot S_{\text{ц}} \cdot k_{\text{з}} \cdot z}{\eta \cdot \Phi_{\text{л}}} \quad (12)$$

где $z = 1,15$ – коэффициент, характеризующий неравномерность освещения;

$k_{\text{з}} = 1,3$ – коэффициент запаса;

$S_{\text{ц}}$ – площадь цеха;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток лампы (светильника).

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{200 \cdot 1440 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{0,94 \cdot 34700} = 13,09 \text{ шт}$$

«Принимается 14 светильников ДИУС-240 для более равномерного распределения света. Мощность светильника равна 270 Вт.

Определяется средняя фактическая освещённость при данном количестве светильников $n = 14$ шт.» [12]:

$$E_{\text{ср.ф}} = \frac{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}}{S_{\text{ц}} \cdot k_{\text{з}} \cdot z} \quad (13)$$

$$E_{\text{ср.ф}} = \frac{0,94 \cdot 14 \cdot 34700}{1440 \cdot 1,3 \cdot 1,15} = 212 \text{ лк}$$

$$E_{\text{ср.ф}} = 212 \text{ лк} > E_{\text{раб}} = 200$$

«Условие минимальной освещённости рабочего места выполняется.
Общая установленная мощность рабочего освещения» [12]:

$$P_{\Sigma, \text{раб}} = n \cdot P_{\text{л}} \quad (14)$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы, кВт.

$$P_{\Sigma, \text{раб}} = 14 \cdot 0,27 = 3,78 \text{ кВт}$$

«Расчётная активная мощность внутреннего освещения здания $P_{\text{р. раб}}$ определяется по установленной мощности освещения $P_{\Sigma \text{ раб}}$ и коэффициенту спроса $k_c = 0,94$ » [12]:

$$P_{\text{р. раб}} = k_c \cdot P_{\Sigma \text{ раб}} \quad (15)$$

$$P_{\text{р. раб}} = 0,94 \cdot 3,78 = 3,55 \text{ кВт}$$

«Расчётная реактивная мощность рабочего освещения» [12]:

$$Q_{\text{р. раб}} = P_{\text{р. раб}} \cdot \text{tg } \varphi \quad (16)$$

$$Q_{\text{р. раб}} = 3,55 \cdot 0,20 = 0,71 \text{ квар}$$

где $\text{tg } \varphi = 0,20$ – «для светодиодных светильников» [8].

«Определяется полная мощность рабочего освещения» [12]:

$$S_{\text{р. раб}} = \sqrt{P_{\text{р. раб}}^2 + Q_{\text{р. раб}}^2} \quad (17)$$

$$S_{\text{р. раб}} = \sqrt{3,55^2 + 0,71^2} = 3,62 \text{ кВА}$$

«Аварийное освещение выполняется светодиодными светильниками и должно обеспечивать освещенность 10 % от освещенности, создаваемой рабочим освещением.

Для аварийного освещения будут использованы светодиодные светильники ДИУС-80 со световым потоком 11600 лм и мощностью 90 Вт, коэффициент мощности 0,98. Маркировка степени защиты светильников IP67.» [22]

$E_{ав} = 20$ лк; коэффициент запаса $k_3 = 1,3$ [8]; коэффициент использования $\eta = 0,94$ [12].

$$n = \frac{20 \cdot 1440 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{0,94 \cdot 11600} = 3,95 \text{ шт.}$$

Принимается 4 светильника.

«Определяется средняя фактическая освещённость при данном количестве светильников $n = 4$ шт.» [12]:

$$E_{ср.ф.ав} = \frac{4 \cdot 0,94 \cdot 11600}{1440 \cdot 1,3 \cdot 1,15} = 20,26 \text{ лк}$$

$$E_{ср.ф} = 20,26 \text{ лк} > E_{ав} = 20 \text{ лк}$$

Условие минимального освещения аварийными светильниками выполняется.

$$P_{ав} = 4 \cdot 0,09 = 0,36 \text{ кВт}$$

«Расчётная активная мощность аварийного освещения с учётом коэффициента спроса ($k_c = 0,72$)» [12]:

$$P_{р.ав} = k_c \cdot P_{\Sigma ав} \quad (18)$$

$$P_{p.ав} = 0,72 \cdot 0,36 = 0,26 \text{ кВт}$$

Расчётная реактивная мощность аварийного освещения.

$$Q_{p.ав} = 0,26 \cdot 0,20 = 0,05 \text{ квар}$$

где $\text{tg } \varphi = 0,20$ - для светодиодных светильников [8].

"Определяется полная мощность аварийного освещения:

$$S_{p.ав} = \sqrt{0,26^2 + 0,05^2} = 0,26 \text{ кВА}$$

2.3 Расчет общей нагрузки цеха

Общая нагрузка цеха приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Общая нагрузка цеха

Наименование	P, кВт	Q, квар	S, кВА	tgφ	cosφ
Силовая нагрузка	368,0	101,1	411,9	0,9	0,89
Рабочее освещение	3,55	0,71	3,62	0,2	0,98
Аварийное освещение	0,26	0,05	0,26	0,2	0,98
Итого:	371,81	101,86	415,78	0,5	0,89

Выводы по разделу 2

Определена активная, реактивная и полная мощность всего цех по производству фруктового сока. В основном происходит потребление активной мощности из этого можно сделать вывод что на производстве нет необходимости в компенсаторах реактивной мощности.

3 Выбор оборудования

3.1 Выбор силовых трансформаторов

«Анализ результатов расчетов показывает, что значение коэффициента реактивной мощности ниже оптимального.

