

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)

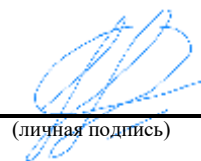
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения завода по производству газового
оборудования и аппаратуры

Обучающийся

И.В. Пахомя

(Инициалы Фамилия)



(личная подпись)

Руководитель

О.В. Федяй

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

Тольятти 2023

Аннотация

Темой ВКР является «Проектирование системы электроснабжения завода по производству газового оборудования и аппаратуры».

Исходные данные ВКР:

- параметры групп электроприемников и технологического оборудования отдельных цехов предприятия, а также план их размещения;
- генеральный план завода.

На первом этапе рассчитаны электрические нагрузки электроприемников наиболее мощного цеха, а также нагрузки всех цехов по заводу в целом.

Расчет нагрузок позволил определить требуемые к установке компенсирующие устройства.

Поскольку нагрузка по предприятию распределяется неравномерно, то в соответствии с этим была построена картограмма электрических нагрузок. Данная операция позволила определить место установки электрогенераторной завода по производству газового оборудования и аппаратуры.

Заключительными этапами работы являются расчет токов КЗ на сторонах ВН и НН, выбор оборудования и релейной защиты для стабильной работы системы электроснабжения предприятия.

Содержание

Введение.....	4
1 Расчет и анализ электрических нагрузок.....	5
2 Расчет электрического освещения.....	14
3 Расчет компенсирующих устройств.....	18
4 Построение картограммы электрических нагрузок.....	20
5 Расчет потерь напряжения кабельных линий.....	23
6 Анализ схемы электроснабжения.....	28
7 Расчет токов КЗ.....	33
8 Выбор и проверка оборудования.....	38
9 Расчет релейной защиты и автоматики.....	42
Заключение.....	46
Список используемых источников.....	47

Введение

Газодобывающая отрасль Российской Федерации всегда сохраняет свою стабильную работу. Рост уровня газификации нашего государства происходит из года в год как для сельской местности, так и для крупных городов и промышленных предприятий. В свою очередь это вызывает рост спроса на поставку газового оборудования и аппаратуры, а также строительно-монтажные работы по его установке. Производство газового оборудования и аппаратуры требует соблюдения множества требования нормативных документов и регламентов, поскольку от этого зависит безопасная и стабильная эксплуатация котельных и энергетических установок. В связи с этим предприятия, на которых используется и изготавливается газовое оборудование, должны соблюдать требования нормативно-технической документации при проектировании и эксплуатации системы электроснабжения.

Надежность спроектированной системы электроснабжения предприятия по производству газового оборудования и аппаратуры определяет уровень безопасной работы службы эксплуатации завода.

Объект исследования занимается производством запорной, предохранительной, регулирующей арматуры в общепромышленном и взрывозащищенном исполнении для систем газоснабжения, а также систем подачи жидкого топлива, осуществляет изготовление газового оборудования в блочном исполнении.

Целью ВКР является проектирование системы электроснабжения завода по производству газового оборудования и аппаратуры.

Задачи ВКР состоят в расчете электрических нагрузок, выборе оборудования на основании расчета токов КЗ, в размещении этого оборудования на территории предприятия по построенной картограмме электрических нагрузок, а также в проектировании релейной защиты для избежания аварийных режимов работы электроустановок.

1 Расчет и анализ электрических нагрузок

Пользуясь методом упорядоченных диаграмм, вычислим нагрузки на примере №51 цеха, который осуществляет производство газового оборудования и аппаратуры [1]. Расчет электрических нагрузок проведем на примере цеха №51 по производству арматуры общепромышленного исполнения для систем газоснабжения. Электроприемники (ЭП) представлены в таблице 1.

Расчет проводится в порядке, указанном ниже.

«Нагрузка группы ЭП за наиболее загруженную смену:

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

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

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

где $P_{\text{у}}$ – 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].

Суммарная установленная активная мощность ЭП:

$$P_{\text{у}} = \sum_{i=1}^n P_i. \quad (4)$$

Эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum_{i=1}^m n_i P_{\text{Hi}})^2}{\sum n_i P_{\text{Hi}}^2}. \quad (5)$$

Групповой коэффициент использования:

$$K_{и} = \frac{\sum_1^m P_{см}}{\sum_1^m P_{уст}} \quad (6)$$

«Расчетные нагрузки:

$$P_p = K_p \cdot P_{см}, \quad (7)$$

$$Q_p = K'_p \cdot P_{см}, \quad (8)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (9)$$

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:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}, \quad (10)$$

Результаты расчетов занесем в таблицы 2-4.

Таблица 1 – Данные электроприемников цеха по производству арматуры №51

Шифр	Наименование установки по производству оборудования	n	P _н , кВт					K _и	cosφ
1.1-1.5	Установка производства клапанов для манометров	5	72	59	29	22	20	0,78	0,78
1.6	Установка производства клапанов двухпозиционных газовых (НЗ)	1	29	–	–	–	–	0,52	0,73

Продолжение таблицы 1

Шифр	Наименование установки по производству оборудования	n	P _н , кВт					K _н	cosφ
1.7-1.11	Установка производства клапанов двухпозиционных газовых (НО)	5	18	10	11	8	9	0,52	0,73
1.12,1.13	Установка производства клапанов отсечных	2	–	–	–	28	12	0,68	0,77
1.14-1.16	Клапаны отсечные быстродействующие	3	50	38	–	–	33	0,67	0,73
1.17	Установка производства кранов шаровых	1	–	–	–	–	12	0,62	0,77
1.18-1.21	Приточная и вытяжная вентиляция	4	–	1,2	1,2	1,3	1,8	0,82	0,84
2.22,2.23	Оборудование производства заслонок дроссельного типа с ручным управлением	27	10	–	–	–	27	0,72	0,73
2.24,2.25	Оборудование производства заслонок дроссельного типа с электроприводом	40	19	–	–	–	40	0,52	0,77
2.26-2.28	Установка по изготовлению регуляторов расхода	–	–	62	47	30	–	0,62	0,77
2.29,2.30	Производство диафрагм измерительных	–	–	–	32	14	–	0,82	0,83
2.31,2.32	Аппарат по изготовлению клапанов для жидких сред	18	7	–	–	–	18	0,82	0,87
2.33	Испытательный стенд	3,5	–	–	–	–	3,5	0,93	0,97
3.34-3.36	Аппарат точечной, контактной и дуговой сварки	37	–	–	17	8	37	0,61	0,74
3.37,3.38	Разрезной станок	47	12	–	–	–	47	0,81	0,82
3.39-3.41	Шлифовальный станок	30	15	–	–	8	30	0,81	0,78
3.42,3.43	Токарный станок	22	–	–	–	4,5	22	0,79	0,87
3.44	Фрезерный станок	–	–	–	–	4,5	–	0,79	0,83
3.45-3.49	Мастерская	4,3	3,2	1,6	1,6	1,1	4,3	0,54	0,91
4.50,4.51	Оборудование производства мазутных блоков	65	–	15	–	–	65	0,83	0,97
4.52,4.53	Сварочный аппарат	47	–	7	–	–	47	0,52	0,73
4.54,4.55	Блок автоматики	8,5	–	8	–	–	8,5	0,51	0,77
Всего по цеху		52	1,1-72 кВт					–	–

Таблица 2 – Расчет электрических нагрузок цеха №51 по производству арматуры общепромышленного исполнения для систем газоснабжения

