

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция системы электроснабжения линии выделения каучука ЛК-8-1 ООО
«Тольяттикаучук»

Обучающийся

Н.С. Степанцов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.А. Терентьев

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

Консультант

к.ф.н, доцент О.В. Мурдускина

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

Тольятти 2022

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе произведена реконструкция системы электроснабжения линии выделения каучука в связи с устареванием оборудования, а также в связи с ростом выпуска продукции.

Проведен анализ характеристик предприятия, а также анализ системы электроснабжения технологической линии. В результате, полученные данные легли в основу задач для выполнения поставленной цели. Для этого, рассчитаны силовые нагрузки с учетом роста мощности, произведена компенсация реактивной мощности с последующим выбором компенсирующих устройств, произведен выбор силовых трансформаторов.

Произведен расчет токов короткого замыкания на низкой стороне. На основании расчетов осуществлен выбор кабелей и автоматических выключателей.

Выпускная квалификационная работа выполнена на 62 страницах, содержит 8 рисунков, 21 таблицу, 23 источника литературы. Графическая часть состоит из 6 чертежей формата А1.

Abstract

The title of the graduation work is «Reconstruction of the power supply system for the LK-8-1 rubber extraction line of Togliattikauchuk LLC»

The senior paper consists of an introduction, five parts, a conclusion, tables, list of references including foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The key issue of the thesis is sifting and the reconstruction of the power supply of the rubber extraction line. We touch upon the problem of embedding new equipment and implementing it into the power system.

The aim of the work is to give some information about the development of design and survey work for the reconstruction of the workshop power supply system on the example of the rubber extraction line LK-8-1.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: object characteristics, electric demand calculation, transformer selection, conductor selection and short-circuit calculation.

Finally, we present the work on the successful reconstruction of the power supply system of the rubber extraction line, which will make it possible to reconstruct the power supply of the workshop, and in the future, of the enterprise.

In conclusion we'd like to stress that this work is relevant in solving the problem of the power supply reconstruction and that similar technological and constructive solutions can be used for power supply reconstruction on all factories of the Russian Federation.

Содержание

Введение	5
1 Характеристика объекта	6
1.1 Описание технологического процесса	7
1.2 Система электроснабжения линии	10
2 Расчет нагрузок	13
2.1 Замена оборудования	13
2.2 Расчет электрических нагрузок	17
2.3 Компенсация реактивной мощности и выбор компенсирующего устройства	30
2.4 Расчет осветительной нагрузки, выбор светильников	36
3 Выбор трансформаторов с учетом компенсирующего устройства	40
4. Выбор проводников	42
4.1 Выбор кабелей и автоматических выключателей	42
4.2 Выбор трансформаторов тока.....	45
5 Расчет токов КЗ. Проверка аппаратов защиты по токам КЗ	47
5.1 Расчет токов КЗ	49
5.2 Проверка защитного оборудования.....	57
Заключение	59
Список используемой литературы	61

Введение

Сложно представить жизнь современного человека без химической продукции. Каучук в шинах, азотные удобрения, промышленные газы (аргон, азот) и многое другое – все это является неотъемлемой частью жизнедеятельности людей.

Предприятие ООО «Гольяттикаучук» является крупнейшим экспортером каучука в регионе, обладая высокими показателями производительности различных видов каучука: выпускается 82 тонны в год изопренового каучука, 76 тонн в год бутилкаучука, и помимо этого завод производит высокооктановый компонент к топливу - метил-трет-бутиловый эфир, в объеме 120 тысяч тонн в год [15].

Темпы производства неуклонно растут, и вместе с улучшением технологий производства происходит совершенствование систем электроснабжения. И так как предприятие было основано в середине 20-ого века, к сегодняшнему дню оборудование устарело, как технологическое, так и электротехническое. В связи с чем проводится замена или реконструкция оборудования.

Самый распространенный электроприемник на предприятии – это асинхронный электродвигатель [21]. Он присутствует в составе многих машин, участвующих в технологическом процессе. Также, немаловажным аспектом надежности электроснабжения являются системы управления. Зачастую, они требуют замены на более современные аналоги. В конечном счете, необходимо менять не только сами двигатели, но и их системы управления.

Целью бакалаврской работы является реконструкция электроснабжения линии выделения каучука ЛК-8-1 в связи с устареванием оборудования.

1 Характеристика объекта

Объект выпускной квалификационной работы – линия выделения каучука ЛК-1-8, расположенная в цехе ИП-6. Цех располагается на территории химического предприятия ООО «Тольяттикаучук».

Предприятие поставляет на рынок химических изделий такие изделия, как сополимерный каучук, изопреновый каучук, бутилкаучук, а также метил-трет-бутиловый эфир – высокооктановую добавку к топливу.

Завод начал строиться в 1955 году, эта стройка была объявлена ударной. Вместе с новыми цехами возводились очистные сооружения, водозабор, была возведена железнодорожная станция «Химзаводская» - предназначена для транспортировки сырья на химические предприятия. И уже в июле 1961 года был получен первый брикет дивинил-альфа-метилстирольного каучука марки СКМС-30 АРКМ-15, в сентябре 1964 завод выпустил первый брикет изопренового каучука. Начиная с 2010 года, предприятие наращивает производственные мощности. В 2001 году «Тольяттикаучук» вошел в состав крупнейшего в стране холдинга ОАО «СИБУР». Начиная с 2005 года, предприятие наращивает мощности производства продукции, в 2013 была произведена модернизация линии производства бутилкаучука, а в 2016 были введены в эксплуатацию дополнительные блоки биологических очистных сооружений, 2020 год – предприятие включено в реестр «100 лучших предприятий России» [10].

Адрес расположения цеха: Россия, Самарская область, г. Тольятти, Центральный район, ул. Ларина. Расположение цеха на местности представлено на рисунке 1.

Цех представляет собой железобетонное здание размерами 60 × 90 × 21 м. В цеху находятся три линии выделения каучука, две из которых мощностью 8 тонн/час, и одна – 4 тонны/час.

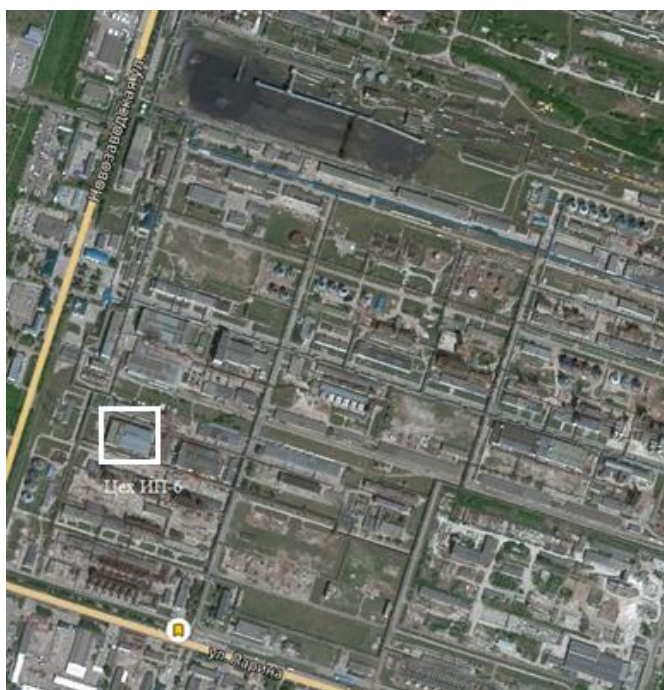


Рисунок 1 – Расположение цеха на местности

Климатические условия таковы: район по гололеду 3 (15 мм), средняя температура января $-10,6$ °С, средняя температура июля $+20,9$ °С. Среднегодовая температура — $+5,1$ °С. Средняя высота снежного покрова достигает 33 сантиметров. Заморозки возможны до середины мая. Среднее количество осадков – 492 мм в год, из которых треть приходится на холодное время года [14].

1.1 Описание технологического процесса

Каучук поступает в концентратор, внутри которого находятся шнек, перемешивающий поступающий каучук. Из концентратора, каучук попадает в отжимную машину, где удаляется влага. После этого, посредством шнекового транспортера, он попадает в сушильную машину, откуда попадает на виброконвейер, который разделяется на два виброэлеватора, каждый из них доставляет продукт на шнековые транспортеры. С транспортеров каучук попадает в формовочные пресса, где из него формируется брикет. Далее

брикет направляется по конвейеру на весы, и в случае отсутствия дефектов, перемещается в упаковочную камеру, и далее отправляется на склад.

В таблице 1 приведены основные электроприемники линии, участвующие в техпроцессе.

Таблица 1 – Основные электроприемники

№ на плане	Наименование оборудования	Тип, марка оборудования	Р, кВт	U, В	об./мин.	Год выпуска
1	Эл.двигатель ВС-1 из А-700/1	ВА180М8У2	15	380	750	1975
2	Эл.двигатель ВС-2	ВА180М8У2,5	7,5	380	750	1966
3	Эл.двигатель ВС-3	ВАО160S8У2,5	7,5	380	750	1963
4	Эл.двигатель ВС-4	5А160S6	11	380	1000	1958
5	Эл.двигатель ВС-5	АД132S6У3	5,5	380	1000	1987
6	Эл.двигатель ВС-6	АИР180М6	15	380	730	1956
7	Эл.двигатель ПС-13	4А 225 М8-У3	30	380	750	1966
8	Эл.двигатель ПС-13а	4А 225 М8-У3	30	380	750	1971
9	Эл.двигатель ПС-14	4А 225 М8-У3	30	380	750	1972
10	Эл.двигатель ПС-14а	4А 225 М8-У3	30	380	750	1973
11	Эл.двигатель в сушилку А-7036/1	АИР180М6Б01-У2	18,5	380	1000	1974
12	Эл.двигатель ТПС-1	4А132S4	5,5	380	1500	1975
13	Эл.двигатель ТПС-2	4А132S4	7,5	380	1500	1970
14	Эл.двигатель вент.обд. ТПП-701	АИР90L6У3	1,5	380	1000	1969
15	Эл.двигатель вент.обд. ТПП-702	АИР90L6У3	1,5	380	1000	1968
16	Эл.двигатель грабли А-700/1	АО-2-41-6	4	380	1000	1967
17	Эл.двигатель шнек А-700/1	ПБСТ 63 МУХЛ 4	5,4	380	1000	1963
18	Эл.двигатель отжимная машина А-701/1	П2-800-174-8УХЛ4	460	240	150	1959
44	Эл.двигатель м/н прессы низ.А-708/4	F225 S 04	37	380	1500	1974
45	Эл.двигатель м/н прессы выс.А-708/4	F15/4	15	380	1500	1963
46	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1	VE 05.120.6	0,75	380	1000	1961
47	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1а	VE 05.120.7	0,75	380	1000	1979

Продолжение таблицы 1

№ на плане	Наименование оборудования	Тип, марка оборудования	Р, кВт	U, В	об./мин.	Год выпуска
48	Эл.двигатель ВС-751/1 из скруббера	BA200M8Y2	18,5	380	750	1973
49	Эл.двигатель ВС-758/1 БАМ	BA 200 M-8Y2	18,5	380	750	1967
50	Эл.двигатель ВС-758/1 БАМ	B160M6Y2,5	15	380	1000	1960
51	Эл.двигатель задв. Э-1.1	АИМА М36А2	0,37	380	3000	1975
52	Эл.двигатель задв. Э-2.1	АИМА M714A4Y	0,37	380	1500	1974
53	Эл.двигатель задв. Э-9.1	АИМА М63А2	0,37	380	3000	1975
	1 линия					
54	Эл.двигатель конвейер собир. А-710/1	4АХ-90L-4	2,2	380	1500	1980
55	Эл.двигатель конвейер А-712/1	4А90L4Y3	2,2	380	1500	1992
56	Эл.двигатель конвейер весов А-713/1	АИР63В4	0,37	380	1370	1990
57	Эл.двигатель конвейер перед уп. А-715/1	1АРВ100L-6	0,9	380	1000	1990
58	Эл.двигатель конвейер уп.А-715а/1	1АРВ100L-6	0,9	380	1000	1963
59	Эл.двигатель конвейер накл.А-716/1	1АРВ100L-6	0,9	380	1000	1957
60	Эл.двигатель конвейер наклон А-720/1	4А132S8	4	380	750	1999
	2 линия					
61	Эл.двигатель конвейер собир. А-710/2	4АМХ-90L-4Y3	2,2	380	1500	1979
62	Эл.двигатель конвейер м/д А-711/2	4А90L4Y3	2,2	380	1500	1980
63	Эл.двигатель конвейер А-712/2	3АРВ90S-6	0,75	380	1500	1977
64	Эл.двигатель конвейер весов А-713/2	АИР63В4	0,37	380	1500	1977
65	Эл.двигатель А715/2 размот.рулона	WA20/TDR63M4	0,18	380	1500	1970
66	Эл.двигатель А715/2 размот.рулона	WA20/TDR63M5	0,18	380	1500	1983
67	Эл.двигатель А715/2 размот.рулона	WA20/TDR63M6	0,18	380	1500	1982
68	Эл.двигатель А-715/2 конвейер ролик.	WA10DT56L4	0,12	380	1500	1982
69	Эл.двигатель А-715/2 конвейер ролик.	WA10DT56L5	0,12	380	1500	1974
70	Эл.двигатель А-715/2 конвейер лент.	W20DR63L4	0,25	380	1500	1963

Продолжение таблицы 1

№ на плане	Наименование оборудования	Тип, марка оборудования	P, кВт	U, В	об./мин.	Год выпуска
71	Эл.двигатель А-715/2 конвейер лент.	W20DR63L5	0,12	380	1500	1961
72	Эл.двигатель А-715/2 тельфер	Leurorea	0,45	380	1500	1979
73	Эл.двигатель конвейер пов.А-716А/2	4AP80-48	0,55	380	1500	1973
74	Эл.двигатель конвейер наклон А-720/2	4A100S4	3	380	1500	1967

Расположение электроприёмников на аппаратах технологической линии принято по данным раздела «Технологические решения».