Могут быть введены экономические требования к режиму потребления реактивной мощности.» [7] Согласно данному приказу, значения соотношения потребления активной и реактивной мощностей ($\text{tg}\varphi$) определяются в виде предельных значений коэффициента реактивной мощности (таблица 4), потребляемой в часы больших суточных нагрузок электрической сети, соблюдение которых обеспечивается покупателями электрической энергии (мощности) - потребителями услуг по передаче электрической энергии посредством соблюдения режимов потребления электрической энергии (мощности) либо использования устройств компенсации реактивной мощности.

Таблица 4 – Предельные значения коэффициента реактивной мощности

Положение точки присоединения потребителя к электрической сети	$\text{tg}\varphi$	$\cos\varphi$
напряжением 6 - 20 кВ	0,4	0,928
напряжением 0,4 кВ	0,35	0,944

«Многие широко распространенные виды электрического оборудования обладают не только активным, но и индуктивным сопротивлением. В качестве примеров можно назвать, в частности:

- однофазные и трехфазные электродвигатели переменного тока;
- приводы с переменной скоростью;
- трансформаторы;
- разрядные лампы высокой интенсивности.» [21]

«При работе всех этих устройств потребляется как активная, так и реактивная электрическая мощность. Активная мощность преобразуется в полезную работу, в то время как реактивная мощность расходуется на создание электромагнитных полей. Реактивная мощность совершает периодические колебания между генератором и нагрузкой (с частотой источника). Конденсаторные батареи и подземные кабели также вносят вклад в формирование реактивной мощности.

Полная мощность рассчитывается как геометрическая сумма активной и реактивной мощности, представленных взаимно перпендикулярными векторами. Именно полная мощность определяет требования к генерирующим, сетевым и распределительным мощностям. Это означает, что генераторы, трансформаторы, линии электропередач, распределительное оборудование и т.д. должны быть рассчитаны на более высокую номинальную мощность, чем в том случае, если бы нагрузка потребляла только активную мощность» [23, 24].

«Корректировка коэффициента мощности (компенсация реактивной мощности), например, посредством подключения конденсаторов параллельно нагрузке, позволяет устранить или снизить потребность в производстве и передаче реактивной мощности. Средства корректировки коэффициента мощности оказываются наиболее эффективными в том случае, если они применяются в непосредственной близости от нагрузки и основаны на современных технологиях.

Расчетную реактивную мощность КУ можно определить из соотношения» [1]:

$$Q_{KP} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg \varphi - tg \varphi_K) \quad (19)$$

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

P_p – активная мощность, согласно таблице 2.2.

$tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности, согласно таблице 2.2.

$tg\varphi_K$ – требуемый коэффициент реактивной мощности, равный 0,33.

$$Q_{KP} = 0,9 \cdot 371,81 \cdot (0,5 - 0,33) = 56,87 \text{ квар}$$

«Компенсирующее устройство будет подключено к 1СШ ТП. Напряжение КУ должно быть равно 0,4 кВ. Компенсирующее устройство выбираем конденсаторное, типа УКРМ. По полученному значению реактивной мощности, требующей компенсации выбираем устройство УКРМ 0,4 75, мощностью $Q_{КУ} = 75$ кВАр, со ступенями регулирования по 25 кВар, напряжением 0,4кВ.

Тогда итоговый фактический коэффициент мощности на 1сш ТП будет равен» [1]:

$$tg\varphi_{факт} = tg\varphi - \frac{Q_{КУ}}{\alpha \cdot P_P} \quad (20)$$

$$tg\varphi_{факт} = 0,5 - \frac{75}{0,9 \cdot 371,81} = 0,28$$

Что соответствует:

$$\cos\varphi_{факт} = \cos(\arctg(\varphi_{факт})) \quad (21)$$

$$\cos\varphi_{факт} = 0,96$$

С учетом полученных коэффициентов мощности реактивная мощность будет равна [1]:

$$Q_{KP} = P_P \cdot tg\varphi_{факт} \quad (22)$$

$$Q_{KP} = 371,81 \cdot 0,28 = 104,11 \text{ квар}$$

Полная мощность на шинах НН ТП:

$$S_{ТПНН} = \sqrt{P_p^2 + Q_{KP}^2} \quad (23)$$
$$S_{ТПНН} = \sqrt{371,81^2 + 104,11^2} = 386,11 \text{ кВА}$$

Определим мощность силового трансформатора. Цех относится ко 2 категории надежности, следовательно коэффициент нагрузки трансформатора равен $k_3 = 0,7$ [22].

Определяем мощность трансформатора $S_{\text{ном.тр.}}$ по формуле [9, 13]:

$$S_{TP} = \frac{S_p}{n \cdot k_3} \quad (24)$$

где k_3 – коэффициент загрузки трансформатора;

S_p – полная мощность, кВА;

n – количество установленных трансформаторов, шт.

$$S_{TP} = \frac{371,81}{2 \cdot 0,7} = 266 \text{ кВА}$$

По полученной мощности выбираем трансформатор ТМГ 400/10/0,4.

Коэффициент загрузки силового трансформатора ТМГ 400/10/0,4 составит:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{TP}} \quad (25)$$

$$K_3 = \frac{371,81}{2 \cdot 400} = 0,46$$

Проведем проверку на аварийную перегрузку:

$$K_a = \frac{S_p \cdot K_1}{S_{TP} \cdot (n-1)} \quad (26)$$

$$K_a = \frac{371,81 \cdot 1}{400 \cdot (2-1)} = 0,93$$

Коэффициент аварийной перегрузки 0,93 ниже паспортных данных (1,2), поэтому силовой трансформатор мощностью 400 кВА отвечает требованиям надёжности.

