

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 Проектирование системы электроснабжения деревообрабатывающего производства

Обучающийся

М.А. Белов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., профессор, А.А. Кувшинов

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

Тольятти 2022

Аннотация

Пояснительная записка содержит 48 страниц, графическая часть выполнена в виде презентации, 27 источников, одно приложение.

Ключевые слова: производство деревообрабатывающее, электроснабжение, распределительное устройство, трансформатор, оборудование.

Объектом исследования является система электроснабжения деревообрабатывающего производства в городе Самара.

Цель работы – разработка системы электроснабжения деревообрабатывающего производства в городе Самара в соответствии с требованиями нормативно правовыми актами (НПА).

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- сбор общих сведений об объекте исследования;
- обоснование схемы электроснабжения;
- расчет актуальной нагрузки производства;
- выбор силовых трансформаторов подстанции;
- выбор линий электроснабжения;
- выбор оборудования системы электроснабжения;

В результате выполнения работы проведены расчеты низковольтных и высоковольтных линий, выбраны трансформаторы, рассчитаны электрические нагрузки, потери напряжений в линиях, выбраны сечения кабелей.

Содержание

Введение.....	5
1 Расчёт электрических нагрузок производства	6
1.1 Расчёт групповой активной нагрузки 3-фазных электроприёмников с длительным режимом работы.....	6
1.2 Расчет рабочего освещения.....	6
1.3 Расчет групповой активной нагрузки 3-фазных электроприемников .	12
1.4 Расчет активных, реактивных и полных мощностей электроприёмников	12
1.5 Схема электроснабжения цеха.....	13
1.7 Расчет максимальных токов на распределительных устройствах	18
2 Выбор числа и мощности трансформаторов производства трансформаторной подстанций с учётом компенсации реактивной мощности	22
2.1 Расчёт и выбор трансформаторов без компенсирующего устройства	22
2.2 Расчет и выбор компенсирующего устройства.....	23
2.3 Расчет трансформатора с компенсирующим устройством.....	24
3 Выбор и обоснование схемы электроснабжения производства	26
4 Выбор и обоснование схемы внешнего электроснабжения производства ..	27
5 Предварительный выбор электрооборудования	29
5.1 Выбор шинопроводов, кабелей и автоматических выключателей	29
5.2 Выбор трансформаторов тока.....	31
6 Расчет токов короткого замыкания	32
6.1 Расчет параметров схемы замещения	33
6.2 Расчет токов КЗ в трех точках	36
6.2.1 Расчет короткого замыкания в точке КЗ1	36
6.2.2 Расчет короткого замыкания в точке КЗ2	37

6.2.3 Расчет короткого замыкания в точке КЗ2	38
6.3 Проверка оборудования по ударному току	39
Заключение	43
Список используемой литературы и используемых источников.....	44
Приложение А	48

Введение

Электрическая сеть представляет собой совокупность электрических установок, предназначение которой состоит в передаче и распределении электрической энергии от электростанции к потребителю [1]. Она является значимой частью системы электроснабжения потребителя, поэтому в электрических сетях необходимо устанавливать современное оборудование, которое должно постоянно обслуживаться и, при необходимости, модернизироваться со стороны поставщика электроэнергии, поскольку от этого зависит безопасность при эксплуатации электроустановок, которые могут угрожать жизни и здоровью персонала, ответственного за оборудование, качество энергии, доходящей до потребителя, а также бесперебойность её поставки [23].

«Потребитель электрической энергии - предприятие, организация, территориально обособленный цех, строительная площадка, квартира, у которых приемники электрической энергии присоединены к электрической сети и используют электрическую энергию» [2].

В современном мире главными задачами, которые ставятся перед специалистами в области электроэнергетики в ходе проектирования и эксплуатации энергоснабжающих систем предприятий, являются корректный расчёт параметров электрической нагрузки [25], исправное обеспечение должного уровня надёжности электроснабжения, использование рационального и прагматичного подхода в передаче и распределении электрической энергии, анализ экономической целесообразности того или иного проекта системы электроснабжения, минимизация рисков возникновения несчастных случаев в процессе эксплуатации оборудования, модернизация устаревшего оборудования или реконструкция всей системы электроснабжения [21].

1 Расчёт электрических нагрузок производства

1.1 Расчёт групповой активной нагрузки 3-фазных электроприёмников с длительным режимом работы

Рассчитаем значение групповой активной нагрузки климатических систем, используя формулу 1.

$$P_{ГР.3} = P_{наст} \cdot n = 28 \cdot 5 = 140 \text{ кВт} \quad (1)$$

где P_H – номинальная мощность одного электроприёмника, n – кол-во электроприемников.

Аналогично произведём расчёт мощности остальных 3-фазных электроприёмников. Результаты расчётов сведём в таблицу 1.

Таблица 1 – Групповые нагрузки 3-фазных электроприемников ДР

Наименование электрооборудования	$P_{наст}, \text{кВт}$	n	$P_{гр}, \text{кВт}$
Компрессоры винторезные	28	5	140
Вентиляторы	10	2	20
Силовая нагрузка	33	2	66
Нагрузка производственных помещений	15	2	30
Климатические системы 2	34	3	102
Офисы	12	2	24
Система теплоснабжения	11	1	11
Прочая нагрузка	5,2	4	20,8
Общая силовая нагрузка	16	2	32

Проведем расчеты рабочего освещения.

1.2 Расчет рабочего освещения

На этом этапе необходимо определить количество осветительных установок, подключенных к щиту общего рабочего освещения, марки осветительных установок, а также их суммарную мощность. На данном объекте к общему освещению производства подключены все помещения. Все необходимые расчеты были проведены с помощью программного обеспечения DIALux 4.13 Light. Для общего освещения был выбран светильник компании AURA 83300105-120 Aura Certos, 150 W, DALI 120 [6]. Вид светильника и световая характеристика приведены на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1 – Светильник AURA 83300105-120 Aura Certos, 150 W, DALI 120

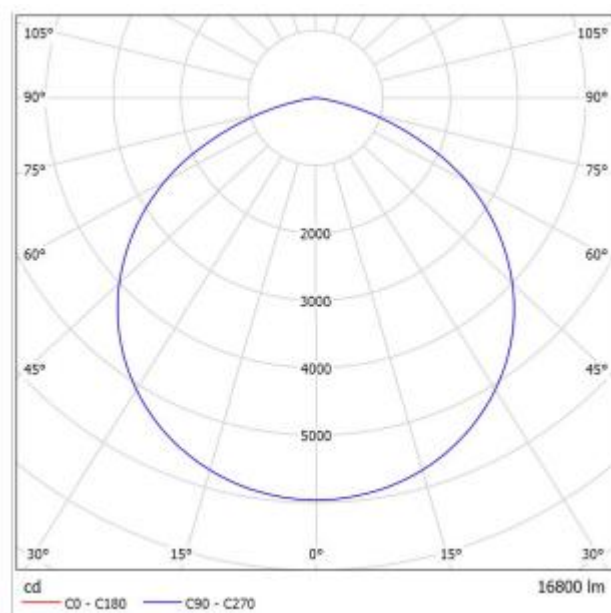


Рисунок 2 – Световая характеристика

Для производственных помещений помещений был подобран светильник компании LIGHTINGTECHNOLOGIES 1077000020 INOX 218 HF. Вид светильника и место выхода света представлены на рисунках 3 и 4.



Рисунок 3 – Светильник LIGHTINGTECHNOLOGIES 1077000020 INOX 218 HF

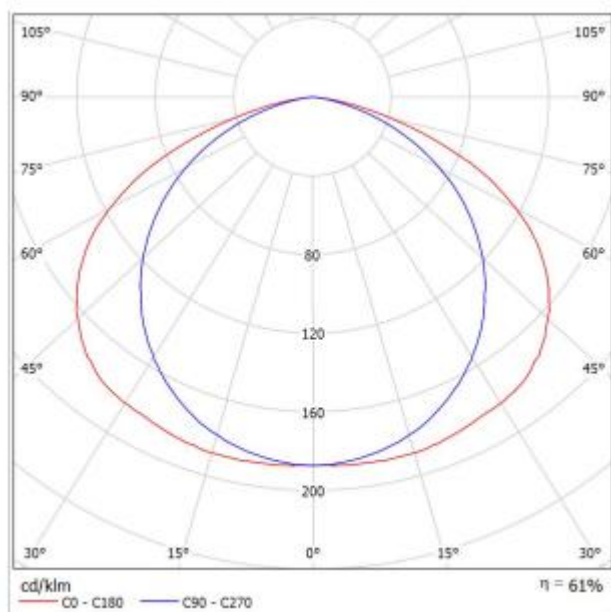


Рисунок 4 – Световая характеристика

Для остальных помещений был взят светильник компании LIGHTINGTECHNOLOGIES 1077000070 INOX 236. Вид светильника и место выхода света изображены на рисунках 5 и 6.