Шифр	Наименование технологического оборудования	P_{\min}	P_{\max}	n	P_y	$K_{\text{и}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$S_{\text{см}}$
		кВт			кВт				кВт	квар	кВА
Участок 1. Оборудование производства клапанов		1,2	72	21	465,5	0,69	0,77	0,84	321,98	270,24	420,36
1.1-1.5	Установка производства клапанов для манометров	20	72	5	202	0,78	0,78	0,8	157,56	126,05	202
1.6	Установка производства клапанов двухпозиционных газовых (НЗ)	29	29	1	29	0,52	0,73	0,94	15,08	11,01	20,66
1.7-1.11	Установка производства клапанов двухпозиционных газовых (НО)	8	18	5	56	0,52	0,73	0,94	29,12	27,37	39,89
1.12,1.13	Установка производства клапанов отсечных	12	28	2	40	0,68	0,77	0,83	27,2	20,94	35,32
1.14-1.16	Клапаны отсечные быстродействующие	33	50	3	121	0,67	0,73	0,94	81,07	76,21	111,05
1.17	Установка производства кранов шаровых	12	12	1	12	0,62	0,77	0,83	7,44	5,73	9,66
1.18-1.21	Приточная и вытяжная вентиляция	1,2	1,8	4	5,5	0,82	0,84	0,65	4,51	2,93	5,37

Продолжение таблицы 2

Шифр	Наименование технологического оборудования	$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{макс}}$	n	P_y	$K_{\text{н}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$S_{\text{см}}$
		кВт			кВт				кВт	квар	кВА
Участок 2. Аппаратура для систем газоснабжения и подачи жидкого топлива		3,5	62	14	309,5	0,66	0,79	0,78	204,98	159,81	259,92
2.22,2.23	Оборудование производства заслонок дроссельного типа с ручным управлением	10	27	2	37	0,72	0,73	0,94	26,64	25,04	36,49
2.24,2.25	Оборудование производства заслонок дроссельного типа с электроприводом	19	40	2	59	0,52	0,77	0,83	30,68	25,46	39,84
2.26-2.28	Установка по изготовлению регуляторов расхода	30	62	3	139	0,62	0,77	0,83	86,18	71,53	111,92
2.29,2.30	Производство диафрагм измерительных	14	32	2	46	0,82	0,83	0,67	37,72	25,27	45,45
2.31,2.32	Аппарат по изготовлению клапанов для жидких сред	7	18	4	25	0,82	0,87	0,57	20,5	11,69	23,56
2.33	Испытательный стенд	3,5	3,5	1	3,5	0,93	0,97	0,25	3,26	0,82	3,36
Участок 3. Цех заготовок		1,1	47	16	216,8	0,74	0,8	0,75	159,41	119,47	199,21
3.34-3.36	Аппарат точечной, контактной и дуговой сварки	8	37	3	62	0,61	0,74	0,91	37,82	34,42	51,11

Продолжение таблицы 2

Шифр	Наименование технологического оборудования	$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{макс}}$	n	P_y	K_{η}	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$S_{\text{см}}$
		кВт			кВт				кВт	квар	кВА
3.37,3.38	Разрезной станок	12	47	2	59	0,81	0,82	0,7	47,79	33,45	58,28
3.39-3.41	Шлифовальный станок	8	30	3	53	0,81	0,78	0,8	42,93	34,34	55,04
3.42,3.43	Токарный станок	4,5	22	2	26,5	0,79	0,87	0,57	20,94	11,94	24,07
3.44	Фрезерный станок	4,5	4,5	1	4,5	0,79	0,83	0,67	3,56	2,39	4,29
3.45-3.49	Мастерская	1,1	4,3	5	11,8	0,54	0,91	0,46	6,37	2,93	7
Участок 4. Оборудование для производства блочных систем на жидком и газовом топливе		7	65	6	150,5	0,68	0,9	0,49	102,9	49,99	114,4
4.50,4.51	Оборудование производства мазутных блоков	15	65	2	80	0,83	0,97	0,25	66,4	16,6	68,45
4.52,4.53	Сварочный аппарат	7	47	2	54	0,52	0,73	0,94	28,08	26,4	38,47
4.54,4.55	Блок автоматики	8	8,5	2	16,5	0,51	0,77	0,83	8,42	6,99	10,94
Итого		1,1	72	52	1142,3	0,69	0,8	0,76	789,27	599,51	991,14

Таблица 3 – Расчет электрических нагрузок по производственным участкам цеха №51 по изготовлению арматуры общепромышленного исполнения для систем газоснабжения

Наименование участка	n _э	K _p	K _p '	P _p	Q _p	S _p	I _p
				кВт	квар	кВА	А
Оборудование производства клапанов	12	0,9	1	289,78	270,24	396,23	571,91
Аппаратура для систем газоснабжения и подачи жидкого топлива	8	0,92	1,1	188,58	175,79	257,81	372,12
Цех заготовок	11	0,9	1	143,47	119,47	186,7	269,48
Оборудование для производства блочных систем на жидком и газовом топливе	4	0,97	1,1	99,81	54,99	113,96	164,49
Итого	–	–	–	721,64	620,49	951,72	1373,69

Таблица 4 – Расчет электрических нагрузок завода

№ цеха	Наименование цеха	P_y	$K_{и}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p	Q_p	S_p	I_p
		кВт				кВт	квар	кВА	А
51	Производство арматуры (запорной, предохранительной, регулирующей) общепромышленного исполнения для систем газоснабжения	1142,3	0,69	0,8	0,76	721,64	620,49	951,72	1373,69
52	Производство газового оборудования в блочном исполнении для паровых и водогрейных котлов	476	0,67	0,73	0,94	318,92	299,78	437,70	631,77
53	Производство взрывозащищенной арматуры (запорной, предохранительной, регулирующей) для систем подачи жидкого топлива	484	0,64	0,73	0,94	309,76	291,17	425,13	613,62
54	Производство оборудование систем воздухообеспечения (заслонок дроссельных)	283	0,71	0,78	0,8	200,93	160,74	257,32	371,41
55	Помещение хранения, упаковки, сортировки готовой продукции	57	0,33	0,86	0,59	18,81	11,10	21,84	31,52
56	Здание административно-технического персонала	84	0,75	0,79	0,78	63,00	49,14	79,90	115,33
Итого по цехам без учета освещения		2526,3	–	0,75	0,88	1633,06	1432,43	2172,27	3135,4

Вывод по разделу 1

Наиболее крупным потребителем завода по производству газового оборудования и аппаратуры является цех по производству арматуры (запорной, предохранительной, регулирующей) общепромышленного исполнения для систем газоснабжения.

Данный цех обладает самой большой мощностью (активной, реактивной и полной), а также имеет самое большое значение рабочего тока.

Цех по производству арматуры общепромышленного исполнения для систем газоснабжения имеет в своем составе четыре участка, самый мощный из которых – первый.

Если рассматривать завод в целом, то суммарная полная мощность силовых потребителей составляет 2172,27 кВА.

Теперь необходимо провести расчет освещения производственных помещений.

2 Расчет электрического освещения

Проведем расчет освещения по методу удельной мощности. Результаты расчетов приведены в таблице 5.

Расчетная методика основана на использовании паспортных данных светильников [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:

$$P_{po} = \frac{E \cdot K_c \cdot F}{\Phi/P}, \quad (11)$$

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg}(\operatorname{acos}(\cos\varphi)), \quad (12)$$

где Φ/P – световая отдача, Лм/Вт;

F – площадь освещения, м²;

K_c – коэффициент спроса» [3].

Полную мощность необходимую на освещение производственных помещений и прилегающих территорий вычислим по формуле 3.

Результаты проведенных расчетов по формулам представлены в таблице 6.