1.2 Система электроснабжения линии

Питание цеха осуществляется от ГПП-1 (ОРУ 110 кВ) с 1 СШ (6кВ) ячейка № 6, 6 СШ (6кВ) ячейка № 60 кабелями АСБ 3(3×185) до подстанции 26, где установлены два трансформатора ТМЗ-1000/6/0,4. На этой подстанции, от ячеек 6,7 СШ1 (6кВ) и ячеек 18,19 СШ2 (6кВ) два трансформатора (2500/6/0,4 и 1600/6/0,4) питают сушильные и отжимные машины. Также, на этой подстанции к ячейкам 8,9,10 СШ1 (6 кВ) и ячейкам 17,18,19 СШ2 (6 кВ) кабелями АСБГ6(3х95) подключены трансформаторы подстанции 47 (2×1000/6/0,4). От этих трансформаторов питаются КНТП-1, КНТП-2 и КНТП-3, с которых кабели приходят на ЩСУ-1, ЩСУ-2, и ЩСУ-69-1.

Освещение в цеху выполнено общим (освещение всей площади цеха) и местным (освещение непосредственно линий) [16]. Используемые светильники приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Светильники, применяемые в цеху

Тип светильника	Тип ламп освещения	Кол-во светильников	Потребляемая мощность ламп (ед)	Кол-во ламп
		шт.	Вт	шт.
ВЗГ 200	КЛЛ	460	25	460
ЛПО 1-40	ЛБ-40	2	40	2
ЛПО 2-40	ЛБ-40	136	40	272
ЛПО 2-20	ЛБ-20	4	20	8
Амстронг(ARS) 4-20	ЛБ-20	280	20	1120
РСП 25-250	ДРЛ-250	236	250	236
РСП 11-125	ДРЛ-125	162	125	162
РСП-400	ДРЛ-400	29	400	29
Светодиодные «Колокол»	светодиод	31	150	31

Щиты освещения находятся около входа, распределительные щиты расположены рядом с линиями. Управление режимами работы электродвигателей осуществляется через микроконтроллеры, сигналы с которых приходят в АСУТП [3].

В разговоре с главным энергетиком выяснилось, что большинство электроприемников устарели, и их состояние оценивается как предотказное [6]. Поэтому было принято решение произвести замену на более современные аналоги.

Помимо этого принято решение произвести замену осветительного оборудования на более современные и энергоэффективные аналоги.

В результате обследования объекта дипломной работы были поставлены следующие задачи:

- демонтаж старого и установка нового оборудования,
- расчет осветительной нагрузки и выбор осветительного оборудования
- выбор трансформаторов
- выбор и проверка проводников
- расчет токов КЗ
- выбор и проверка защитного оборудования по токам КЗ

Вывод по разделу:

- изучены характеристики предприятия,
- расположение цеха и климатические условия района расположения цеха,
- изучена система электроснабжения предприятия,
- произведен визуальный осмотр линии выделения каучука,
- поставлены задачи на ВКР.

Визуальный осмотр показал моральное устаревание оборудования. Для получения дополнительных сведений отправлен запрос в службу главного энергетика. На основании полученных результатов сделаны выводы о техническом и моральном устаревании оборудования. Принято решение, при поддержке службы главного энергетика, заменить устаревшее оборудование российскими аналогами.

2 Расчет нагрузок

Цель расчета нагрузок – определение нагрузки во всех элементах сети. Правильное определение нагрузок позволит сэкономить на строительстве и материалах, а также позволит не допустить нарушения работоспособности приемников в случае возникновения аварийной ситуации.

2.1 Замена оборудования

Как упоминалось ранее, основная масса оборудования технически устарела и требует замены. На рисунках 2 - 4 отображено состояние некоторого оборудования.



Рисунок 2 – Состояние электродвигателя ВС-4



Рисунок 3 – Состояние электродвигателя ножа гранулятора



Рисунок 4 – Состояние электродвигателя вибропитателя А-706/3

Замена оборудования производилась с учетом особенностей техпроцесса, (использование взрывозащищенных электродвигателей в опасных зонах [8]). Выбор оборудования производился по следующим параметрам: номинальная мощность, частота, номинальное напряжение.

Также, при этом, учитывался и экономический аспект – рассматривались варианты отечественного производства.

Далее приведена таблица 3 замены оборудования. Номера электроприемников в таблице 3 соответствуют номерам электроприемников в таблице 1 .

Таблица 3 – Замена электроприемников

№ ЭД в списке об-я	Наименование оборудования	Оборудование		Хар-ки нового оборудования			
		Старое	Новое	Р,к Вт	КПД, %	cos φ	Ки
1	Эл.двигатель ВС-1 из А-700/1	ВА180М8У2	ВА180М8	15	88	0,76	0,80
2	Эл.двигатель ВС-2	ВА180М8У2,5	ВА160S8	7,5	86	0,75	0,70
3	Эл.двигатель ВС-3	ВАО160S8У2,5	ВА160S9	7,5	86,7	0,82	0,70
4	Эл.двигатель ВС-4	4АМ-160S-6	5А160S6	11	87	0,82	0,80
5	Эл.двигатель ВС-5	4АМ-71В-6	АД132S6У3	5,5	84	0,8	0,70
6	Эл.двигатель ВС-6	4АМ-180М-8	АИР180М6	15	89,5	0,84	0,80
7	Эл.двигатель ПС-13	4АМ-225М-8	4А 225 М8-У3	30	91	0,78	0,65
8	Эл.двигатель ПС-13а	4АМ-225М-8	4А 225 М8-У3	30	91	0,78	0,65
9	Эл.двигатель ПС-14	4АМ-225М-9	4А 225 М8-У3	30	91	0,78	0,65
10	Эл.двигатель ПС-14а	4АМ-225М-10	4А 225 М8-У3	30	91	0,78	0,65
11	Эл. Двигатель в сушилку А-703б/1	4АМ-180М-6	АИР180М6Б01	18,5	90	0,81	0,75
12	Эл.двигатель ТПС-1	4АМ-112М-4	4А132S4	5,5	88	0,83	0,70
13	Эл.двигатель ТПС-2	4АМ-132S-4	4А132S4	7,5	88	0,83	0,70
14	Эл.двигатель вент.обд. ТПП-701	АО2-31-6	АИР90L6У3	1,5	76	0,72	0,80
15	Эл.двигатель вент.обд. ТПП-702	4А-90L-6	АИР90L6У3	1,5	76	0,72	0,80
16	Эл.двигатель грабли А-700/1	АО2-42-6	АИР112МВ6	4	82	0,76	0,50
20	Эл.двигатель маслonaсос А-701/1	4АМ-90L-4	АИР90L4	2,2	78	0,82	0,6
23	Эл.двигатель маслonaсос А-702/1	4А-90L-4	АИР90L4	2,2	78	0,82	0,6
28	Эл.двигатель виброподъемник спирал.А-704/1	4А-132М-4	АИР132М4У3	11	87,6	0,83	0,60

29	Эл.двигатель виброподъемник спирал.А-704/2	4А-132М-4	ВА132М4У4	11	88,4	0,8 4	0,60
30	Эл.двигатель шнек.транспортер А-705/1	4А-132S-4	4АМ132S4У3	7,5	87,5	0,8 6	0,40
31	Эл.двигатель шнек.транспортер А-705/2	4АМ-132S-4	АИР 132 S4	7,5	88	0,8 4	0,40

Продолжение таблицы 3

№ ЭД в списке об-я	Наименование оборудования	Оборудование		Хар-ки нового оборудования			
		Старое	Новое	Р,кВт	КПД,%	cos φ	Ки
32	Эл.двигатель м/н пресса низ.А-708/1	4А-132S-4	5АИ 200 М4	37	92,5	0,89	0,70
34	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1	АОЛ2-21-6	5АИ 80 А6	0,75	71	0,72	0,60
35	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1а	АО2-21-6	5АИ 80 А7	0,75	71	0,72	0,60
36	Эл.двигатель м/н пресса низ.А-708/2	4АМ-132S-4	5АИ 200 М4	37	92,5	0,89	0,70
37	Эл.двигатель м/н пресса выс.А-708/2	4А-160S-4	АДМ 160S4	15	89	0,87	0,70
38	Эл.двигатель вибропитатель А-706/2	АОЛ2-21-6	5АИ 80 А6	0,75	71	0,72	0,60
39	Эл.двигатель вибропитатель А-706/2а	АО2-21-6	5АИ 80 А7	0,75	71	0,72	0,60
40	Эл.двигатель м/н пресса низ.А-708/3	4АМ-132S-4	5АИ 200 М4	37	92,5	0,89	0,70
41	Эл.двигатель м/н пресса выс.А-708/3	4А-160S-4	АДМ 160S4	15	89	0,87	0,70
42	Эл.двигатель вибропитатель А-706/3	АОЛ2-21-6	5АИ 80 А6	0,75	71	0,72	0,60
43	Эл.двигатель вибропитатель А-706/3а	АО2-21-6	5АИ 80 А7	0,75	71	0,72	0,60
44	Эл.двигатель м/н пресса низ.А-708/4	4А-132S-4	5АИ 200 М4	37	92,5	0,89	0,70
45	Эл.двигатель м/н пресса выс.А-708/4	4А-160S-4	АДМ 160S4	15	89	0,87	0,70
46	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1	АОЛ2-21-6	5АИ 80 А6	0,75	71	0,72	0,60
47	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1а	АО2-21-6	5АИ 80 А7	0,75	71	0,72	0,60
48	Эл.двигатель ВС-751/1 из скруббера	4А-200М-8	ВА200М8У2	18,5	90	0,76	0,60
49	Эл.двигатель ВС-758/1 БАМ	4АМ-200М-8	ВА200М8У3	18,5	90	0,76	0,60
50	Эл.двигатель ВС-758/1 БАМ	4АМ-160S-4	В160М6У2,5	15	88,5	0,83	0,60
51	Эл.двигатель задв. Э-1.1	АОЛ-21-2	АИМА М63А2	0,37	75	0,81	0,50
52	Эл.двигатель задв. Э-2.1	АОЛ-42-4	АИМА М714А4У	0,37	85	0,84	0,50
53	Эл.двигатель задв. Э-9.1	АОЛ-21-2	АИМА М63А2	0,37	75	0,81	0,50
1 линия							
54	Эл.двигатель конвейер собир. А-710/1	4АХ-90L-4	4А-100-S4	3,00	82,00	0,83	0,50
55	Эл.двигатель конвейер А-712/1	4А90L4У3	4А-100-S5	3,00	82,00	0,83	0,50

57	Эл.двигатель конвейер перед уп. А-715/1	1APB100L-6	4A80B6 У3	1,10	74,00	0,74	0,40
58	Эл.двигатель конвейер уп.А-715а/1	1APB100L-6	4A80B6 У3	1,10	74,00	0,74	0,50
59	Эл.двигатель конвейер накл.А-716/1	1APB100L-6	4A80B6 У3	1,10	74,00	0,74	0,50
60	Эл.двигатель конвейер наклон А-720/1	4A132S8	4A132M8 У3	5,50	83,00	0,74	0,40

