

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение корпуса по производству аммиака ПАО «КуйбышевАзот»

Обучающийся

Н.А. Волынкин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. О.В. Самолина

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

Тольятти 2022

Аннотация

Темой ВКР является «Электроснабжение корпуса по производству аммиака ПАО «КуйбышевАзот».

В работе рассчитаны электрические нагрузки:

- технологического электрооборудования (насосное оборудование; оборудование холодильной установки, сепаратор);
- оборудования системы вентиляции;
- компрессорно-конденсаторных блоков системы кондиционирования;
- оборудования для обеспечения бесперебойного производства аммиака;
- внутреннего освещения (рабочего и аварийного).

Расчет нагрузок позволил выбрать соответствующие силовые трансформаторы и компенсирующие устройства.

После выбора силовых трансформаторов, были вычислены токи короткого замыкания (ТКЗ).

Результаты расчетов ТКЗ, термической и электродинамической стойкости позволили выбрать электрооборудование КТП. Далее был проведен расчет и выбор кабельных линий.

Заключительным этапом ВКР является расчет заземляющего контура корпуса по производству аммиака.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению предприятия	5
2 Расчет и выбор системы электроснабжения предприятия	7
3 Расчет электрических нагрузок	10
4 Расчет освещения	15
5 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....	17
6 Расчет токов короткого замыкания	21
7 Выбор основного оборудования и его проверка	29
8 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	34
9 Расчет контура заземления производственного корпуса	40
Заключение	42
Список используемых источников.....	43

Введение

Химическая промышленность является очень перспективной отраслью, развитие которой связано с научно-техническим прогрессом. Химическое производство осуществляет снабжение товарами практически всех отраслей народного хозяйства.

Одним из товаров, производимых химической отраслью, является аммиак.

«Аммиак является основой для производства азотной кислоты, карбамида, аммиачной селитры, сложных минеральных удобрений, применяется непосредственно в качестве удобрения, используется как хладагент. Он необходим при производстве красителей, кальцинированной соды, в электрическом производстве марганца, ферросплавов, медицинской промышленности, быту. Всем известный нашатырный спирт — это водный раствор аммиака (не более 10%)» [17].

Целью ВКР является проектирование надежной и эффективной схемы электроснабжения корпуса по производству аммиака ПАО «КуйбышевАзот».

Задачами данной работы являются:

- Рассчитать электрические нагрузки технологического электрооборудования, оборудования для обеспечения бесперебойной работы производственного корпуса, внутреннего освещения (рабочего и аварийного);
- Выбрать соответствующие силовые трансформаторы для электроснабжения корпуса по производству аммиака;
- Рассчитать токи короткого замыкания (ТКЗ);
- Используя результаты расчетов ТКЗ, термической и электродинамической стойкости выбрать электрооборудование КТП;
- Выбрать кабельные линии;
- Рассчитать заземление и молниезащиту в соответствии с требованиями правил нормативных документов.

1 Анализ исходных данных по электроснабжению предприятия

ПАО «КуйбышевАзот» занимается производством такой химической продукции как:

- Аммиак и азотные удобрения
- Капролактамы и полиамид-6
- Полиамидные ткани;
- Промышленные газы и химия.

