

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 завода по производству строительных материалов

Обучающийся

В.В. Прудников

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М.Н. Третьякова

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

Тольятти 2022

Аннотация

Темой ВКР является «Проектирование системы электроснабжения завода по производству строительных материалов».

В качестве исходных данных представлены нагрузки электроприемников, коэффициенты использования электрооборудования, их коэффициенты мощности, а также генеральный план промышленного предприятия.

Проектирование электроснабжения промышленного предприятия начинается с расчета электрических нагрузок на примере одного из цехов. Далее вычислена нагрузка всех цехов в целом по предприятию, проведен расчет компенсирующих устройств и системы освещения.

Затем построена картограмма электрических нагрузок и спроектирована схема электроснабжения завода по производству строительных материалов.

Далее были рассчитаны токи КЗ на стороне выше 1 кВ и ниже 1 кВ. Полученные результаты позволили выбрать соответствующее защитно-коммутационное оборудование.

Заключительным этапом проведен расчет и выбор релейной защиты и автоматики.

Содержание

Введение.....	4
1 Расчет и анализ электрических нагрузок.....	5
2 Расчет электрического освещения.....	12
3 Расчет компенсирующих устройств.....	18
4 Построение картограммы электрических нагрузок.....	20
5 Расчет потерь напряжения кабельных линий	22
6 Анализ схемы электроснабжения завода.....	25
7 Расчет токов КЗ	31
8 Выбор и проверка оборудования.....	36
9 Расчет релейной защиты и автоматики.....	40
Заключение	44
Список используемых источников.....	45

Введение

Строительные материалы используются повсеместно для возведения новых зданий и учреждений различного назначения. В связи с этим это вызывает повышение спроса на производство строительных материалов. Повышение спроса на закупку строительных материалов в свою очередь приводит к увеличению востребованности в возведении заводов и фабрик. Это связано с тем, что возведение новых заводов снижает потребность в строительных материалах, создают благоприятные условия для конкуренции, снижая уровень стоимости продукции, представленной на рынке. Ещё одной причиной является снижение энергоёмкости отдельных предприятий по производству строительных материалов.

Создание надёжной системы электроснабжения промышленного предприятия является важной задачей поскольку от качества проектирования зависит безопасность работы эксплуатирующего персонала.

Основная деятельность объекта исследования связана с производством бетонных изделий, расходных цементных смесей и растворов, теплоизоляционных материалов. Главным изделием данного завода является ячеистый бетон. Цех производящий ячеистый бетон потребляет основную нагрузку. Поэтому для подробного расчета нагрузок был принят цех №41.

Цель ВКР заключается в проектировании системы электроснабжения завода по изготовлению стройматериалов.

Задачами заключаются в следующем:

- рассчитать нагрузки отдельных цехов, а также нагрузку предприятия в целом используя исходные данные;
- построить картограммы нагрузок для определения места расположения распределительного пункта высшего напряжения;
- выбрать компенсирующие устройства, а также надёжное оборудование и релейную защиту от аварийных режимов работы электроустановок.

1 Расчет и анализ электрических нагрузок

Расчет нагрузки проведем на примере цеха №41 по производству газобетонных блоков методом упорядоченных диаграмм [1]. Параметры электроприемников (ЭП) данного цеха приведены в таблице 1.

Алгоритм расчета нагрузок, следующий:

– «Нагрузка группы ЭП за наиболее загруженную смену:

$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{уст}} \quad (1)$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (2)$$

$$S_{\text{см}} = \sqrt{P_{\text{см}}^2 + Q_{\text{см}}^2} \quad (3)$$

где $P_{\text{уст}}$ – суммарная установленная активная мощность всех приёмников цеха, принимаемая по исходным данным, кВт;

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования;

$\text{tg}\varphi$ – характерное для приёмников данного цеха средневзвешенного значения коэффициента реактивной мощности» [13].

Эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum_{i=1}^m n_i P_{\text{нi}})^2}{\sum n_i P_{\text{нi}}^2} \quad (4)$$

Групповой коэффициент использования:

$$K_{\text{и}} = \frac{\sum_1^m P_{\text{см}}}{\sum_1^m P_{\text{уст}}} \quad (5)$$

– «Расчетные нагрузки:

$$P_{\text{р}} = K_{\text{р}} \cdot P_{\text{см}} \quad (6)$$

$$Q_p = K'_p \cdot P_{см} \quad (7)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (8)$$

где K_p – коэффициент расчетный» [13].

«Значение коэффициента расчетного принимаем по таблице 3, поскольку предполагается использование магистральных шинопроводов. При получении эффективного числа электроприемников менее 10, значение K_p принимаем равным 1,1, иначе – принимаем равным 1» [13].

– Максимальный расчетный ток

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} \quad (9)$$

Результаты расчетов занесем в таблицы 2, 3 и 4.

Таблица 1 – Данные электроприемников цеха №41

№	Наименование группы электроприемников	<i>n</i>	<i>P_н</i> , кВт					<i>K_н</i>	<i>cosφ</i>
1-5	Оборудование дозировки и перемешивания	70	70	61	31	20	22	0,79	0,79
6	Транспортный погрузчик	31	31	–	–	–	–	0,51	0,74
7-11	Оборудование формовки	16	16	12	10	10	8	0,51	0,74
12-13	Оборудование кантовки	30	30	11	–	–	–	0,69	0,76
14-16	Установки резки материалов	48	48	39	32	–	–	0,68	0,74
17	Механизм подачи	10	10	–	–	–	–	0,61	0,76
18-21	Вентиляционные установки	1,7	1,7	1,3	1,3	1	–	0,81	0,83
22-23	Установки резки материалов	25	25	12	–	–	–	0,71	0,74
24-25	Краны и подъемники	42	42	17	–	–	–	0,51	0,76
26-28	Механизм подачи	60	60	49	32	–	–	0,61	0,76
29-30	Шлифовальная установка	30	30	12	–	–	–	0,81	0,84
31-32	Вентиляционные установки	20	20	6	–	–	–	0,81	0,86
33	САУ автоклава	4	4	–	–	–	–	0,94	0,96
34-36	Механизм подачи	35	35	15	10	–	–	0,62	0,73
37-38	Сортировочные установки	45	45	14	–	–	–	0,82	0,83
39-41	Оборудование упаковки	32	32	14	8	–	–	0,83	0,79
42-43	Вытяжная система	21	21	4	–	–	–	0,78	0,86
44	Вентиляционные установки	4,3	4,3	–	–	–	–	0,77	0,84
45-49	Инструментальные и комнаты обслуживающего персонала	4,1	4,1	3,1	1,7	1,7	0,9	0,53	0,92
50-51	Котельные установки и водогрейная	63	63	16	–	–	–	0,94	0,96
52-53	Оборудование системы охлаждения	45	45	5	–	–	–	0,51	0,74
54-55	Оборудование водоснабжения	8	8	9	–	–	–	0,52	0,76
Всего по цеху		52	0,9-70 кВт					–	–

Таблица 2 – Расчет электрических нагрузок цеха №41

№	Наименование группы электроприемников	P_{\min}	P_{\max}	n	$P_{\text{уст}}$	$K_{\text{и}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$S_{\text{см}}$
		кВт			кВт				кВт	квар	кВА
Силовой пункт (СП-1)		1	70	21	466,3	0,7	0,77	0,82	325,13	266,04	420,1
1-5	Оборудование дозировки и перемешивания	20	70	5	204	0,79	0,79	0,78	161,16	125,7	204
6	Транспортный погрузчик	31	31	1	31	0,51	0,74	0,91	15,81	11,7	21,36
7-11	Оборудование формовки	8	16	5	56	0,51	0,74	0,91	28,56	25,99	38,59
12-13	Оборудование кантовки	11	30	2	41	0,69	0,76	0,86	28,29	21,5	37,22
14-16	Установки резки материалов	32	48	3	119	0,68	0,74	0,91	80,92	73,64	109,35
17	Механизм подачи	10	10	1	10	0,61	0,76	0,86	6,1	4,64	8,03
18-21	Вентиляционные установки	1	1,7	4	5,3	0,81	0,83	0,67	4,29	2,87	5,17
Силовой пункт (СП-2)		4	60	14	309	0,65	0,78	0,79	201,21	159,39	256,69
22-23	Установки резки материалов	12	25	2	37	0,71	0,74	0,91	26,27	23,91	35,5
24-25	Краны и подъемники	17	42	2	59	0,51	0,76	0,86	30,09	25,88	39,59
26-28	Механизм подачи	32	60	3	141	0,61	0,76	0,86	86,01	73,97	113,17
29-30	Шлифовальная установка	12	30	2	42	0,81	0,84	0,65	34,02	22,11	40,5
31-32	Вентиляционные установки	6	20	4	26	0,81	0,86	0,59	21,06	12,43	24,49
33	САУ автоклава	4	4	1	4	0,94	0,96	0,29	3,76	1,09	3,92

Продолжение таблицы 2

№	Наименование группы электроприемников	P_{\min}	P_{\max}	n	$P_{\text{уст}}$	$K_{\text{и}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$S_{\text{см}}$
		кВт			кВт				кВт	квар	кВА
Силовой пункт (СП-3)		0,9	45	16	213,8	0,75	0,8	0,74	159,31	118,62	198,62
34-36	Механизм подачи	10	35	3	60	0,62	0,73	0,94	37,2	34,97	50,96
37-38	Сортировочные установки	14	45	2	59	0,82	0,83	0,67	48,38	32,41	58,29
39-41	Оборудование упаковки	8	32	3	54	0,83	0,79	0,78	44,82	34,96	56,73
42-43	Вытяжная система	4	21	2	25	0,78	0,86	0,59	19,5	11,51	22,67
44	Вентиляционные установки	4,3	4,3	1	4,3	0,77	0,84	0,65	3,31	2,15	3,94
45-49	Инструментальные и комнаты обслуживающего персонала	0,9	4,1	5	11,5	0,53	0,92	0,43	6,1	2,62	6,63
Силовой пункт (СП-4)		5	63	6	146	0,74	0,9	0,48	108,6	52,35	120,56
50-51	Котельные установки и водогрейная	16	63	2	79	0,94	0,96	0,29	74,26	21,54	77,35
52-53	Оборудование системы охлаждения	5	45	2	50	0,51	0,74	0,91	25,5	23,21	34,46
54-55	Оборудование водоснабжения	8	9	2	17	0,52	0,76	0,86	8,84	7,6	11,63
Всего		–	0,9	70	52	1135,1	0,7	0,8	0,75	794,25	596,4