Продолжение таблицы 3

№ ЭД в списке об-я	Наименование оборудования	Оборудование		Хар-ки нового оборудования			
		Старое	Новое	Р,кВт	КПД, %	cos φ	Ки
2 линия							
61	Эл.двигатель конвейер собир. А-710/2	4AMX-90L-4У3	АИР 90L4	2,20	80,00	0,81	0,50
62	Эл.двигатель конвейер м/д А-711/2	4A90L4У3	АИР 90L4	2,20	80,00	0,81	0,50
63	Эл.двигатель конвейер А-712/2	3APB90S-6	4A71B4 У3	0,75	72,00	0,73	0,50
65	Эл.двигатель А715/2 размот.рулона	WA20/TDR63M4	4AA56B4 У3	0,18	64,00	0,64	0,60
66	Эл.двигатель А715/2 размот.рулона	WA20/TDR63M5	4AA56B4 У4	0,18	64,00	0,64	0,60
67	Эл.двигатель А715/2 размот.рулона	WA20/TDR63M6	4AA56B4 У5	0,18	64,00	0,64	0,60
68	Эл.двигатель А-715/2 конвейер ролик.	WA10DT56L4	АИР56А4	0,12	57,00	0,72	0,50
69	Эл.двигатель А-715/2 конвейер ролик.	WA10DT56L5	АИР56А5	0,12	57,00	0,72	0,50
70	Эл.двигатель А-715/2 конвейер лент.	W20DR63L4	АИР63А4	0,25	65,00	0,74	0,50
71	Эл.двигатель А-715/2 конвейер лент.	W20DR63L5	4AA56А4 У3	0,12	63,00	0,66	0,50
72	Эл.двигатель А-715/2 тельфер	Leuropea	АИР71А4	0,55	71,00	0,75	0,10
73	Эл.двигатель конвейер пов.А-716А/2	4AP80-48	АИР 71 А4	0,55	70,00	0,71	0,60
74	Эл.двигатель конвейер наклон А-720/2	4A100S4	АИР 100 S4	3,00	82,00	0,82	0,60

2.2 Расчет электрических нагрузок

Существуют различные способы расчета электрических нагрузок, такие как метод коэффициента максимума, метод коэффициента спроса (используется «для предварительных расчетов общезаводских нагрузок, нагрузок узлов с высокими значениями числа электроприемников и/или их

коэффициента использования»), метод коэффициента формы (используется «для групп электроприемников с резкопеременной нагрузкой, колеблющейся с большой частотой. Расчетная нагрузка таких приемников близка к среднеквадратичной»), а также может использоваться такой метод, как метод удельного расхода электроэнергии на единицу продукции, который «при заданном объеме выпуска продукции за определенный период времени наиболее эффективен для производства с непрерывным технологическим процессом, может быть использован для предварительных и поверочных расчетов, при технико-экономическом обосновании намеченных вариантов систем электроснабжения [1, с. 36].»

В данной работе расчет электрических нагрузок проводится методом коэффициента максимума. Он используется для определения как расчетной нагрузки узла питания, либо участков цеха, так и для предприятия в целом. На сегодня - основной метод при разработке проектов электроснабжения.

Ниже приведен порядок расчета [1, с 23].

Расчет групповой активной нагрузки электродвигателя произведем по формуле (1):

$$P_{гр.} = P_{ном.} \cdot n \quad (1)$$

где $P_{ном.}$ – номинальная мощность одного электроприемника, n – количество электроприемников.

Средняя активная мощность за смену рассчитывается по формуле (2):

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{гр} \quad (2)$$

где $K_{и}$ – коэффициент использования электроприемников; $P_{гр.}$ – групповая мощность электроприемника.

Средняя реактивная мощность за смену рассчитывается по формуле (3):

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (3)$$

где $\text{tg}\varphi$ – коэффициент реактивной мощности.

Средняя полная мощность за смену рассчитывается по формуле (4):

$$S_{\text{см}} = \sqrt{P_{\text{см}}^2 + Q_{\text{см}}^2} \quad (4)$$

Суммарное значение мощности вычислено по формуле (5). Значение средней активной, реактивной и полной мощностей для ЩСУ-1 вычислены по формулам (6)-(8):

$$P_{\text{н(ЩСУ-1)}} = \sum P_{\text{прием}} \quad (5)$$

$$P_{\text{см(ЩСУ-1)}} = \sum P_{\text{см}} \quad (6)$$

$$Q_{\text{см(ЩСУ-1)}} = \sum Q_{\text{см}} \quad (7)$$

$$S_{\text{см(ЩСУ-1)}} = \sqrt{P_{\text{см(ЩСУ-1)}}^2 + Q_{\text{см(ЩСУ-1)}}^2} \quad (8)$$

Средний коэффициент использования для ЩСУ-1 найден по формуле (9).

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{P_{\text{см(ЩСУ-1)}}}{P_{\text{н(ЩСУ-1)}}} \quad (9)$$

Для расчета показателя силовой сборки используется формула (10).

$$m = \frac{P_{н.нб}}{P_{н.нм}} \quad (10)$$

где: $P_{н.нб}$ – наибольшая мощность среди электроприемников;

$P_{н.нм}$ – наименьшая мощность среди электроприемников.

Найдя значение показателя силовой сборки группы, среднего коэффициента использования и общее число электроприемников, подключенных к ЩСУ-1, определяется эффективное число электроприемников по формуле (11).

$$n_э = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{Hi})^2}{\sum_{i=1}^n (P_{Hi}^2)} \quad (11)$$

Коэффициент максимума активной нагрузки рассчитывается по формуле (12):

$$K_M = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_э}} \cdot \sqrt{\frac{1 - K_{и.ср}}{K_{и.ср}}} \quad (12)$$

Определим коэффициент максимума реактивной нагрузки. В соответствии с практикой проектирования принимается $K_M=1,1$ из условия $n_э \leq 10$; $K_M=1$ из условия $n_э > 10$. Следовательно коэффициент максимума реактивной нагрузки принимается 1.

Расчитаем коэффициент мощности группы электроприемников, подключенных к ЩСУ-1 через формулу (13).

$$\cos\varphi = \frac{P_{см(ЩСУ-1)}}{S_{см(ЩСУ-1)}} \quad (13)$$

Рассчитаем коэффициент реактивной мощности группы электроприемников, подключенных к ЩСУ-1, формула (14):

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_{\text{см(ЩСУ-1)}}}{P_{\text{см(ЩСУ-1)}}} \quad (14)$$

Рассчитаем максимальную активную нагрузку ЩСУ-1 по формуле (15):

$$P_M = K_M \cdot P_{\text{см}} \quad (15)$$

Рассчитаем максимальную реактивную нагрузку ЩСУ-1 с помощью формулы (16):

$$Q_M = K'_M \cdot Q_{\text{см}} \quad (16)$$

Рассчитаем максимальную полную нагрузку ЩСУ-1 по формуле (17):

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} \quad (17)$$

Для остальных ЩСУ расчет аналогичен, результаты расчетов приведены в таблице 4.

Также, были рассчитаны потери в трансформаторе по формулам (18)-(20):

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_M \quad (18)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_M \quad (19)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} \quad (20)$$

Помимо расчетов электрических нагрузок, в таблице 4 указаны расчеты осветительной нагрузки.

По результатам осветительной нагрузки выбираются светильники. Приоритет отдается светодиодным светильникам как наиболее современным и энергоэффективным осветительным приборам.

В качестве светильников аварийного освещения выбираются светильники с БАП [4], так как цех питается по первой категории электроснабжения.

Выполненные расчеты позволят в дальнейшем выбрать проводники и защитное оборудование. Также эти расчеты позволят произвести расчеты компенсации реактивной мощности и выбрать компенсирующее устройство [23].

Компенсирующее устройство позволит уменьшить мощность трансформатора, снижая экономические потери.

Таблица 4 – Сводная ведомость нагрузок по цеху

№ ЭД (№ на пл-е)	Наименование оборудования	P1, кВт	n	Руст, кВт	Kи	cos f	tg f	m	Pсм	Qсм	Sсм	пэ	Kм	Pм, кВт	Qм,квар	Sм, кВА	Iм, А
1 (15)	Эл. Двигатель в сушилку А-7036/1	18,5	1	18,5	0,75	0,81	0,72	-	13,88	9,99	17,1	-	-	-	-	-	-
2 (16)	Эл.двигатель грабли А-700/1	4	1	4	0,50	0,89	0,51	-	2	1,02	2,25	-	-	-	-	-	-
3 (19)	Тахогенератор А-701/1	4,2	1	4,2	0,6	0,8	0,75	-	2,52	1,89	3,15	-	-	-	-	-	-
4 (20)	Эл.двигатель маслонасос А-701/1	2,2	1	2,2	0,6	0,79	0,78	-	1,32	1,03	1,67	-	-	-	-	-	-
5 (22)	Тахогенератор А-702/1	4,2	1	4,2	0,60	0,80	0,75	-	2,52	1,89	3,15	-	-	-	-	-	-
6 (23)	Эл.двигатель маслонасос А-702/1	2,2	1	2,2	0,60	0,79	0,78	-	1,32	1,03	1,67	-	-	-	-	-	-
7(28)	Эл.двигатель виброподъемник спирал.А-704/1	11	1	11	0,60	0,84	0,65	-	6,6	4,29	7,87	-	-	-	-	-	-
8 (29)	Эл.двигатель виброподъемник спирал.А-704/2	11	1	11	0,60	0,84	0,65	-	6,6	4,29	7,87	-	-	-	-	-	-
9 (30)	Эл.двигатель шнек.транспорте р А-705/1	7,5	1	7,5	0,40	0,86	0,59	-	3	1,77	3,48	-	-	-	-	-	-
10 (31)	Эл.двигатель шнек.транспорте р А-705/2	7,5	1	7,5	0,40	0,89	0,51	-	3	1,53	3,37	-	-	-	-	-	-
	Итого по ЩСУ-1:	18,5	10	72,3	0,59	0,83	0,67	8,41	42,76	28,73	51,52	7	1,47	63,06	28,73	69,3	105,29

Продолжение таблицы 4

№ ЭД (№ на пл-е)	Наименование оборудования	P1, кВт	n	Руст, кВт	Ки	cos f	tg f	m	Рсм	Qсм	Scм	пэ	Км	Рм, кВт	Qм,квар	Sm, кВА	Im, А
49 (1)	Эл.двигатель ВС-1 из А-700/1	15	1	15	0,80	0,76	0,86	-	12	10,32	15,83	-	-	-	-	-	-
50 (2)	Эл.двигатель ВС-2	7,5	1	7,5	0,70	0,75	0,88	-	5,25	4,62	6,99	-	-	-	-	-	-
51 (3)	Эл.двигатель ВС-3	7,5	1	7,5	0,70	0,82	0,7	-	5,25	3,68	6,41	-	-	-	-	-	-
25 (4)	Эл.двигатель ВС-4	11	1	11	0,80	0,82	0,7	-	8,8	6,16	10,74	-	-	-	-	-	-
53 (5)	Эл.двигатель ВС-5	5,5	1	5,5	0,70	0,8	0,75	-	3,85	2,89	4,81	-	-	-	-	-	-
54 (6)	Эл.двигатель ВС-6	15	1	15	0,80	0,84	0,65	-	12	7,8	14,31	-	-	-	-	-	-
55 (7)	Эл.двигатель ПС-13	30	1	30	0,65	0,78	0,8	-	19,5	15,6	24,97	-	-	-	-	-	-
56 (8)	Эл.двигатель ПС-13а	30	1	30	0,65	0,78	0,8	-	19,5	15,6	24,97	-	-	-	-	-	-
57 (9)	Эл.двигатель ПС-14	30	1	30	0,65	0,78	0,8	-	19,5	15,6	24,97	-	-	-	-	-	-
58 (10)	Эл.двигатель ПС-14а	30	1	30	0,65	0,78	0,8	-	19,5	15,6	24,97	-	-	-	-	-	-
59 (11)	Эл.двигатель ТПС-1	5,5	1	5,5	0,70	0,86	0,59	-	3,85	2,27	4,47	-	-	-	-	-	-
60 (12)	Эл.двигатель ТПС-2	7,5	1	7,5	0,70	0,86	0,59	-	5,25	3,10	6,1	-	-	-	-	-	-
61 (13)	Эл.двигатель вент.обд. ТПП-701	1,5	1	1,5	0,80	0,75	0,88	-	1,2	1,06	1,6	-	-	-	-	-	-
62 (14)	Эл.двигатель вент.обд. ТПП-702	1,5	1	1,5	0,80	0,75	0,88	-	1,2	1,06	1,6	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 4

№ ЭД (№ на пл-е)	Наименование оборудования	P1, кВт	n	Pуст, кВт	Kи	cos f	tg f	m	Pсм	Qсм	Sсм	пэ	Kм	Pм, кВт	Qм,квар	Sм, кВА	Iм, А
63 (48)	Эл.двигатель ВС-751/1 из скруббера	18,5	1	18,5	0,60	0,78	0,8	-	11,1	8,88	14,21	-	-	-	-	-	-
64 (49)	Эл.двигатель ВС-758/1 БАМ	18,5	1	18,5	0,60	0,78	0,8	-	11,1	8,88	14,21	-	-	-	-	-	-
65 (50)	Эл.двигатель ВС-758/1 БАМ	15	1	15	0,60	0,72	0,96	-	9	8,64	12,48	-	-	-	-	-	-
	Итого по ШУВ:	249,5	17	249,5	0,67	0,79	0,78	20	167,85	131,74	213,38	12	1,31	219,17	131,74	255,72	388,53
	Итого по СШ1:	-	27	321,8	0,65	0,8	0,76	-	210,61	160,47	264,9	17	1,27	266,74	160,47	311,29	472,96
11 (32)	Эл.двигатель м/н пресса низ.А-708/1	37	1	37	0,70	0,81	0,72	-	25,9	18,65	31,92	-	-	-	-	-	-
12 (33)	Эл.двигатель м/н пресса выс.А-708/1	15	1	15	0,70	0,81	0,72	-	10,5	7,56	12,94	-	-	-	-	-	-
13 (34)	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1	0,75	1	0,75	0,60	0,76	0,86	-	0,45	0,39	0,6	-	-	-	-	-	-
14 (35)	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1а	0,75	1	0,75	0,60	0,76	0,86	-	0,45	0,39	0,6	-	-	-	-	-	-
15 (36)	Эл.двигатель м/н пресса низ.А-708/2	37	1	37	0,70	0,81	0,72	-	25,9	18,65	31,92	-	-	-	-	-	-
16 (37)	Эл.двигатель м/н пресса выс.А-708/2	15	1	15	0,70	0,81	0,72	-	10,5	7,56	12,94	-	-	-	-	-	-