3.2 Выбор кабеля 10 кВ

«Для расчета кабельных линий распределительной сети необходимо определить токи, протекающие в жилах кабелей» [2]:

$$I = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{вн}}} \quad (27)$$

$$I = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22 \text{ A}$$

Выбираем кабель марки АСБ сечением 3х35 (допустимый ток – 110 А).

3.3 Расчет токов короткого замыкания

«Ток короткого замыкания на шинах ГПП равно 9,03 кА. Принимается, что напряжение на шинах высокого напряжения трансформатора остается неизменным.

Далее находится результирующее сопротивление схемы до точки короткого замыкания, которое состоит из суммы сопротивлений всех элементов схемы от источника питания до точки короткого замыкания.

Определяется реактивное сопротивление системы:

$$X_C = Z_C = \frac{U_{61}}{\sqrt{3} \cdot I_C} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 9,03} = 0,67 \text{ Ом} \quad (28)$$

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

«Реактивное сопротивление кабельной линии определяется по формуле:

$$X_{КЛ} = X_0 \cdot L_{КЛ} \quad (29)$$

$$X_{КЛ} = 0,08 \cdot 0,5 = 0,04 \text{ Ом}$$

где X_0 – удельное реактивное сопротивление кабельной линии, определяемое в соответствии с табл. 6.80 [23] и равное 0,08 Ом/км.

Активное сопротивление кабельной линии равно:

$$R_{КЛ} = R_0 \cdot L_{КЛ} \quad (30)$$

$$R_{КЛ} = 0,44 \cdot 0,5 = 0,22 \text{ Ом}$$

где R_0 – удельное активное сопротивление кабельной линии, определяемое в соответствии с табл. 6.80 [23] и равное 0,44 Ом/км.

Суммарное реактивное сопротивление до точки К1 равно:

$$\begin{aligned} X_{\Sigma K1} &= X_{\Gamma} + X_{KЛ} \\ X_{\Sigma K1} &= 0,67 + 0,04 = 0,71 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (31)$$

Суммарное активное сопротивление до точки К1 равно:

$$R_{\Sigma K1} = R_{KЛ} = 0,22 \text{ Ом} \quad (32)$$

Полное сопротивление определяется по формул:

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma K1} &= \sqrt{(R_{\Sigma K1})^2 + (X_{\Sigma K1})^2} \\ Z_{\Sigma K1} &= \sqrt{(0,22)^2 + (0,71)^2} = 0,74 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (33)$$

Рассчитаем значение установившегося тока короткого замыкания в первой точке:

$$\begin{aligned} I_{K1} &= \frac{U_{61}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1}} \\ I_{K1} &= \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,74} = 8,19 \text{ кА} \end{aligned} \quad (34)$$

Значение ударного тока КЗ в точке К1 $i_{уд}$ равно:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1} \cdot K_{уд1} \quad (35)$$

где $K_{уд1}$ – ударный коэффициент, равный 1,8.

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 8,19 \cdot 1,8 = 20,85 \text{ кА}$$

Значение мощности короткого замыкания в точке К1 равно:

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot I_{K1} \cdot U_6 \quad (36)$$

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot 8,19 \cdot 10,5 = 148,94 \text{ МВА}$$

Далее произведен расчет токов короткого замыкания в точке К2 – на шинах низкого напряжения трансформаторов ТП 10/0,4. Зададим базисное напряжение:

$$U_{62} = 0,4 \text{ кВ.}$$

Сопротивления трансформатора 10/0,4 кВ мощностью 400кВА находим по таблице 1.9.1 [23].» [23] Активное сопротивление трансформатора равно $R_{тр} = 2 \text{ мОм}$, реактивное $X_{тр} = 8,5 \text{ мОм}$.

Определяется рабочий ток I_{p2} , А:

$$I_{p2} = \frac{S_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{62}} \quad (37)$$

$$I_{p2} = \frac{582,77}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 604,42 \text{ А}$$

Для точки К2 учитываются активные и индуктивные сопротивления элементов в цепи короткого замыкания до точки К1, приведенное к базисному уровню напряжения в точке К2 (0,4кВ) $X'_{\Sigma K1}$ и $R'_{\Sigma K1}$:

$$R'_{\Sigma K1} = R_{\Sigma K1} \cdot \left(\frac{U_{62}}{U_{61}} \right)^2 \quad (38)$$

$$X'_{\Sigma K1} = X_{\Sigma K1} \cdot \left(\frac{U_{62}}{U_{61}}\right)^2 \quad (39)$$

$$R'_{\Sigma K1} = 0,22 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 \cdot 10^3 = 0,32 \text{ мОм}$$

$$X'_{\Sigma K1} = 0,71 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 \cdot 10^3 = 1,03 \text{ мОм},$$

Суммарное активное сопротивление до точки К2 равно:

$$R_{\Sigma K2} = R'_{\Sigma K1} + R_{\text{ТР}} \quad (40)$$

$$R_{\Sigma K2} = 0,32 + 2 = 2,32 \text{ мОм}$$

Суммарное реактивное сопротивление до точки К2 равно:

$$X_{\Sigma K2} = X'_{\Sigma K1} + X_{\text{ТР}} \quad (41)$$

$$X_{\Sigma K2} = 1,03 + 8,5 = 9,53 \text{ мОм}$$

Полное сопротивление определяется по формуле:

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{(R_{\Sigma K2})^2 + (X_{\Sigma K2})^2} \quad (42)$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{(2,32)^2 + (9,53)^2} = 9,81 \text{ мОм}$$

Рассчитаем значение установившегося тока короткого замыкания в первой точке:

$$I_{K2} = \frac{U_{62}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K2}} \quad (43)$$

$$I_{K2} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 9,81} = 23,54 \text{ кА}$$

Значение ударного тока КЗ в точке К2 $i_{уд}$ равно:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot I_{К2} \cdot K_{уд2} \quad (44)$$

где $K_{уд2}$ – ударный коэффициент, равный 1,3.