Таблица 5 – Паспортные данные светильников из каталогов АСТЗ

Параметр	Единица измерения	Уличное светодиодное освещение	Помещение хранения, упаковки, сортировки готовой продукции	Административно-технические помещения	Производственные помещения
Удельный световой поток	Лм/Вт	150,00	135,42	92,71	150,00
Модель светильника	–	ДКУ62-40-001 Champion 730	ГСП17 со встроенным ПРА	ДПО12-30-043 Universal Soft EM3 MT 940	ЛСП68-2x80-011 Fregat
Активная мощность	Вт	40	72	34	80
Световой поток	лм	6000	9750	3152	12000
Цветовая температура	К	4000	4000	4000	4000
Степень пылевлагозащиты	–	IP66	IP65	IP20	IP65
Расчетное количество светодиодных светильников	шт	4	25	21	148

Таблица 6 – Техничко-экономический расчет освещения

№ цеха	Наименование цеха	E	K _c	F	cosφ	Φ/P	P _p	Q _p	S _p					
		лк		м ²		Лм/Вт	кВт	квар	кВА					
51	Производство арматуры (запорной, предохранительной, регулирующей) общепромышленного исполнения для систем газоснабжения	200	0,88	7921	0,96	150,00	9,29	2,72	9,68					
52	Производство газового оборудования в блочном исполнении для паровых и водогрейных котлов		0,88	901						0,96	150,00	1,06	0,29	1,10
53	Производство взрывозащищенной арматуры (запорной, предохранительной, регулирующей) для систем подачи жидкого топлива		0,88	881						0,96	150,00	1,03	0,32	1,08
54	Производство оборудование систем воздухообеспечения (заслонок дроссельных)		0,88	281						0,96	150,00	0,33	0,08	0,34
55	Помещение хранения, упаковки, сортировки готовой продукции	300	0,62	1510	0,97	135,42	2,07	0,54	2,14					
56	Здание административно-технического персонала	200	0,94	360	0,96	92,71	0,73	0,21	0,76					
–	Прилегающие территории	10	0,61	4010	0,97	150,00	0,16	0,06	0,17					
Итого		–	–	15864	0,96	–	14,67	4,22	15,27					

Рассчитаем мощности завода с учетом освещения.

Результаты расчетов внесем в таблицу 7.

Таблица 7 – Электрическая нагрузка с учетом освещения

Нагрузка	P_y , кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Силовая	2526,3	0,75	0,88	1633,06	1432,43	2172,27	3135,40
Осветительная	14,43	0,96	0,29	14,67	4,22	15,27	22,04
Общая	2540,73	0,75	0,87	1647,73	1436,65	2186,09	3155,35

Вывод по разделу 2

Нагрузка светодиодного освещения завода по производству газового оборудования и аппаратуры составляет 15,27 кВА. В качестве светильников использованы следующие модели:

- ДКУ62-40-001 Champion 730;
- ГСП17 со встроенным ПРА;
- ДПО12-30-043 Universal Soft EM3 MT 940;
- ЛСП68-2x80-011 Fregat.

3 Расчет компенсирующих устройств

Групповой коэффициент мощности предприятия получился равным 0,75. Рассчитаем компенсирующие устройства.

«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 УКРМ для повышения коэффициента мощности до 0,95.

«Расчетная мощность УКРМ:

$$Q_{\text{КУ}} = \theta \cdot P_p \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2), \quad (13)$$

$$Q_{\text{КУ}} = 0,9 \cdot 1647,73 \cdot (0,87 - 0,33) = 801 \text{ квар},$$

где θ – коэффициент, учитывающий повышение коэффициента мощности;

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

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

Принимаем к установке 2×УКРМ-0,4-400-50 (таблица 8) [7].

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

«Годовая экономия электроэнергии после установки УКРМ:

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

$$\frac{W_{\text{эк}}}{W_{\text{год}}} = \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2}\right) \cdot K_{\text{п}}, \quad (15)$$

$$\frac{W_{\text{эк}}}{W_{\text{год}}} = \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2}\right) \cdot K_{\text{п}} = \left(1 - \frac{0,75^2}{0,93^2}\right) \cdot 0,08 = 0,027,$$

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].

Таблица 8 – Расчет компенсации реактивной мощности

Показатель	P_y	$\cos \varphi$	$\text{tg} \varphi$	P_p	Q_p	S_p	I_p
	кВт			кВт	квар	кВА	А
Без компенсации реактивной мощности	2540,73	0,75	0,87	1647,73	1436,65	2186,09	3155,35
Количество и мощность компенсирующего устройство	–	–	–	–	2×400	–	–
С компенсацией реактивной мощности	2540,73	0,93	0,39	1647,73	636,65	1766,45	2549,65

Вывод по разделу 3

Приняты к установке 2×УКРМ-0,4-400-50. Коэффициент мощности теперь составляет 0,93. Экономия электроэнергии составила 2,7% от действующего показателя.

4 Построение картограммы электрических нагрузок

Теперь необходимо рассчитать (ЦЭН) завода по производству газового оборудования и аппаратуры [20].

«ЦЭН завода:

$$x_{ц} = \frac{\sum S_i x_i}{S_i}, y_{ц} = \frac{\sum S_i y_i}{S_i}, \quad (16)$$

где S – нагрузка i -го потребителя, кВА;

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

«Радиус окружностей картограммы электрических нагрузок:

$$r_i = \sqrt{S/\pi \cdot m}, \quad (17)$$

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

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

Проведенные вычисления параметров картограммы нагрузок завода по изготовлению газового оборудования и аппаратуры (рисунок 1) представлены в таблице 9.

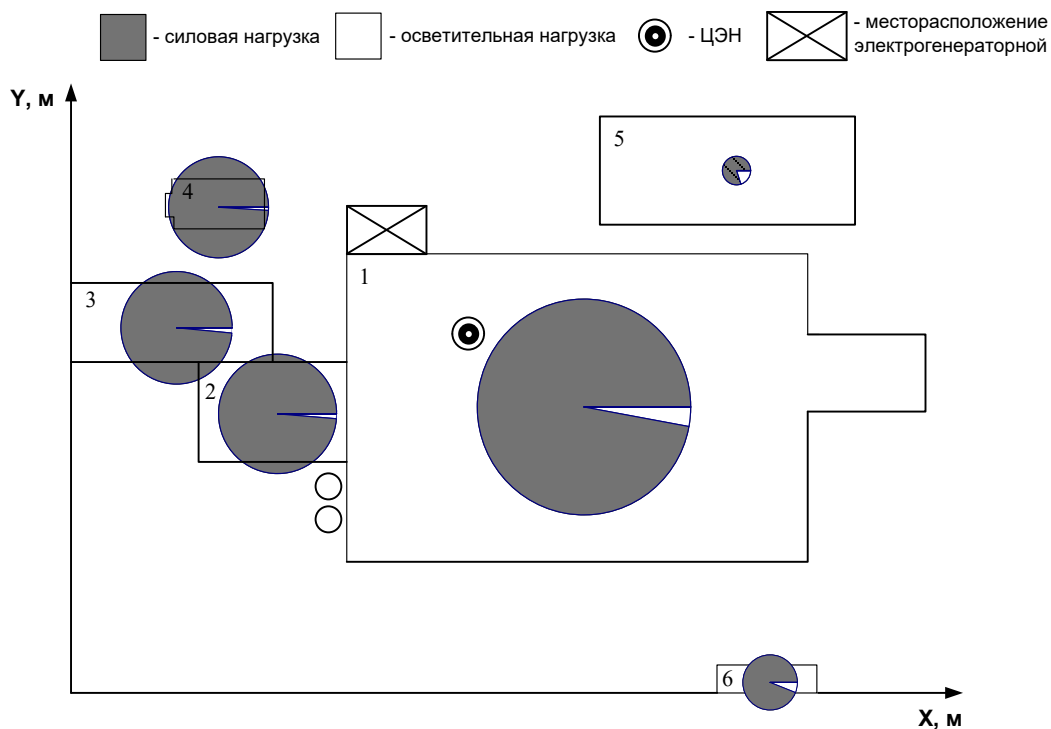


Рисунок 1 – Картограмма электрических нагрузок предприятия по изготовлению газового оборудования и аппаратуры

Схема питания ТП определяется исходя из конфигурации их расположения по заводу [19].