Таблица 3 – Расчет электрических нагрузок по силовым пунктам цеха №41

Наименование группы электроприемников	n_{Σ}	K_p	K_p'	P_p	Q_p	S_p	I_p
				кВт	квар	кВА	А
Силовой пункт (СП-1)	11	0,9	1	292,62	266,04	395,48	570,83
Силовой пункт (СП-2)	8	0,92	1,1	185,11	175,33	254,96	368
Силовой пункт (СП-3)	11	0,9	1	143,38	118,62	186,09	268,6
Силовой пункт (СП-4)	4	0,97	1,1	105,34	57,59	120,05	173,28
Всего без учета освещения	–	–	–	726,45	617,58	953,49	1376,24

Таблица 4 – Расчет электрических нагрузок цехов завода

№ по плану	Наименование цеха	$P_{уст}$	$K_{и}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p	Q_p	S_p	I_p
		кВт				кВт	квар	кВА	А
41	Изготовление бетонных блоков	1135	0,7	0,8	0,75	726,45	617,58	953,49	1376,24
42	Обработка сырья	474	0,66	0,75	0,88	396,05	303,64	499,05	720,32
43	Измельчение золы	486	0,62	0,71	0,99	397,56	280,32	486,45	702,13
44	Изготовление песчаных смесей	284	0,73	0,76	0,86	226,74	149,22	271,44	391,79
45	Склады	56	0,35	0,84	0,65	36,44	16,41	39,96	57,68
46	Заводоуправление и администрация	82	0,73	0,81	0,72	59,62	32,83	68,06	98,24
Итого по цехам без учета освещения		2517	–	0,80	0,76	1842,9	1400	2314,3	3340,5

Вывод

К крупным и ключевым потребителям завода относятся отдельные производства и цеха. Одним из мощнейших цехов является цех по изготовлению бетонных блоков.

Теперь необходимо провести расчет освещения производственных помещений.

2 Расчет электрического освещения

Теперь необходимо провести расчет осветительной нагрузки, которая включает в себя внутрицеховое светодиодное освещение. Для проведения расчета освещения применим метод удельной мощности.

Расчетная методика основана на использовании паспортных данных светильников, приведенных в таблице 5, взятых из каталожных данных производителя светодиодных светильников [6].

Результаты расчета внутрицехового освещения приведены в таблице 6.

«Средняя освещенность на рабочих местах с постоянным пребыванием людей должна быть не менее 200 лк» [3], [14].

«Для складских помещений принимаем освещенность $E = 300$ лк» [3].

«Освещенность территории и дорог принимаем равной 10 лк» [9].

«Расчет электрической нагрузки освещения:

$$P_{po} = \frac{E \cdot K_c \cdot F}{\Phi/P} \quad (10)$$

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg}(\operatorname{acos}(\cos\varphi)) \quad (11)$$

где Φ/P – световая отдача, Лм/Вт;

F – площадь освещения, м²;

K_c – коэффициент спроса» [3].

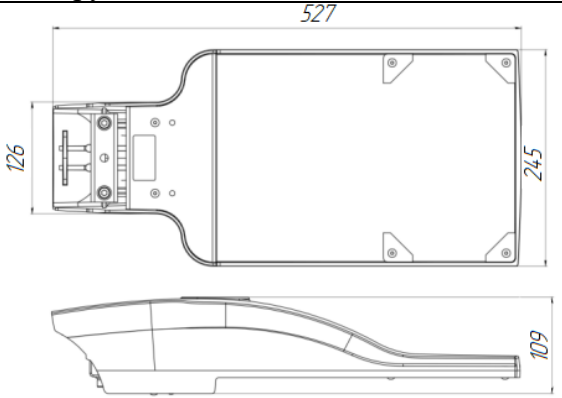
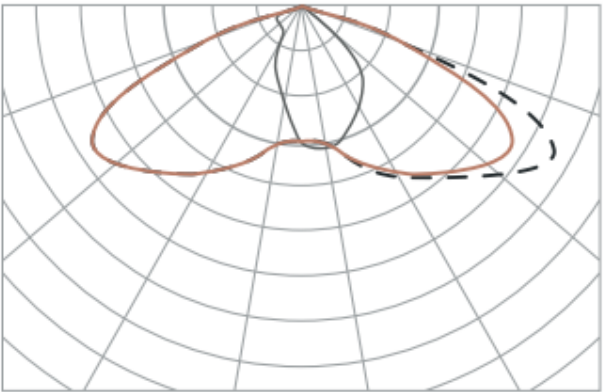
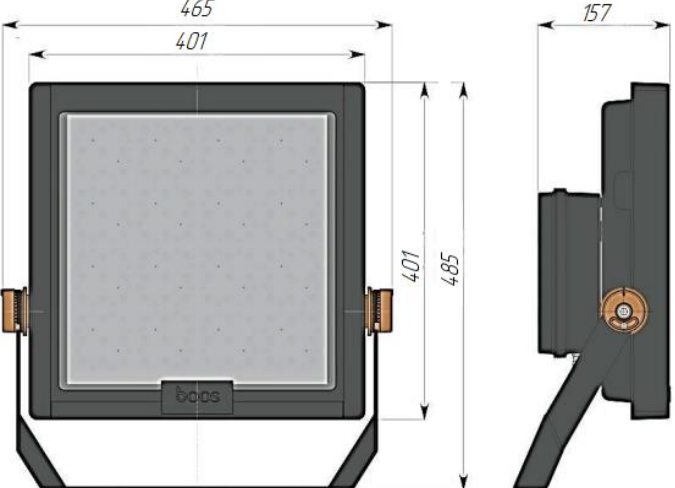
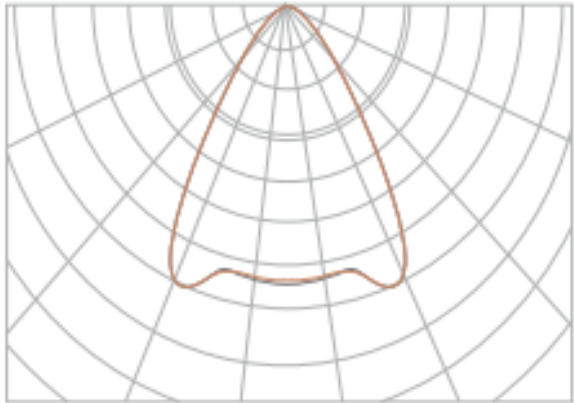
В таблице 7 приведены данные технико-экономического расчета освещения.

Полную мощность рассчитаем по формуле 8.

Таблица 5 – Паспортные данные светильников из каталогов производителя светильников Galad

Назначение	Единица измерения	Уличное светодиодное освещение	Склад	Административное здание	Цеха
Расчетное значение отношения светового потока к мощности светильника	Лм/Вт	128	104	105	145
Модель светильника	–	Урбан S LED-40-ШБ1/У50/RAL703 7 NEMA ICLZ (CST900021)	Иллюминатор LED-80-Wide (840/RAL7035/D/0/ IHBS/GEN2)	Кайро600 LED-30/B/OM/5000	Урал LED-100-Extra Wide
Активная мощность	Вт	40	80	30	100
Световой поток	лм	5120	8320	3140	14500
Цветовая температура	К	2700	4000	5000	4000
Степень пылевлагозащиты	–	IP66	IP66	IP20	IP54
Расчетное количество светодиодных светильников	шт	4	24	22	149

Таблица 6 – Внешний вид, габаритные размеры и КСС светильников

Тип светильника	Конструктивные особенности светильника	КСС светильника
<p>Урбан S LED-40-ШБ1/У50/RAL7037 NEMA ICLZ (CST900021)</p>		
<p>Иллюминатор LED-80-Wide (840/RAL7035/D/0/ИHBS/GEN2)</p>		