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 23,54 \cdot 1,3 = 43,28 \text{ кА}$$

Значение мощности короткого замыкания в точке К1 равно:

$$S_{К2} = \sqrt{3} \cdot I_{К2} \cdot U_{б2} \quad (45)$$

$$S_{К2} = \sqrt{3} \cdot 23,54 \cdot 0,4 = 16,31 \text{ МВА}$$

3.4 Проверка оборудования

«В распределительном устройстве 10 кВ ТП 10/0,4 кВ необходимо выбрать электрические аппараты.

Все выбираемое электрооборудование изначально выбирается по току и напряжению ($I_{номВН}$; $U_{уст}$)» [12]. Ток на шинах 10 кВ рассчитан в п. 3.2 – 22А.

«Для коммутации электрических сетей по стороне 10 кВ для установки в ячейку ввода трансформатора используется выключатель нагрузки с ножами заземления и предохранителями типа ВНРп-10/400.

Проверка выбранного выключателя нагрузки приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Условие выбор выключателя нагрузки

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные ВНРП
Номинальное напряжение	10 кВ	\leq	10 кВ
Номинальный ток	22 А	\leq	400 А
Термическая стойкости	$I_{K1}^2 \cdot t = 8,19^2 \cdot 0,5$ $= 33,53 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	\leq	100 кА ² ·с
Электродинамическая стойкость	$i_{уд1} = 20,85 \text{ кА}$	\leq	25 кА

ВНРП-10/400 окончательно выбирается к установке.

Далее выбираются предохранители 10 кВ. По справочнику [16] выбирается предохранитель ПКТ-104-10-100-31,5 УЗ. Проверка выбранного предохранителя приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Условие выбора предохранителя

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные ПКТ
Номинальное напряжение	10 кВ	\leq	10 кВ
Номинальный ток	22 А	\leq	100 А
Электродинамическая стойкость	$i_{уд1} = 20,85 \text{ кА}$	\leq	31,5 кА

Предохранитель ПКТ-104-6-100-31,5 окончательно выбирается к установке.

В ячейки питающих линий принимаются к установке разъединители 10 кВ для создания видимого разрыва при выводе в ремонт ТП 10/0,4 кВ. Предварительно выбирается разъединитель РВ-10/400.

Проверка выбранного разъединителя приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Условие выбора разъединителя

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные РВ
Номинальное напряжение	10 кВ	\leq	10 кВ
Номинальный ток	22 А	\leq	400 А
Термическая стойкости	$I_{K1}^2 \cdot t = 8,19^2 \cdot 0,5$ $= 33,53 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	\leq	1200 $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
Электродинамическая стойкость	$i_{уд1} = 20,85 \text{ кА}$	\leq	51 кА

Разъединители РВ-10/400 окончательно принимаются к установке.

Максимальный ток на шинах 0,4 кВ составит:

$$I = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{ин}} \quad (46)$$

$$I = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577 \text{ А}$$

Произведем выбор вводных автоматических выключателей в РУ-0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ.» [12]

В качестве вводных автоматических выключателей предварительно принимается выключатель типа ВА 56В-2000 с током расцепителя 1600А.

Проверка выбранного выключателя приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Условие выбора вводного выключателя

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные ВА
Номинальное напряжение	0,4 кВ	\leq	0,4 кВ
Номинальный ток	626 А	\leq	630 А
Электродинамическая стойкость	43,28 кА	\leq	80 кА

Для ячейки РП-1 принят автоматический выключатель ВА99С номинальным током 630 А.

Проверка выбранного выключателя приведена в таблице 9.

Таблица 9 – Условие выбора выключателя ячейки РП-1

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные ВА
Номинальное напряжение	0,4 кА	\leq	0,4 кВ
Номинальный ток	436 А	\leq	630 А
Электродинамическая стойкость	43,28 кА	\leq	80 кА

Для ячейки ШРА-1 принят автоматический выключатель ВА99С номинальным током 630 А.

Проверка выбранного выключателя приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Условие выбора выключателя ячейки ШРА-1

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные ВА
Номинальное напряжение	0,4 кА	\leq	0,4 кВ
Номинальный ток	107 А	\leq	630 А
Электродинамическая стойкость	43,28 кА	\leq	80 кА

Для ячейки ШРА-2 принят автоматический выключатель ВА99С номинальным током 100 А.

Проверка выбранного выключателя приведена в таблице 11.

Таблица 11 – Условие выбора выключателя ячейки ШРА-2

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные ВА
Номинальное напряжение	0,4 кА	\leq	0,4 кВ
Номинальный ток	83 А	\leq	100 А
Электродинамическая стойкость	43,28 кА	\leq	80 кА

Для ячейки ЩО принят автоматический выключатель ВА99С номинальным током 100 А.

Проверка выбранного выключателя приведена в таблице 12.