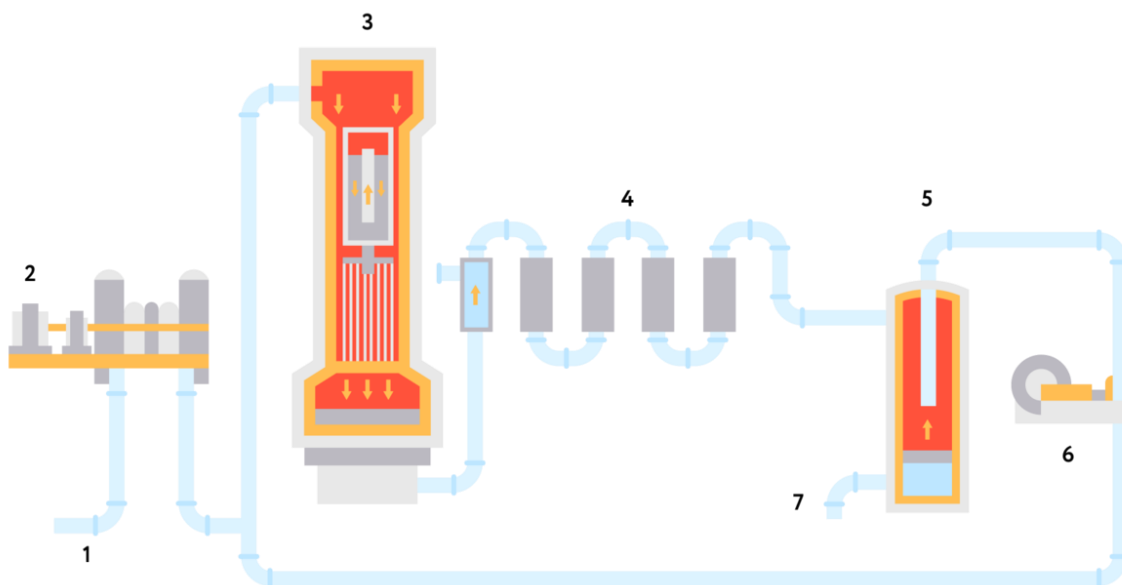
Что касается аммиачной продукции, то производится:

- Селитра аммиачная серосодержащая;
- Аммиачная вода;
- Аммиак сжиженный безводный;
- Аммиачная селитра;
- Мочевина (карбамид).

«Аммиак применяется в производстве соды, азотной кислоты, азотных удобрений, таких, как нитрат аммония NH_4NO_2 , карбамид (мочевина) $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, аммофос (смесь гидро-, дигидрофосфатов аммония) $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ и $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, а также красителей, органических аминов (используемых для изготовления пластмасс), взрывчатых веществ, жидкий аммиак – жидкий хладагент. Промышленностью выпускается концентрированный раствор аммиака – аммиачная вода или нашатырный спирт, используемый в медицине (массовая доля аммиака 22-28%). Аммиак относят к ядовитым веществам» [18].

«Основным сырьем является азотоводородная смесь, вспомогательным материалом служит пористое железо, используемое в качестве катализатора» [20].

Принципиальная схема производства аммиака показана на рисунке 1.



1 – азотводородная смесь; 2 – турбокомпрессор; 3 – колонна синтеза; 4 – холодильная установка; 5 – сепаратор; 6 – циркуляционный насос; 7 – аммиак на склад

Рисунок 1 – Принципиальная схема производства аммиака

Вывод по разделу

Для производства аммиака требуется значительное количество технологического оборудования. Аммиак является опасным газом, поэтому для необходимо обеспечить высокую надежность электроснабжения технологического оборудования.

2 Расчет и выбор системы электроснабжения предприятия

Выбор рода тока и напряжения должен опираться на множество ниже представленных факторов.

Увеличение расстояния приводит к росту электрического сопротивления проводов, росту потерь на их нагрев. Следовательно, чтобы снизить потери либо уменьшаем сопротивление проводников, либо увеличиваем напряжение. Такую задачу выполняет только переменный ток.

Также, в основном электроприемники в цехах – электропривода, электрическое освещение, которые, как правило, потребителями трехфазного переменного тока.

К сферам потребления электрической энергии производства аммиака относят:

- Насосное оборудование;
- Оборудование холодильной установки;
- Сепаратор;
- Оборудование системы вентиляции (в том числе противодымной);
- Освещение;
- Компрессорно-конденсаторные блоки системы кондиционирования.

Внутрицеховые электрические сети, согласно ГОСТ 29322-2014 в основном запитаны от напряжения 0,4/0,23кВ, основным преимуществом которых является возможность совместного питания силовых и осветительных электроприемников. Также от сети 0,4 кВ будет питаться силовая нагрузка, а от сети 0,23 кВ будет питаться нагрузка освещения.