Рисунок 5 – Светильник LIGHTINGTECHNOLOGIES 1077000070 INOX 236

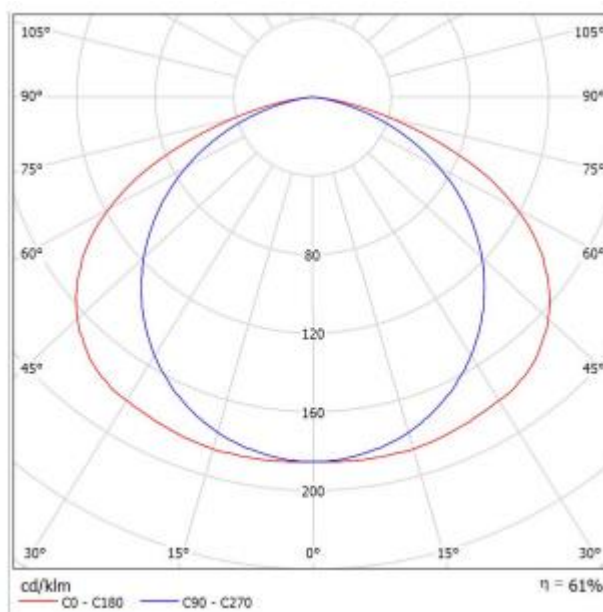


Рисунок 6 – Световая характеристик

Все нормы освещенности для помещений были выбраны с соответствием СНиП 23-05-95 [4]. Данные расчётов приведены в таблице 2. Распределение по помещению КТП изображено на рисунке 7.

Таблица 2– Результаты расчетов осветительных нагрузок

Помещение	S, м ²	Норма освещен, Лк	Р _{светильника} , Вт	n	Φ _{сумм.} , ЛМ	Р _{сумм.} , Вт
1	2	3	4	5	6	7
ТП	32	300	72	4	26400	288
РУ	32	300	72	4	26400	288
Тепловой пункт	32	300	36	12	32400	432
Производственные помещения	32	300	72	8	52800	576

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Рабочая зона	48	200	36	12	32400	432
Склад	32	150	72	2	13200	144
Производственный цех	60	300	72	8	52800	576
Вентиляторная	24	200	72	3	19800	216
Проезды, проходы, коридоры	1112	400	150	36	604800	5400

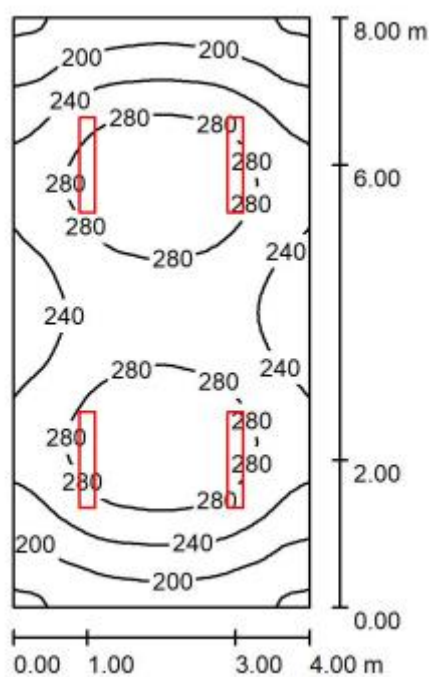


Рисунок 7 – Распределение света по помещению КТП

Полученные результаты расчетов учтем при формировании сводной ведомости электрических нагрузок.

1.3 Расчет групповой активной нагрузки 3-фазных электроприемников

Групповые нагрузки 3-фазных электроприемников с ПКР приводятся к длительному режиму. Рассчитаем значения групповой нагрузки для силовой нагрузки (формула 2 и 3 соответственно).

$$P_n = S_n \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{ПВ} \cdot n = 52 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{0,63} \cdot 4 = 66,04 \text{ кВт} \quad (2)$$

$$P_n = P_{наcn} \cdot \sqrt{ПВ} \cdot n = 6,5 \cdot \sqrt{0,25} \cdot 5 = 16,25 \text{ кВт} \quad (3)$$

Далее приступим к расчету активных нагрузок для производства.

1.4 Расчет активных, реактивных и полных мощностей электроприёмников

Рассчитаем среднюю активную нагрузку винторезных компрессоров за наиболее загруженную смену по формуле 4 [13].

$$P_{см(2)} = K_{И} \cdot P_{г,р2} = 0,75 \cdot 140 = 105 \text{ кВт} \quad (4)$$

Рассчитаем среднюю реактивную мощность винторезных компрессоров по формуле 5 [13].

$$Q_{см(2)} = tg\varphi \cdot P_{см(2)} = 0,62 \cdot 105 = 65,1 \text{ кВт} \quad (5)$$

Найдем среднюю полную мощность винторезных компрессоров по формуле 6.

$$S_{см(2)} = \sqrt{P_{см(2)}^2 + Q_{см(2)}^2} = \sqrt{105^2 + 65,1^2} = 123,54 \text{ кВт} \quad (6)$$

Аналогично найдём параметры остальных групп приемников. Все полученные результаты запишем в таблицу 3.

Таблица 3 – Мощности при наиболее высокой загрузке оборудования

Наименование электрооборудования	P _{гр} , кВт	P _{см} , кВт	Q _{см} , квар	S _{см} , кВА
Силовая нагрузка	66,04	13,201	2,64	13,47
Компрессоры винторезные	140	105	65,1	123,54
Вентиляторы	20	13	9,75	16,25
Силовая нагрузка	66	11,22	13,13	17,27
Нагрузка производственных помещений	30	5,1	5,97	7,85
Станочное отделение	102	16,32	24,81	29,69
Инженерный корпус	24	3,84	5,84	6,99
Лифты	16,25	3,25	5,62	6,49
Система теплоснабжения	11	1,32	2,28	2,64
Прочая нагрузка	20,8	2,91	5,04	5,82
Общая силовая нагрузка	32	4,48	8,87	9,94

1.5 Схема электроснабжения цеха

Так как производство имеет электрооборудование, относящееся к 2 категории надёжности потребителя [14], то есть длительный перерыв в работе может привести к выпуску бракованной продукции, то нужно выбирать двухтрансформаторную подстанцию с автоматическим переключением на резервное питание [3]. Поэтому нагрузку по секциям шин необходимо распределить равномерно. Распределение нагрузок по шинам сведем в таблицу 4.

Таблица 4 – Распределение нагрузок по секциям.

Секция шин I	Нагрузка приведенная, кВт		Секция шин II
ШРА1			ШРА2
Силовая нагрузка	66,04	66	Силовая нагрузка
Компрессоры винторезные	140	30	Нагрузка производственных помещений
Вентиляторы	20	34	Климатическая система 2
		24	Инженерный корпус
РП			ШРА3
Лифты	16,25	68	Станочное отделение
		11	Система теплоснабжения
ЩО	8,352	20,8	Прочая нагрузка
		32	Общая силовая нагрузка
ИТОГО	250,64	285,8	ИТОГО

Составленная схема электроснабжения изображена на рисунке 8.

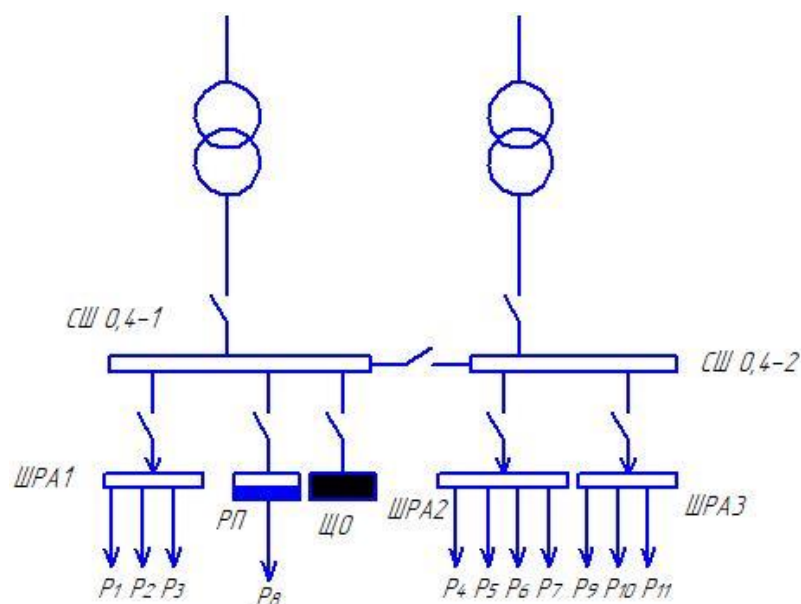


Рисунок 8 – Схема электроснабжения производства

1.6 Расчет среднего коэффициента использования и показателя силовой сборки

Рассчитаем суммарные значения активной, реактивной и полной мощностей, а также значение установленной мощности подключенного к ШРА1 электрооборудования по формулам 7-10.