Таблица 12 – Условие выбора вводного выключателя

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные ВА
Номинальное напряжение	0,4 кА	\leq	0,4 кВ
Номинальный ток	5,5 А	\leq	100 А
Электродинамическая стойкость	43,28 кА	\leq	80 кА

Для ячейки ЩАО принят автоматический выключатель ВА99С номинальным током 100 А.

Проверка выбранного выключателя приведена в таблице 13.

Таблица 13 – Условие выбора вводного выключателя

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные ВА
Номинальное напряжение	0,4 кА	\leq	0,4 кВ
Номинальный ток	0,4 А	\leq	100 А
Электродинамическая стойкость	43,28 кА	\leq	80 кА

Выводы по разделу 3

Произведен выбор необходимого и подходящего силового электрооборудования. Ток короткого замыкания на шинах ГПП равно 9,03 кА. Принимается, что напряжение на шинах высокого напряжения трансформатора остается неизменным.

Далее находится результирующее сопротивление схемы до точки короткого замыкания, которое состоит из суммы сопротивлений всех элементов схемы от источника питания до точки короткого замыкания.

В ячейки питающих линий принимаются к установке разъединители 10 кВ для создания видимого разрыва при выводе в ремонт ТП 10/0,4 кВ. Выбирается разъединитель РВ-10/400.

Для ячейки ЩАО принят автоматический выключатель ВА99С номинальным током 100 А.

4 Заземление и молниезащита

4.1 Заземление

«В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью сопротивление заземляющего устройства в любое время года должно быть не более 4 Ом (при мощности источника свыше 100 кВ·А)» [15].

«Заземляющее устройство выполняем в виде выносного контура (прямоугольника 60х42 м) из горизонтальных и вертикальных заземлителей. В качестве вертикальных электродов используем стальные стержни диаметром 12 мм и длиной $L_{\text{в}} = 5$ м. Верхний конец электрода находится ниже уровня земли на 0,7 м.» [16]

Горизонтальные электроды выполняем из полосовой стали 40х4 мм. Общая длина полосы $L_{\text{г}} = 204$ м.

Определяется сопротивление растеканию горизонтальных электродов:

$$r_{\text{г}} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{р}}}{L_{\text{г}}} \cdot \lg \frac{2L_{\text{г}}^2}{b \cdot t} \quad (47)$$

где $b = 0,04$ – ширина полосы, м;

$t = 0,7$ – глубина заложения полосы, м;

$\rho_{\text{р}} = k_{\text{с}} \cdot \rho$ – расчётное сопротивление грунта;

$k_{\text{с}} = 2$ для горизонтальных электродов длиной 15 м [15];

$\rho = 150$ Ом·м.

$$r_{\text{г}} = \frac{0,366 \cdot 2 \cdot 150}{204} \cdot \lg \frac{2 \cdot 204^2}{0,04 \cdot 0,7} = 2,96 \text{ Ом}$$

«Предварительно принимая в контуре 18 вертикальных заземлителя, для $a/L_B = 1,2$ находится коэффициент использования полосы $\eta_\Gamma = 0,46$, тогда сопротивление полосы в контуре из 18 вертикальных заземлителей:

$$R_\Gamma = \frac{r_\Gamma}{\eta_\Gamma} \quad (48)$$

$$R_\Gamma = \frac{2,96}{0,46} = 6,4 \text{ Ом}$$

Необходимое сопротивление вертикальных заземлителей:

$$R_B = \frac{R_\Gamma \cdot R_{3Y}}{R_\Gamma - R_{3Y}} \quad (49)$$

$$R_B = \frac{6,4 \cdot 4}{6,4 - 4} = 10,7 \text{ Ом}$$

Сопротивление одного вертикального заземлителя:

$$r_B = \frac{0,366 \cdot \rho_p}{L_B} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot L_B}{d} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot t + L_B}{4 \cdot t - L_B} \right) \quad (50)$$

где $\rho_p = k_C \cdot \rho = 1,15 \cdot 150$ – расчётное сопротивление грунта, Ом·м;
 $k_C = 1,15$ [15] – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и пересыхание грунта для вертикальных электродов длиной 3÷5 м;
 $\rho = 150$ Ом·м – удельное сопротивление грунта, измеренное при нормальной влажности;
 $L_B = 5$ м – длина электрода;
 $d = 0,012$ м – внешний диаметр электрода;
 t – расстояние от поверхности земли до середины электрода, м.

$$t = 0,7 + \frac{L_B}{2} = 0,7 + \frac{5}{2} = 3,2 \text{ м}$$

$$r_B = \frac{0,366 \cdot 1,15 \cdot 150}{5} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 39,14 \text{ Ом}$$

Количество вертикальных заземлителей находится, приняв коэффициент использования $\eta_B = 0,5$:

$$n_B = \frac{r_B}{R_B \cdot \eta_B} \quad (51)$$

$$n_B = \frac{39,14}{10,7 \cdot 0,5} = 7,3 \text{ шт}$$

Окончательно принимается в контуре 10 вертикальных заземлителя.»
[14]

Находится сопротивление заземляющего устройства из 10 вертикальных электродов:

$$R_B = \frac{r_B}{n_B \cdot \eta_B} \quad (52)$$

$$R_B = \frac{39,14}{10 \cdot 0,5} = 7,8 \text{ Ом}$$

$$R_{3y} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma} < 4 \text{ Ом} \quad (53)$$

$$R_{3y} = \frac{7,8 \cdot 6,4}{7,8 + 6,4} = 3,5 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

Схема заземления цеха приведена на рисунке 2.