В качестве основного средства компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях рекомендуется применять батареи статических конденсаторов, которые являются наиболее экономичными источниками реактивной мощности. Установка компенсирующего устройства необходима для повышения $\cos \varphi$ предприятия и улучшения качества электроэнергии.

Электроснабжение предприятия необходимо осуществлять с использованием двух трансформаторов, поскольку большинство электроприемников относится к первой и второй категории надежности согласно таблице 1.

Таблица 1 – Категории надежности электроприемников

Электроприемник	Категория надежности	Питание	P_y	$P_{p,гр}$
Аварийное освещение	I	Питание от сети, автономное питание	3,1	3,1
Газоанализаторы	I		0,8	0,8
Система пожаротушения и охранная сигнализация, автоматика	I		0,11	0,11
Рабочее освещение	II	Питание от сети, автономное питание не предусмотрено	4,0	4,0
Автоматика управления работой насосов, тепловычислители и датчики	I, II		3,6	3,1
Система отопления и водоснабжения	I, II		72	20,18
Оборудование системы вентиляции	I, II		39	7,02
Система кондиционирования	II		6	0,78
Технологическое оборудование	II		174,4	52,11
Помещения обслуживающего персонала	III		12	8,4
Распределительные сети	II, III		118	82,6

Категории надежности групп электроприемников выбраны согласно ПУЭ-7.

Вывод по разделу

Внутрицеховые сети следует выполнить напряжением 0,4 кВ, так как большинство электроприемников трехфазные электродвигатели, используемые в составе технологического оборудования.

Электрические двигатели необходимы для работы компрессоров холодильных установок, вентиляционного оборудования, а также обеспечения кондиционирования цеха.

Значительная доля электроприемников относится к II и III категориям надежности, следовательно предполагается установка двух трансформаторов для электроснабжения корпуса по производству аммиака.

3 Расчет электрических нагрузок

«Групповая номинальная активная мощность:

$$P_{H\Sigma} = n \cdot P_H, \quad (1)$$

где n – число электроприемников;

P_H – номинальная (установленная) мощность одного ЭП, кВт» [13].

«Активная, реактивная и полная нагрузка за наиболее загруженную смену:

$$P_{CM} = K_H \cdot P_{H\Sigma}, \quad (2)$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3)$$

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

где K_H – коэффициент использования по активной мощности;

$\operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент реактивной мощности» [13].

«Расчетная нагрузка группы электроприемников:

$$P_p = K_p \cdot P_{CM}, \quad (5)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{CM}, \quad (6)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (7)$$

где K_p – коэффициент расчетной мощности активной нагрузки при длительности интервала осреднения 30 минут» [13].

Максимальный расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{U \cdot \sqrt{3}}, \quad (8)$$

где U – номинальное напряжение, кВ.

Повысим коэффициент мощности расчета 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» [10].

Расчетная мощность КРМ:

$$Q_{\text{КУ}} = \theta \cdot P_p \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2), \quad (9)$$

$$Q_{\text{КУ}} = 0,9 \cdot 189,78 \cdot (0,72 - 0,33) = 66,61 \text{ квар},$$

где θ – коэффициент, учитывающий повышение коэффициента мощности;

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

$\operatorname{tg} \varphi_2$ – значение коэффициента после компенсации.

Принимаем 2хКРМ 0,4-30-10 [13] поскольку подстанция используется двухтрансформаторная.

Результаты расчета электрических нагрузок представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет нагрузок корпуса по производству аммиака