Таблица 9 – Расчетные значения картограммы электрических нагрузок завода

Цех	Производимая продукция	X	Y	P	Q	S	r_i
		м	м	кВт	квар	кВА	мм
51	Производство арматуры (запорной, предохранительной, регулирующей) общепромышленного исполнения для систем газоснабжения	119	67	871,64	629,78	1075,35	26,16
52	Производство газового оборудования в блочном исполнении для паровых и водогрейных котлов	49	67	468,92	300,84	557,13	18,83

Продолжение таблицы 9

Цех	Производимая продукция	X	Y	P	Q	S	r _i
		м	м	кВт	квар	кВА	мм
53	Производство взрывозащищенной арматуры (запорной, предохранительной, регулирующей) для систем подачи жидкого топлива	25	88	459,76	292,20	544,76	18,62
54	Производство оборудование систем воздухообеспечения (заслонок дроссельных)	37	116	350,93	161,07	386,13	15,68
55	Помещение хранения, упаковки, сортировки готовой продукции	157	124	154,23	13,17	154,79	9,93
56	Здание административно-технического персонала	166	31	155,71	49,87	163,50	10,20

Вывод по разделу 4

Наибольшую нагрузку и радиус на картограмме имеет цех по производству арматуры общепромышленного исполнения для систем газоснабжения.

5 Расчет потерь напряжения кабельных линий

Для питания электроприемников цеха по производству арматуры общепромышленного исполнения для систем газоснабжения воспользуемся кабелями марки ВВГнг-LS (таблица 10).

Таблица 10 – Кабельная ведомость цеха по производству арматуры общепромышленного исполнения для систем газоснабжения

Шифр	Оборудование	$S_{см},$ кВА	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А	$F_э,$ мм ²	n	F, мм ²	$I_{доп},$ А	L
Участок 1		420,36	396,23	571,91	184,49	3	70	231	11
1.1-1.5	Установка производства клапанов для манометров	202	–	291,56	94,05	2	50	187	57
1.6	Установка производства клапанов двухпозиционных газовых (НЗ)	20,66	–	29,82	9,62	1	10	79	22
1.7-1.11	Установка производства клапанов двухпозиционных газовых (НО)	39,89	–	57,58	18,57	1	16	102	24
1.12,1.13	Установка производства клапанов отсечных	35,32	–	50,98	16,45	1	16	102	33
1.14-1.16	Клапаны отсечные быстродействующие	111,05	–	160,29	51,71	1	50	187	46
1.17	Установка производства кранов шаровых	9,66	–	13,94	4,50	1	4	47	24
1.18-1.21	Приточная и вытяжная вентиляция	5,37	–	7,75	2,50	1	2,5	36	40

Продолжение таблицы 10

Шифр	Оборудование	$S_{см},$ кВА	$S_{р},$ кВА	$I_{р},$ А	$F_{з},$ мм ²	n	F, мм ²	$I_{доп},$ А	L
Участок 2		259,92	257,81	372,12	120,04	2	50	187	36
2.22,2.23	Оборудование производства заслонок дроссельного типа с ручным управлением	36,49	–	26,33	8,49	1	10	79	63
2.24,2.25	Оборудование производства заслонок дроссельного типа с электроприводом	39,84	–	28,75	9,27	1	10	79	26
2.26-2.28	Установка по изготовлению регуляторов расхода	111,92	–	53,85	17,37	1	16	102	31
2.29,2.30	Производство диафрагм измерительных	45,45	–	32,8	10,58	1	10	79	69
2.31,2.32	Аппарат по изготовлению клапанов для жидких сред	23,56	–	8,5	2,74	1	2,5	36	23
2.33	Испытательный стенд	3,36	–	4,85	1,56	1	2,5	36	46
Участок 3		199,21	186,7	269,48	86,93	2	50	187	36
3.34-3.36	Аппарат точечной, контактной и дуговой сварки	51,11	–	24,59	7,93	1	6	59	48
3.37,3.38	Разрезной станок	58,28	–	42,06	13,57	1	16	102	43
3.39-3.41	Шлифовальный станок	55,04	–	26,48	8,54	1	10	79	49
3.42,3.43	Токарный станок	24,07	–	17,37	5,60	1	6	59	39

Продолжение таблицы 10

Шифр	Оборудование	$S_{см},$ кВА	$S_{р},$ кВА	$I_p,$ А	$F_3,$ мм ²	n	F, мм ²	$I_{доп},$ А	L
3.44	Фрезерный станок	4,29	–	6,19	2,00	1	2,5	36	31
3.45-3.49	Мастерская	7	–	2,02	0,65	1	2,5	36	43
Участок 4		114,4	113,96	164,49	53,06	1	50	187	11
4.50,4.51	Оборудование производства мазутных блоков	68,45	–	49,4	15,94	1	16	102	50
4.52,4.53	Сварочный аппарат	38,47	–	27,76	8,95	1	10	79	61
4.54,4.55	Блок автоматики	10,94	–	7,9	2,55	1	2,5	36	43
Итого	–	991,14	951,72	1373,7	–	–	–	–	–

Теперь проведем проверку кабельных линий по потерям напряжения на примере цеха по производству арматуры общепромышленного исполнения для систем газоснабжения.

«Потери напряжения в кабельных линиях определим по следующему выражению:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_{ном}} l, \quad (18)$$

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].

Результаты расчетов по потерям напряжения представим в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет по потерям напряжения

Шифр	Оборудование	L	P _{см} , кВт	Q _{см} , кВА	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	ΔU, В	δU, %
Участок 1		11	321,98	270,24	0,265	0,0612	2,8	0,74
1.1-1.5	Установка производства клапанов для манометров	57	157,56	126,05	0,37	0,0625	9,43	2,48
1.6	Установка производства клапанов двухпозиционных газовых (НЗ)	22	15,08	11,01	1,84	0,099	1,59	0,42
1.7-1.11	Установка производства клапанов двухпозиционных газовых (НО)	24	29,12	27,37	1,2	0,095	2,25	0,59
1.12,1.13	Установка производства клапанов отсечных	33	27,2	20,94	1,2	0,095	2,86	0,75
1.14-1.16	Клапаны отсечные быстродействующие	46	81,07	76,21	0,37	0,0625	4	1,05
1.17	Установка производства кранов шаровых	24	7,44	5,73	0,095	0,107	0,08	0,02
1.18-1.21	Приточная и вытяжная вентиляция	40	4,51	2,93	7,55	0,116	3,44	0,91
Участок 2		36	204,98	159,81	0,37	0,0625	7,72	2,03
2.22,2.23	Оборудование производства заслонок дроссельного типа с ручным управлением	63	26,64	25,04	1,84	0,099	8,11	2,13
2.24,2.25	Оборудование производства заслонок дроссельного типа с электроприводом	26	30,68	25,46	1,84	0,099	3,83	1,01

Продолжение таблицы 11

Шифр	Оборудование	L	$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ кВА	$r_0,$ Ом/км	$x_0,$ Ом/км	$\Delta U,$ В	$\delta U,$ %
2.26- 2.28	Установка по изготовлению регуляторов расхода	31	86,18	71,53	1,2	0,095	8,54	2,25
2.29,2.30	Производство диафрагм измерительных	69	37,72	25,27	1,84	0,099	12,4	3,26
2.31,2.32	Аппарат по изготовлению клапанов для жидких сред	23	20,5	11,69	7,55	0,116	8,98	2,36
2.33	Испытательный стенд	46	3,26	0,82	7,55	0,116	2,84	0,75
Участок 3		36	159,41	119,47	0,37	0,0625	5,98	1,57
3.34- 3.36	Аппарат точечной, контактной и дуговой сварки	48	37,82	34,42	3,06	0,1	14,3	3,76
3.37,3.38	Разрезной станок	43	47,79	33,45	1,2	0,095	6,51	1,71
3.39- 3.41	Шлифовальный станок	49	42,93	34,34	1,84	0,099	10,0 9	2,66
3.42,3.43	Токарный станок	39	20,94	11,94	3,06	0,1	6,36	1,67
3.44	Фрезерный станок	31	3,56	2,39	7,55	0,116	2,1	0,55
3.45- 3.49	Мастерская	43	6,37	2,93	7,55	0,116	5,21	1,37
Участок 4		11	102,9	49,99	0,37	0,0625	1,13	0,30
4.50,4.51	Оборудование производства мазутных блоков	50	66,4	16,6	1,2	0,095	10,1 6	2,67
4.52,4.53	Сварочный аппарат	61	28,08	26,4	1,84	0,099	8,28	2,18
4.54,4.55	Блок автоматики	43	8,42	6,99	7,55	0,116	6,92	1,82

Вывод по разделу 5

Потери в кабельных линиях самого мощного цеха менее 3,76%.
Требования ПУЭ соблюдаются.