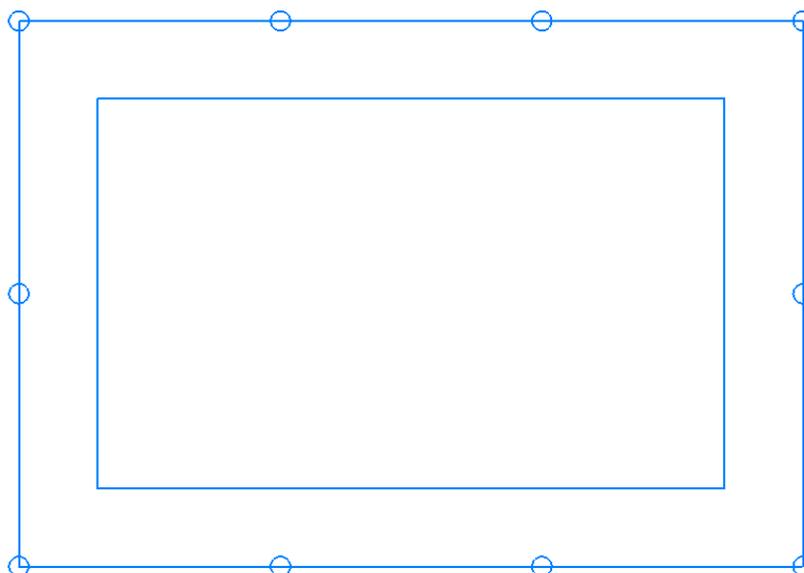


Рисунок 2 – Схема заземления цеха

4.2 Молниезащита

«Методика расчета молниезащиты, представлена в [5]. Объект считается защищенным, если надежность защиты всех его молниеотводов, не менее 0,9.» [21-23] Радиус защиты молниеотвода на высоте защищаемого оборудования может быть найден по эмпирической формуле, м:

$$r_x = p \cdot \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h}} \cdot (h - h_x), \quad (54)$$

где p – коэффициент для разных высот молниеотводов, согласно [14], $p = 1$ при высоте молниеотвода не более 30 м, $p = \frac{5,5}{\sqrt{h}}$ – при высоте

молниеотводов более 30 м;

h_x – высота защищаемого оборудования, м;

h – высота молниеотвода, м.

«Высота защищенной точки посередине между молниеотводами определяется по формуле, м:

$$h_0 = h - \frac{L}{7 \cdot p}, \quad (55)$$

где L – расстояние между молниеотводами, м.» [4]

«Половина ширины зоны между молниеотводами на высоте защищаемого оборудования определяется по формуле, м:

$$r_{0x} = 1,5 \cdot h_0 \cdot \frac{0,8 \cdot h_0 - h_x}{0,8 \cdot h_0}, \quad (56)$$

При произвольных расположениях молниеотводов высота h_x должна быть меньше фиктивной высоты h_0 , определенной для каждой отдельно взятой пары молниеотводов.» [3]

«Высота защищаемого оборудования:

– на высота здания – 4,5 м, высота молниеотвода – 20 м.

Рассчитаем зону защиты молниеотводов № 1-2.

Коэффициент $p = 1$, так как высота молниеотвода менее 30 м.» [3]

Производим вычисления:

$$h_0 = 20 - \frac{30}{24 \cdot 1} = 18,8 \text{ м},$$

$$r_x = 1 \cdot \frac{1,6}{1 + \frac{4,5}{20}} \cdot (20 - 4,5) = 20,24 \text{ м},$$

$$r_{0x} = 1,5 \cdot 18,8 \cdot \frac{0,8 \cdot 18,8 - 4,5}{0,8 \cdot 18,8} = 19,8 \text{ м}.$$

Схема молниезащиты цеха показана на рисунке 3.