$$P_{н(ШРА1)} = \sum P_{зр} = P_1 + P_2 + P_3 = 226,04 \text{ кВт} \quad (7)$$

$$P_{см(ШРА1)} = \sum P_{см} = P_{см(1)} + P_{см(2)} + P_{см(3)} = 131,21 \text{ кВт} \quad (8)$$

$$Q_{см(ШРА1)} = \sum Q_{см} = Q_{см(1)} + Q_{см(2)} + Q_{см(3)} = 77,49 \text{ квар} \quad (9)$$

$$S_{см(ПП-1)} = \sqrt{P_{см(ШРА1)}^2 + Q_{см(ШРА1)}^2} = 153,26 \text{ кВА} \quad (10)$$

Получим средний коэффициент использования для ШРА1 по формуле 11.

$$K_{и.ср} = \frac{P_{см(ШРА1)}}{P_{н(ШРА1)}} = \frac{131,21}{226,04} = 0,58 \quad (11)$$

Рассчитаем показатель силовой сборки в группе по формуле 12.

$$m = \frac{P_{н.нб}}{P_{н.нм}} = \frac{140}{20} = 7 \quad (12)$$

Рассчитав числовое значение показателя сборки группы, среднего коэффициента использования и общее число электроприемников, подключенных к ШРА1, определим эффективное число электроприемников. Так как $n \geq 5$, $K_{и.ср} \geq 0,2$, и $m \geq 3$, то эффективное число электроприемников находим по формуле 13 [1].

$$n_3 = \frac{2 \cdot \Sigma_1^n P_n}{P_{н.нб}} = \frac{2 \cdot 226,04}{140} = 3,23 = 3 \quad (12)$$

Рассчитаем коэффициент максимума активной нагрузки по формуле 13.

$$K_M = 1 + \frac{1,5}{n_3} \cdot \sqrt{\frac{1 - K_{u.cp}}{K_{u.cp}}} = 1 + \frac{1,5}{3} \cdot \sqrt{\frac{1 - 0,58}{0,58}} = 1,71 \quad (13)$$

Определим коэффициент максимума реактивной нагрузки. В процессе проектирования принято выбирать коэффициент в зависимости от числа эффективных приёмников. Если эффективное число электроприемников $n_3 \leq 10$, то значение K_M принимают равным 1,1, если $n_3 > 10$, то $K_M = 1$. Отсюда следует, что коэффициент максимума реактивной нагрузки ШРА1 равен 1,1.

В ходе расчёта определим коэффициенты активной и реактивной мощности по формулам 14 и 15.

$$\cos \varphi = \frac{P_{cm(ШРА1)}}{S_{cm(ШРА1)}} = \frac{131,21}{153,26} = 0,86 \quad (14)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{cm(ШРА1)}}{P_{cm(ШРА1)}} = \frac{77,49}{131,21} = 0,59 \quad (15)$$

Рассчитаем максимальную активную нагрузку на ШРА1 по формуле 16.

$$P_{M(ШРА1)} = P_{cm(ШРА1)} \cdot K_M = 131,21 \cdot 1,71 = 224,32 \text{ кВт} \quad (16)$$

Рассчитаем максимальную реактивную нагрузку на ШРА1 по формуле 17.

$$Q_{M(ШРА1)} = Q_{cm(ШРА1)} \cdot K_M' = 77,49 \cdot 1,1 = 85,24 \text{ квар} \quad (17)$$

Рассчитаем максимальную полную нагрузку на ШРА1 по формуле 18.

$$S_{M(\text{ШРА1})} = \sqrt{P_{M(\text{ШРА1})}^2 + Q_{M(\text{ШРА1})}^2} = 239,97 \text{ кВА} \quad (18)$$

Для остальных ШРА и РП расчёт производится по аналогии. Для РП число эффективных приёмников $n_э = n = 5$. Для ШРА2 $n_э$ не определяется, а максимальную активную нагрузку находят по формуле 19.

$$P_M = P_{см} \cdot K_э, \quad (18)$$

где $K_э$ – коэффициент загрузки.

Для ШРА3 $n_э$ рассчитаем по формулам 19-22 [1].

$$n^* = \frac{n_1}{n} \quad (19)$$

$$P^* = \frac{P_{n1}}{P_n} \quad (20)$$

$$n_э^* = F(n^*, P^*) \quad (21)$$

$$n_э = n_э^* \cdot n \quad (22)$$

Полученные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета нагрузок на ШРА и РП.

Параметр	ШРА и РП			
	ШРА1	РП	ШРА2	ШРА3
Рн, кВт	226,04	16,25	154	131,8
Рсм, кВт	131,21	3,25	25,6	19,59
Qсм, квар	77,49	5,62	33,2	32,73
Scм, кВА	153,26	6,49	42	38,19

Продолжение таблицы 5

Параметр	ШРА и РП			
	ШРА1	РП	ШРА2	ШРА3
Ки.ср	0,58	0,2	0,17	0,15
m	7	1	2,75	6,18
пэ	3	5	-	8,55
Км	1,71	4	0,9 (длительный режим)	2,23
Км'	1,1	1,1	1,1	1,1
cosφ	0,86	0,50	0,61	0,51
tgφ	0,59	1,73	1,30	1,67
Pm, кВт	224,32	13	23,04	43,65
Qm, квар	85,24	6,18	36,52	36
Sm, кВА	239,97	14,40	43,18	56,58

Проведем расчеты максимальных токов на РУ.

1.7 Расчет максимальных токов на распределительных устройствах

Определим значения максимальных токов на РУ по формуле 23.

$$I_{m(ШРА1)} = \frac{S_{M(ШРА1)}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{239,97}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 346,37 \text{ A} \quad (23)$$

$$I_{m(ШРА2)} = \frac{S_{M(ШРА2)}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{43,18}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 62,33 \text{ A}$$

$$I_{m(ШРА3)} = \frac{S_{M(ШРА3)}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{56,58}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 81,67 \text{ A}$$

$$I_{m(РП)} = \frac{S_{cm(РП)}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{14,40}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 20,78 \text{ A}$$

$$I_{m(ЩО)} = \frac{S_{cm(ЩО)}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{5,28}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 7,62 \text{ A}$$

На основе рассчитанных данных составим сводную ведомость нагрузок и внесём все найденные данные в таблицу 6.

Вывод по разделу 1.

В данном разделе провели расчет ожидаемых электрических нагрузок по производству. Результатом расчетов стало определение ожидаемых электрических нагрузок, предварительный выбор внутриводской схемы электроснабжения. На основании полученных результатов далее проведем расчет количества и установленной мощности трансформаторов предприятия.

Таблица 6 – Сводная ведомость нагрузок по производству

Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная							Нагрузка за смену						Нагрузка максимальная			
	P_n кВ т	n	$P_{гр}$ кВт	K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	m	$P_{см}$ кВт	$Q_{см}$ квар	$S_{см}$ кВА	$n_{э}$	K_m	K_m'	P_M кВт	Q_M квар	S_M кВ А	I_M
Кондиционеры	6,5	5	16,2 5	0,2	0,5	1,73	-	3,25	5,62 3	6,49 4	-	-	-	-	-	-	-
Всего на РП	-	5	16,2 5	0,2	0,5	1,73	1	3,25	5,62 3	6,49 4	5	4	1,1	13	6,18 5	14, 4	20,7 8
ШРА1																	
Силовая нагрузка	52	4	66,0 4	0,2	0,4	2,29	-	25,2	15,6 2	29,6 5	-	-	-	-	-	-	-
Компрессоры винторезные	28	5	140	0,7 5	0,85	0,62	-	105	65,1	123, 5	-	-	-	-	-	-	-
Вентиляторы	10	2	20	0,6 5	0,8	0,75	-	13	9,75	16,2 5	-	-	-	-	-	-	-
Всего на ШРА1	-	1 1	226	0,5 8	0,85 6	0,59 1	7	131, 2	77,4 9	153, 3	3,22 9	1,7 1	1,1	224, 3	85,2 4	240	346, 4
ШРА2																	
Силовая нагрузка	33	2	66	0,1 7	0,65	1,17	-	11,2 2	13,1 3	17,2 7	-	-	-	-	-	-	-
Нагрузка производственных помещений	15	2	30	0,1 7	0,65	1,17	-	5,1	5,96 7	7,85	-	-	-	-	-	-	-
Станочное отделение	34	1	34	0,1 6	0,55	1,52	-	5,44	8,26 9	9,89 8	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 6