6 Анализ схемы электроснабжения

Для работы завода по производству газовой аппаратуры используется технологическое оборудование I и II категории надежности (51-54 цеха). Исходя из вышесказанного необходимо использовать разные независимые источники питания.

Смонтируем две газопоршневые установки марки G3512E (рисунок 2), которые позволят генерировать тепловую и электрическую энергию [22].

В качестве второго независимого источника питания, будут использоваться внешние электрические сети для того, чтобы обеспечить надежность электроснабжения потребителей завода по производству газового оборудования и аппаратуры (рисунок 3).

Основным источником питания потребителей предприятия электроэнергией являются газопоршневые генераторные установки G3512E (мощность 1000 кВт), резервным – внешние электросети.

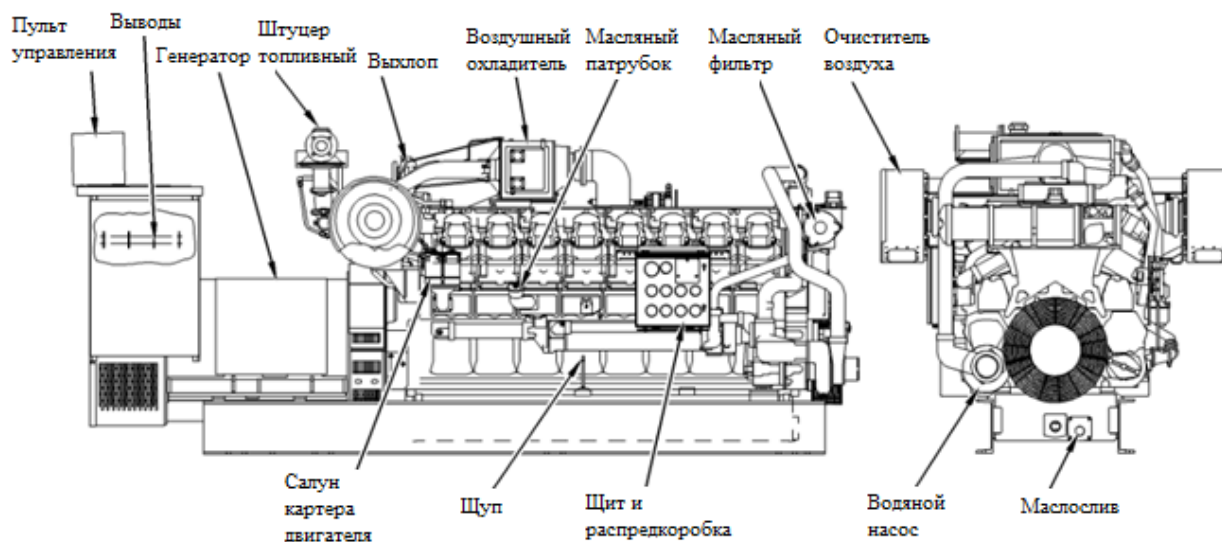


Рисунок 2 – Газопоршневая генераторная установка G3512E

Представим планы генераторной, ТП-ВРУ в разных видах (рисунки 4, 5).

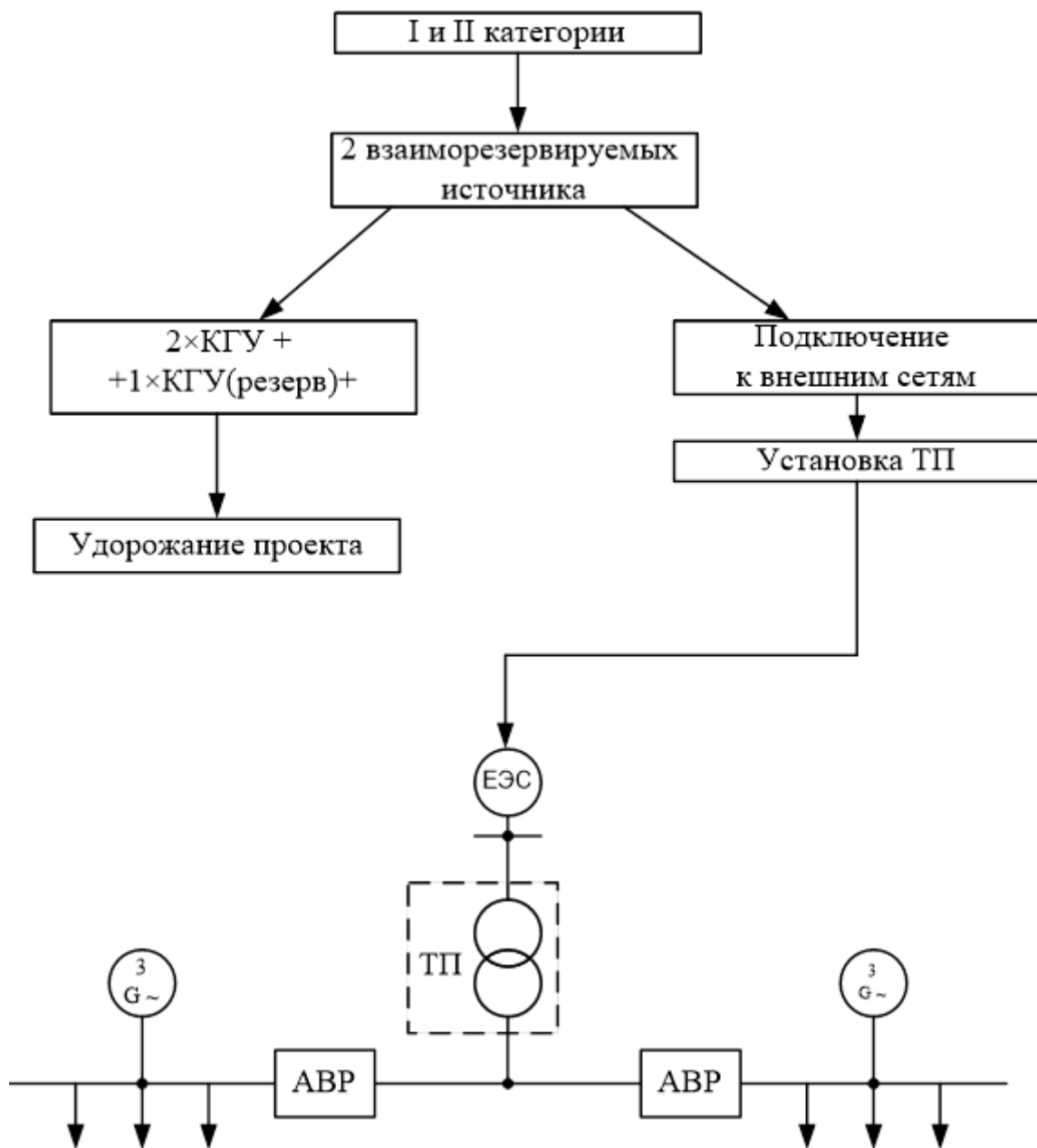


Рисунок 3 – Схема электроснабжения завода по производству газового оборудования и аппаратуры

Внутризаводские сети следует смонтировать по смешанной схеме. Отдельные здания и цеха запитаны с использованием кабельных линий, а прилегающие к ТП, будут запитаны по магистральным шинопроводам.