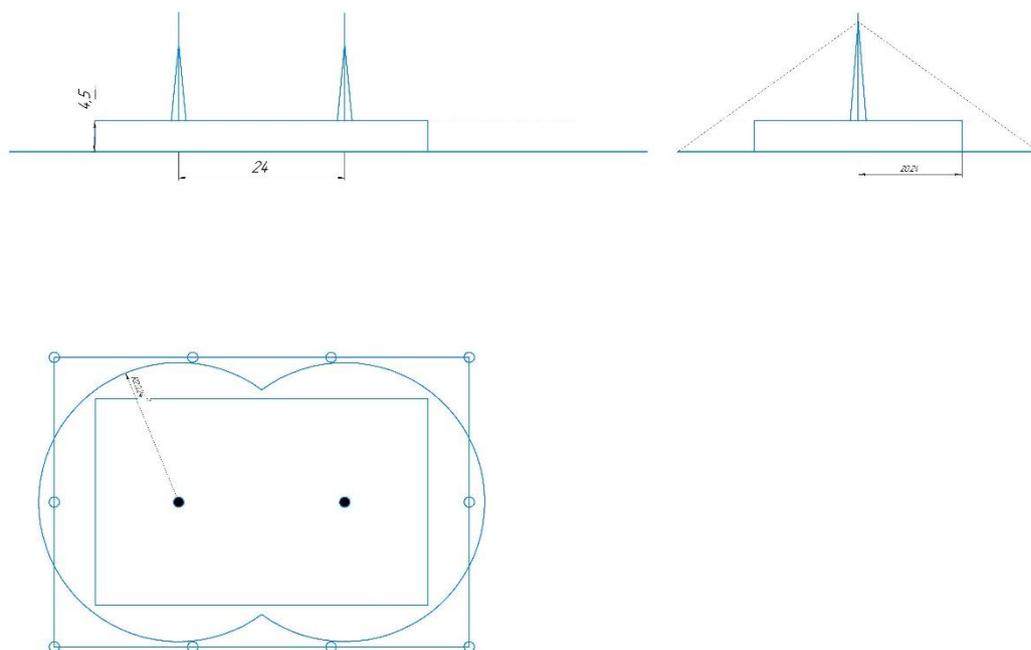


Рисунок 3 – Схема молниезащиты цеха

Выводы по разделу 4

Произведен расчет заземлителя и молниезащита для подстанции рассматриваемого завода по производству фруктовых соков. Окончательно принимается в контуре 10 вертикальных заземлителя. Заземляющее устройство выполняем в виде выносного контура (прямоугольника 60x42 м) из горизонтальных и вертикальных заземлителей. В качестве вертикальных электродов используем стальные стержни диаметром 12 мм и длиной $L_{\text{в}} = 5$ м. Верхний конец электрода находится ниже уровня земли на 0,7 м.

5 Релейная защита

«Произведем расчет и выбор релейной аппаратуры силового трансформатора.

Расчёт системы МТЗ.

Ток срабатывания МТЗ выбирается по наиболее тяжёлому оставить условию несрабатывания защиты при АВР на стороне 0,4 кВ» [3]:

$$I_{сз} \geq \frac{K_n}{K_b} \cdot (K_{сз} \cdot I_{рт1} + K'_n \cdot I_{рт2}) \quad (57)$$

где K_n – коэффициент надёжности, $K_n=1,1 \dots 1,2$;

$K_{сз}=2$ – коэффициент самозапуска;

$K'_n=1,5$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока через трансформатор Т1 из-за понижения напряжения на шинах 0,4 кВ при АВР секционного автомата;

K_b – коэффициент возврата для цифровых реле, $K_b=0,95$;

$I_{рт1}, I_{рт2}$ – максимальные рабочие токи трансформаторов времени Т1 и Т2, которые принимаются равными 0,7 от их номинального тока.

«Коэффициент 0,7 учитывает фактическую загрузку каждого из трансформаторов.

$$I_{сз} \geq \frac{1,1}{0,8} \cdot (2 \cdot 0,7 \cdot 58 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 58) = 194,4 \text{ А} .$$

Ток срабатывания реле (уставка):

$$I_{ср} = \frac{K_{сх} \cdot I_{сз}}{n_T}, \quad (58)$$

где $K_{сх}$ – коэффициент схемы;

n_T – коэффициент трансформации трансформаторов тока [11].

$$I_{cp} = \frac{1 \cdot 194,4}{100 / 5} = 9,77 \text{ A}$$

Выбираем реле УЗА-10А.2

Коэффициент чувствительности» [14]:

$$K_{\text{ч}}^{(2)} = \frac{I_{\text{кз min}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} \quad (59)$$

$$K_{\text{ч}}^{(2)} = \frac{0,86 \cdot 425}{194,4} = 1,87 > 1,5 .$$

«Время срабатывания МТЗ ($t_{\text{сзМТЗ}}$) определяется из условий:

- обеспечения селективности с защитами предыдущих и последующих элементов;
- обеспечение термической устойчивости защищаемого трансформатора.

По условию селективности, приняв время срабатывания предыдущей защиты $t_{\text{сзпред}}=0,1\text{ с}$ и ступень селективности $\Delta t=0,5\text{ с}$, получим» [17]:

$$t_{\text{сзМТЗ}} = t_{\text{сзпред}} + \Delta t \quad (60)$$

$$t_{\text{сзМТЗ}} = 0,1 + 0,2 = 0,3\text{ с} .$$

«Расчёт токовой отсечки.

Ток срабатывания отсечки выбирается по условию её действия при трёхфазном КЗ за трансформатором (точка зависящая КЗ).

$$I_{\text{сзотс}} = K_{\text{н}} \cdot I_{\text{кз max}}^{(3)} , \quad (61)$$

$$I_{\text{сзотс}} = 1,3 \cdot 425 = 552,5\text{ A} .$$

«Ток срабатывания отсечки» [14]:

$$I_{\text{сротс}} = \frac{K_{\text{сх}} \cdot I_{\text{сзотс}}}{n_{\text{T}}} \quad (62)$$

$$I_{\text{сротс}} = \frac{1 \cdot 552,5}{100 / 5} = 27,63 \text{ А}$$

Выбираем реле тока УЗА-10А.2

Коэффициент чувствительности отсечки при двухфазном КЗ на выводах 10кВ трансформатора» [17]:

$$K_{\text{ч}}^{(2)} = \frac{I_{\text{кз min}}}{I_{\text{сзотс}}}, \quad (63)$$

$$K_{\text{ч}}^{(2)} = \frac{0,866 \cdot 7,14 \cdot 10^3}{552,5} = 11,19 > 2.$$

«Защита от замыканий на землю в сети 10 кВ.

В кабельных сетях защита от однофазных замыканий на землю осуществляется трансформатором тока нулевой последовательности. Первичный ток срабатывания защиты выбирается из условия несрабатывания защиты от броска тока линии собственного емкостного тока линии при внешнем замыкании на землю.

$$I_{\text{сзрасч}} \geq K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{б}} \cdot I_{\text{с}}, \quad (64)$$

где $K_{\text{отс}}=1,1 \dots 1,2$ – коэффициент отстройки;

$K_{\text{б}}=2 \dots 2,5$ – коэффициент, учитывающий бросок собственного ёмкостного тока;

$I_{\text{с}}$ – ёмкостной ток сети, получаемый питание по замыкаемой линии.