Наименование		P_H	n	$P_{H\Sigma}$	K_H	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$S_{\text{см}}$	n_3	K_p	P_p	Q_p	S_p	I_p
		кВт		кВт				кВт	квар	кВ·А			кВт	квар	кВ·А	А
ШС1			8	72	0,16	0,58	0,82	11,61	16,51	20,18	7	1,87	21,71	18,16	28,3	40,85
1, 2	Сетевой насос	10,5	2	21	0,15	0,5	1,73	3,15	5,45	6,3	—	—	—	—	—	—
3, 4	Циркуляционный насос	10,5	2	21	0,18	0,6	1,33	3,78	5,03	6,3	—	—	—	—	—	—
5, 6	Осевой насос	6	2	12	0,18	0,7	1,02	2,16	2,2	3,09	—	—	—	—	—	—
13, 14	Центробежный насос	9	2	18	0,14	0,55	1,52	2,52	3,83	4,58	—	—	—	—	—	—
ШС2			12	174,4	0,17	0,63	0,78	29,44	36,14	46,61	8	1,77	52,11	39,75	65,54	94,6
7, 8	Конденсатор	11	2	22	0,15	0,55	1,52	3,3	5,02	6	—	—	—	—	—	—
9, 10	Испаритель	5,2	2	10,4	0,15	0,55	1,52	1,56	2,37	2,84	—	—	—	—	—	—
11, 12	Компрессор поршневой	11	2	22	0,18	0,6	1,33	3,96	5,27	6,6	—	—	—	—	—	—
17, 18	Компрессор винтовой	13	2	26	0,15	0,55	1,52	3,9	5,93	7,09	—	—	—	—	—	—
19, 20, 21	Турбокомпрессор	30	3	90	0,18	0,7	1,02	16,2	16,52	23,14	—	—	—	—	—	—
25	Сепаратор	4	1	4	0,13	0,45	1,98	0,52	1,03	1,16	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 2

Наименование		P_H	n	$P_{H\Sigma}$	K_H	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$S_{\text{см}}$	n_3	K_p	P_p	Q_p	S_p	I_p
		кВт		кВт				кВт	квар	кВ·А			кВт	квар	кВ·А	А
ШР1			5	45	0,17	0,65	0,76	7,8	9,12	12	3	2,88	22,46	10,03	24,6	35,51
15, 16	Компрессорно-конденсаторные блоки	3	2	6	0,13	0,65	1,17	0,78	0,91	1,2	—	—	—	—	—	—
22, 23, 24	Вентиляционное оборудование	13	3	39	0,18	0,65	1,17	7,02	8,21	10,8	—	—	—	—	—	—
Освещение			—	—	—	0,95	0,33	2,5	0,83	2,63	—	—	2,5	0,83	2,63	3,8
Дополнительная нагрузка			—	130	0,7	0,8	0,75	91	68,25	113,75	—	—	91,00	68,25	113,75	164,18
Итого на шинах НН без УКРМ				—	—	0,81	0,72	—	—	—	—	—	189,78	137,015	234,07	337,85
Итого на шинах НН с УКРМ				—	—	0,93	0,4	—	—	—	—	—	189,78	77,015	204,81	295,62
Потери T_p НН				—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,1	20,48	20,89	30,15
Итого				—	—	—	—	—	—	—	—	—	193,88	97,495	217,01	313,23

Вывод по разделу

Расчет электрических нагрузок позволил определить полную мощность электроприемников корпуса по производству аммиака, которая составляет 217,01 кВА.

В корпусе по производству аммиака используются электроприемники различных категорий надежности, так как в составе некоторых групп используются потребители разных категорий надежности. Насосное отделение необходимо помимо водоснабжения также для обеспечения работы системы пожаробезопасности, которая относится к первой категории надежности. Вентиляция также имеет в своем составе оборудование дымоудаление, которое относится к первой категории надежности.

Далее на основании результатов расчета, проведем расчет и выбор трансформаторов.

4 Расчет освещения

В корпусе по производству аммиака используется внутреннее искусственное освещение.

Исходными данными являются параметры помещения. Индекс каждого помещения:

$$i = \frac{F}{h \cdot (a+b)}, \quad (10)$$

где a , b – длина и ширина помещения соответственно, м;

F – площадь освещаемого помещения, m^2 ;

h – высота установки светильника от уровня земли, м (примем 2,8 м).

Коэффициенты отражения помещений корпуса по производству аммиака примем 70/50/30 для поверхностей потолка, стен и пола соответственно [21].

Вычисления индексов помещений корпуса по производству аммиака, представленные в таблице 3, помогут определить коэффициент использования светодиодных светильников.