Продолжение таблицы 6

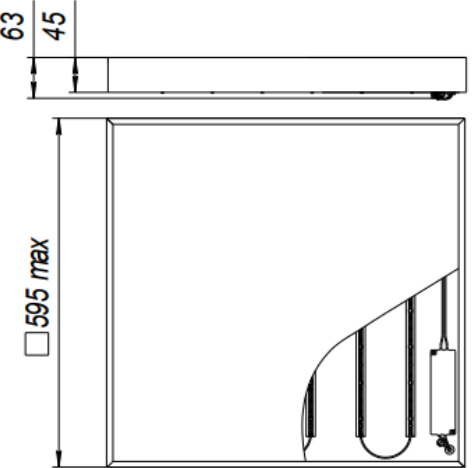
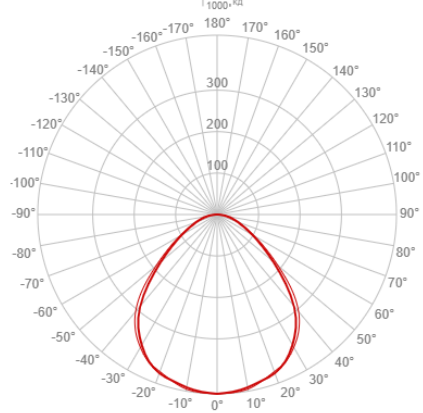
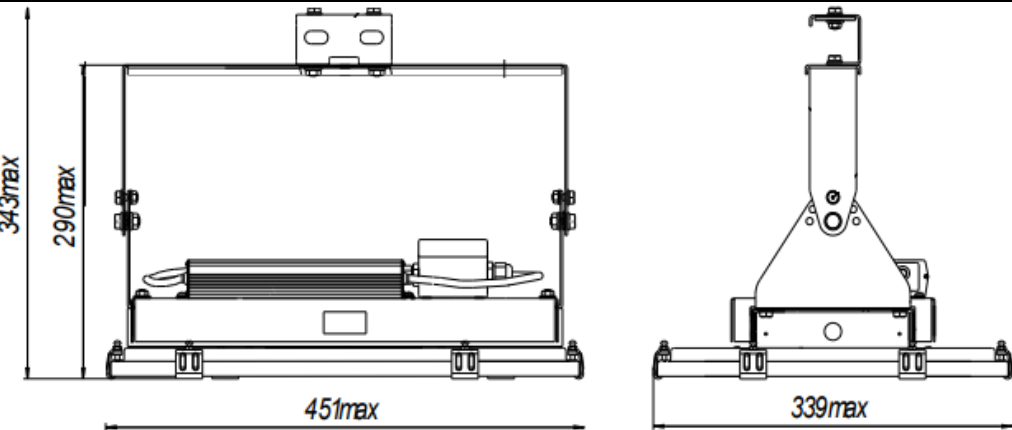
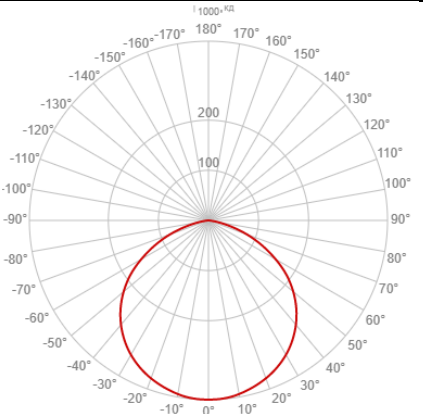
Модель светильника	Внешний вид и габаритные размеры	КСС светильника
<p>Кайро-600 LED-30/В/ОМ/5000</p>	 <p>63 45 595 max</p>	
<p>Урал LED-100-Extra Wide</p>	 <p>343 max 290 max 451 max 339 max</p>	

Таблица 7 – Техничко-экономический расчет освещения

№ цеха	Наименование цеха	E	K_c	F	$\cos\varphi$	Φ/P	P_p	Q_p	S_p
		лк		m^2		Лм/Вт	кВт	квар	кВА
41	Изготовление бетонных блоков	200	0,89	7920	0,97	125,263	11,25	2,83	11,6
42	Обработка сырья		0,89	900	0,97	125,263	1,28	0,32	1,32
43	Измельчение золы		0,89	880	0,97	125,263	1,25	0,32	1,29
44	Изготовление песчаных смесей		0,89	280	0,97	125,263	0,4	0,09	0,41
45	Склады	300	0,61	1500	0,96	138,6	1,98	0,57	2,06
46	Заводоуправление и администрация	200	0,96	350	0,97	110	0,61	0,16	0,63
–	Прилегающие территории цехов	10	0,63	4000	0,95	150	0,17	0,06	0,18
Итого		1310	–	15830	0,97	–	16,94	4,35	17,49

Рассчитаем мощности завода с учетом освещения.

Результаты расчетов внесем в таблицу 8.

Таблица 8 – Суммарная нагрузка предприятия с учетом освещения

Электро потребители	P_y , кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Силовые установки завода	2517,1	0,80	0,76	1842,86	1400,00	2314,33	3340,45
Освещение	16,69	0,97	0,25	16,94	4,35	17,49	25,24
Итого по заводу с учетом освещения	2533,79	0,80	0,76	1859,80	1404,35	2330,46	3363,73

Вывод

Нагрузка светодиодного освещения завода по производству стройматериалов составляет 17,49 кВА.

3 Расчет компенсирующих устройств

Коэффициент мощности по заводу равен 0,8, что является недостаточно высоким. Повысим коэффициент мощности с помощью установки компенсирующих устройств.

«Большинство промышленных потребителей электроэнергии наряду с активной мощностью потребляют и реактивную мощность, которая расходуется на создание электромагнитных полей и является бесполезной. Наличие в электросети реактивной мощности снижает качество электроэнергии, приводит к увеличению платы за электроэнергию, дополнительным потерям и перегреву проводов, перегрузке подстанций, необходимости завышения мощности силовых трансформаторов и сечения кабелей, просадкам напряжения в электросети» [4].

Рассчитаем мощности АУКРМ для повышения коэффициента мощности до 0,95.

«Расчетная мощность АУКРМ:

$$Q_{\text{КУ}} = \theta \cdot P_p \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (12)$$

$$Q_{\text{КУ}} = 0,9 \cdot 1859,8 \cdot (0,76 - 0,33) = 720 \text{ квар}$$

где θ – коэффициент, учитывающий повышение коэффициента мощности;

$\operatorname{tg} \varphi_1$ – значение коэффициента до компенсации;

$\operatorname{tg} \varphi_2$ – значение коэффициента после компенсации» [4].

Выбираем 2×УКРМ-0,4-350-25 [7].

«Коэффициент потерь $K_{\text{п}}$ для производств принимается равным 0,08» [4].

«Годовая экономия электроэнергии после установки УРКМ:

$$W_{\text{ЭК}} = W_{\text{ГОД}} \cdot \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2}\right) \cdot K_{\text{П}} \quad (13)$$

$$\frac{W_{\text{ЭК}}}{W_{\text{ГОД}}} = \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2}\right) \cdot K_{\text{П}} \quad (14)$$

$$\frac{W_{\text{ЭК}}}{W_{\text{ГОД}}} = \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2}\right) \cdot K_{\text{П}} = \left(1 - \frac{0,8^2}{0,94^2}\right) \cdot 0,08 = 0,022$$

где $W_{\text{ГОД}}$ – годовое потребление энергии;

$\cos^2 \varphi_1$ и $\cos^2 \varphi_2$ – величины коэффициента мощности до и после внедрения УКРМ соответственно» [4].

Электрические нагрузки завода с учетом компенсации реактивной мощности показаны в таблице 9. Экономия электроэнергии составляет 2,2%.

Таблица 9 – Электрические нагрузки завода с учетом компенсации реактивной мощности

Показатель	P_{Σ}	$\cos \varphi$	$\text{tg} \varphi$	$P_{\text{р}}$	$Q_{\text{р}}$	$S_{\text{р}}$	$I_{\text{р}}$
	кВт			кВт	квар	кВА	А
Суммарная нагрузка без учета компенсации реактивной мощности	2533,79	0,80	0,76	1859,80	1404,35	2330,46	3363,73
Параметры компенсирующего устройство	–	–	–	–	2x350	–	–
Итого по заводу с учетом компенсации реактивной мощности	2533,79	0,94	0,38	1859,80	704,35	1988,71	2870,46

Вывод

Компенсирующие устройства 2×УКРМ-0,4-350-25 позволили повысить коэффициент мощности до 0,94, а также уменьшить нагрузку на силовое оборудование, необходимого для выполнения технологических операций. Снижение потерь электроэнергии составило 2,2%.

4 Построение картограммы электрических нагрузок

Для снижения величины потерь электроэнергии, определим центры электрических нагрузок (ЦЭН) завода по производству строительных материалов [20].

«ЦЭН завода по производству строительных материалов:

$$x_{ц} = \frac{\sum S_i x_i}{S_i}, y_{ц} = \frac{\sum S_i y_i}{S_i} \quad (15)$$

где S – нагрузка i -го потребителя, кВА;

x_i, y_i – координаты ЦЭН i -го потребителя» [18].

«Радиус окружностей картограммы электрических нагрузок:

$$r_i = \sqrt{S/\pi \cdot m}, \quad (16)$$

где S – расчетная нагрузка i -го потребителя, кВА;

m – масштаб для определения площади окружности (примем равным 2)» [19].

Результаты расчетов параметров картограммы нагрузок завода по производству строительных материалов (рисунок 1) представлены в таблице 10.

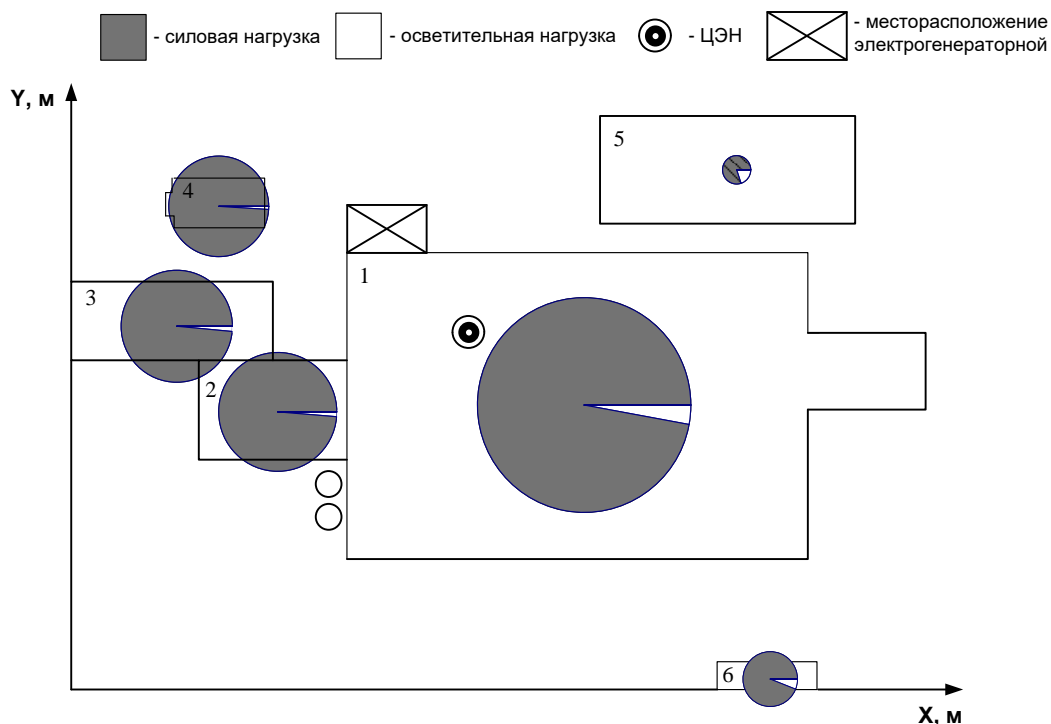


Рисунок 1 – Картограмма электрических нагрузок завода по производству строительных материалов

Схема питания КТП определяется исходя из конфигурации их расположения по заводу строительных материалов [19].