17 (38)	Эл.двигатель вибропитатель А-706/2	0,75	1	0,75	0,6 0	0,74	0,91	-	0,45	0,41	0,61	-	-	-	-	-	-
------------	--	------	---	------	----------	------	------	---	------	------	------	---	---	---	---	---	---

Продолжение таблицы 4

№ ЭД (№ на пл-е)	Наименование оборудования	P1, кВт	n	Pуст, кВт	Ки	cos f	tg f	m	Pсм	Qсм	Sсм	пэ	Км	Pм, кВт	Qм,кв ар	Sм, кВА	Iм, А
18 (39)	Эл.двигатель вибропитатель А-706/2а	0,75	1	0,75	0,6 0	0,74	0,91	-	0,45	0,41	0,61	-	-	-	-	-	-
	Итого по ЩСУ- 2:	107	8	107	0,7 0	0,81	0,72	49,33	74,6	54,02	92,1	4	1,52	113,52	54,02	125,72	191,0 1
19 (40)	Эл.двигатель м/н пресса низ.А-708/3	37	1	37	0,7 0	0,81	0,72	-	25,9	18,65	31,92	-	-	-	-	-	-
20 (41)	Эл.двигатель м/н пресса выс.А-708/3	15	1	15	0,7 0	0,81	0,72	-	10,5	7,56	12,94	-	-	-	-	-	-
21 (42)	Эл.двигатель вибропитатель А-706/3	0,75	1	0,75	0,6 0	0,79	0,78	-	0,45	0,35	0,57	-	-	-	-	-	-
22 (43)	Эл.двигатель вибропитатель А-706/3а	0,75	1	0,75	0,6 0	0,79	0,78	-	0,45	0,35	0,57	-	-	-	-	-	-
23 (44)	Эл.двигатель м/н пресса низ.А-708/4	37	1	37	0,7 0	0,81	0,72	-	25,9	18,65	31,92	-	-	-	-	-	-
24 (45)	Эл.двигатель м/н пресса выс.А-708/4	15	1	15	0,7 0	0,81	0,72	-	10,5	7,56	12,94	-	-	-	-	-	-
25 (46)	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1	0,75	1	0,75	0,6 0	0,73	0,94	-	0,45	0,42	0,62	-	-	-	-	-	-

26 (47)	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1а	0,75	1	0,75	0,6 0	0,73	0,94	-	0,45	0,42	0,62	-	-	-	-	-	-
------------	---	------	---	------	----------	------	------	---	------	------	------	---	---	---	---	---	---

Продолжение таблицы 4

№ ЭД (№ на пл-е)	Наименование оборудования	P1, кВт	n	Pуст, кВт	Kи	cos f	tg f	m	Pсм	Qсм	Sсм	nэ	Kм	Pм, кВт	Qм,квар р	Sм, кВА	Iм, А
27 (51)	Эл.двигатель задв. Э-1.1	0,37	1	0,37	0,5 0	0,72	0,96	-	0,19	0,18	0,26	-	-	-	-	-	-
28 (52)	Эл.двигатель задв. Э-2.1	0,37	1	0,37	0,5 0	0,77	0,83	-	0,19	0,16	0,25	-	-	-	-	-	-
29 (53)	Эл.двигатель задв. Э-9.1	0,37	1	0,37	0,5 0	0,84	0,65	-	0,19	0,12	0,22	-	-	-	-	-	-
30 (54)	Эл.двигатель конвейер собир. А-710/1	3,00	1	3	0,5 0	0,83	0,67	-	1,5	1,01	1,81	-	-	-	-	-	-
31 (55)	Эл.двигатель конвейер А- 712/1	3,00	1	3	0,5 0	0,81	0,72	-	1,5	1,08	1,85	-	-	-	-	-	-
32 (57)	Эл.двигатель конвейер перед уп. А-715/1	1,10	1	1,1	0,4 0	0,75	0,88	-	0,44	0,39	0,59	-	-	-	-	-	-
33 (58)	Эл.двигатель конвейер уп.А- 715а/1	1,10	1	1,1	0,5 0	0,75	0,88	-	0,55	0,48	0,73	-	-	-	-	-	-
34 (59)	Эл.двигатель конвейер накл.А-716/1	1,10	1	1,1	0,5 0	0,75	0,88	-	0,55	0,48	0,73	-	-	-	-	-	-
35 (60)	Эл.двигатель конвейер наклон А-720/1	5,50	1	5,5	0,4 0	0,75	0,88	-	2,2	1,94	2,93	-	-	-	-	-	-

36 (61)	Эл.двигатель конвейер собир. А-710/2	2,20	1	2,2	0,5 0	0,83	0,67	-	1,1	0,74	1,33	-	-	-	-	-	-
37 (62)	Эл.двигатель конвейер м/д А- 711/2	2,20	1	2,2	0,5 0	0,81	0,72	-	1,1	0,79	1,35	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 4

№ ЭД (№ на пл-е)	Наименование оборудования	P1, кВт	n	Pуст, кВт	Kи	cos f	tg f	m	Pсм	Qсм	Sсм	пэ	Kм	Pм, кВт	Qм,квар	Sм, кВА	Iм, А
38 (63)	Эл.двигатель конвейер А- 712/2	0,75	1	0,75	0,5 0	0,80	0,75	-	0,38	0,29	0,48	-	-	-	-	-	-
39 (65)	Эл.двигатель А715/2 размот.рулона	0,18	1	0,18	0,6 0	0,79	0,78	-	0,11	0,09	0,14	-	-	-	-	-	-
40 (66)	Эл.двигатель А715/2 размот.рулона	0,18	1	0,18	0,6 0	0,79	0,78	-	0,11	0,09	0,14	-	-	-	-	-	-
41 (67)	Эл.двигатель А715/2 размот.рулона	0,18	1	0,18	0,6 0	0,79	0,78	-	0,11	0,09	0,14	-	-	-	-	-	-
42 (68)	Эл.двигатель А- 715/2 конвейер ролик.	0,12	1	0,12	0,5 0	0,80	0,75	-	0,06	0,05	0,08	-	-	-	-	-	-
43 (69)	Эл.двигатель А- 715/2 конвейер ролик.	0,12	1	0,12	0,5 0	0,80	0,75	-	0,06	0,05	0,08	-	-	-	-	-	-
44 (70)	Эл.двигатель А- 715/2 конвейер лент.	0,25	1	0,25	0,5 0	0,85	0,62	-	0,13	0,08	0,15	-	-	-	-	-	-
45 (71)	Эл.двигатель А- 715/2 конвейер лент.	0,12	1	0,12	0,5 0	0,85	0,62	-	0,06	0,04	0,07	-	-	-	-	-	-

46 (72)	Эл.двигатель А-715/2 тельфер	0,55	1	0,55	0,1 0	0,81	0,72	-	0,06	0,04	0,07	-	-	-	-	-	-
47 (73)	Эл.двигатель конвейер пов.А-716А/2	0,55	1	0,55	0,6 0	0,75	0,88	-	0,33	0,29	0,44	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 4

№ ЭД (№ на пл-е)	Наименование оборудования	P1, кВт	n	Pуст, кВт	Kи	cos f	tg f	m	Pсм	Qсм	Scм	пэ	Kм	Pм, кВт	Qм,квар	Sм, кВА	Iм, А
48 (74)	Эл.двигатель конвейер наклон А-720/2	3,00	1	3	0,6 0	0,75	0,88	-	1,8	1,58	2,4	-	-	-	-	-	-
	Итого по ЩСУ-3:	133,31	30	133,31	0,6 6	0,81	0,73	308,33	87,32	64,02	108,27	5	1,47	128,04	64,02	143,15	217,4 9
	Итого по СШ2:		38	240,31	0,6 7	0,81	0,73	-	161,92	118,04	200,37	9	1,35	218,82	118,04	248,63	377,7 5
	ЩО-1	0,06	77	4,62	1	0,95	0,33	-	4,62	1,52	4,86	4	1,00	4,62	1,52	4,86	7,38
	ЩО-2	0,06	76	4,56	1	0,95	0,33	-	4,56	1,5	4,8	4	1,00	4,56	1,5	4,8	7,29
	ЩО-3	0,06	77	4,62	1	0,95	0,33	-	4,62	1,52	4,86	4	1,00	4,62	1,52	4,86	7,38
	ЩО-4	0,06	76	4,56	1	0,95	0,33	-	4,56	1,5	4,8	4	1,00	4,56	1,5	4,8	7,29
	Всего на ШНН:		371	580,47	0,6 7	0,81	0,73	308,33	390,89	284,55	484,6	371	1,05	412,25	284,55	420,12	638,3 1
	Потери													8,4	42,01	42,84	
	Всего на ВН:													420,65	326,56	532,53	809,1

На основании полученных результатов производится выбор оборудования – кабелей, автоматических выключателей, трансформаторов тока и напряжения.

2.3 Компенсация реактивной мощности и выбор компенсирующего устройства

Необходимо выбрать компенсирующее устройство, согласно ГОСТ 27389-87 [7]. Для этого вычислен коэффициент мощности [22], а также коэффициент реактивной мощности на ЩСУ-1, ЩСУ-2, ЩСУ-3 и ШУВ без компенсирующего устройства [5, с. 34] (далее – КУ) по формулам (21) – (36).

ЩСУ-1:

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{см(ЩСУ-1)}}}{S_{\text{см}}} \quad (21)$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{Q_{\text{см(ЩСУ-1)}}}{P_{\text{см(ЩСУ-1)}}} \quad (22)$$

Необходимые данные для расчета КУ сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Параметры нагрузки на ЩСУ-1

Параметр	cosφ	tgφ	P _м , кВт	Q _м , квар	S _м , кВА
Всего на ЩСУ-1 без КУ	0,83	0,67	63,06	28,73	69,3

Определена реактивная мощность КУ по формуле (23):

$$Q_{\text{к.р.}} = \alpha \cdot P_{\text{м}} \cdot (\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_{\text{к}}) \quad (23)$$

где α – коэффициент учитывающий повышение коэффициента мощности естественным способом, принимается $\alpha=0,9$;

$\text{tg}\varphi_k$ – коэффициент реактивной мощности после компенсации, равный 0,33, так как $\text{tg}\varphi$ был за 0,95.

Исходя из расчетной реактивной мощности компенсирующего устройства, выбрана конденсаторная установка марки УКРМ-0,4-25-10У3. Технические характеристики данного КУ представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики компенсирующего устройства УКРМ-0,4-25-10У3

Тип	U_n , кВ	$Q_{к.ст}$, квар	Кол-во ступеней регулирования	Шаг регулирования, квар
АУКРМ-VE-0,4-25-10У3	0,4	25	5	10

Определено фактическое значение коэффициента реактивной мощности после компенсации по формуле (24):

$$\text{tg}\varphi_\phi = \text{tg}\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_M} \quad (24)$$

Зная фактическое значение коэффициента реактивной мощности, можно определить фактическое значение коэффициента мощности. Таким образом, $\cos\varphi_\phi=0,98$.

ЩСУ-2:

$$\cos\varphi = \frac{P_{см(ЩСУ-2)}}{S_{см}} \quad (25)$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{Q_{см(ЩСУ-2)}}{P_{см(ЩСУ-2)}} \quad (26)$$

Необходимые данные для расчета КУ сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Параметры нагрузки на ЩСУ-2

Параметр	cosφ	tgφ	P _м , кВт	Q _м , квар	S _м , кВА
Всего на ЩСУ-2 без КУ	0,81	0,72	113,52	54,02	125,72

Определена реактивная мощность КУ по формуле (27):

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_{м} \cdot (tg\varphi - tg\varphi_{к}) \quad (27)$$

где α – коэффициент учитывающий повышение коэффициента мощности естественным способом, принимается $\alpha=0,9$;

$tg\varphi_{к}$ – коэффициент реактивной мощности после компенсации, равный 0,33, так как $tg\varphi$ был за 0,95.