Для линий:

$$I_{\text{с}} = I_{\text{с0}} \cdot L \cdot m \quad (65)$$

где $I_{\text{с0}}$ – ёмкостной ток 1км кабеля, принимаемый по справочнику;

$L=0,015\text{км}$ – длина линии;

$m=1$ – число кабелей в линии;

$I_{co}=0,87\text{A/км}$ – для сечения жилы 50мм^2 .

$$I_c = 0,87 \cdot 0,015 \cdot 1 = 0,013\text{ A}$$

$$I_{сзрасч} = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,013 = 0,04\text{ A}$$

Принимаем $I_{сз}=5\text{A}$.

Чувствительность защиты:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{c\text{min}} - I_c - I_1}{I_{сз}} = \frac{9,5 - 0,04}{5} = 1,89 > 1,25,$$

где $I_1=0$;

$I_{c\text{min}}$ – наименьшее значение суммарного тока замыкания линии на землю.» [17]

Выводы по разделу 5

Произведем расчет и выбор релейной аппаратуры силового трансформатора. В кабельных сетях защита от однофазных замыканий на землю осуществляется трансформатором тока нулевой последовательности. Первичный ток срабатывания защиты выбирается из условия несрабатывания защиты от броска тока линии собственного емкостного тока линии при внешнем замыкании на землю.

Заключение

В результате написания работы была достигнута целью исследования - разработка проекта системы электроснабжения производственного здания для производства фруктового сока.

В соответствии с поставленной целью определены и решены следующие задачи:

- проведен расчет электрических нагрузок;
- проведен выбор системы освещения;
- проведен выбор аппаратов защиты;
- проведен выбор кабельных линий;
- проведен расчет заземления;
- проведен расчет молниезащиты;
- проведен расчет релейной защиты.

В первом разделе представлен анализ предметной области, рассмотрено производственное здание для производства фруктового сока.

Далее проведен расчет электрических нагрузок, выбор силовых трансформаторов, расчет токов короткого замыкания, выбор силовых кабелей и коммутационного оборудования, позволило создать надежную и качественную систему электроснабжения.

После чего рассматривается защитное заземление цеха и молниезащита.

В пятом разделе проведен расчет релейной защиты. Защита от замыканий на землю в сети 10 кВ. В кабельных сетях защита от однофазных замыканий на землю осуществляется трансформатором тока нулевой последовательности.

Первичный ток срабатывания защиты выбирается из условия несрабатывания защиты от броска тока линии собственного емкостного тока линии при внешнем замыкании на землю.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Абрамова Е. Н. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие ОГУ 2012 г.
2. Акимова А.Н., Н.Ф. Костеленец, И.И. Сентюрихин. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования. Учебник для СПО – М: Мастерство, 2005 – 296 с.
3. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 59 с
4. ГОСТ 22483–77. Жилы токопроводящие медные и алюминиевые для кабелей, проводов и шнуров. Основные параметры. Технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 24 с.
5. ГОСТ 7746–2001. Трансформаторы тока. Общие технические условия. – Минск: Изд-во стандартов, 2001. – 29 с.
6. Гужов Н.П., В. Я. Ольховский, Д. А. Павлюченко. Системы электроснабжения: учебник НГТУ 2015 г.
7. Егоров Г.П., А.И. Коварский. Устройство, монтаж, эксплуатация и ремонт промышленных электроустановок. М. , «Высшая школа», 1972 г.
8. Киреев М.И., А.И. Коварский. Монтаж и эксплуатация электрооборудования станций, подстанций и линий электропередачи. «Высшая школа», 1974г.
9. Корнилов Ю.В., В.И. Крюков. Обслуживание и ремонт электрооборудования промышленных предприятий. Учебник для НПО, М: Москва «Высшая школа», 1986.
10. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб пособие/ Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – 5–е изд., стер. – СПб: БХВ–Петербург, 2013. – 608 с.

11. Нестеренко В.М., А.М. Мысьянов. Технология электромонтажных работ – Учебник для НПО М: ИРПО, ИЦ «Академия», 2006 – 593 с.
12. Поляков Г.Е. Устройство электрических станций, подстанций и линий электропередачи. М., «Высшая школа», 1968 г.
13. Поляков Г.Е., А.И. Коварский. Монтаж и эксплуатация промышленного электрооборудования. Издательство «Высшая школа», Москва 1971 г.
14. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов/Под ред. В.М. Блок. М.: Высшая школа, 1990. 388 с.
15. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов/ Под ред. В.М. Блок. М.: Высшая школа, 1990. 388 с.
16. Почаевец В.С. Электрические подстанции: учебник Изд-во УМЦ ЖДТ (Маршрут) 2012 г.
17. Правила устройства электроустановок. – 7 –е тзд. – М.: НЦ ЭНАС, 2006. – 552 с.
18. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указание по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.
19. Сибикин Ю.Д. Электрические подстанции : Учебное пособие для высшего и среднего профессионального образования: учебное пособие Директ-Медиа 2014 г.
20. Сибикин Ю.Д., М. Ю. Сибикин, В. А. Яшков. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебник. Директ-Медиа 2014 г.
21. Стрельников Н.А. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие НГТУ 2013 г.
22. Халивин С.Л. Электроснабжение отрасли: учебно-справочное пособие / С.Л. Халивин, Е.И. Шайдарова; Норильский индустр. ин-т. Норильск: НИИ, 2011. - 110 с.

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

24. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методические пособия для курсового проектирования.-2-е изд., испр.– М.: Форум: Инфра-М, 2008

25. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования. Справочник. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 504 с. Ил