Таблица 10 – Расчет картограммы электрических нагрузок завода

№ цеха	Наименование цеха	X	Y	P	Q	S	r_i
		м	м	кВт	квар	кВА	мм
41	Изготовление бетонных блоков	118	66	851,713	628,83	1058,7	25,96
42	Обработка сырья	48	66	521,313	304,92	603,94	19,61
43	Измельчение золы	24	87	522,823	281,57	593,823	19,44
44	Изготовление песчаных смесей	36	115	352,003	149,62	382,482	15,60
45	Склады	156	123	175,011	18,39	175,975	10,58
46	Заводоуправление и администрация	165	30	169,62	33,44	172,885	10,49

Вывод

Наибольшую нагрузку и радиус на картограмме имеет цех по производству газобетонных блоков.

5 Расчет потерь напряжения кабельных линий

Проанализируем данные о кабелях цеха №41, представленные в таблице 11 В рассматриваемом цеху для питания электроприемников используются кабели марки ВВГнг(LS).

Таблица 11 – Ведомость кабелей цеха №41

№	Технологическое оборудование	n	$S_{см},$ кВА	$S_p,$ кВА	I_p, A	L	m	Сечение
Силовой пункт (СП-1)		21	420,1	395,48	30,31	10	2	5x120
1-5	Оборудование дозировки и перемешивания	5	204	–	58,89	56	2	5x120
6	Транспортный погрузчик	1	21,36	–	30,83	21	1	5x16
7-11	Оборудование формовки	5	38,59	–	11,14	23	1	5x25
12-13	Оборудование кантовки	2	37,22	–	26,86	32	1	5x25
14-16	Установки резки материалов	3	109,35	–	52,61	45	1	5x95
17	Механизм подачи	1	8,03	–	11,59	23	1	5x6
18-21	Вентиляционные установки	4	5,17	–	1,87	39	3	5x4
Силовой пункт (СП-2)		14	256,69	254,96	20,21	35	2	5x95
22-23	Установки резки материалов	2	35,5	–	25,62	62	1	5x25
24-25	Краны и подъемники	2	39,59	–	28,57	25	1	5x25
26-28	Механизм подачи	3	113,17	–	54,45	30	1	5x120
29-30	Шлифовальная установка	2	40,5	–	29,23	68	1	5x25
31-32	Вентиляционные установки	4	24,49	–	8,84	22	1	5x70
33	САУ автоклава	1	3,92	–	5,66	45	1	5x2,5

Продолжение таблицы 11

№	Технологическое оборудование	n	$S_{см},$ кВА	$S_p,$ кВА	I_p, A	L	m	Сечение
Силовой пункт (СП-3)		16	198,62	186,09	23,09	35	2	5x70
34-36	Механизм подачи	3	50,96	–	24,52	47	1	5x50
37-38	Сортировочные установки	2	58,29	–	42,07	42	1	5x70
39-41	Оборудование упаковки	3	56,73	–	27,29	48	1	5x50
42-43	Вытяжная система	2	22,67	–	16,36	38	1	5x10
44	Вентиляционные установки	1	3,94	–	5,69	30	1	5x2,5
45-49	Инструментальные и комнаты обслуживающего персонала	5	6,63	–	1,91	42	1	5x10
Силовой пункт (СП-4)		6	120,56	120,05	8,66	10	1	5x120
50-51	Котельные установки и водогрейная	2	77,35	–	55,82	49	1	5x95
52-53	Оборудование системы охлаждения	2	34,46	–	24,87	60	1	5x50
54-55	Оборудование водоснабжения	2	11,63	–	8,39	42	1	5x10
Всего по заводу		52	993,24	953,49	75,06		1	

Далее проверим сеть по потерям напряжения. В качестве примера возьмем цех с наибольшей нагрузкой – №41. Приведем расчетную схему на рисунке 2.

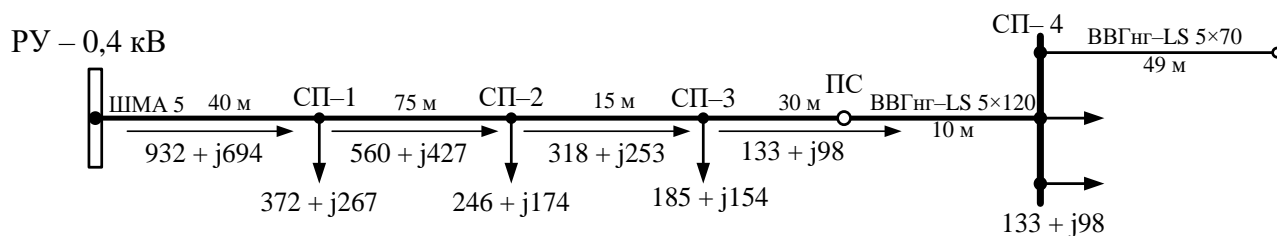


Рисунок 2 – Расчетная схема

«Потери напряжения в кабельных линиях определим по следующему выражению:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_{\text{ном}}} l \quad (17)$$

где r_0, x_0 – активное и индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км;

l – длина кабеля, км;

P, Q – активная и реактивная мощность проходящая через кабель» [12].

На основании данных представленных в таблице 9, проведем расчет кабелей по потерям напряжения. Результаты расчетов по потерям напряжения запишем в таблицу 12.

Таблица 12 – Расчет по потерям напряжения

Линия	P	Q	r_0	x_0	L	ΔU	
	кВт	квар	Ом/км		м	В	%
РУ–СП-1	726,45	617,58	0,018	0,0083	40	1,82	0,48
СП-1–СП-2	433,83	351,54	0,018	0,0083	75	2,01	0,53
СП-2–СП-3	248,72	176,21	0,018	0,0083	15	0,22	0,06
СП-3–ПС	105,34	57,59	0,018	0,0083	30	0,18	0,05
ПС–СП-4	105,34	57,59	0,185	0,075	10	0,6	0,16
СП-4 – Водогрейная	74,26	21,54	0,269	0,074	50	2,7	0,71

Вывод

Расчеты представленные в таблице 12 показали, что потери в кабельных линиях не превышают 5%, что является допустимым согласно требованиям ПУЭ.

6 Анализ схемы электроснабжения

Завод по изготовлению строительных материалов включает в себя технологические установки I и II категории надежности (41-44 цеха), следовательно необходимо подключение к двум независимым источникам питания.

Производство бетонных конструкций предполагает соблюдение определенных условий, а именно:

- подготовка сырья для изготовления бетонных изделий;
- правильная технология дозирования сырьевых материалов;
- грамотная ферментация материалов и присадок;
- использование оборудования по обработке бетонных конструкций;
- использование средств контроля и автоматики.

Автоматика для поддержания технологического процесса производства бетонных конструкций применяется оборудование Wehrhahn [21].

«Линия Wehrhahn обладает:

- Высокой производительностью;
- Точностью работы оборудования;
- Высокой степенью автоматизации производства» [21].

В соответствии с этим производство газобетонных изделий накладывает соответствующие требования к надежности и обеспечению независимого электроснабжения. Также на исследуемом предприятии требуется значительное количество тепловой энергии для обеспечения качественного производства изделий из газобетона. Поэтому на рассматриваемом предприятии применяется автономное электроснабжение.

На рисунках 3 и 4 представлены схемы генераторной, ТП и ВРУ в разных видах.