Исходя из расчетной реактивной мощности компенсирующего устройства, выбрана конденсаторная установка марки УКРМ-0,4-40-10У3. Технические характеристики данного КУ представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики компенсирующего устройства УКРМ-0,4-40-10У3

Тип	U _н , кВ	Q _{к.ст} , квар	Кол-во ступеней регулирования	Шаг регулирования, квар
АУКРМ-VE-0,4-40-10У3	0,4	40	5	10

Определено фактическое значение коэффициента реактивной мощности после компенсации по формуле (28):

$$tg\varphi_{\phi} = tg\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_{м}} \quad (28)$$

Зная фактическое значение коэффициента реактивной мощности, можно определить фактическое значение коэффициента мощности. Таким образом, $\cos\varphi=0,95$.

ЩСУ-3:

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{см(ЩСУ-3)}}}{S_{\text{см}}} \quad (29)$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{Q_{\text{см(ЩСУ-3)}}}{P_{\text{см(ЩСУ-3)}}} \quad (30)$$

Необходимые данные для расчета КУ сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Параметры нагрузки на ЩСУ-3

Параметр	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{м}}, \text{ кВт}$	$Q_{\text{м}}, \text{ квар}$	$S_{\text{м}}, \text{ кВА}$
Всего на ЩСУ-3 без КУ	0,81	0,73	128,04	64,02	143,15

Определена реактивная мощность КУ по формуле (31):

$$Q_{\text{к.р.}} = \alpha \cdot P_{\text{м}} \cdot (\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_{\text{к}}) \quad (31)$$

где α – коэффициент учитывающий повышение коэффициента мощности естественным способом, принимается $\alpha=0,9$;

$\text{tg}\varphi_{\text{к}}$ – коэффициент реактивной мощности после компенсации, равный 0,33, так как $\text{tg}\varphi$ был за 0,95.

Исходя из расчетной реактивной мощности компенсирующего устройства, выбрана конденсаторная установка марки УКРМ-0,4-48,6-10У3. Технические характеристики данного КУ представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики компенсирующего устройства УКРМ-0,4-48,6-10УЗ

Тип	U _н , кВ	Q _{к.ст} , квар	Кол-во ступеней регулирования	Шаг регулирования, квар
АУКРМ-VE-0,4-48,6-10УЗ	0,4	48,6	5	10

Определено фактическое значение коэффициента реактивной мощности после компенсации по формуле (32):

$$tg\varphi_{\phi} = tg\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_M} \quad (32)$$

Зная фактическое значение коэффициента реактивной мощности, можно определить фактическое значение коэффициента мощности. Таким образом, $\cos\varphi_{\phi}=0,96$.

ШУВ:

$$\cos\varphi = \frac{P_{см(ШУВ)}}{S_{см}} \quad (33)$$

$$tg\varphi = \frac{Q_{см(ШУВ)}}{P_{см(ШУВ)}} \quad (34)$$

Необходимые данные для расчета КУ сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Параметры нагрузки на ШУВ

Параметр	cosφ	tgφ	P _м , кВт	Q _м , квар	S _м , кВА
Всего на ШУВ без КУ	0,79	0,78	219,17	131,74	255,72

Определена реактивная мощность КУ по формуле (35):

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_M \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k) \quad (35)$$

где α – коэффициент учитывающий повышение коэффициента мощности естественным способом, принимается $\alpha=0,9$;

$tg\varphi_k$ – коэффициент реактивной мощности после компенсации, равный 0,33, так как $tg\varphi$ был за 0,95.

Исходя из расчетной реактивной мощности компенсирующего устройства, выбрана конденсаторная установка марки УКРМ-0,4-90-10У3. Технические характеристики данного КУ представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Технические характеристики компенсирующего устройства УКРМ-0,4-90-10У3

Тип	U _н , кВ	Q _{к.ст} , квар	Кол-во ступеней регулирования	Шаг регулирования, квар
АУКРМ-VE-0,4-90-10У3	0,4	90	5	10

Определено фактическое значение коэффициента реактивной мощности после компенсации по формуле (36):

$$tg\varphi_\phi = tg\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_M} \quad (36)$$

Зная фактическое значение коэффициента реактивной мощности, можно определить фактическое значение коэффициента мощности. Таким образом, $\cos\varphi_\phi=0,96$.

2.4 Расчет осветительной нагрузки, выбор светильников

На данном этапе определяется количество осветительных установок (ОУ) и их суммарная мощность. Помимо этого, на данном этапе проектируется аварийное освещение. Аварийное освещение – это «Освещение, включаемое при повреждении системы питания рабочего освещения; к нему относятся аварийное эвакуационное освещение, освещение производственных зон повышенной опасности и резервное освещение.»[19]

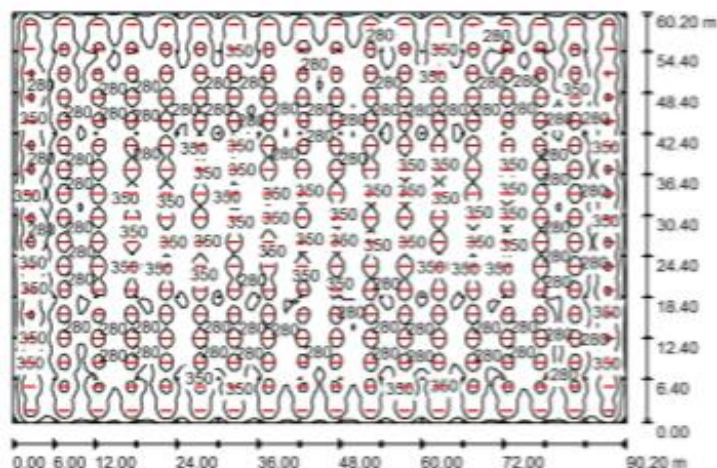
Так как цех относится к первой категории электроснабжения, то в качестве аварийного освещения предусмотрены светильники с блоками аварийного питания (БАП). Они расположены над путями эвакуации, а также рядом со входами.

Расчеты ведутся в программном обеспечении DIALux 4.13.

В каталоге UNIEL представлены 57 светильников для промышленных предприятий. Выбор производился между светильниками UNIEL ULP-30120-80/DW SILVER, UNIEL ULT-V50-36W/6500K/K IP65 WHITE, UNIEL ULO-CO1B 16W/4000K/L64, UNIEL UL-00004253 ULO-K20B 60W/4000K/L150 IP65 WHITE, UNIEL ULY-Q722 80W/NW/D IP20 SILVER. Был выбран светильник марки UNIEL UL-00004253 ULO-K20B 60W/4000K/L150 IP65 WHITE [18]. Краткие сведения расчетов представлены в таблице 13. Полные сведения светотехнического расчета помещений представлены на рисунке 5.

Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Цех / Резюме



Высота помещения: 2.800 m, Монтажная высота: 2.800 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:773

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	312	113	414	0.363
Поль	20	312	137	411	0.438
Потолок	70	66	46	202	0.699
Стенки (4)	50	157	57	274	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.000 m
Растр: 128 x 128 Точки
Кривая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	306	UNIEL UL-00004253 ULO-R20B 60W/4000K/L150 IP65 WHITE Светодиодный светильник (1.000)	6540	6540	60.0

Всего: 2001240 Всего: 2001240 18360.0

Удельная подсоединенная мощность: $3.38 \text{ W/m}^2 = 1.08 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 5429.86 m^2)

Рисунок 5– Отчет о светотехническом расчете

Ниже приведена схема расположения светильников (рисунок б).

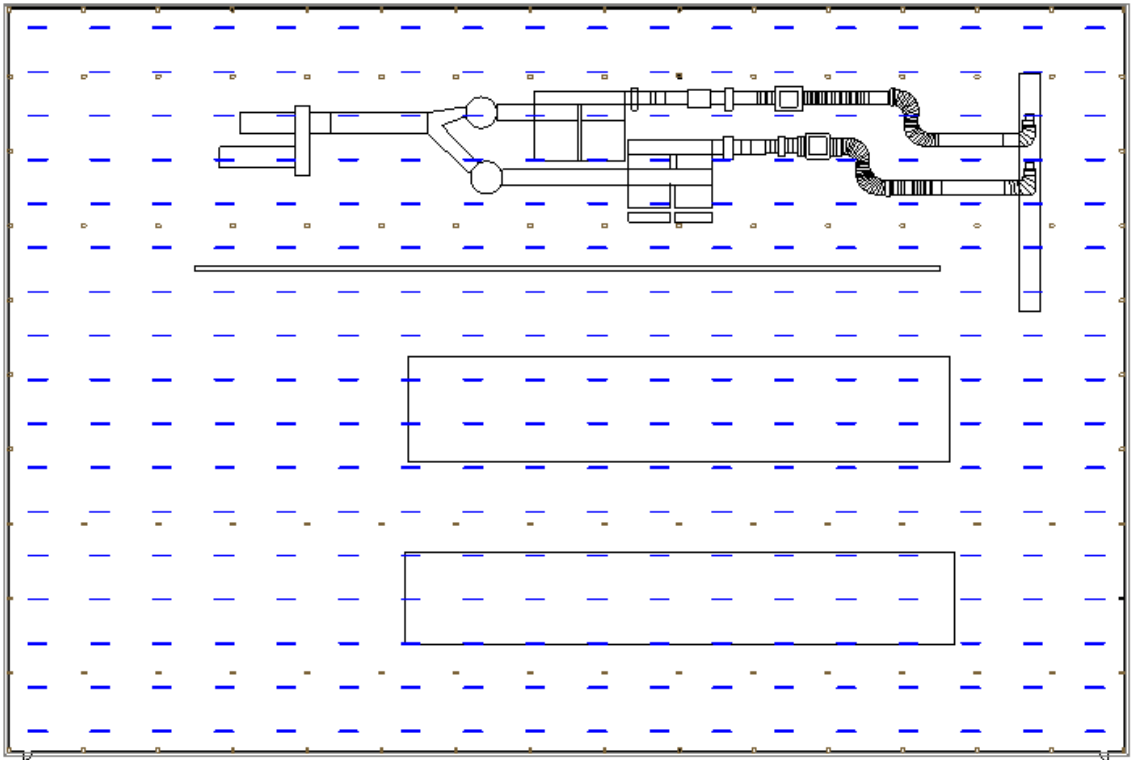


Рисунок 6 – Схема расположения светильников

Вычислена средняя активная мощность осветительных установок по формуле (37):

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{гр} \quad (37)$$

Рассчитана средняя реактивная мощность осветительных установок по формуле (38):

$$Q_{см(ОУ)} = P_{см(ОУ)} \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (38)$$

Вычислена средняя полная мощность осветительных установок по формуле (39):

$$S_{\text{см(ОУ)}} = \sqrt{P_{\text{см(ОУ)}}^2 + Q_{\text{см(ОУ)}}^2} \quad (39)$$

Рассчитан максимальный ток щита освещения по формуле (40):

$$I_{\text{м(ЩО)}} = \frac{S_{\text{см(ЩО)}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} \quad (40)$$

Результаты расчета представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты расчетов осветительных установок

Помещение	$S, \text{ м}^2$	Мощность светильника $P, \text{ Вт}$	Количество светильников n	Суммарный световой поток $\Phi, \text{ лм}$	Суммарная мощность $P, \text{ кВт}$
Цех	5400	60	306	2001240	18,36
Мощность ОУ:					18,36

Далее, в таблице 14, указано выполнение нормативов [19]:

Таблица 14 – Нормы освещенности в промышленных зданиях

Освещенность	$E, \text{ лк}$	$E_{\text{min}}/E_{\text{ср}}$
Расчет	414	0,36
Норма по СП 52.13330.2016	400	0,30
Выполнение нормы	Выполн.	Выполн.

Вывод по разделу: В результате расчетов были получены следующие значения полной мощности: по ЩСУ-1 – 69,3 кВА; по ЩСУ-2 – 125,72 кВА; ЩСУ-3 – 143,15 кВА; ШУВ – 255,72 кВА. Произведена компенсация реактивной мощности. Выбраны компенсирующие устройства мощностью: для ЩСУ- 1 – 25 квар, ЩСУ - 2 – 40 квар, ЩСУ - 3 – 48,6 квар, ШУВ – 90 квар.

3 Выбор трансформаторов с учетом компенсирующего устройства

Определена мощность трансформатора с учетом КУ по формуле (41):

$$S_p = \sqrt{(P_M + \Delta P_T)^2 + (Q_M + \Delta Q_T - \sum Q_{к.ст})^2} \quad (41)$$

Исходя из полученных результатов расчетов, выбран трансформатор меньшей мощности марки ТМЗ-400-6/0,4 [13]. Технические характеристики нового трансформатора приведены в таблице 15. Результаты расчетов сведены в таблицу 16.