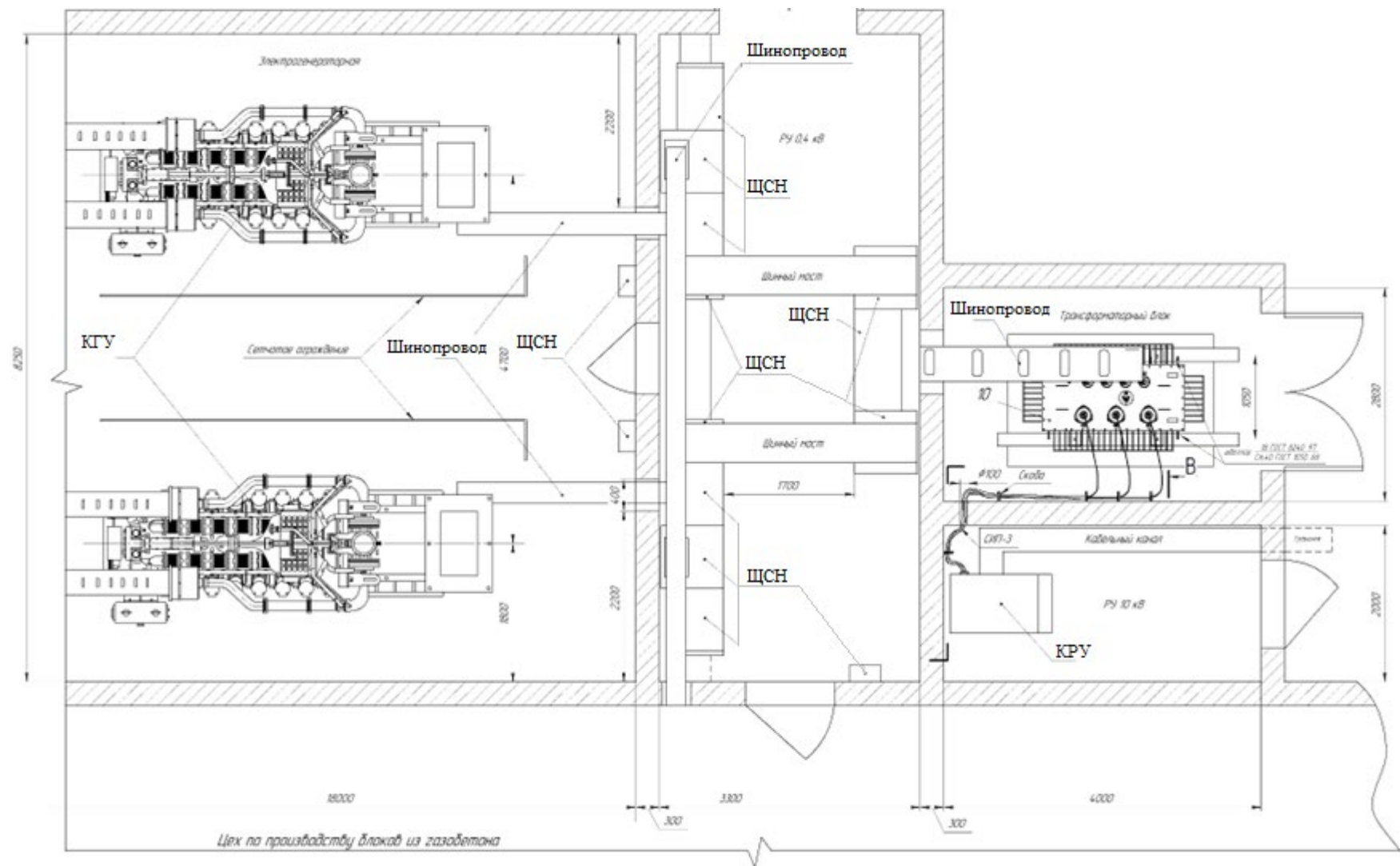


Рисунок 4 – План размещения оборудования в генераторной, ТП-ВРУ

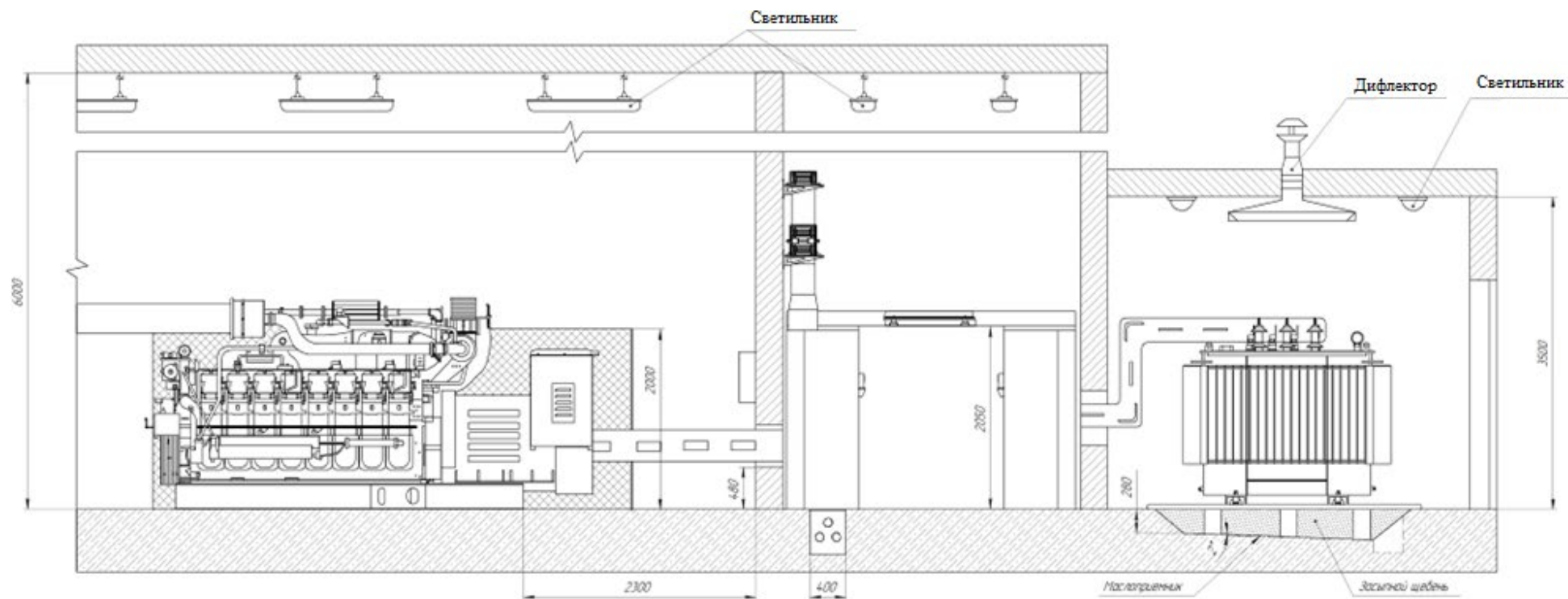


Рисунок 5 – Размещение оборудования генераторной, ТП-ВРУ на виде спереди, а также подвес светильников

Для работы от сетей электроснабжения необходимо установить два трансформатора ТМГ 1600/10, так как нагрузка завода составляет 1767 кВА при работе компенсирующих устройств.

«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 [21].

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» [1].

Питание от внешних сетей необходимо осуществить при отключении одной из двух G3512E, причем количество включенных в работу трансформаторов будет зависеть от нагрузки потребителей.

Вывод по разделу 6

Для покрытия потребности в электроэнергии достаточно работы двух газопоршневых установок G3512E. ТМГ 1600/10 работают в резерве.

7 Расчет токов КЗ

«Проведем расчет токов КЗ на стороне 10 кВ перед трансформатором ТМГ 1600/10, а также на стороне ниже 1 кВ» [1].