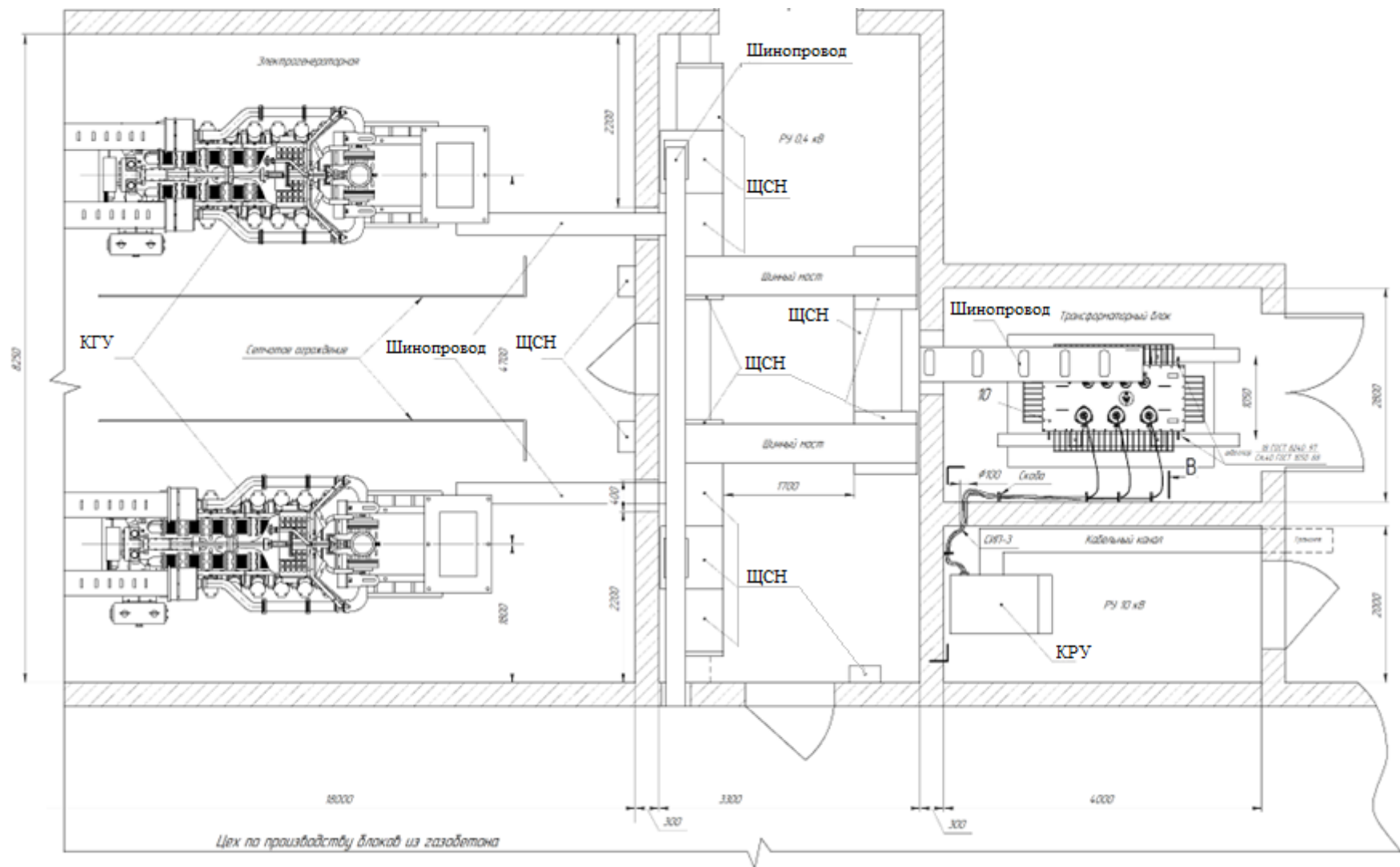
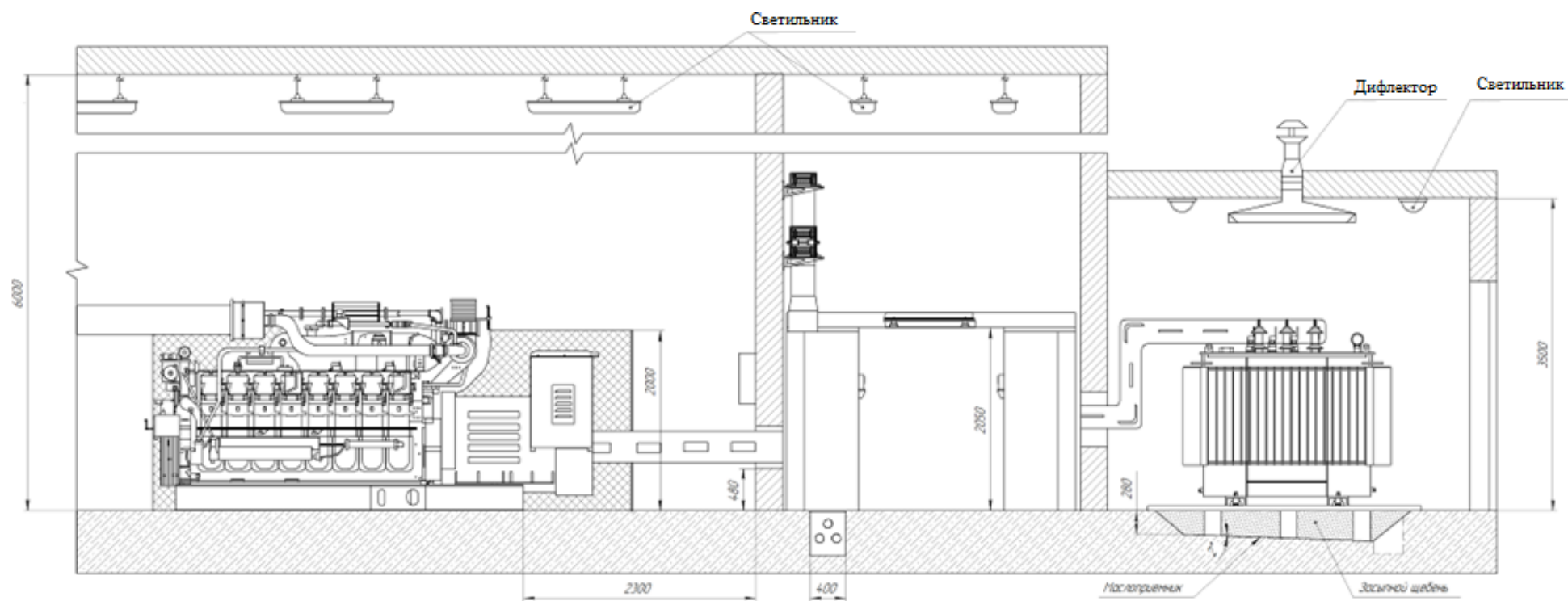


Рисунок 3 – Схема расстановки оборудования генераторной, ТП и ВРУ (вид сверху)



1 – когенерационная генераторная установка, 2, 4, 5, 9 – шинопроводы, 3, 7, 8 – щиты собственных нужд, 10 – трансформатор, 11 – комплектное распределительное устройство, 12, 14 – светильники, 13 – диффлектор

Рисунок 4 – Генераторная, ТП и РУ в виде спереди

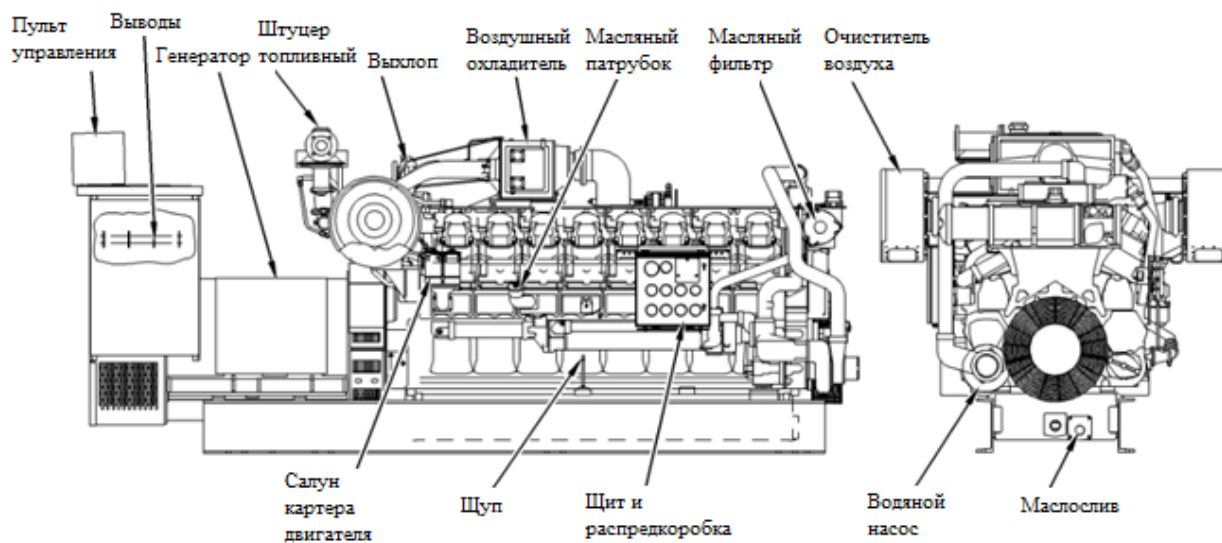


Рисунок 5 – Когенерационная установка G3516

Для генерации электроэнергии и теплоты установим два когенерационных агрегата марки G3516, представленные на рисунке 5. Электроснабжение предприятия будет осуществляться по схеме рисунка 6, с использованием двух независимых источников питания. Такое питание потребителей обеспечит надежность электроснабжения и исключит перерывы подачи электроэнергии.

В качестве источника питания для когенерационных установок используются газораспределительные сети, а внешние электроэнергетические сети являются резервным источником питания завода по производству строительных материалов.