Таблица 15 – Технические данные трансформатора ТМЗ-400-6/0,4

Тип	S _н , кВА	U _н , кВ		u _к , %	Потери, кВт		i _{хх} , %
		ВН	НН		P _{хх}	P _{кз}	
ТМЗ-400-6/0,4	400	6 или 10	0,4	4,5	1,45	5,5	2,1

Таблица 16 – Сводная ведомость нагрузок

Параметр	cosφ	tgφ	P _м , кВт	Q _м , квар	S _м , кВА
Всего на ШНН без КУ	0,81	0,73	410,82	284,57	499,7531
КУ				203,6	
Всего на ШНН с КУ	0,98	0,20	410,82	80,97	418,72
Потери			8,37	41,87	42,7
Всего на ВН с КУ	0,96	0,29	419,19	122,84	436,82

Определен коэффициент загрузки трансформатора по формуле (42):

$$K_3 = \frac{S_{(ВН)}}{N_T \cdot S_T} = \frac{436,46}{2 \cdot 400} = 0,55, \quad (42)$$

где N_T – количество трансформаторов.

Вывод по разделу: произведен выбор трансформатора с учетом компенсирующего устройства. Компенсирующие устройства выбраны в разделе 2.

Компенсация позволила снизить фактический коэффициент загрузки трансформатора.

Коэффициент загрузки трансформатора до компенсации составлял 0,63.

После компенсации, коэффициент загрузки стал равен 0,55.

Установка компенсирующих устройств не позволила выбрать трансформатор меньшей мощности.

Коэффициент мощности до компенсации составляет 0,81.

Коэффициент мощности после компенсации равен 0,96.

4. Выбор проводников

4.1 Выбор кабелей и автоматических выключателей

Кабели для каждого электроприемника и автоматические выключатели [24] были выбраны по номинальному току. Для трехфазных электроприемников необходимо использовать четырехжильный кабель. Определен номинальный ток электродвигателя грабель А-700/1 по формуле (43):

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos\varphi} \quad (43)$$

Для данного электроприемника выбран кабель марки ВВГнг 1×1,5 мм² [11] и автоматический выключатель ВА51Г-25-2,5А [12].

Расчет для остальных электроприемников работы проведен аналогичным образом. Результаты представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Выбранные кабели и автоматические выключатели

№ на пл-е	Наименование оборудования	P1, кВт	cos φ	Iн, А	Кабель	Автоматический выключатель
1	Эл. Двигатель в сушилку А-7036/1	18,5	0,81	34,7	ВВГнг 4×6	ВА51-35М-40А
2	Эл.двигатель грабли А-700/1	4	0,89	6,83	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-8А
3	Тахогенератор А-701/1	4,2	0,8	7,98	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-8А
4	Эл.двигатель маслонасос А-701/1	2,2	0,79	4,23	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-5А
5	Тахогенератор А-702/1	4,2	0,80	7,98	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-8А
6	Эл.двигатель маслонасос А-702/1	2,2	0,79	4,23	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-5А
7	Эл.двигатель виброподъемник спирал.А-704/1	11	0,84	19,9	ВВГнг 4×2,5	ВА51-35М-20А
8	Эл.двигатель виброподъемник спирал.А-704/2	11	0,84	19,9	ВВГнг 4×2,5	ВА51-35М-20А
9	Эл.двигатель шнек.транспортер А-705/1	7,5	0,86	13,25	ВВГнг 4×1,5	ВА51-35М-16А

Продолжение таблицы 17

№ на пл-е	Наименование оборудования	P1, кВт	cos φ	И _н , А	Кабель	Автоматический выключатель
10	Эл.двигатель шнек.транспортёр А-705/2	7,5	0,89	12,8	ВВГнг 4×1,5	ВА51-35М-16А
11	Эл.двигатель м/н пресса низ.А-708/1	37	0,81	69,4	ВВГнг 4×25	ВА51-35М-80А
12	Эл.двигатель м/н пресса выс.А-708/1	15	0,81	28,14	ВВГнг 4×4	ВА51-35М-31,5А
13	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1	0,75	0,76	1,5	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-1,6А
14	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1а	0,75	0,76	1,5	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-1,6А
15	Эл.двигатель м/н пресса низ.А-708/2	37	0,81	69,4	ВВГнг 4×25	ВА51-35М-80А
16	Эл.двигатель м/н пресса выс.А-708/2	15	0,81	28,14	ВВГнг 4×4	ВА51-35М-31,5А
17	Эл.двигатель вибропитатель А-706/2	0,75	0,74	1,54	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-1,6А
18	Эл.двигатель вибропитатель А-706/2а	0,75	0,74	1,54	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-1,6А
19	Эл.двигатель м/н пресса низ.А-708/3	37	0,81	69,4	ВВГнг 4×25	ВА51-35М-80А
20	Эл.двигатель м/н пресса выс.А-708/3	15	0,81	28,14	ВВГнг 4×4	ВА51-35М-31,5А
21	Эл.двигатель вибропитатель А-706/3	0,75	0,79	1,44	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-1,6А
22	Эл.двигатель вибропитатель А-706/3а	0,75	0,79	1,44	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-1,6А
23	Эл.двигатель м/н пресса низ.А-708/4	37	0,81	69,4	ВВГнг 4×25	ВА51-35М-80А
24	Эл.двигатель м/н пресса выс.А-708/4	15	0,81	28,14	ВВГнг 4×4	ВА51-35М-31,5А
25	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1	0,75	0,73	1,56	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-1,6А
26	Эл.двигатель вибропитатель А-706/1а	0,75	0,73	1,56	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-1,6А
27	Эл.двигатель задв. Э-1.1	0,37	0,72	0,78	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-0,8А
28	Эл.двигатель задв. Э-2.1	0,37	0,77	0,73	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-0,8А
29	Эл.двигатель задв. Э-9.1	0,37	0,84	0,67	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-0,8А
30	Эл.двигатель конвейер собир. А-710/1	3,00	0,83	5,49	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-6,3А
31	Эл.двигатель конвейер А-712/1	3,00	0,81	5,63	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-6,3А
32	Эл.двигатель конвейер перед уп. А-715/1	1,10	0,75	2,23	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-2,5А
33	Эл.двигатель конвейер уп.А-715а/1	1,10	0,75	2,23	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-2,5А
34	Эл.двигатель конвейер накл.А-716/1	1,10	0,75	2,23	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-2,5А
35	Эл.двигатель конвейер наклон А-720/1	5,50	0,75	11,14	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-12,5А
36	Эл.двигатель конвейер собир. А-710/2	2,20	0,83	4,03	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-5А

Продолжение таблицы 17

№ на пл-е	Наименование оборудования	P1, кВт	cos φ	И _н , А	Кабель	Автоматический выключатель
37	Эл.двигатель конвейер м/д А-711/2	2,20	0,81	4,13	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-5А
38	Эл.двигатель конвейер А-712/2	0,75	0,80	1,42	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-1,6А
39	Эл.двигатель А715/2 размот.рулона	0,18	0,79	0,35	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-0,4А
40	Эл.двигатель А715/2 размот.рулона	0,18	0,79	0,35	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-0,4А
41	Эл.двигатель А715/2 размот.рулона	0,18	0,79	0,35	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-0,4А
42	Эл.двигатель А-715/2 конвейер ролик.	0,12	0,80	0,23	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-0,3А
43	Эл.двигатель А-715/2 конвейер ролик.	0,12	0,80	0,23	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-0,3А
44	Эл.двигатель А-715/2 конвейер лент.	0,25	0,85	0,45	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-0,5А
45	Эл.двигатель А-715/2 конвейер лент.	0,12	0,85	0,21	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-0,3А
46	Эл.двигатель А-715/2 тельфер	0,55	0,81	1,03	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-1,25А
47	Эл.двигатель конвейер пов.А-716А/2	0,55	0,75	1,11	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-1,25А
48	Эл.двигатель конвейер наклон А-720/2	3,00	0,75	6,08	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-6,3А
49	Эл.двигатель ВС-1 из А-700/1	15	0,76	29,99	ВВГнг 4×6	ВА51-35М-31,5А
50	Эл.двигатель ВС-2	7,5	0,75	15,19	ВВГнг 4×1,5	ВА51-35М-16А
51	Эл.двигатель ВС-3	7,5	0,82	13,9	ВВГнг 4×1,5	ВА51-35М-16А
52	Эл.двигатель ВС-4	11	0,82	20,38	ВВГнг 4×2,5	ВА51-35М-25А
53	Эл.двигатель ВС-5	5,5	0,8	10,45	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-12,5А
54	Эл.двигатель ВС-6	15	0,84	27,13	ВВГнг 4×4	ВА51-35М-31,5А
55	Эл.двигатель ПС-13	30	0,78	58,44	ВВГнг 4×16	ВА51-35М-63А
56	Эл.двигатель ПС-13а	30	0,78	58,44	ВВГнг 4×16	ВА51-35М-63А
57	Эл.двигатель ПС-14	30	0,78	58,44	ВВГнг 4×16	ВА51-35М-63А
58	Эл.двигатель ПС-14а	30	0,78	58,44	ВВГнг 4×16	ВА51-35М-63А
59	Эл.двигатель ТПС-1	5,5	0,86	9,72	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-10А
60	Эл.двигатель ТПС-2	7,5	0,86	13,25	ВВГнг 4×1,5	ВА51-35М-16А
61	Эл.двигатель вент.обд. ТПП-701	1,5	0,75	3,04	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-3,15А
62	Эл.двигатель вент.обд. ТПП-702	1,5	0,75	3,04	ВВГнг 4×1,5	ВА51Г-25-3,15А
63	Эл.двигатель ВС-751/1 из скруббера	18,5	0,78	36,04	ВВГнг 4×6	ВА51-35М-40А
64	Эл.двигатель ВС-758/1 БАМ	18,5	0,78	36,04	ВВГнг 4×6	ВА51-35М-40А
65	Эл.двигатель ВС-758/1 БАМ	15	0,72	31,65	ВВГнг 4×6	ВА51-35М-31,5А

Выбраны кабели и автоматические выключатели для ЩСУ и ЩО.

Для ЩСУ-1 ($I_n=105,29$ А) выбран кабель марки ВВГ 4×35 мм² и автоматический выключатель ВА51-35М-125А.

Для ЩСУ-2 ($I_n=191,01$ А) выбран кабель марки ВВГ 4×95 мм² и автоматический выключатель ВА51-35М-200А.

Для ЩСУ-3 ($I_n=217,49$ А) выбран кабель марки ВВГ 4×120 мм² и автоматический выключатель ВА51-35М-250А.

Для ШУВ ($I_n=388,53$ А) выбран кабель марки 2ВВГ 4×185 мм² и автоматический выключатель ВА51-35М-400А.

Для ЩО-1 ($I_n=7,29$ А) выбран кабель марки ВВГ 4×1,5 мм² и автоматический выключатель ВА51Г-25-8А.

Для ЩО-2 ($I_n=7,29$ А) выбран кабель марки ВВГ 4×1,5 мм² и автоматический выключатель ВА51Г-25-8А.

Для ЩО-3 ($I_n=7,38$ А) выбран кабель марки ВВГ 4×1,5 мм² и автоматический выключатель ВА51Г-25-8А.

Для ЩО-4 ($I_n=7,38$ А) выбран кабель марки ВВГ 4×1,5 мм² и автоматический выключатель ВА51Г-25-8А.

Для ШНН ($I_n=638,31$ А) выбран автоматический выключатель ВА53-41-334730-800А.

4.2 Выбор трансформаторов тока

Трансформаторы тока [25] предназначены для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам, защиты автоматики, сигнализации и управления в электрических цепях переменного тока. Трансформаторы тока ставятся на ШНН, на ШРА и ЩСУ. В таблице 18 представлены выбранные трансформаторы тока.

Таблица 18 - Выбранные трансформаторы тока

ЩСУ	Тип трансформатора	Расчетный ток, А	Первичный номинальный ток, А	Вторичный ток, А
ЩСУ-1	ТТИ-120/5А	105,9	120	5
ЩСУ-2	ТТИ-200/5А	191,01	200	5
ЩСУ-3	ТТИ-250/5А	217,49	250	5
ШУВ	ТТИ-400/5А	388,53	400	5
ЩО-1	ТТИ-30/5А	7,29	30	5
ЩО-2	ТТИ-30/5А	7,29	30	5
ЩО-3	ТТИ-30/5А	7,38	30	5
ЩО-4	ТТИ-30/5А	7,38	30	5
ШНН	ТТИ-А800/5А	624,33	800	5

Вывод по разделу: выбраны проводники и электрооборудование.

5 Расчет токов КЗ. Проверка аппаратов защиты по токам КЗ

«Расчет выполняется с целью выбора коммутационной аппаратуры, шинопроводов, кабелей и другого электрооборудования, а также для проверки чувствительности защит.

Особенности расчета токов КЗ в сетях до 1000 В:

– учитываются активные и индуктивные сопротивления всех элементов цепи до точки короткого замыкания;

– при питании от энергосистемы не учитывается затухание периодической составляющей тока КЗ ввиду большой удаленности генераторов;

– при питании от маломощных местных электростанций или от автономных генераторов напряжением выше 1000 В затухание периодической составляющей тока КЗ не учитывается, если мощность генератора превышает мощность понижающего трансформатора в пять и более раз;

– при питании от автономных или аварийных генераторов напряжением 0,4 кВ затухание учитывается независимо от мощности генератора.