Наименование РУ и электроприемников			Нагрузка установленная						Нагрузка за смену						Нагрузка максимальная			
			P_n кВт	n	$P_{зр}$ кВт	K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	m	$P_{см,}$ кВт	$Q_{см,}$ квар	$S_{см,}$ кВА	$n_э$	K_m	K_m'	P_M кВт	Q_M квар	S_M кВА
Офисы	12	2	2 4	0,16	0,55	1,52	-	3,84	5,837	6,987	-	-	-	-	-	-	-	-
Всего на ШРА-2		7	1 5 4	0,166	0,60 9	1,29 7	2,75	25,6	33,2	42	не опр- ся	0,9	1,1	23,04	36,52	43,18	62, 33	
ШРА3																		
Станочное отделение	34	2	68	0,16	0,55	1,52	-	10,8 8	16,5 4	19,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Система теплоснабжения	11	1	11	0,12	0,5	1,73	-	1,32	2,28 4	2,63 8	-	-	-	-	-	-	-	-
Прочая нагрузка	5, 2	4	20,8	0,14	0,5	1,73	-	2,91 2	5,03 8	5,81 9	-	-	-	-	-	-	-	-
Общая силовая нагрузка	16	2	32	0,14	0,45	1,98	-	4,48	8,87	9,93 8	-	-	-	-	-	-	-	-
Всего на ШРА3	-	9	131,8	0,14 9	0,51 3	1,67 1	6,18	19,5 9	32,7 3	38,1 9	8,55	2,22 8	1,1	43,65	36	56,58	81, 67	
ЩО																		
ОУ	-	-	8,35	0,6	0,95	0,33	-	5,01	1,65	5,28	-	-	-	3	0,55	3,06	7,6 2	
Всего на ШНН	-	-	-	-	-	-	-	184, 7	150, 7	245, 2	-	-	-	307	164,5	357,2	-	

2 Выбор числа и мощности трансформаторов производства трансформаторной подстанций с учётом компенсации реактивной мощности

2.1 Расчёт и выбор трансформаторов без компенсирующего устройства

Рассчитаем потери в трансформаторе по формулам 24-26 [15].

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{M(ШНН)} = 0,02 \cdot 357,2 = 7,14 \text{ кВт} \quad (24)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{M(ШНН)} = 0,1 \cdot 357,2 = 35,72 \text{ квар} \quad (25)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{7,14^2 + 35,72^2} = 36,43 \text{ кВА} \quad (26)$$

Определим расчетную мощность трансформатора с учетом потерь по формуле 27.

$$S_T = 0,7 \cdot (S_{M(ШНН)} + \Delta S_T) = 0,7 \cdot (357,2 + 36,43) = 275,54 \text{ кВА} \quad (27)$$

где 0,7 – это коэффициент загрузки двух трансформаторной подстанции. Так, как цех обработки деталей имеет электрооборудование, которое относится к второй категории надежности, то делаем выбор в пользу двухтрансформаторной подстанции с двумя трансформаторами типа ТМ-250-10/0,4. Технические данные трансформатора даны в таблице 7.

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

Тип	S _н , кВА	U _н , кВ		U _к , %	Потери, кВт		I _{хх} , %
		ВН	НН		P _{хх}	P _{кз}	
ТМ-250-6/0,4	250	10	0,4	4,5	0,53	3,7	1,2

2.2 Расчет и выбор компенсирующего устройства

Рассчитаем значение коэффициентов активной и реактивной мощности на ШНН без компенсирующего устройства по формулам 28 и 29, подставив значения из «Сводной ведомости нагрузок по цеху» таблицы 6 [16].

$$\cos \varphi = \frac{P_{(ШНН)}}{S_{(ШНН)}} = \frac{307}{357,2} = 0,86 \quad (28)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{(ШНН)}}{P_{(ШНН)}} = \frac{164,5}{307} = 0,46 \quad (29)$$

Сведем необходимые данные для расчёта КУ в таблицу 8.

Таблица 8 – Параметры нагрузки на ШНН

Параметр	cosφ	tgφ	P _м , кВт	Q _м , квар	S _м , кВА
Всего на ШНН без КУ	0,86	0,46	307	164,5	357,2

Рассчитаем мощность компенсирующего устройства по формуле 30

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_M \cdot (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_k) = 0,9 \cdot 307 \cdot (0,46 - 0,33) = 35,92 \text{ квар} \quad (30)$$

где α - коэффициент, учитывающий повышение cosφ естественным способом, принимается $\alpha=0,9$ $\operatorname{tg} \varphi_k=0,33$ (после компенсации), так как cosφ_к приняли 0,95.

Исходя из расчётной реактивной мощности компенсирующего устройства, выбираем конденсаторную установку УК-0,4-20 [17].

Технические характеристики данного КУ представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики КУ

Тип	Un, кВ	Qк.ст, квар	Кол-во ступеней регулирования	Шаг регулирования, квар
УК-0,4-20	0,4	20	4	5

Рассчитаем фактическое значение коэффициента реактивной мощности после компенсации по формуле 31.

$$tg\varphi_{\phi} = tg\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_M} = 0,46 - \frac{2 \cdot 20}{0,9 \cdot 307} = 0,34 \quad (31)$$

Рассчитав значение $tg\varphi_{\phi}$, то значение коэффициента мощности равняется $\cos \varphi_{\phi} = 0,95$.

2.3 Расчет трансформатора с компенсирующим устройством

Произведем расчет мощности трансформатора с учетом компенсирующего устройства по формуле 32 [16].

$$S_T = 0,7 \cdot S_{M(ШНН)} = 0,7 \cdot 357,2 = 250,04 \text{ кВА} \quad (32)$$

На основе полученных расчетов принимаем трансформатор ТМ-250-10/0,4.

Сведём рассчитанные значения в таблицу 10.

Таблица 10 - Сводная ведомость нагрузок

Параметр	cosφ	tgφ	P _м , кВт	Q _м , квар	S _м , кВА
Всего на ШНН без КУ	0,86	0,46	307	164,5	357,2
КУ				2×20	
Всего на ШНН с КУ	0,95	0,34	307	124,5	331,28
Потери			7,14	35,72	36,43
Всего на ВН с КУ			314,14	160,22	352,64

Найдем коэффициенты загрузки трансформатора по формуле 33

$$K_3 = \frac{S_{(BH)}}{N_T \cdot S_T} = \frac{352,64}{2 \cdot 250} = 0,71 \quad (33)$$

Выбранный трансформатор при максимальном потреблении загружен на 71%, что удовлетворяет требуемому диапазону загрузки 70-80% от S_T .

Вывод по разделу 2.

В данном разделе выбрано количество и установленная мощности трансформаторов предприятия (ТМ-250/10/0,4 кВ) с учетом мероприятий по компенсации реактивной мощности. Выбрано компенсирующее устройство типа УК-0,4-20 с четырьмя ступенями регулирования на напряжение 0,4 кВ.

3 Выбор и обоснование схемы электроснабжения производства

Так как на производстве присутствуют ЭП, которые относятся ко второй категории электроснабжения, то нужно расположить двухтрансформаторную подстанцию в КТП. На основе этого при расчете пункта 1 нагрузка была равномерно распределена по секциям шин [18].

В пункте 1 была определена предварительная схема электроснабжения производства. Окончательный вариант схемы электроснабжения с учетом выбранных трансформаторов и компенсирующих устройств представлен на рисунке 9.