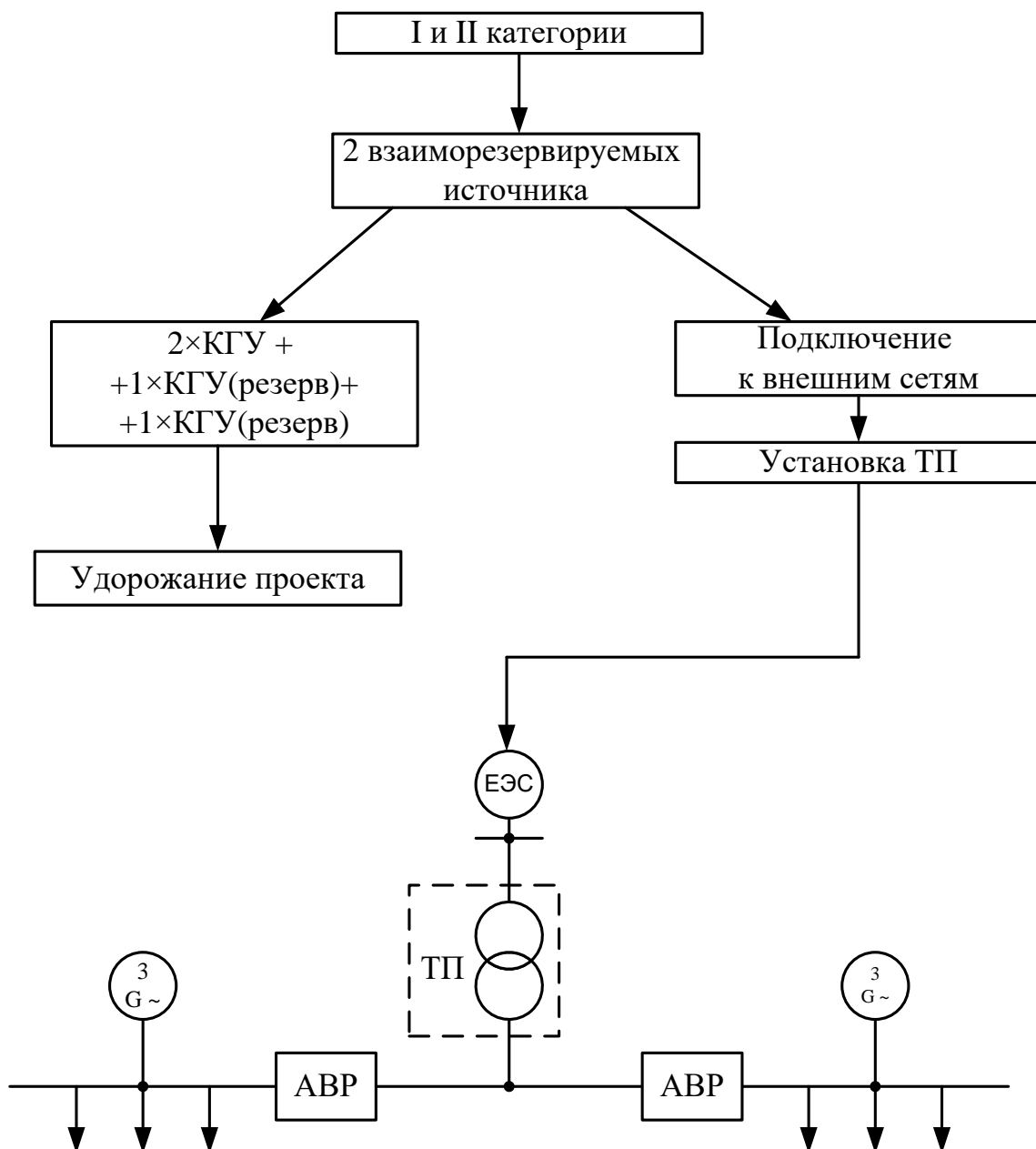


Рисунок 6 – Схема электроснабжения завода по производству строительных материалов

Внутрицеховые сети спроектированы по смешанной схеме. Отдельностоящие цеховые помещения получают электроэнергию по кабельным линиям. Цеха прилегающие к ТП получают питание по магистральным шинпроводам.

Для электроснабжения завода от внешних сетей электроснабжения примем трансформатор ТМГ 2500/10 поскольку нагрузка завода составляет 2315 кВА (без учета компенсации).

«Схемы систем электроснабжения обычно проектируются с учетом требования обеспечения надежности электроснабжения производственно-технологического оборудования и вспомогательных служб, например, за счет резервирования.

Основные потери в системе электроснабжения промышленного предприятия — потери в трансформаторах.

Потери трансформаторов складываются из потерь х.х., которые имеются всегда, когда трансформатор включен в сеть, и нагрузочных потерь (потерь в обмотках). Потери х.х. постоянны во времени и могут меняться в большую сторону по мере старения и износа оборудования. Нагрузочные потери прямо пропорциональны квадрату тока, протекающего в обмотках трансформатора, при 100% загрузке трансформатора они равны потерям к.з. Требование резервирования трансформаторного оборудования приводит к росту потерь х.х.» [1].

Поскольку данный трансформатор является оборудованием резервного питания, то для снижения потерь, трансформатор следует отключить до возникновения аварии в действующем источнике питания.

Одна когенерационная установка Caterpillar G 3516 вырабатывает мощность 1030 кВт.

Электроснабжение от ТП с ТМГ 2500/10 будет осуществляться при отключении одной или двух установок G3516.

Вывод

Для покрытия потребности в электроэнергии достаточно работы двух газопоршневых установок Caterpillar G3516. ТМГ 2500/10 работает в резерве.

7 Расчет токов КЗ

Проведем расчет токов КЗ на стороне 10 кВ перед трансформатором ТМГ 2500/10, а также на стороне ниже 1 кВ.

Ток от системы до КТП:

$$I_{\text{сист}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (18)$$
$$I_{\text{сист}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 138 \text{ А}$$

Для экономической плотности тока $J_{\text{эк}}=1,1 \text{ А/мм}^2$ получаем сечение [10]:

$$S_{\text{сист}} = \frac{I_{\text{сист}}}{J_{\text{эк}}} \quad (19)$$
$$S_{\text{сист}} = \frac{138}{1,1} = 126 \text{ мм}^2$$

Принимаем кабель по экономической плотности тока 120 мм^2 . Марка кабеля – АПВБВ $3 \times 120/35-10$, допустимый ток которого составляет 265 А [5], поскольку кабель проложен в земле.

Удельные сопротивления кабеля: $r_{\text{уд1}}=0,253 \text{ Ом/км}$, $x_{\text{уд1}}=0,089 \text{ Ом/км}$ [5].

Длина кабельной трассы от точки питания до КТП равна $l_{\text{кл1}}=550 \text{ м}$.

Активное и индуктивное сопротивление кабеля:

$$r_{\text{кл1}} = r_{\text{уд1}} \cdot l_{\text{кл1}} \quad (20)$$
$$r_{\text{кл1}} = 0,253 \cdot 0,55 = 0,139 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{кл1}} = x_{\text{уд1}} \cdot l_{\text{кл1}} \quad (21)$$
$$x_{\text{кл1}} = 0,089 \cdot 0,55 = 0,049 \text{ Ом}$$

Сопротивление системы [16]:

$$x_c = \frac{U_0^2}{S_{\text{сист}}} \quad (22)$$

$$x_c = \frac{10,5^2}{500} = 0,221 \text{ Ом}$$

Общее сопротивление до точки К1:

$$x_{\text{суммК1}} = x_c + x_{\text{КЛ1}} \quad (23)$$

$$x_{\text{суммК1}} = 0,221 + 0,049 = 0,27 \text{ Ом}$$

$$r_{\text{суммК1}} = r_{\text{КЛ1}} = 0,139 \text{ Ом}$$

$$z_{\text{суммК1}} = \sqrt{(r_{\text{суммК1}})^2 + (x_{\text{суммК1}})^2} \quad (24)$$

$$z_{\text{суммК1}} = \sqrt{0,139^2 + 0,27^2} = 0,304 \text{ Ом}$$

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного ТКЗ без учета подпитки от электродвигателей» [8]:

$$I_{\text{п0}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\text{суммК1}}} \quad (25)$$

$$I_{\text{п0}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,304} = 19,94 \text{ кА}$$

«Ударный ток» [8]:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}} \cdot K_{\text{уд}} \quad (26)$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 19,94 \cdot 1,4 = 39,48 \text{ кА}$$

Далее проведем расчет тока КЗ для точки К2 на стороне до 1 кВ.

Для начала составим расчетную схему (рисунок 7) и схему замещения (рисунок 8).

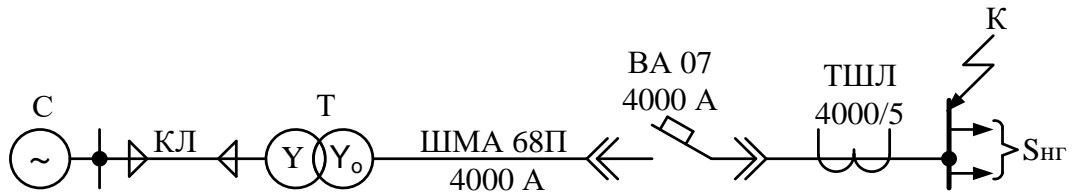


Рисунок 7 – Расчетная схема КЗ на стороне до 1 кВ

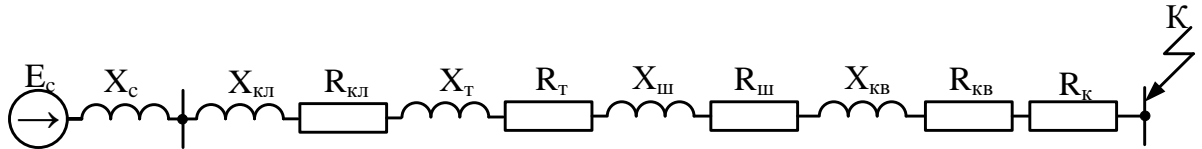


Рисунок 8 – Схема замещения для КЗ на стороне до 1 кВ

«Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей примем равными $r_{кв}=1,1$ мОм, $x_{кв}=0,5$ мОм.

Активные и индуктивные сопротивления трансформаторов тока первого класса точности $r_{тт}=0,2$ мОм, $x_{тт}=0,3$ мОм.

Активное сопротивление контактов $r_к=0,1$ мОм» [8].

Пересчитаем сопротивление ступени ВН на ступень НН:

$$x_{\text{суммК1}}' = x_{\text{суммК1}} \frac{U_{\text{НН}}^2}{U_{\text{ВН}}^2} \quad (27)$$

$$x_{\text{К1}}' = 270 \cdot \frac{0,4^2}{10,5^2} = 0,392 \text{ мОм}$$

$$r_{\text{суммК1}}' = r_{\text{суммК1}} \frac{U_{\text{НН}}^2}{U_{\text{ВН}}^2} \quad (28)$$

$$r_{\text{К1}}' = 139 \cdot \frac{0,4^2}{10,5^2} = 0,202 \text{ мОм}$$

Сопротивление ТМГ 2500/10/0,4:

$$x_{\text{Т}} = \sqrt{u_{\text{К}}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\text{КЗ}}}{S_{\text{ТР}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{ТР}}} \cdot 10^4 \quad (29)$$

$$x_T = \sqrt{6^2 - \left(\frac{100 \cdot 26,5}{2500}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{2500} \cdot 10^4 = 8,61 \text{ мОм}$$

$$r_T = \frac{P_{КЗ} \cdot U_{НН}^2}{S_{Тр}^2} \cdot 10^6 \quad (30)$$

$$r_T = \frac{26,5 \cdot 0,4^2}{2500^2} \cdot 10^6 = 4,24 \text{ мОм}$$

Активное и индуктивное сопротивление цепи до точки К2:

$$r_{\text{суммК2}} = r'_{\text{суммК1}} + r_K + r_{КВ} + r_{ТТ} + r_T + r_{КЛ2} \quad (31)$$

$$r_{\text{суммК2}} = 0,2 + 0,1 + 1,1 + 0,2 + 4,24 + 26 = 25,2 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{суммК2}} = x'_{\text{суммК1}} + x_{КВ} + x_{ТТ} + x_C + x_T + x_{КЛ2} \quad (32)$$

$$x_{\text{суммК2}} = 0,39 + 0,5 + 0,3 + 0,221 + 8,61 + 15,4 = 31,84 \text{ мОм}$$