Коэффициенты неравномерности помещений для всех помещений $t = 1,1$. Коэффициенты запаса для помещений корпуса по производству аммиака $K_3 = 1$.

Значения освещенности каждого светильника найдем по данным каталогов производителя. Затем занесем в таблицу 3 значения освещенности и проведем расчет числа светильников для всех помещений корпуса по производству аммиака.

Количество светильников на каждое помещение корпуса по производству аммиака:

$$N_{CB} = \frac{E_{норм} \cdot F \cdot K_3 \cdot t}{\Phi_{CB} \cdot \theta}, \quad (11)$$

Внутреннее эвакуационное освещение может работать автономно с использованием ИБП [17].

Количество светильников на помещение занесем в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчет освещения

Наименование помещения	a	b	h	$E_{\text{норм}}$	i	Θ	$\Phi_{\text{св}}$	P	$N_{\text{св}}$
	м	м	м	Лк	–	–	Лм	Вт	шт
КТП	8	8	2,8	75	1,43	63	690	8	12
Инструментальная	8	8	2,8	75	1,43	63	690	8	12
Бытовка	8	4	2,8	100	0,95	53	690	8	10
Кабинет начальника цеха	8	4	2,8	200	0,95	53	1650	18	8
Склад	4	8	2,8	75	0,95	28	690	8	14
Венткамера	16	8	2,8	300	1,90	71	1650	20	36
Насосное отделение	8	16	2,8	300	1,90	71	1650	20	36
Обслуживающий персонал	8	8	2,8	150	1,43	63	1650	20	10
Склад материалов	8	8	2,8	75	1,43	63	690	8	12
Комната мастера	6	8	2,8	200	1,22	58	1650	20	12

Вывод по разделу

В результате расчета было определено количество и тип светильников, активная мощность внутреннего освещения каждого помещения корпуса по производству аммиака. Общая нагрузка внутреннего освещения составила 2,5 кВт.

5 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов

Итак, по таблице 1 предприятие химической промышленности относится в значительной мере к потребителям II категории надежности электроснабжения.

Электроснабжение корпуса по производству аммиака осуществляется от внешних сетей электроснабжения напряжением 6кВ.

Поэтому, поскольку на объекте химической отрасли промышленности присутствуют электроприемники с I и II категориями надежности электроснабжения, то для питания корпуса по производству аммиака предприятия выберем КТП с двумя трансформаторами.

Примем систему заземления предприятия относится к типу TN-C-S [18].

Для выбора мощности трансформаторов необходимо провести соответствующие расчеты [19].

Полная мощность трансформатора:

$$S_{p.тр} = \frac{S_{p.гр.Σ}}{K_{з.тр} \cdot N_{тр}}, \quad (12)$$
$$S_{p.тр} = \frac{217,01}{0,7 \cdot 2} = 155 \text{ кВА.}$$

Ближайшим по мощности является трансформатор ТМГ160/6/0,4.

Проведем технико-экономическое обоснование выбора двух трансформаторов ТМГ160/6/0,4 и сравним с двумя трансформаторами ТМГ250/6/0,4 [20].

Технико-экономические данные трансформаторов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Техничко-экономические данные сравниваемых трансформаторов

Параметры трансформатора	$P_{\text{хх.т}}$	$P_{\text{кз.т}}$	$U_{\text{кз.т}}$	$I_{\text{хх.т}}$	Стоимость руб/шт
	Вт	Вт	%	%	
ТМГ160/6/0,4	410	2600	4,5	1,4	155 000
ТМГ250/6/0,4	570	4200	4,5	1,9	208 000

Внешний вид выбираемых комплектных трансформаторных подстанций (КТП) представлен на рисунке 2. Данная КТП может включать в себя трансформаторы мощностью 160-630 кВА.