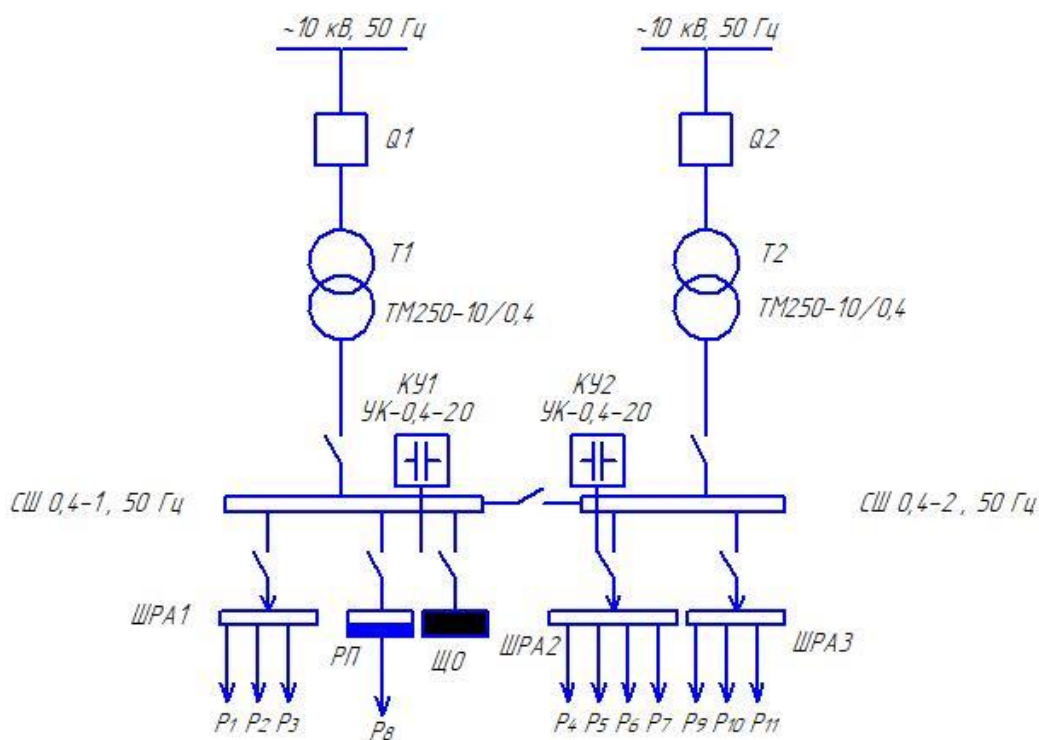


Рисунок 9 – Окончательная схема электроснабжения

Поскольку внутри производства расположено большое количество электроприёмников и они распределены равномерно по зданию, то выбираем магистральную схему электроснабжения.

4 Выбор и обоснование схемы внешнего электроснабжения производства

Расчет электрических нагрузок приходящуюся ГПП. Которая расположена в 4,5 км от предприятия [13]. Данный расчет необходим для определения необходимости замены установленных силовых трансформаторов на ГПП в случае подключения предприятия по производству пластмассовых изделий [26].

Для определения расчетных нагрузок ПС используются контрольные замеры максимумов нагрузок (зимние максимумы), представленные в таблице 11.

Таблица 11 – Контрольные замеры максимумов нагрузок (зимние максимумы)

Время, ч	Итого нагрузка			Т-1			Т-2		
	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА
0	4068,1	1309,0	4273,5	1817,2	593,6	1911,7	2250,9	715,4	2361,8
2	4667,7	1508,1	4905,3	2105,0	693,2	2216,2	2562,7	814,9	2689,1
4	4767,5	1541,3	5010,5	2152,9	709,7	2266,9	2614,6	831,5	2743,6
6	5866,7	1906,3	6168,7	2680,5	892,3	2825,1	3186,2	1014,1	3343,7
8	6666,1	2171,8	7011,0	3064,3	1025,0	3231,2	3601,9	1146,8	3780,0
10	7465,5	2437,3	7853,2	3447,9	1157,7	3637,1	4017,5	1279,5	4216,4
12	7665,3	2503,6	8063,8	3543,9	1190,9	3738,6	4121,5	1312,7	4325,5
14	7765,3	2536,7	8169,1	3591,9	1207,5	3789,4	4173,4	1329,3	4380,0
16	7865,2	2569,9	8274,4	3639,8	1224,1	3840,1	4225,4	1345,9	4434,6
18	9563,9	3134,1	10064,4	4455,2	1506,1	4702,9	5108,7	1627,9	5361,8
20	8964,3	2935,0	9432,6	4167,4	1406,6	4398,4	4796,9	1528,4	5034,5
22	9463,9	3100,9	9959,0	4407,2	1489,5	4652,1	5056,7	1611,3	5307,3
24	9064,3	2968,2	9537,9	4215,3	1423,2	4449,1	4848,9	1545,0	5089,1

Наибольшие нагрузки отмечаются в 18.00, следовательно, принимаются расчетные нагрузки:

$P_{max} = 14345,8$ кВт; $Q_{max} = 4785,9$ квар; $S_{max} = 15123,1$ кВА.

Трансформаторы выбираются по мощности согласно условию:

$$S_m \geq K_{з.н.} \cdot S_{max}, \text{ кВА}, \quad (4.1)$$

где $K_{з.н.} = 0,7$ – «нормативный коэффициент загрузки силовых трансформаторов, для двухтрансформаторных ПС» [3]. С учетом вновь подключаемой нагрузкой полимерного предприятия определим загрузку трансформаторов ГПП в час максимума.

$$S_m \geq 0,7 \cdot 15734,13 = 11013,89 \text{ кВА};$$

$$S_m = 16000 \text{ кВА} \geq 11013,89 \text{ кВА}.$$

Принимаются к установке два трансформатора марки ТДН-16000/110.

Так как на ГПП уже установлены трансформаторы установленной мощностью 16 МВА, необходимость в замене существующих силовых трансформаторов, по условию загрузки [4], отсутствует.

Вывод по разделу 4.

В данном разделе проведена проверка загрузки установленных силовых трансформаторов на ГПП 110 кВ, от которой будет запитано проектируемое производство медицинских изделий. По результатам расчетов установлено, что замена существующих трансформаторов типа ТДН-10000/110/10 кВ не требуется.

5 Предварительный выбор электрооборудования

5.1 Выбор шинпроводов, кабелей и автоматических выключателей

Распределительные шинпроводы рассчитаны на токи до 630 А [5]. Так, выбираем ШРА1, ШРА2, ШРА3 [20].

При выборе кабелей и автоматических выключателей электроприёмника нужно знать значение номинального тока [21]. Для трехфазных приёмников берём 4-х жильный кабель, а однофазных - 2-х жильный. Рассчитаем значение номинального тока для сварочных аппаратов по формуле 34 [17].

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot \cos \varphi} = \frac{52}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,4} = 187,64 \text{ А} \quad (34)$$

Для данного электроприёмника был сделан выбор в пользу кабеля ВВГ 4×70 мм² (допустимая нагрузка 231 А) и автоматического выключателя ВА-51-35М2-200А. Используя формулу 34, рассчитаем номинальные токи для остальных приёмников и сведём значения результатов в таблицу 12.

Таблица 12 – Выбранные кабели и автоматические выключатели для электроприёмников

№ на плане	Наименование Электрооборудования	P _н , кВт	cosφ	I _н , А	Кабель	Автоматический выключатель
1...4	Силовая нагрузка	52	0,4	187,64	ВВГ 2x70	ВА-51-35М2-200А
5...9	Компрессоры винторезные	28	0,85	47,55	ВВГ 4x10	ВА-51-35М2-63А
10,11	Вентиляторы	10	0,8	18,04	ВВГ 4*1,5	ВА-51-35М2-25А
12,13	Силовая нагрузка	33	0,65	73,28	ВВГ 4*16	ВА-51-35М2-80А
14,15	Нагрузка торговых помещений	15	0,65	33,31	ВВГ 4*4	ВА-51-35М2-40А

Продолжение таблицы 12

№ на плане	Наименование Электрооборудования	P_n , кВт	$\cos\varphi$	I_n , А	Кабель	Автоматический выключатель
16,24,25	Климатическая система 2	34	0,55	89,23	ВВГ 4*25	ВА-51-35М2-100А
17,18	Офисы	12	0,55	31,49	ВВГ 4*4	ВА-51-35М2-40А
19...23	Лифты	6,5	0,5	18,76	ВВГ 4*1,5	ВА-51-35М2-25А
26	Система теплоснабжения	11	0,5	31,75	ВВГ 4*4	ВА-51-35М2-40А
27...30	Прочая нагрузка	5,2	0,5	15,01	ВВГ 4*1,5	ВА-51-35М2-25А
31,32	Общая силовая нагрузка	16	0,45	51,32	ВВГ 4x10	ВА-51-35М2-63А

Рассчитаем ток на ШНН по формуле 35.

$$I_H = \frac{P_M}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot \cos \varphi} = \frac{314,14}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,95} = 477,29 \text{ А} \quad (35)$$

Выбираем автоматический выключатель ВА-51-39-630А [8]. Для ШРА и РП определим параметры таким же способом и сведем в таблицу 13.

Таблица 13 – Выбранные кабели и автоматические выключатели для РП

Наименование электроприёмника	I_n , А	Кабель	Автоматический выключатель
ШРА1	346,37	ВВГ 4×185	ВА-51-35М2-400А
ШРА2	62,33	ВВГ 4×16	ВА-51-35М2-63А
ШРА3	81,67	ВВГ 4×25	ВА-51-35М2-100А
РП	20,78	ВВГ 4×2,5	ВА-51-35М2-25А
ШНН	477,29	-	ВА-51-39-630А

5.2 Выбор трансформаторов тока

Для ШРА1 ($I_H=346,37$ А) выбираем трансформатор тока ТТИ-40 400/5А 5ВА (Первичный ток 400 А, вторичный 5А).

Для ШРА2 ($I_H=62,33$ А) выбираем трансформатор тока ТТИ-40 63/5А 5ВА (Первичный ток 63 А, вторичный 5А).