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного ТКЗ без учета подпитки от электродвигателей» [8]:

$$I_{\text{п0}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3 \cdot (r_{\text{суммК2}}^2 + x_{\text{суммК2}}^2)}} \quad (33)$$

$$I_{\text{п0}} = \frac{0,4}{\sqrt{3 \cdot (31,84^2 + 25,2^2)}} = 5,69 \text{ кА}$$

«Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей ТКЗ» [8]:

$$\psi = \arctg\left(\frac{x_{\text{суммК2}}}{r_{\text{суммК2}}}\right) \quad (34)$$

$$\psi = \arctg\left(\frac{25,2}{31,84}\right) = 0,67$$

«Время от начала КЗ до появления ударного тока» [8]:

$$\zeta = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \psi}{\pi} \quad (35)$$

$$\zeta = 0,01 \cdot \frac{\frac{3,14}{2} + 0,67}{3,14} = 7,13$$

«Постоянная времени затухания апериодической составляющей ТКЗ» [8]:

$$T_a = \frac{x_{\text{суммКЗ}}}{r_{\text{суммКЗ}} \cdot \omega} \quad (36)$$

$$T_a = \frac{25,2}{31,84 \cdot 314} = 2,52$$

«Ударный коэффициент» [8]:

$$K_{\text{уд}} = 1 + \sin \psi \cdot e^{\frac{-\zeta}{T_a}} \quad (37)$$

$$K_{\text{уд}} = 1 + \sin(0,67) \cdot 2,71^{\frac{-7,13}{2,52}} = 1,044$$

«Ударный ток» [8]:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}} \cdot K_{\text{уд}} \quad (38)$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 5,69 \cdot 1,044 = 8,4 \text{ кА}$$

Вывод

При расчете коротких замыканий были взяты две точки – на стороне выше 1000 В, другая на стороне ниже 1000 В. Чем дальше точка возникновения КЗ от системы, тем меньше ударный ток и начальное действующее значение периодической составляющей.

8 Выбор и проверка оборудования

Ток термической стойкости для точки К2:

$$B_K = (I_{п0})^2 (T_a + t_{пво}) \quad (39)$$
$$B_K = 5,69^2 \cdot (2,52 + 30) \cdot 10^{-3} = 1,053 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

«Время действия релейной защиты:

$$\tau = t_{рз} + t_{сво} \quad (40)$$
$$\tau = 0,02 + 0,03 = 0,05 \text{ с}$$

где $t_{рз}$ – время срабатывания релейной защиты с;

$t_{сво}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с» [17].

Максимальное значение апериодической составляющей тока К3:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} \quad (41)$$
$$i_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot 5,69 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{2,52}} = 7,889 \text{ кА}$$

«Номинальное значение апериодической составляющей:

$$i_{a\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.откл}} \cdot (1 + e^{-22,5\tau}) \quad (42)$$
$$i_{a\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot 80 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 150 \text{ кА}$$

где $I_{\text{ном.откл}}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА» [2].

Таблица 13 – Расчетные и паспортные данные для выключателя ВА-45 4000/4000 3Р 80кА [2]

Расчетные данные	Единица измерения	Каталожные данные
$U_{ном}=400$	В	$U_{сет.ном}=400-690$
$I_{max}=3609$	А	$I_{ном}=630$
$I_{п0}=5,69$	кА	$I_{ном.откл}=80$
$i_{от}=7,889$	кА	$i_{а.ном}=150$
$i_{уд}=8,4$	кА	$i_{прс}=100$
$B_K=1,053$	кА ² ·с	$B_K=102$

Выбор разъединителей и трансформаторов тока проводится по параметрам, представленным в таблице 14.

Таблица 14 – Паспортные данные разъединителя РЕ19-47-72260-4000А-ИП-УХЛ [11] и трансформатора тока ТТЕ-125-4000/5А [15]

Расчетные данные	Единица измерения	Разъединитель	Трансформатор тока
$U_{ном}=400$	В	$U_{сет.ном}=400-690$	$U_{сет.ном}=690$
$I_{max}=3609$	А	$I_{ном}=4000$	$I_{ном}=4000$
$i_{уд}=8,4$	кА	$i_{прс}=100$	$i_{прс}=100$
$B_K=1,053$	кА ² ·с	$B_K=48$	$B_K=48$

Помимо вышеприведенных параметров, трансформаторы тока выбираются:

- «по конструкции и классу точности;
- по вторичной нагрузке ($Z_2 \leq Z_{ном2}$)» [15].

Таблица 15 – Параметры ТТЕ-125-4000/5А [15]

Параметр	Значение параметра
Номинальный вторичный ток	5 А
Номинальная вторичная мощность	15 ВА
Класс точности	0,5S

Составим расчетную таблицу вторичной нагрузки трансформатора тока.

Таблица 16 – Расчет вторичной нагрузки трансформатора тока

Наименование прибора	Тип прибора	Нагрузка, выраженная в ВА на одну фазу		
		А	В	С
Амперметр	Э-335	–	0,5	–
Ваттметр	Д-335	–	0,5	0,5
Варметр				
Счетчики активной энергии	САЗ-И670	–	2,5	–
Итого	–	–	3,5	0,5

«Общее сопротивление приборов фазы В:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{\text{ном2}}^2} \quad (43)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{3,5}{5^2} = 0,14 \text{ Ом.}$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами, ВА;

$I_{\text{ном2}}$ – вторичный ток трансформатора тока» [1].

«Номинальное полное сопротивление нагрузки:

$$Z_{\text{ном2}} = \frac{S_{\text{ном2}}}{I_{\text{ном2}}^2} \quad (44)$$

$$Z_{\text{ном2}} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом}$$

где $S_{\text{ном2}}$ – номинальная вторичная нагрузка трансформатора, выраженная через полную мощность, которая берется из каталога, ВА» [1].

«Сопротивление проводов:

$$R_{\text{пр}} = Z_{\text{ном2}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}} \quad (45)$$

$$R_{\text{пр}} = 0,8 - 0,14 - 0,1 = 0,56 \text{ Ом.}$$

где $R_k=0,1$ – переходное сопротивление контактов, Ом» [1].

«Длину проводов примем 0,5 м. Тогда для неполной звезды получаем расчетную длину 0,87 м. Рассчитаем сечение проводов по следующей формуле:

$$S = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}} \quad (46)$$

$$S = \frac{0,027 \cdot 0,5}{0,56} = 0,024 \text{ мм}^2$$

где $\rho=0,027$ – удельное сопротивление алюминиевых соединительных проводов, Ом·мм²/м» [1].

Принимаем ближайшее стандартное сечение 4 мм².

Вывод

В данном разделе были выбраны и проверены:

- автоматический выключатель ВА-45 4000/4000 ЗР 80кА;
- разъединители РЕ19-47-72260-4000А-ИП-УХЛ;
- трансформаторы тока ТТЕ-125-4000/5А.

9 Расчет релейной защиты и автоматики

«Основными видами повреждения в трансформаторе являются: замыкания между фазами внутри кожуха трансформатора и на наружных выводах обмоток; замыкания в обмотках между витками одной фазы (витковые замыкания); замыкания на землю обмоток или их наружных выводов, повреждения магнитопровода трансформатора, приводящие к появлению местного нагрева пожара.

Для трансформаторов с высшим напряжением 10(6) кВ должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

- междуфазных коротких замыканий в обмотках и на выводах (токовая отсечка без выдержки времени);
- токов в обмотках, обусловленных внешними КЗ (максимальная токовая защита);
- токов в обмотках, обусловленных перегрузкой (максимальная токовая защита от перегрузки)» [17].

Защиту трансформатора ТМГ-2500/10/0,4 рассчитаем для схемы соединения Y/Y_0-0 .

Максимальное время защиты линий, отходящих от шин НН трансформатора, приравняем к собственному времени отключения выключателей $t_{\max}=0,03$ с.

Максимальную токовую защиту и токовую отсечку выполним на базе микропроцессорной защиты SEPAM T-20.

«SEPAM серии 20 представляет собой терминал для использования в простых защитах одного присоединения, основанных на измерении токов или напряжений. Например: защита воздушных линий со встроенным АПВ; защита вводов и фидеров подстанции от междуфазных КЗ и замыканий на землю; защита трансформаторов 10 (6) кВ малой мощности от перегрузок (в том числе тепловая защита с учетом температуры окружающей среды и двумя

группами уставок для разных режимов обдува); защита двигателей от внутренних повреждений и повреждений, зависящих от нагрузки с контролем режима пуска, включая защиту от перегрузок (в том числе термическая защита с учетом температуры окружающей среды и кривой холодного состояния, которую можно отрегулировать в соответствии с характеристиками двигателя. Для цифровых терминалов SEPAM уставки рассчитываются и задаются в первичных величинах или в процентах от номинальных значений» [17].

На рисунке 9 приведена схема расчета релейной защиты трансформатора.

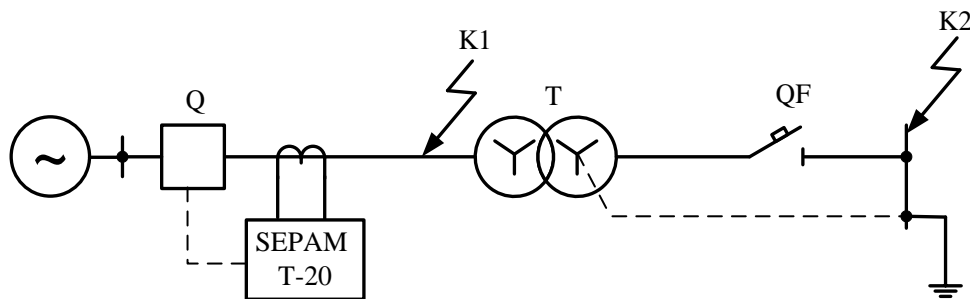


Рисунок 9 – Расчетная схема релейной защиты трансформатора

Согласно ПУЭ, токовая отсечка может применяться для защиты трансформаторов до 4 МВА.