В зависимости от цели расчета учитывают разные расчетные режимы работы электрической схемы. При выборе аппаратуры расчетным считается максимальный режим, так как токи КЗ имеют наибольшие значения. Этот же режим принимается и при расчетах токов пуска и самозапуска электродвигателей с целью обеспечения несрабатывания защит в сети. При проверке чувствительности защит расчетным является минимальный режим, при котором токи КЗ имеют наименьшие значения. Этот же режим используют для проверки возможности пуска и самозапуска электродвигателей.

При расчетах металлических коротких замыканий (сопротивление контакта в месте повреждения не учитывается) определяют следующие значения токов:

$I_{K3(3)max}$ – максимальный ток трехфазного металлического КЗ при максимальном режиме работы питающей энергосистемы, используется для выбора аппаратуры и защит, проверки селективности их действия;

$I_{K3(2)min}$ – минимальный ток двухфазного металлического КЗ при минимальном режиме работы энергосистемы, используется для проверки чувствительности защит;

$I_{K3(1)min}$ – минимальный ток однофазного металлического КЗ, определяется для проверки чувствительности и селективности действия защит.

Большинство КЗ в сетях до 1000 В происходит через электрическую дугу, сопротивление которой существенно ограничивает ток КЗ. В 85 % случаев КЗ возникают вследствие металлического контакта, однако электродинамические силы, пропорциональные квадрату тока, разбрасывают металлические проводники, разрывают закоротки небольшого сечения и КЗ переходит в дуговое. Чтобы учесть токоограничивающее действие электрической дуги, определяют следующие значения токов и напряжений:

$I_{K3(3)cp}$ – средний, наиболее вероятный ток трехфазного КЗ, вычисленный с учетом токоограничивающего действия дуги в месте повреждения, используется для выбора аппаратуры в сети, в том числе отходящих от КТП линий, в случае, если невозможно выбрать аппаратуру, стойкую при металлическом КЗ (кроме вводных и секционного выключателей КТП, которые всегда следует выбирать по металлическим КЗ), а также для проверки селективности защит при этом токе, если при металлическом КЗ она не обеспечивается;

$I_{K3(2)R}$ – минимальный ток двухфазного КЗ, вычисленный с учетом токоограничивающего действия дуги в месте повреждения, используется для проверки чувствительности защит;

$I_{KЗ(1)R}$ – минимальный ток однофазного КЗ, вычисленный с учетом токоограничивающего действия дуги в месте повреждения, используется для проверки чувствительности защит;

$U_{KЗост}$ – остаточное напряжение при КЗ через дугу, используется для проверки чувствительности максимальных токовых защит с пуском по напряжению, устанавливаемых на понижающих трансформаторах и генераторах напряжением 0,4 кВ.

Определяются также значения ударного тока короткого замыкания $i_{уд}$ и его тепловой импульс. Их используют для выбора аппаратуры (автоматических выключателей, рубильников), шинпроводов и другого электрооборудования [2, с. 74].»

5.1 Расчет токов КЗ

Согласно пункту 3.1.8. ПУЭ «Электрические сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания, обеспечивающую по возможности наименьшее время отключения и требования селективности.

Защита должна обеспечивать отключение поврежденного участка при КЗ в конце защищаемой линии: одно-, двух- и трехфазных - в сетях с глухозаземленной нейтралью; двух- и трехфазных - в сетях с изолированной нейтралью [16].»

Расчет коротких замыканий ведется на самом мощном электроприемнике, на самом удаленном электроприемнике и на ШНН [1]. Расчеты в данных точках позволят определить максимальные и минимальные значения токов короткого замыкания, что позволяет провести все проверки, также уменьшая объем расчетов.

На рисунке 7 приведена расчетная схема КЗ.

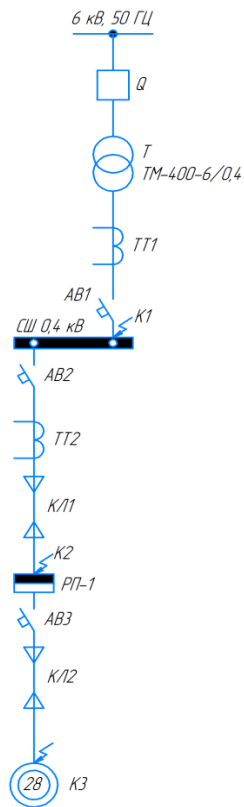


Рисунок 7 – Расчетная схема

Составлена схема замещения для расчета КЗ (рисунок 8).

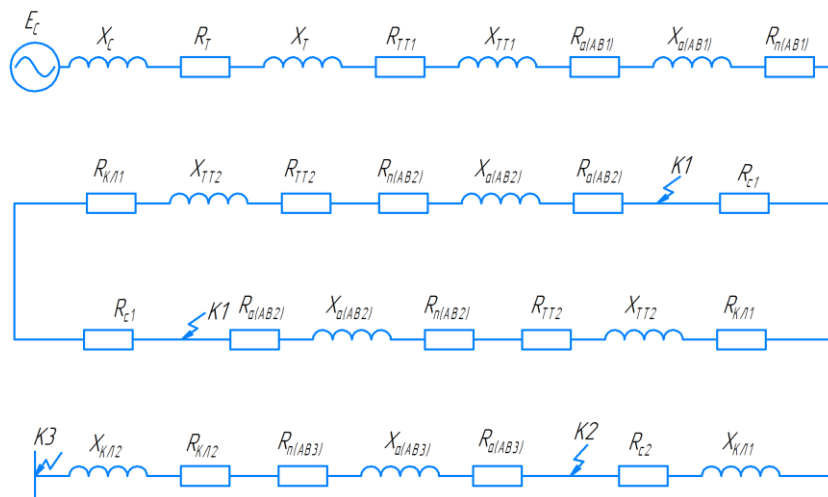


Рисунок 8 – Схема замещения

Определены параметры элементов схемы замещения [19, с. 211]:

– трансформатор Т, формулы (44)-(47):

$$R_T = P_{кз} \cdot \frac{U_6^2}{S_H^2}; \quad (44)$$

$$Z_T = \frac{u_k \% \cdot U_6^2}{100 \cdot S_H}; \quad (45)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} =; \quad (46)$$

$$z_T^{(1)} = 239 \text{ МОм}. \quad (47)$$

– трансформатор ТТ1, формулы (48)-(49):

$$R_{ТТ1} = 0,2 \text{ МОм}; \quad (48)$$

$$X_{ТТ1} = 0,2 \text{ МОм}. \quad (49)$$

– автоматический выключатель АВ1, формулы (50-52):

$$R_{a(AB1)} = 0,1 \text{ МОм}; \quad (50)$$

$$X_{a(AB1)} = 0,1 \text{ МОм}; \quad (51)$$

$$R_{п(AB1)} = 0,15 \text{ МОм}. \quad (52)$$

– автоматический выключатель АВ2, формулы (53-55):

$$R_{a(AB2)} = 1,3 \text{ МОм}; \quad (53)$$

$$X_{a(AB2)} = 1,2 \text{ МОм}; \quad (54)$$

$$R_{п(AB2)} = 0,75 \text{ МОм}. \quad (55)$$

– трансформатор ТТ2, формулы (56)-(57):

$$R_{\text{ТТ2}} = 1,2 \text{ мОм}; \quad (56)$$

$$X_{\text{ТТ2}} = 1,3 \text{ мОм}. \quad (57)$$

– кабельная линия КЛ1, формулы (58)-(59):

$$R_{\text{КЛ1}} = r_0 \cdot l_{\text{КЛ1}}; \quad (58)$$

$$X_{\text{КЛ1}} = x_0 \cdot l_{\text{КЛ1}}. \quad (59)$$

– автоматический выключатель АВ3, формулы (60-62):

$$R_{a(\text{АВ3})} = 1,3 \text{ мОм}; \quad (60)$$

$$X_{a(\text{АВ3})} = 1,2 \text{ мОм}; \quad (61)$$

$$R_{\text{п}(\text{АВ3})} = 0,75 \text{ мОм}. \quad (62)$$

– кабельная линия КЛ2, формулы (63)-(64):

$$R_{\text{КЛ2}} = r_0 \cdot l_{\text{КЛ2}}; \quad (63)$$

$$X_{\text{КЛ2}} = x_0 \cdot l_{\text{КЛ2}}. \quad (64)$$

– Система (нет данных). В связи отсутствия достоверных данных о параметрах ступеней распределения (данных о контактах и их переходных сопротивлениях), в соответствии с практикой проектирования принимается, формулы (65)-(67):

$$X_c = \frac{U_6^2}{S_H}; \quad (65)$$

$$R_{c1} = 15 \text{ мОм}; \quad (66)$$

$$R_{c2} = 20 \text{ мОм}. \quad (67)$$

Рассчитаны эквивалентные сопротивления на участках между точками КЗ по формулам (68)-(73):

$$R_{\text{э}1} = R_{\text{T}} + R_{\text{ТТ}1} + R_{\text{а(АВ}1)} + R_{\text{п(АВ}1)} + R_{\text{с}1}; \quad (68)$$

$$X_{\text{э}1} = X_{\text{с}} + X_{\text{T}} + X_{\text{ТТ}1} + X_{\text{а(АВ}1)}; \quad (69)$$

$$R_{\text{э}2} = R_{\text{а(АВ}2)} + R_{\text{ТТ}2} + R_{\text{п(АВ}2)} + R_{\text{кЛ}1} + R_{\text{с}2}; \quad (70)$$

$$X_{\text{э}2} = X_{\text{а(АВ}2)} + X_{\text{ТТ}2} + X_{\text{кЛ}1}; \quad (71)$$

$$R_{\text{э}3} = R_{\text{а(АВ}3)} + R_{\text{п(АВ}3)} + R_{\text{кЛ}2} + R_{\text{ГТ}1} + R_{\text{ГТ}2}; \quad (72)$$

$$X_{\text{э}3} = X_{\text{а(АВ}3)} + X_{\text{кЛ}2} + X_{\text{ГТ}1} + X_{\text{ГТ}2}. \quad (73)$$

Определены сопротивления до каждой точки КЗ по формулам (82):

$$R_{\text{к}1} = R_{\text{э}1} = 19,37 \text{ мОм}; \quad (74)$$

$$X_{\text{к}1} = X_{\text{э}1} = 21,58 \text{ мОм}; \quad (75)$$

$$Z_{\text{к}1} = \sqrt{R_{\text{к}1}^2 + X_{\text{к}1}^2}; \quad (76)$$

$$R_{\text{к}2} = R_{\text{к}1} + R_{\text{э}2}; \quad (77)$$

$$X_{\text{к}2} = X_{\text{к}1} + X_{\text{э}2}; \quad (78)$$

$$Z_{\text{к}2} = \sqrt{R_{\text{к}2}^2 + X_{\text{к}2}^2}; \quad (79)$$

$$R_{\text{к}3} = R_{\text{к}2} + R_{\text{э}3}; \quad (80)$$

$$X_{\text{к}3} = X_{\text{к}2} + X_{\text{э}3}; \quad (81)$$

$$Z_{\text{к}3} = \sqrt{R_{\text{к}3}^2 + X_{\text{к}3}^2}; \quad (82)$$

Определены постоянные времени апериодических слагаемых токов КЗ T_a , ударные коэффициенты K_y и коэффициенты действующих значений ударного тока q по формулам (83)-(92):

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f; \quad (83)$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega \cdot R_{K1}}; \quad (84)$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega \cdot R_{K2}}; \quad (85)$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega \cdot R_{K3}}; \quad (86)$$

$$K_{y1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}}; \quad (87)$$

$$K_{y2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}}; \quad (88)$$

$$K_{y3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}}; \quad (89)$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2 \cdot (K_{y1} - 1)^2}; \quad (90)$$

$$q_2 = \sqrt{1 + 2 \cdot (K_{y2} - 1)^2}; \quad (91)$$

$$q_3 = \sqrt{1 + 2 \cdot (K_{y3} - 1)^2}. \quad (92)$$

Рассчитаны трехфазные и двухфазные токи КЗ, а также ударные токи КЗ по формулам (93)-(104):

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{K1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}}; \quad (93)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{K2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}}; \quad (94)$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{K3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}}, \quad (95)$$

где U_{K1} , U_{K2} , U_{K3} – линейное напряжение в точке КЗ, равное 0,4 кВ.

$$I_{K1(\infty)}^{(3)} = q_1 \cdot I_{K1}^{(3)}; \quad (96)$$

$$I_{K2(\infty)}^{(3)} = q_2 \cdot I_{K2}^{(3)}; \quad (97)$$

$$I_{K3(\infty)}^{(3)} = q_3 \cdot I_{K3}^{(3)}; \quad (98)$$

$$i_{Y(K1)} = \sqrt{2} \cdot K_{Y1} \cdot I_{K1}^{(3)}; \quad (99)$$

$$i_{Y(K2)} = \sqrt{2} \cdot K_{Y2} \cdot I_{K2}^{(3)}; \quad (100)$$

$$i_{Y(K3)} = \sqrt{2} \cdot K_{Y3} \cdot I_{K3}^{(3)}; \quad (101)$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1}^{(3)}; \quad (102)$$

$$I_{K2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K2}^{(3)}; \quad (103)$$

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3}^{(3)}. \quad (104)$$

Составлена схема замещения для расчета однофазных токов КЗ (рисунок 9).