Для ШРА3 ($I_H=81,67$ А) выбираем трансформатор тока ТТИ-40 100/5А 5ВА (Первичный ток 100 А, вторичный 5А).

Для РП ($I_H=20,78$ А) выбираем трансформатор тока ТТИ-40 25/5А 5ВА (Первичный ток 25 А, вторичный 5А).

Для ШНН ($I_H=477,29$ А) выбираем трансформатор тока ТТИ-40 500/5А 5ВА (Первичный ток 500 А, вторичный 5А) [9].

Вывод по разделу 5.

В данном разделе проведен предварительный выбор электрооборудования системы электроснабжения деревообрабатывающего производства, на основании выбранного электрооборудования в работе далее проведем расчет токов короткого замыкания.

6 Расчет токов короткого замыкания

Исходя из пункта ПУЭ 3.1.8 «Все электроприёмники должны оборудоваться защитой от короткого замыкания, которая должна обеспечить наименьшее отключение аварийной линии. Защита должна обеспечивать отключение поврежденного участка при КЗ в конце защищаемой линии: одно-, двух- и трехфазных коротких замыканий- в сетях с глухозаземленной нейтралью» [10]. Обычно в сетях с напряжением до 1 кВ имеется глухозаземленная нейтраль, поэтому в качестве расчетных принимают однофазные, двухфазные и трехфазные КЗ.

При расчете показателя тока КЗ строят схему замещения необходимой линии, после этого параметры схемы замещения приводят к одному напряжению, принимаемое за базисное. При расчёте за базисную ступень обычно берут ступень с напряжением 400 В. При этом, все сопротивления выражаются в именованных единицах.

Составив схему для расчета токов КЗ и продемонстрируем её на рисунке 10.

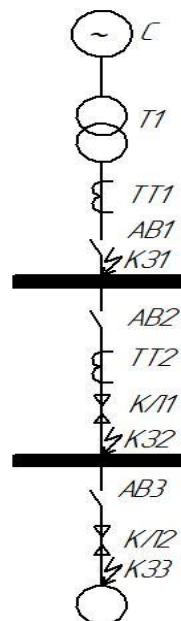


Рисунок 10 – Расчетная схема

6.1 Расчет параметров схемы замещения

Составим схему замещения для расчета КЗ (рисунок 11).

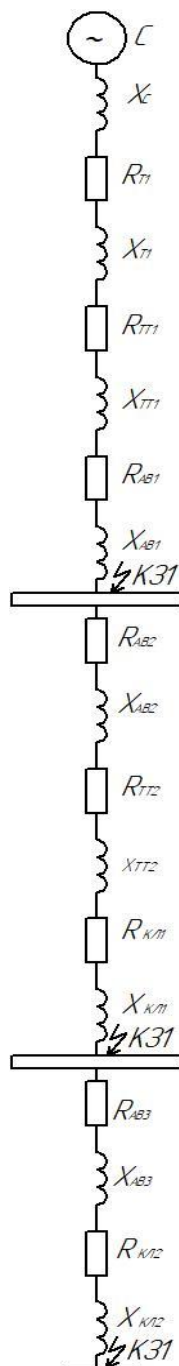


Рисунок 11 – Схема замещения

Определим параметры схемы замещения:

- система:

$$X_C = \frac{U_6^2}{S_H} = \frac{(0,4 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 10^3} = 1,6 \text{ мОм} \quad (36)$$

где $U_6 = 0,4 \text{ кВ}$

Сопротивления трансформатора Т1 возьмём из «Таблица 1.9.1. Сопротивление трансформаторов 10/0.4 кВ» [1].

- трансформатор Т1:

$$R_{T1} = 9,4 \text{ мОм} \quad (37)$$

$$Z_{T1} = 28,7 \text{ мОм} \quad (38)$$

$$X_{T1} = 27,2 \text{ мОм} \quad (39)$$

Сопротивления трансформаторов тока ТТ1 и ТТ2 возьмём из «Таблица 1.9.2. Значение сопротивлений первичных обмоток катушечных трансформаторов тока ниже 1 кВ» [1]. Значения сопротивлений автоматических выключателей АВ1, АВ2 и АВ3 определим по «Таблица 1.9.3. Значение сопротивлений автоматических выключателей, рубильников, разъединителей до 1 кВ» [23]. Показатели удельных сопротивлений кабелей R_0 и X_0 в кабельных линиях КЛ1 и КЛ2 найдём в «Таблица 1.9.5. Значение удельных сопротивлений кабелей, проводов» [24].

- трансформатор тока ТТ1:

$$R_{ТТ1} = 0,05 \text{ мОм}$$

$$X_{ТТ1} = 0,07 \text{ мОм}$$

- автоматический выключатель АВ1:

$$R_{АВ1} = 0,12 \text{ мОм}$$

$$X_{АВ1} = 0,13 \text{ мОм}$$

- автоматический выключатель АВ2:

$$R_{AB2} = 1,3 \text{ мОм}$$

$$X_{AB2} = 1,2 \text{ мОм}$$

- трансформатор тока ТТ2:

$$R_{TT2} = 2,7 \text{ мОм}$$

$$X_{TT2} = 1,7 \text{ мОм}$$

- кабельная линия КЛ1:

$$R_{KL1} = R_0 \cdot l = 0,74 \cdot 29 = 21,46 \text{ мОм} \quad (40)$$

$$X_{KL1} = X_0 \cdot l = 0,0662 \cdot 29 = 1,92 \text{ мОм} \quad (41)$$

- автоматический выключатель АВ3:

$$R_{AB3} = 2,4 \text{ мОм}$$

$$X_{AB3} = 2 \text{ мОм}$$

- кабельная линия КЛ2:

$$R_{KL2} = R_0 \cdot l = 1,84 \cdot 0,8 = 1,47 \text{ мОм} \quad (40)$$

$$X_{KL2} = X_0 \cdot l = 0,073 \cdot 0,8 = 0,0584 \text{ мОм} \quad (41)$$

Проведем расчет токов короткого замыкания в рассматриваемых точках.

6.2 Расчет токов КЗ в трех точках

6.2.1 Расчет короткого замыкания в точке КЗ1

Определим при помощи расчёта эквивалентное активное и реактивное сопротивление, а также суммарное полное сопротивление участка цепи до точки КЗ1 по формулам 42-44 [12]:

$$R_{K31} = R_{T1} + R_{TT1} + R_{AB1} = 9,57 \text{ мОм} \quad (42)$$

$$X_{K31} = X_c + X_{T1} + X_{TT1} + X_{AB1} = 29 \text{ мОм} \quad (43)$$

$$Z_{K31} = \sqrt{R_{K31}^2 + X_{K31}^2} = 30,54 \text{ мОм} \quad (44)$$

Рассчитаем ток трехфазного металлического короткого замыкания по формуле 44:

$$I_{K31} = \frac{U_{H.HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K31}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 30,54 \cdot 10^{-3}} = 7,56 \text{ кА} \quad (45)$$

Найдем ток трехфазного дугового КЗ по формуле 45-46

$$I_{K31(D)} = I_{K31} \cdot K_{C1} = 7,56 \cdot 0,65 = 4,91 \text{ кА} \quad (t < 0,05c) \quad (46)$$

$$I_{K31(D)} = I_{K31} \cdot K_{C2} = 7,56 \cdot 0,74 = 5,59 \text{ кА} \quad (t > 0,05c) \quad (47)$$

где K_{C1} и K_{C2} – Снижающие коэффициенты, найденные по таблице [12].
зависимость также указана в приложении А, рисунок А1.

Определим по расчёту значение трехфазного ударного тока. Необходимо знать численное значение тока металлического короткого замыкания и ударный коэффициент K_y , который рассчитывается из соотношения X/R . Отношение равно $\frac{X}{R} = \frac{29}{9,57} = 3,03$. Ударный коэффициент

системы до точки КЗ1 равен 1,37 [11], и приложение А, рисунок А.1. Найдем ударный коэффициент по формуле 48.

$$I_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K31} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 7,56 = 14,65 \text{ кА} \quad (48)$$

6.2.2 Расчет короткого замыкания в точке КЗ2

Вычислим эквивалентное активное и реактивное сопротивление, а также суммарное полное сопротивление участка цепи до точки КЗ1 по формулам 48-50 [12].

$$R_{K32} = R_{T1} + R_{TT1} + R_{AB1} + R_{AB2} + R_{TT2} + R_{KL1} = 35,03 \text{ мОм} \quad (49)$$

$$X_{K32} = X_C + X_{T1} + X_{TT1} + X_{AB1} + \\ + X_{AB2} + X_{TT2} + X_{KL1} = 33,82 \text{ мОм} \quad (50)$$

$$Z_{K32} = \sqrt{R_{K32}^2 + X_{K32}^2} = 48,69 \text{ мОм} \quad (51)$$

Вычислим ток трехфазного металлического короткого замыкания по формуле 52:

$$I_{K32} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 48,69 \cdot 10^{-3}} = 4,74 \text{ кА} \quad (52)$$

Найдем ток трехфазного дугового КЗ по формуле 53-54

$$I_{K32(D)} = I_{K32} \cdot K_{C1} = 4,74 \cdot 0,72 = 3,41 \text{ кА} \quad (t < 0,05\text{с}) \quad (53)$$

$$I_{K32(D)} = I_{K32} \cdot K_{C2} = 4,74 \cdot 0,8 = 3,79 \text{ кА} \quad (t > 0,05\text{с}) \quad (54)$$

где K_{C1} и K_{C2} – снижающие коэффициенты.