«Уставка токовой отсечки:

$$I_{то} = I_{\text{нн}}^{(3)} \cdot k_{отс} \quad (47)$$

$$I_{то} = 5,69 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right) \cdot 10^3 \cdot 1,1 = 250,4 \text{ А}$$

где $I_{\text{нн}}^{(3)}$ – значение тока трехфазного КЗ на выводах обмотки 0,4 кВА;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки учитывающий погрешность при расчете значений токов КЗ» [17].

Защита не должна срабатывать при включении трансформатора от броска намагничивающего тока:

$$I_{\text{ТО}} = I_{\text{НОМ.Т}} \cdot k_{\text{ОТС}} \quad (48)$$
$$I_{\text{ТО}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 10,5} \cdot 1,1 = 151,2 \text{ А}$$

Принимаем ток срабатывания 250,4 А.

Определим двухфазный ток КЗ:

$$I_{\text{ВН}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{ВН}}^{(3)} \quad (49)$$
$$I_{\text{ВН}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8,97 = 7,768 \text{ кА.}$$

Проверим коэффициент чувствительности:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{ВН}}^{(2)}}{I_{\text{ТО}}} \quad (50)$$
$$k_{\text{ч}} = \frac{7768}{250,4} = 31$$

Защита чувствительна поскольку коэффициент больше 2 [10].

«Максимальная токовая защита трансформатора устанавливается со стороны вводов 10 кВ и является одновременно защитой ввода рабочего питания 0,4 кВ. На линиях 10 кВ МТЗ является единственной защитой от междуфазных КЗ, так как при защите этих линий быстродействующие защиты не применяются. МТЗ выполняет функцию резервной защиты токовых защит трансформатора при их отказе или выводе из действия. Выбор уставок срабатывания МТЗ осуществляется из условия несрабатывания защиты при самозапуске электродвигателей. Причем, значения токов самозапуска могут значительно превышать номинальные значения токов трансформатора. При

использовании в качестве защиты цифровых терминалов SEPAM защита выполняется с применением трансформаторов тока в трех фазах» [17].

Защита с учетом токов самозапуска электродвигателей:

$$I_{сз} = I_{ВН}^{max} \cdot \frac{k_H \cdot k_{сзп}}{k_B} \quad (51)$$

$$I_{сз} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \frac{1,1 \cdot 1,3}{0,935} = 221 \text{ А}$$

где $k_{сзп}$ – коэффициент самозапуска электродвигателей, $k_{сзп} = 1,3 \div 1,5$.

$I_{ВН}^{max}$ – максимальный нагрузочный ток на стороне ВН, А.

Рассчитаем чувствительность МТЗ:

$$I_{НН}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{НН}^{(3)} \quad (52)$$

$$I_{НН}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 19,94 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right) \cdot 10^3 = 691 \text{ А}$$

$$k_{ч} = \frac{I_{НН}^{(2)}}{I_{сз}} \quad (53)$$

$$k_{ч} = \frac{I_{НН}^{(2)}}{I_{сз}} = \frac{691}{221} = 3,13$$

где $I_{НН}^{(2)}$ – ток двухфазного КЗ на стороне 0,4 кВ.

Защита чувствительна, поскольку коэффициент больше 1,5 [10].

Выводы по разделу

Токовая отсечка и максимальная токовая защита на базе микропроцессорной защиты SEPAM Т-20 соответствуют требованиям чувствительности согласно ПУЭ.

Заключение

В ходе написания ВКР, мы спроектировали систему электроснабжения завода по производству строительных материалов.

Исходными данными ВКР являются:

- электрические нагрузки электроприемников цехов;
- генеральный план расположения цехов промышленного предприятия.

В соответствии с этим, был проведен расчет электрических нагрузок, который приведен в таблице 2 на примере цеха по производству газобетонных блоков. Далее были посчитаны суммарные нагрузки электрооборудования всего завода в целом.

Затем был проведен расчет электрического освещения по всей территории завода. Полученные нагрузки освещения были просуммированы с ранее рассчитанными нагрузками электрооборудования цехов завода по производству строительных материалов.

Для снижения реактивной составляющей были установлены 2хУКРМ-0,4-350-25.

Для питания электроприемников завода были установлены две газопоршневые установки Caterpillar G3516, каждая из которых вырабатывает 1030 кВт мощности. Электроснабжение от ТП с ТМГ 2500/10 будет осуществляться при отключении одной или двух когенерационных установок G3516.

Далее был проведен расчет токов КЗ на стороне 10 кВ и 0,4 кВ. Было выявлено, что чем дальше точка возникновения КЗ от системы, тем меньше ударный ток и начальное действующее значение периодической составляющей.

По проведенному расчету токов КЗ было выбрано оборудование ТП (выключатели, трансформаторы тока, разъединители).

Заключительным этапом ВКР является расчет релейной защиты и автоматики.

Список используемых источников

1. Вахнина В.В. Проектирование систем электроснабжения // Электрон. учеб.-метод. пособие ТГУ; Ин-т энергетики и электротехники; каф. «Электроснабжение и электротехника». Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с.
2. Выключатель автоматический ВА-45 4000/4000 3P 80кА [Электронный ресурс] : Официальный сайт производителя электротехнической продукции ЕКФ. URL: <https://ekfgroup.com/catalog/products/vyklyuchatel-avtomaticheskij-va-45-4000-4000-3p-80ka-vykatnoj-ekf-proxima> (дата обращения: 14.09.2022).
3. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [Электронный ресурс]: утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1364-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707> (дата обращения: 14.09.2022).
4. Для чего нужен УКРМ? [Электронный ресурс] : Официальный сайт диллера электрооборудования Ortea. URL: http://orteastore.ru/info/dlya_chego_ukrm/ (дата обращения: 14.09.2022).
5. Кабель АПВБВ [Электронный ресурс] : Официальный сайт КПС (кабельная поисковая система). URL: <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-izolyacziej-iz-sshitogo-polietilena-10kv/apvbv-10kv/kabel-apvbv-3x50-16.html> (дата обращения: 14.09.2022).
6. Каталог светильников GALAD [Электронный ресурс] : Официальный сайт международной светотехнической корпорации GALAD. URL: <https://galad.ru/catalog/> (дата обращения: 14.09.2022).
7. Конденсаторная установка УКРМ-0,4-350-25 У3 [Электронный ресурс] : Официальный сайт завода по производству электроцитового оборудования «Элком-Энерго». URL: <https://elcom-energo.ru/catalog/kondensatornye-ustanovki-0-4-kv-krm-ukrm-aukrm-ukm58-akukku-i-drugie/reguliruemye-kondensatornye-ustanovki-ukrm-0-4/kondensatornaya-ustanovka-ukrm-0-4-350-25-u3/> (дата обращения: 14.09.2022).

8. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс] : ГОСТ 28249-93 утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 14.09.2022).

9. НТП ЭПП-94 Проектирование электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс] : Нормы технологического проектирования (1 редакция) принятые Тяжпромэлектропроект от 01.01.1994. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030085> (дата обращения: 14.09.2022).

10. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 104 с.

11. Разъединитель PE19-47-72260-4000А-ИП-УХЛЗ-КЭАЗ [Электронный ресурс] Официальный сайт отечественного производителя оборудования АО «КЭАЗ» : URL: <https://keaz.ru/catalog/product/119993> (дата обращения 14.09.2022).

12. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejj-ro-poterjam-naprjazhenija.html> (дата обращения 14.09.2022).

13. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок [Электронный ресурс] : Руководящий технический материал утв. техническим циркуляром ВНИПИ Тяжпромэлектропроект от 30.07.1992 N 359-92. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения: 14.09.2022).

14. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 утв. Приказом Минстроя России от 07.11.2016 N 777/пр. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 14.09.2022).

15. Трансформатор тока ТТЕ-125-4000/5А [Электронный ресурс] : Официальный сайт производителя электротехнической продукции ЕКФ. URL: <https://ekfgroup.com/catalog/products/transformator-toka-tte-125-4000-5a-klass-tochnosti-0-5s-ekf-proxima> (дата обращения: 14.09.2022).

16. Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 52719-2007 утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050072> (дата обращения: 14.09.2022).

17. Требования к релейной защите [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <https://pue8.ru/relejnaya-zashchita/238-trebovaniya-k-relejnoj-zashchite.html> (дата обращения: 14.09.2022).

18. Abdulhakim Amer A.Agl, Yousif M.Hamad, Tarek A.Hamad, John W.Sheffield. Study of energy recovery and power generation from alternative energy source [Text] / Missouri University of Science and Technology, Mechanical and Aerospace Engineering. - 2015. - PP. 1-7. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X14000227> (дата обращения: 14.09.2022).

19. Binbin Zhao, Yang Chen, Yuhan Lei. Energy-saving House based on the Healthy-Housing theory in Sanjiangyuan, Qinghai [Text] / E3S Web of Conferences. - 2019. - PP. 1-4. - URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/62/e3sconf_icbte2019_03028.pdf (дата обращения: 14.09.2022).

20. Fernandes H. S., Moura M. B., Guadalupe P. C., Fortes M. Z., and Fernandes N. C.. Software to manage transformers using intelligent electronic device [Text] / Universidad Nacional de Colombia. - 2016. - PP. 1-5. - URL: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingenv/article/view/48104> (дата обращения: 14.09.2022).

21. Valerio R.M. Lo Verso, Anna Pellegrino. Energy Saving Generated Through Automatic Lighting Control Systems According to the Estimation Method of the Standard EN 15193-1 [Text] / Journal of Daylighting. - 2019. - URL: <https://solarlits.com/jd/6-131> (дата обращения: 14.09.2022).