Ток от системы до ТП:

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (19)$$
$$I_c = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 147 \text{ А.}$$

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

$$S_c = \frac{I_c}{J_{\text{эк}}}, \quad (20)$$
$$S_c = \frac{147}{1,1} = 132 \text{ мм}^2.$$

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

«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 ТП равна $l_{\text{кл1}}=600 \text{ м}$.

Активное и индуктивное сопротивление кабеля:

$$r_{\text{кл1}} = r_{\text{уд1}} \cdot l_{\text{кл1}}, \quad (21)$$
$$r_{\text{кл1}} = 0,253 \cdot 0,6 = 0,152 \text{ Ом,}$$

$$x_{\text{кл1}} = x_{\text{уд1}} \cdot l_{\text{кл1}}, \quad (22)$$
$$x_{\text{кл1}} = 0,089 \cdot 0,6 = 0,053 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление системы» [16]:

$$x_c = \frac{U_6^2}{S_c}, \quad (23)$$

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

Общее сопротивление до точки К1:

$$x_{\Sigma K1} = x_c + x_{KL1}, \quad (24)$$

$$x_{\Sigma K1} = 0,221 + 0,053 = 0,274 \text{ Ом,}$$

$$r_{\Sigma K1} = r_{KL1} = 0,1518 \text{ Ом,}$$

$$z_{\Sigma K1} = \sqrt{r_{\Sigma K1}^2 + x_{\Sigma K1}^2}, \quad (25)$$

$$z_{\Sigma K1} = \sqrt{0,152^2 + 0,274^2} = 0,313 \text{ Ом.}$$

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

$$I_{\text{по}i} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma K_i}}, \quad (26)$$

$$I_{\text{по}K1} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,313} = 19,33 \text{ кА.}$$

«Ударный ток» [8]:

$$i_{\text{уд}i} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по}} \cdot K_{\text{уд}}, \quad (27)$$

$$i_{\text{уд}K1} = \sqrt{2} \cdot 19,33 \cdot 1,4 = 38,27 \text{ кА.}$$

Рассчитаем ток КЗ точки К2 на стороне менее 1000 В, составив расчетную схему (рисунок 6) и схему замещения (рисунок 7).

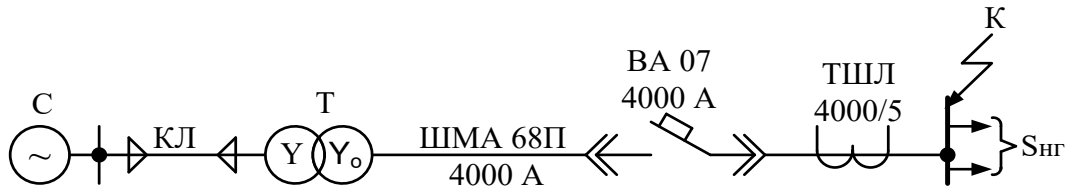


Рисунок 6 – Расчетная схема до 1000 В

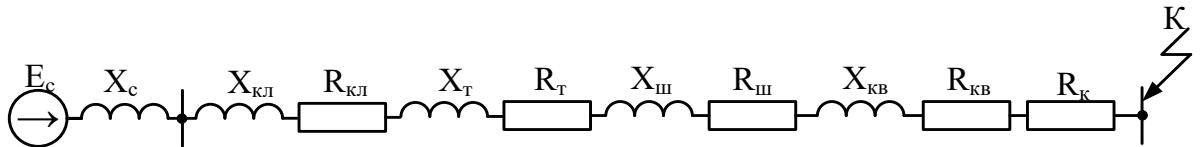


Рисунок 7 – Схема замещения до 1000 В

«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 $r_k=0,1$ мОм» [8].

Перерасчет сопротивления ступени ВН на ступень НН:

$$x_{\Sigma K1}' = x_{\Sigma K1} \frac{U_{НН}^2}{U_{ВН}^2}, \quad (28)$$

$$x_{\Sigma K1}' = 274 \cdot \frac{0,4^2}{10,5^2} = 0,4 \text{ мОм},$$

$$r_{\Sigma K1}' = r_{\Sigma K1} \frac{U_{НН}^2}{U_{ВН}^2}, \quad (29)$$

$$r_{\Sigma K1}' = 151,8 \cdot \frac{0,4^2}{10,5^2} = 0,22 \text{ мОм}.$$

Сопротивление ТМГ 1600/10/0,4:

$$x_T = \sqrt{u_K^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{к3}}{S_T}\right)^2} \cdot \frac{U_{НН}^2}{S_T} \cdot 10^4, \quad (30)$$

$$x_T = \sqrt{6^2 - \left(\frac{100 \cdot 16,5}{1600}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{1600} \cdot 10^4 = 9,23 \text{ мОм},$$

$$r_T = \frac{P_{K3} \cdot U_{HH}^2}{S_T^2} \cdot 10^6, \quad (31)$$

$$r_T = \frac{16,5 \cdot 0,4^2}{1600^2} \cdot 10^6 = 2,64 \text{ мОм}.$$

«Активное и индуктивное сопротивление цепи до точки К2» [8]:

$$r_{\Sigma K2} = r'_{\Sigma K1} + r_K + r_{KB} + r_{TT} + r_T + r_{KL2}, \quad (32)$$

$$r_{\Sigma K2} = 0,2 + 0,1 + 1,1 + 0,2 + 4,24 + 26 = 25,2 \text{ мОм},$$

$$x_{\Sigma K2} = x'_{\Sigma K1} + x_{KB} + x_{TT} + x_C + x_T + x_{KL2}, \quad (33)$$

$$x_{\Sigma K2} = 0,39 + 0,5 + 0,3 + 0,221 + 8,61 + 15,4 = 31,84 \text{ мОм}.$$

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока К3 без учета подпитки от электродвигателей» [8]:

$$I_{п0K2} = \frac{0,4}{\sqrt{3 \cdot (31,84^2 + 25,2^2)}} = 5,69 \text{ кА}.$$

«Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей тока К3» [8]:

$$\psi_i = \arctg\left(\frac{x_{\Sigma K2}}{r_{\Sigma K2}}\right), \quad (34)$$

$$\psi_{K2} = \arctg\left(\frac{25,2}{31,84}\right) = 0,67.$$

«Время от начала К3 до появления ударного тока» [8]:

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

$$\zeta_{K2} = 0,01 \cdot \frac{3,14 + 0,67}{3,14} = 7,13.$$

«Постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ» [8]:

$$T_{ai} = \frac{x_{\Sigma Ki}}{r_{\Sigma Ki} \cdot \omega}, \quad (36)$$

$$T_{aK2} = \frac{25,83}{31,84 \cdot 314} = 2,52 \text{ мс.}$$

«Ударный коэффициент» [8]:

$$K_{уди} = 1 + \sin \psi_i \cdot e^{\frac{-\zeta_i}{T_{ai}}}, \quad (37)$$

$$K_{удK2} = 1 + \sin(0,71) \cdot 2,71^{\frac{-7,26}{2,52}} = 1,057.$$

«Ударный ток» [8]:

$$i_{уди} = \sqrt{2} \cdot I_{поi} \cdot K_{уди}, \quad (38)$$

$$i_{удK2} = \sqrt{2} \cdot 5,8 \cdot 1,057 = 8,67 \text{ кА.}$$

Вывод по разделу 7

На стороне выше 1 кВ ударный ток составил 38,27 кА, а на стороне ниже 1 кВ – 8,67 кА.