Рассчитаем трехфазный ударный ток. Для этого необходимо знать значение тока металлического короткого замыкания и ударный коэффициент

K_y , который в свою очередь определяется из соотношения X/R . Отношение равно $\frac{X}{R} = \frac{33,82}{35,03} = 0,97$, а ударный коэффициент системы до точки КЗ1 равен 1,05. Найдем ударный коэффициент по формуле 55.

$$I_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K32} = \sqrt{2} \cdot 1,05 \cdot 0,97 = 1,197 \text{ кА} \quad (55)$$

6.2.3 Расчет короткого замыкания в точке КЗ2

Вычислим эквивалентное активное и реактивное сопротивление, а также суммарное полное сопротивление участка цепи до точки КЗ1 по формулам 56-58 [25]:

$$\begin{aligned} R_{K33} &= R_{T1} + R_{TT1} + R_{AB1} + R_{AB2} + R_{TT2} + R_{KL1} + R_{AB3} + R_{KL2} = \\ &= 38,90 \text{ мОм} \end{aligned} \quad (56)$$

$$\begin{aligned} X_{K33} &= X_C + X_{T1} + X_{TT1} + X_{AB1} + X_{AB2} + X_{TT2} + X_{KL1} + X_{AB3} + X_{KL2} = \\ &= 35,88 \text{ мОм} \end{aligned} \quad (57)$$

$$Z_{K33} = \sqrt{R_{K33}^2 + X_{K33}^2} = 52,92 \text{ мОм} \quad (58)$$

Вычислим ток трехфазного металлического короткого замыкания по формуле 59:

$$I_{K33} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 52,92 \cdot 10^{-3}} = 4,36 \text{ кА} \quad (59)$$

Найдем ток трехфазного дугового КЗ по формуле 60-61:

$$I_{K33(D)} = I_{K33} \cdot K_{C1} = 4,36 \cdot 0,75 = 3,27 \text{ кА} \quad (t < 0,05 \text{ с}) \quad (60)$$

$$I_{K33(D)} = I_{K33} \cdot K_{C2} = 4,36 \cdot 0,83 = 3,62 \text{ кА} \quad (t > 0,05 \text{ с}) \quad (61)$$

где K_{C1} и K_{C2} – снижающие коэффициенты.

Рассчитаем трехфазный ударный ток [27]. Для этого необходимо знать значение тока металлического короткого замыкания и ударный коэффициент K_y , который в свою очередь определяется из соотношения X/R . Отношение равно $\frac{X}{R} = \frac{35,88}{38,90} = 0,92$, а ударный коэффициент системы до точки КЗ1 равен 1,05 [26]. Найдем ударный коэффициент по формуле 62.

$$I_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{KЗ3} = \sqrt{2} \cdot 1,05 \cdot 4,36 = 6,47 \text{ кА} \quad (62)$$

6.3 Проверка оборудования по ударному току

Нужно проверить каждый автоматический выключатель, исходя из значения ударного тока [27].

АВ1 (ВА-51-39-630А):

$I_{yKЗ1} = 14,65 \text{ кА}$, $I_{yAB1} = 40 \text{ кА}$ – Автоматический выключатель прошёл проверку.

АВ2 (ВА-51-35М2-100А):

$I_{yKЗ2} = 7,04 \text{ кА}$, $I_{yAB2} = 20 \text{ кА}$ – Автоматический выключатель прошёл проверку.

АВ3 (ВА-51-35М2-63А):

$I_{yKЗ3} = 6,47 \text{ кА}$, $I_{yAB3} = 8 \text{ кА}$ – Автоматический выключатель прошёл проверку.

Вывод по разделу 6.

В данном разделе проведен расчет токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ производства медицинских изделий. На основании полученных данных была проведена проверка автоматических выключателей на отключающую способность. По результатам проверки установлено, что все выбранные автоматические выключатели имеют высокий коммутационной ресурс.

7 Релейная защита

Защиты силового трансформатора ТМ-250/6/0,4 в РУ-6 кВ обеспечивает блок релейной защиты типа Seram 1000+ T40.

Токовая отсечка рассчитывается по формуле [11]:

$$I_{C31} = k_{отс} \cdot I_{K1}, \quad (35)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, для SEPAM равен 1,1–1,15, согласно рекомендаций Schneider Electric.

$$I_{C31} = 1,1 \cdot 3160 = 3476 \text{ A.}$$

$$I_{C32} = k_{отс} \cdot I_{ном} \cdot k_{бр}, \quad (36)$$

где $K_{бр}=3-5$ коэффициент броска тока намагничивания, принимается $k_{бр}=5$, согласно рекомендаций Schneider Electric.

$$I_{C32} = 1,1 \cdot 23 \cdot 5 = 126,5 \text{ A.}$$

Уставки защиты для данного типа терминала выбираются в первичных значениях поэтому:

$$I_{CP} = 130 \text{ A.}$$

Чувствительность защиты, в таком случае составит: [11]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{I_{K1}^3}{I_{cp}}. \quad (37)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{3160}{130} = 21,05 > 1,2.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что обеспечивается чувствительность защиты.

Максимальная токовая защита рассчитывается по формуле [11]:

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{сзп}} \cdot I_{\text{макс}}}{k_{\text{в}}}, \quad (38)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, для терминалов SEPAM принимается

1,1;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, для терминалов SEPAM принимается

0,935;

$k_{\text{сзп}}$ – коэффициент самозапуска электродвигателей обобщенной нагрузки; если двигателя не оборудованы устройством самозапуска, применяется 1,2÷1,3.

$$I_{\text{сз}} = \frac{1,1 \cdot 1,3 \cdot 23}{0,935} = 35,18 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ср}} = 40 \text{ А.}$$

Выдержку времени для данной защиты выбираем 500 мс.

Чувствительность защиты, в таком случае составит [11]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{I_{\text{КЗ.мин.К4}}^3}{I_{\text{ср}}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{3160}{40} = 68,42 > 1,5.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что обеспечивается чувствительность защиты. Произведем расчет защиты от перегрузки [11]:

$$I_{CЗ} = \frac{k_{отс} \cdot I_{ном}}{k_{\theta}} = \frac{1,1 \cdot 23}{0,935} = 27,06 \text{ А.}$$

$$I_{CP} = 30 \text{ А.}$$

Для защиты от перегрузки выставляем время срабатывания 9 сек.

Схема подключения блока релейной защиты типа Seram 1000+ T40 к сети электроснабжения приведена на рисунке 12.

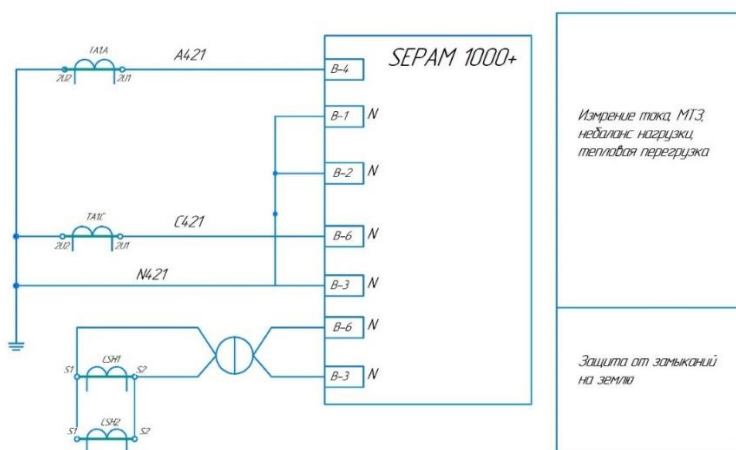


Рисунок 12 – Схема подключения блока релейной защиты типа Seram 1000+ T40

Схема подключения принята за основу.

Выводы по разделу 7.

В результате выполнения раздела работы сделаны следующие выводы:

- установлено, что защит силового трансформатора ТМ-250/6/0,4 в РУ-6 кВ обеспечивается блоком релейной защиты типа Seram 1000+ T40.