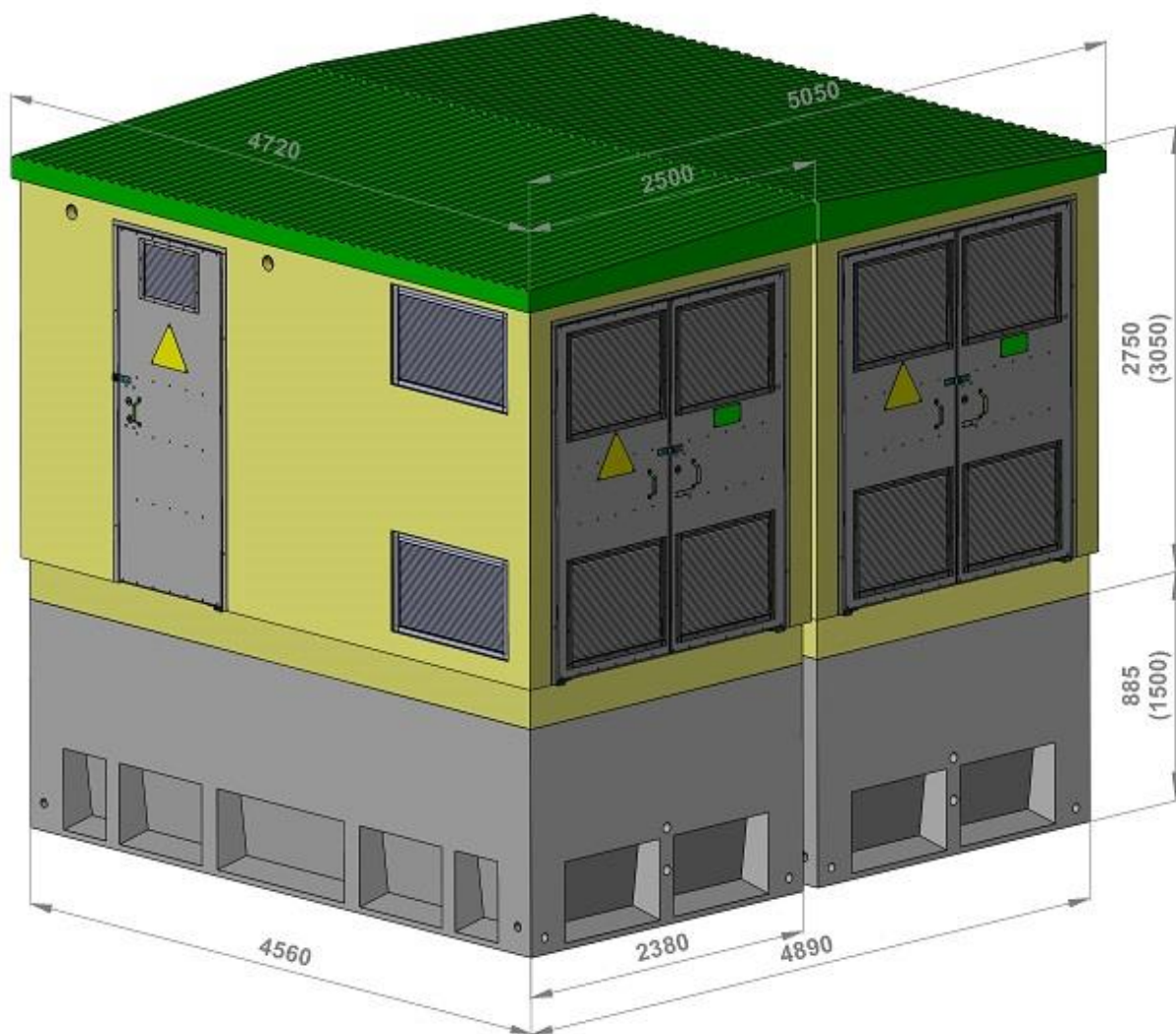


Рисунок 2 – Внешний вид КТП

Число часов максимальных потерь за год работы трансформатора:

$$\delta_M = 8760 \cdot \left(0,124 + \frac{\sigma_{\max}}{10000}\right)^2, \quad (13)$$

где « σ_{\max} – число часов использования максимума электрической нагрузки, ч» [12]. В нашем случае это 5300ч.