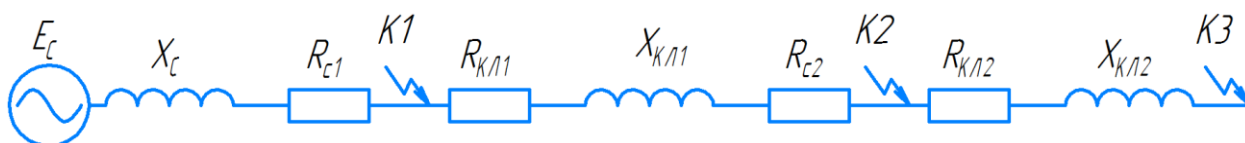


Рисунок 9 – Схема замещения для расчета однофазных токов КЗ

При расчете однофазных токов КЗ значения удельных индуктивных сопротивлений петли «фаза-нуль» были приняты равным, формула (105):

$$x_{0п} = 0,15 \frac{\text{МОм}}{\text{м}} - \text{для КЛ до 1 кВ в трубах}; \quad (105)$$

Удельное активное сопротивление петли «фаза-нуль» были вычислены для любых линий по формуле (106):

$$r_{0п} = 2 \cdot r_0. \quad (106)$$

Определены параметры схемы замещения по формулам (107)-(119):

$$R_{пкЛ1} = r_{0п} \cdot l_{кЛ1} = 2 \cdot r_0 \cdot l_{кЛ1}; \quad (107)$$

$$X_{пкЛ1} = x_{0п} \cdot l_{кЛ1}; \quad (108)$$

$$R_{пкЛ2} = r_{0п} \cdot l_{кЛ2} = 2 \cdot r_0 \cdot l_{кЛ2}; \quad (109)$$

$$X_{пкЛ2} = x_{0п} \cdot l_{кЛ2}; \quad (110)$$

$$R_{п1} = R_{с1} = 15 \text{ мОм}; \quad (111)$$

$$X_{п1} = X_c = 1,6 \text{ мОм}; \quad (112)$$

$$Z_{п1} = \sqrt{R_{п1}^2 + X_{п1}^2}; \quad (113)$$

$$R_{п2} = R_{п1} + R_{пкЛ1} + R_{с2}; \quad (114)$$

$$X_{п2} = X_{п1} + X_{пкЛ1}; \quad (115)$$

$$Z_{п2} = \sqrt{R_{п2}^2 + X_{п2}^2}; \quad (116)$$

$$R_{п3} = R_{п2} + R_{пкЛ2} + R_{пгТ1} + R_{пгТ2}; \quad (117)$$

$$X_{п3} = X_{п2} + X_{пкЛ2} + X_{пгТ1} + X_{пгТ2}; \quad (118)$$

$$Z_{п3} = \sqrt{R_{п3}^2 + X_{п3}^2}; \quad (119)$$

Рассчитаны однофазные токи КЗ по формулам (120)-(122):

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_{п1} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}}; \quad (120)$$

$$I_{к2}^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_{п2} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}}; \quad (121)$$

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{пз} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} \quad (122)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение в точке КЗ, равное 0,23 кВ.

Полученные результаты расчетов сведены в таблицу 19.

Таблица 19 – Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	$I_K^{(3)}$, кА	$I_{K(\infty)}^{(3)}$, кА	$i_{y(k)}$, кА	$I_K^{(2)}$, кА	$I_K^{(1)}$, кА
К1	6,96	6,96	10,53	6,03	2,43
К2	3,98	3,98	5,68	3,45	1,78
К3	1,57	1,57	2,22	1,36	0,74

5.2 Проверка защитного оборудования

Согласно условиям по токам КЗ автоматические выключатели проверяются [2, с.68]:

– на надежность срабатывания (таблица 20);

Таблица 20 – Проверка автоматических выключателей на надежность срабатывания

Обознач.	Условие	Проверка
AB1	$I_{K1}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{н.р.(AB1)}$	$2,43 \geq 3 \cdot 0,8$ условие выполняется
AB2	$I_{K2}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{н.р.(AB2)}$	$1,78 \geq 3 \cdot 0,1$ условие выполняется
AB3	$I_{K3}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{н.р.(AB3)}$	$0,74 \geq 3 \cdot 0,1$ условие выполняется

Надежность срабатывания автоматов обеспечена.

– на отключающую способность (таблица 21).

Таблица 21 – Проверка автоматических выключателей на отключающую способность

Обознач.	Условие	Проверка
AB1	$I_{откл(AB1)} \geq i_{у(к1)}$	$33,5 \geq 10,53$ условие выполняется
AB2	$I_{откл(AB2)} \geq i_{у(к2)}$	$10 \geq 5,68$ условие выполняется
AB3	$I_{откл(AB3)} \geq i_{у(к3)}$	$10 \geq 2,22$ условие выполняется

Автоматы при КЗ отключаются не нарушаясь.

Вывод по разделу:

– составлены схемы замещения для расчета: однофазных коротких замыканий, трехфазных коротких замыканий, междуфазных коротких замыканий,

– рассчитан ударный ток,

– вычислен тепловой импульс ударного тока,

– найдены параметры схем замещения,

– рассчитаны токи короткого замыкания,

– выбраны автоматические выключатели,

– выбранные автоматические выключатели прошли проверку на отключающую способность и надежность срабатывания.

Заключение

Итогом выполнения работы является проект по реконструкции электроснабжения линии выделения каучука предприятия ООО «Тольяттикаучук».

Предварительно выбирались электродвигатели с учетом условий окружающей среды, учитывался также и экономический аспект – все выбранные двигатели отечественного производства.

Далее, произведен расчет электрических нагрузок при помощи метода коэффициента максимума. В результате расчетов были получены следующие значения полной мощности: по ЩСУ-1 – 69,3 кВА; по ЩСУ-2 – 125,72 кВА; ЩСУ-3 – 143,15 кВА; ШУВ – 255,72 кВА. Полная мощность на секциях шин 0,4 кВ – 420,12 кВА.

Произведен светотехнический расчет и выбраны светильники, так же произведён расчёт электрической нагрузки освещения.

Произведена компенсация реактивной мощности. Выбраны компенсирующие устройства марки АУКРМ-VE-0,4-10УЗ мощностью: для ЩСУ- 1 – 25 квар, ЩСУ - 2 – 40 квар, ЩСУ - 3 – 48,6 квар, ШУВ – 90 квар.

С учетом компенсации реактивной мощности выбраны трансформаторы ТМЗ-400-6/0,4. Загрузка трансформатора с учетом компенсации реактивной мощности составляет 55%.

Выбраны кабели марки ВВГ сечением: для ЩСУ- 1 – $4 \times 35 \text{ мм}^2$, ЩСУ - 2 – $4 \times 95 \text{ мм}^2$, ЩСУ - 3 – $4 \times 120 \text{ мм}^2$, ШУВ – $(2) 4 \times 185 \text{ мм}^2$, щитов освещения – $4 \times 6 \text{ мм}^2$. Выбранные кабели прокладываются по существующим кабельнесущим конструкциям – лоткам и кабельным прямым.

Для защиты от КЗ и перегрузок выбраны автоматические выключатели типа ВА51-35М номиналом: для ЩСУ- 1 – 125 А, ЩСУ - 2 – 200 А, ЩСУ - 3 – 250 А, ШУВ – 400 А, ШНН – 800 А. Для щитов освещения выбраны

выключатели типа ВА47-100 с комбинированными расцепителями, номиналом 16 А.

Расчитаны токи короткого замыкания в трех точках: на самом удаленном электроприемнике, на самом мощном электроприемнике, на ШНН. Также проведена проверка выбранных автоматических выключателей на отключающую способность.

Существующий контур заземления является действующим, регулярно проходит проверки в объеме, требуемом ПТЭ. По результатам замера сопротивление заземляющего устройства составляет 2,6 Ом, что соответствует требованиям главы 1.7 ПУЭ. Заземляющее устройство в реконструкции не нуждается.

Полученный объект удовлетворяет требованиям нормативно - технической документации. Поставленные задачи выполнены, цель ВКР достигнута.

Список используемой литературы

1. А.В. Кабышев: Электроснабжение объектов. Ч. 1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. 155с.
2. А.В. Кабышев: Электроснабжение объектов. Ч. 2. Расчет токов короткого замыкания в электроустановках до 1000 В: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 168с.
3. Автоматизированная система управления технологическим процессом: [Электронный ресурс]: URL: <https://a-automation.ru/asu-tp/> (Дата обращения: 30.11.2021)
4. БАП: [Электронный ресурс]: URL: <https://top-svet.ru/info/articles-and-reviews/bap/> (Дата обращения: 28.01.2022)
5. В.П. Шеховцев: Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования: Учебное пособие. М.-Форум – Инфра-М, 2005. 213с.
6. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 23 с.
7. ГОСТ 27389-87. УСТАНОВКИ КОНДЕНСАТОРНЫЕ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ. М.: Издательство стандартов, 1987. 4 с.
8. ГОСТ Р 54466-2011. Машины электрические вращающиеся. ДВИГАТЕЛИ АСИНХРОННЫЕ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫЕ МОЩНОСТЬЮ ОТ 0,25 ДО 400 кВт ВКЛЮЧИТЕЛЬНО. Общие технические требования и методы испытаний. М.,2012. 12 с.
9. ГОСТ ИЕС 60598-2-22-2012. Светильники. Часть 2-22. Частные требования. СВЕТИЛЬНИКИ ДЛЯ АВАРИЙНОГО ОСВЕЩЕНИЯ. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

10. История развития «Тольяттикаучук»: [Электронный ресурс]: URL: <https://togliatti.tatneft.ru/o-kompanii/istoriya/?lang=ru> (Дата обращения: 28.11.2021)
11. Каталог продукции КПС [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/vvgng/kabel-vvgng-1h1-5/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/vvgng/kabel-vvgng-1h1-5/) (Дата обращения 15.05.2022).
12. Каталог продукции TEXENERGO [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.texenergo.ru/catalog/item.html/te00005841> (Дата обращения 15.04.2022).
13. Каталог продукции TRANSFORMATOR-ENERGIUM [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://transformator-energum.ru/tmz/tmz-400-6-0-4-524.html> (дата обращения 16.04.2022).
14. Климатические условия Тольятти: [Электронный ресурс]: URL: <https://mydocx.ru/6-110862.html> (Дата обращения: 12.11.2021)
15. Официальный сайт «Тольяттикаучук»: [Электронный ресурс]. URL: <https://togliatti.tatneft.ru/> (Дата обращения: 12.11.2021)
16. Понятие местного и общего освещения: [Электронный ресурс]: URL: <https://lightgid.ru/lighting/vidy> (Дата обращения: 03.02.2022)
17. Правила устройства электроустановок. Минэнерго – М.: 7 издание, 2016. - 124 с.
18. Светильник UNIEL UL-00004253 ULO-K20B 60W/4000K/L150 IP65 WHITE [Электронный ресурс]: URL: <https://uniel.ru/catalog/svetilniki-vnutrennego-osveshcheniya/svetilniki-podvesnye/ulo-k20b-60w-4000k-1150-ip65-white/> (Дата обращения: 05.04.2022)
19. СП 52.13330.2016 ЕСТЕСТВЕННОЕ И ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ. М.: Стандартинформ, 2017. 135 с.
20. Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин, В.А. Яшков. Электроснабжение промышленных предприятий и установок : учебное пособие /— 3-е изд., перераб. и доп. — Москва. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2021. 367 с.

21. Asynchronous motor [Electronic resource]: URL: <https://electricalfundablog.com/induction-motor-asynchronous-motor/> (date of treatment: 05.02.2022)

22. Power factor [Electronic resource]: URL: <https://electricalfundablog.com/power-factor-triangle-types-correction/> (date of treatment: 01.03.2022)

23. Controlling power system parameters through reactive power compensation [Electronic resource]: URL: <https://electrical-engineering-portal.com/reactive-power-var-compensation> (date of treatment: 05.03.2022)

24. Circuit breaker [Electronic resource]: URL: <https://electronics.howstuffworks.com/circuit-breaker.htm> (date of treatment: 08.04.2022)

25. Current transformer [Electronic resource]: URL: <https://www.electronicstutorials.ws/transformer/current-transformer.html> (date of treatment: 20.04.2022)