Чувствительность защиты обеспечивается;

- схема подключения блока релейной защиты типа Seram 1000+ T40 принята за основу.

Заключение

Главной целью выполнения выпускной квалификационной работы было создание системы электроснабжения деревообрабатывающего производства. В результате выполнения работы были рассчитаны значения электрических нагрузок и определена предварительная схема электроснабжения. Далее был расчёт общего рабочего освещения цеха, значение общей мощности которого составила 8,35 кВт. Затем нагрузка была распределена между секциями шин. Нагрузка на первой секции получилась равной 250,64 кВт, а на второй секции 285,8 кВт. В итоге была составлена сводная ведомость нагрузок по производству.

На следующем этапе был произведён выбор трансформаторов и компенсирующих устройств. Учитывая, что деревообрабатывающего производства имеет ЭП, которые относятся ко 1 категории надёжности, то была сделан выбор подстанции, состоящей из двух трансформаторов типа ТМ250-6/0,4, а также два компенсирующих устройства УК-0,4-20. Максимальная нагрузка на ШНН вышла 352,64 кВА, а максимальный ток равен 477,29А.

В дальнейшем в работе была выбрана итоговая схема электроснабжения деревообрабатывающего производства и построен план электроснабжения. Так как на территории здания электроприёмники расположены равномерно, то была выбрана магистральная схема электроснабжения.

Затем были подобраны кабели питания, автоматические выключатели и трансформаторы тока. После был совершён расчёт токов короткого замыкания, а также ударных токов.

Финальным этапом была проверка автоматических выключателей по критерию ударного тока КЗ. В итоге все выключатели успешно прошли проверку.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Вакуумные Выключатели 6-20 кВ [Электронный ресурс] : Режим доступа : URL <https://www.tavrida.com/ter/support/documents/1/> (дата обращения: 12.03.2021).

2. Гук Ю. Б., Кантан В. В., Петрова С. С. Проектирование электрической части станций и подстанций. Л. : Энергоатомиздат, 2015. 320 с.

3. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 59232-2020 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства автоматической частотной разгрузки. Нормы и требования», утвержденный приказом Росстандарта от 30.11.2020 № 1219-ст [Электронный ресурс] : URL.../ (дата обращения: 12.03.2021).

4. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 59233-2020 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства автоматической разгрузки при коротких замыканиях. Устройства фиксации тяжести короткого замыкания. Нормы и требования», утвержденный приказом Росстандарта от 30.11.2020 № 1220-ст [Электронный ресурс] : URL.../ (дата обращения: 12.03.2021).

5. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 59234-2020 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства автоматической разгрузки при перегрузке по мощности. Нормы и требования», утвержденный приказом Росстандарта от 30.11.2020 № 1221-ст [Электронный ресурс] : URL.../ (дата обращения: 12.03.2021).

6. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 59372-2021 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы.

Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства фиксации отключения и фиксации состояния линий электропередачи, электросетевого и генерирующего оборудования. Нормы и требования», утвержденный приказом Росстандарта от 03.03.2021 № 110-ст [Электронный ресурс] : URL.../ (дата обращения: 12.03.2021).

7. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 56303-2014 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Нормальные схемы электрических соединений объектов электроэнергетики. Общие требования к графическому исполнению», утвержденный и введенный в действие приказом Росстандарта от 12.12.2014 № 1984-ст [Электронный ресурс] : URL.../ (дата обращения: 12.03.2021).

8. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы. М., Энергия, 2012. 450 с.

9. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. М., Энергоатомиздат, 2020.

10. Ограничители перенапряжений [Электронный ресурс] : Режим доступа <http://www.razrad.ru>. (дата обращения 17.03.2021).

11. Околович М.Н. Проектирование электрических станций. Учебник для ВУЗов, 2020.

12. Правила устройства электроустановок (ПУЭ): (Издание седьмое) Приказ Минэнерго России от 08.07.2002 № 204; Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации.

13. Правила технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям,

утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 27.12.2004 № 861;

14. Правила технологического функционирования электроэнергетических систем, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 13.08.2018 № 937 (раздел VIII);

15. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Приказ Минэнерго России от 19.06.2003 № 229. Под редакцией Ю.И. Вишневого. Издательство СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербург, 2012г. 728 с.

16. Разъединители горизонтально-поворотного типа 35-110 кВ [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.zeto.ru/> (дата обращения 15.03.2021).

17. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций М: Энергоатомиздат, 2020. - 646 с.

18. Рожкова Л.Д., Корнеева Л.К. Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. - М.: Академия, 2005.

19. Силовое оборудование. АО "Уралэлектротяжмаш" [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.uetm.ru/>. (дата обращения 10.03.2021).

20. Справочник по проектированию линий электропередачи/ Под редакцией Д.Л. Файбисовича. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС 2006.

21. СО 153-34.20.501-2003 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные приказом Минэнерго России от 19.06.2003 № 229 (пункты 1.2, 1.3, 1.6, 4.6, 6.1–6.4);

22. СТО56947007-29.240.30.047-2010 Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ.

23. СТО 56947007- 29.240.10.248-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ.

24. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения.

25. Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» (глава 1; глава 2 статья 6; глава 3 статья 7; глава 4 статьи 11-19; статья 20, статья 21 пункт 3; статья 29.1 пункт 1; статьи 30-31 глава 8 статьи 42, 44, 46);

26. Трансформаторы тока и напряжения 6-110 кВ [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://energybase.ru.>, (дата обращения 11.03.2021).

27. Электротехнический справочник. Том 3, книга 1. М: Энергоатомиздат. 2002г., 878 с.

Приложение А

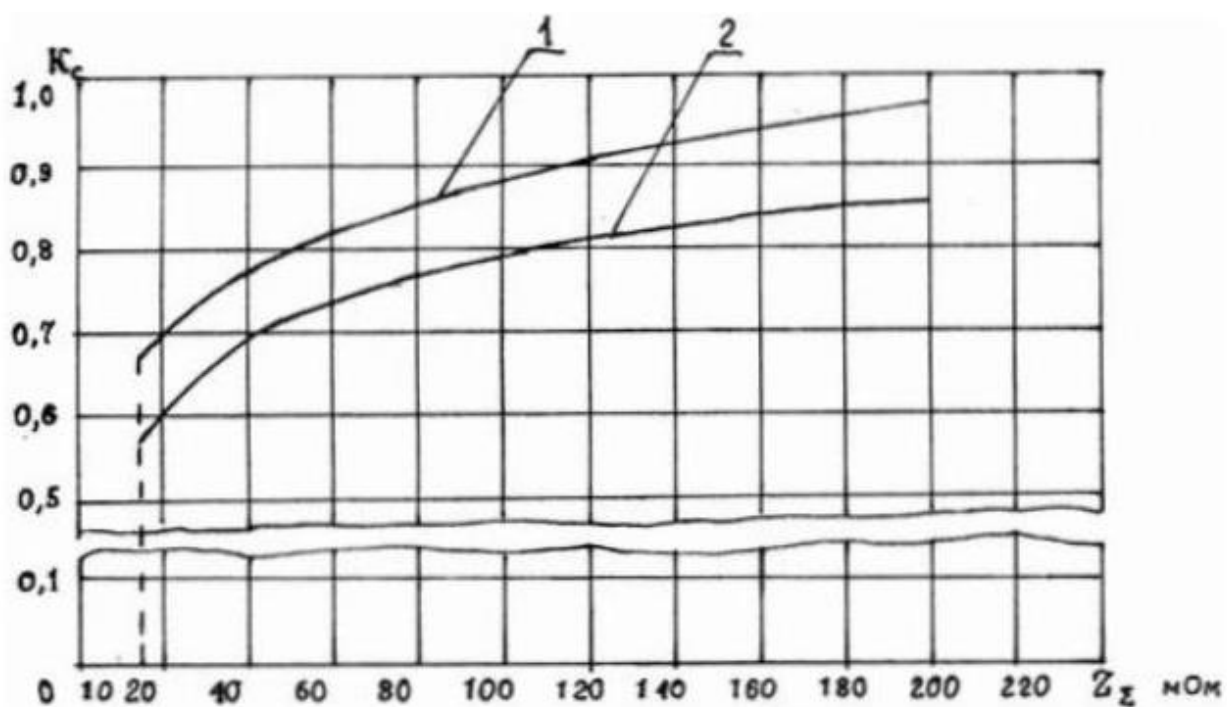


Рисунок А.1 – Кривые зависимости K_c от сопротивления цепи КЗ
где 1 – начало процесса дугового замыкания $t_{кз} < 0,05с$, 2 –
установившийся процесс дугового замыкания $t_{кз} > 0,05с$