8 Выбор и проверка оборудования

«Ток термической стойкости для точки К2» [2]:

$$B_{ki} = (I_{\text{п0i}})^2 (T_{\text{ai}} + t_{\text{пво}}), \quad (39)$$
$$B_{\text{кК2}} = 5,8^2 \cdot (2,72 + 30) \cdot 10^{-3} = 1,101 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Время действия релейной защиты:

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

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

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

Максимальное значение аperiodической составляющей тока К3» [2]:

$$i_{\text{ати}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0i}} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ai}}}}, \quad (41)$$
$$i_{\text{атК2}} = \sqrt{2} \cdot 5,8 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{2,72}} = 8,05 \text{ кА}.$$

Номинальное значение аperiodической составляющей:

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

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

Выбор разъединителей и трансформаторов тока проводится по параметрам, представленным в таблицах 12, 13.

Таблица 12 – Характеристики выключателя ВА-45/4000 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	$B_K=102$

Таблица 13 – Характеристики разъединителя РЕ19-47-4000А-ИП [11] и трансформатора тока ТТЕ125-4000/5А [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].

Данные по вторичной обмотке трансформатора тока внесем в таблицу

Таблица 14 – Характеристики ТТЕ125-4000/5А [15]

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

Произведем расчет вторичной нагрузки трансформатора тока с занесением данных в таблицу 15.

Таблица 15 – 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 $R_{\text{к}}=0,1$ – 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 по разделу 8

В результате принимаем к установке:

- автоматический выключатель ВА-45/4000-3Р 80кА;
- разъединители РЕ19-47-4000А-ИП;
- трансформаторы тока ТТЕ125-4000/5А.

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-1600/10/0,4 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» [17].

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 8 представлена схема релейной защиты трансформатора.

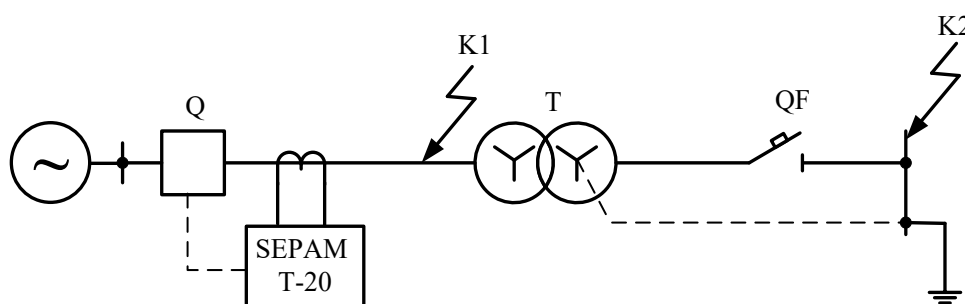


Рисунок 8 – Расчетная схема релейной защиты трансформатора

«Токовая отсечка может применяться для защиты трансформаторов до 4 МВА» [10].

«Уставка токовой отсечки:

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

$$I_{\text{то}} = 5,8 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right) \cdot 10^3 \cdot 1,1 = 255,2 \text{ А},$$

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

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

«Защита не должна срабатывать при включении трансформатора от броска намагничивающего тока» [17]:

$$I_{\text{ТО}} = I_{\text{НОМ.Т}} \cdot k_{\text{ОТС}}, \quad (48)$$

$$I_{\text{ТО}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10,5} \cdot 1,1 = 96,77 \text{ А.}$$

Принимаем ток срабатывания 255,2 А.

Двухфазный ток КЗ:

$$I_{\text{ВН}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{ВН}}^{(3)}, \quad (49)$$

$$I_{\text{ВН}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 19,33 = 16,74 \text{ кА.}$$

Коэффициент чувствительности:

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

$$k_{\text{ч}} = \frac{16740}{255,2} = 66.$$

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:

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

$$I_{сз} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \frac{1,1 \cdot 1,3}{0,935} = 141 \text{ А},$$

где $k_{сзп}$ – коэффициент самозапуска электродвигателей;

$I_{ВН}^{max}$ – максимальный нагрузочный ток на стороне ВН, А» [17].

«Рассчитаем чувствительность МТЗ:

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

$$I_{НН}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 19,33 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right) \cdot 10^3 = 670 \text{ А},$$

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

$$k_{ч} = \frac{I_{НН}^{(2)}}{I_{сз}} = \frac{670}{141} = 4,75,$$

где $I_{НН}^{(2)}$ – ток двухфазного КЗ на стороне 0,4 кВ» [17].

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

Вывод по разделу 9

Токовая отсечка имеет коэффициент чувствительности 66, а МТЗ – 4,75.

Требования ПУЭ соблюдаются.

Заключение

В результате выполнения ВКР, спроектирована система электроснабжения предприятия по производству газового оборудования и аппаратуры.

В качестве исходных данные ВКР были использованы:

- параметры электроприемников и технологического оборудования отдельных цехов предприятия, а также план их размещения;
- генеральный план завода.

На первом этапе были рассчитаны электрические нагрузки электроприемников наиболее мощного цеха, а также силовая нагрузка всех цехов по заводу в целом.

Электрическая нагрузка заводского освещения включает в себя наружное освещение прилегающих территорий, а также внутреннее освещение цехов, производств и зданий предприятия.

Далее была рассчитана общая электрическая нагрузка, которая позволила определить требуемые к установке компенсирующие устройства. К установке приняты 2×УКРМ-0,4-400-50.

Так как электрическая нагрузка по предприятию распределяется неравномерно, то в соответствии с этим была построена картограмма электрических нагрузок, что позволило определить место установки электрогенераторной завода по производству газового оборудования и аппаратуры.

Для обеспечения бесперебойного и надежного питания потребителей используются приняты в качестве основного источника питания две газопоршневые установки G3512E мощностью 1000 кВт, а в качестве резервного - два трансформатора ТМГ 1600 10/0,4.

Заключительными этапами работы являются расчет токов КЗ на сторонах ВН и НН, выбор силового электрооборудования и релейной защиты для стабильной работы системы электроснабжения предприятия.

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-vukatnoj-ekf-proxima> (дата обращения: 04.08.2023).
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: 04.08.2023).
4. Для чего нужен УКРМ? [Электронный ресурс] : Официальный сайт диллера электрооборудования Ortea. URL: http://orteastore.ru/info/dlya_chego_ukrm/ (дата обращения: 04.08.2023).
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: 04.08.2023).
6. Каталог светильников АСЗТ [Электронный ресурс] : Официальный сайт международной светотехнической корпорации АСЗТ. URL: <https://astz.ru/> (дата обращения: 04.08.2023).
7. Конденсаторная установка УКРМ-0,4-350-25 У3 [Электронный ресурс] : Официальный сайт завода по производству электрощитового оборудования «Элком-Энерго». URL: <https://elcom-energo.ru/catalog/kondensatornye-ustanovki-0-4-kv-krm-ukrm-aukrm-ukm58-aku-kku-i-drugie/reguliruemye-kondensatornye-ustanovki-ukrm-0-4/kondensatornaya-ustanovka-ukrm-0-4-350-25-u3/> (дата обращения: 04.08.2023).

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: 04.08.2023).

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: 04.08.2023).

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

11. Разъединитель РЕ19-47-72260-4000А-ИП-УХЛЗ-КЭАЗ [Электронный ресурс] Официальный сайт отечественного производителя оборудования АО «КЭАЗ» : URL: <https://keaz.ru/catalog/product/119993> (дата обращения 04.08.2023).

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 04.08.2023).

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: 04.08.2023).

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: 04.08.2023).

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: 04.08.2023).

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: 04.08.2023).

17. Требования к релейной защите [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <https://pue8.ru/relejnaya-zashchita/238-trebovaniya-k-relejnoj-zashchite.html> (дата обращения: 04.08.2023).

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: 04.08.2023).

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: 04.08.2023).

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/ingev/article/view/48104> (дата обращения: 04.08.2023).

21. Małgorzata Basińska, Halina Koczyk. Analysis of the possibilities to achieve the low energy residential buildings standards [Text] / Technological and Economic Development of Economy. - 2016. - URL: <https://journals.vgtu.lt/index.php/TEDE/article/view/786> (дата обращения: 04.08.2023).

22. 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: 04.08.2023).