«Годовые потери электроэнергии одного из двух трансформаторов:

$$\Delta W_{\text{год.т}} = \Delta P_{\text{хх.т}} \cdot T_{\text{т}} \cdot n_{\text{т}} + \Delta P_{\text{кз.т}} \cdot \left(\frac{S_{\text{р.гр}\Sigma}}{S_{\text{н.тр}}}\right)^2 \cdot \delta_M \cdot \frac{1}{n_{\text{т}}}, \quad (14)$$

где $T_{\text{т}}$ – количество рабочих часов трансформатора, ч/год» [12].

«Денежные издержки одного трансформатора:

$$I_{\text{год.т}} = \rho_{\text{а.т}} \cdot K_{\text{т}} + \left(\frac{\gamma}{\sigma_{\max}} + \vartheta\right) \cdot \Delta W_{\text{год.тр}} \cdot 10^{-5}, \quad (15)$$

где $\rho_{\text{а.т}}$ – коэффициент амортизации;

γ – стоимость 1 кВт мощности по договору;

ϑ – стоимость дополнительного кВт·ч по счетчику;

$K_{\text{т}}$ – стоимость трансформатора, тыс. руб» [12].

«Денежные затраты на приобретение трансформатора:

$$Z_{\text{т}} = p_{\text{н.т}} \cdot K_{\text{т}} + I_{\text{год.т}}, \quad (16)$$

где $p_{\text{н.т}}$ – показатель экономической эффективности» [12].

Результаты расчетов занесем в таблицу 5.

Таблица 5 – Техническое и экономическое сравнение трансформаторов

Параметр	ТМГ 160/6/0,4	ТМГ 250/6/0,4
$K_{з.тр}$	0,68	0,43
δ_m	3862ч/год	3862 ч/год
$\Delta W_{год.т}$	16419 кВт·ч	16097 кВт·ч
И _{год.т}	14,57 тыс. руб	19,50 тыс. руб
$p_{н.т} \cdot K_t$	18,60 тыс. руб	24,96 тыс. руб
З	33,17 тыс. руб	44,46 тыс. руб

Вывод по разделу

При проведения технико-экономического обоснования были получены следующие результаты: комплектная подстанция с двумя трансформаторами ТМГ160/6/0,4 оказалась выгоднее, чем с трансформаторами ТМГ250/6/0,4 для электроснабжения корпуса по производству аммиака.

6 Расчет токов короткого замыкания

«Параметры элементов эквивалентных схем замещения могут быть определены:

- в именованных единицах с приведением значений параметров расчетных схем к выбранной основной (базисной) ступени напряжения сети и с учетом фактических коэффициентов трансформации силовых трансформаторов и автотрансформаторов;
- в относительных единицах с приведением значений параметров расчетных схем к выбранным базисным условиям и с учетом фактических коэффициентов трансформации всех силовых трансформаторов и автотрансформаторов;
- в именованных единицах без приведения значений параметров расчетных схем к одной ступени напряжения сети и с учетом фактических коэффициентов трансформации силовых трансформаторов и автотрансформаторов.

Мощность трехфазного короткого замыкания сети с $S_c=500$ МВА, $U_6=6,3$ кВ, $S_6=1000$ МВА» [6].

Рассчитаем ТКЗ воспользовавшись необходимыми формулами и методиками нормативно-технических документов, требованиями ГОСТ. Расчёт будет проводится в относительных единицах (о.е.). Схемы представлены на рисунке 2. Ток от системы до КТП:

$$I_{c-тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (17)$$
$$I_{c-тр} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 15 \text{ А.}$$

«Для электроснабжения корпуса по производству аммиака проложим в траншее кабельную линию с поясной бумажной изоляцией (пропитанная вязким изоляционным составом) и алюминиевыми жилами» [15].

«Сечение по экономической плотности тока $J_{\text{эк}}=1,1 \text{ А/мм}^2$ » [13]:

$$S_{\text{с-тр}} = \frac{I_{\text{с-тр}}}{J_{\text{эк}}}, \quad (18)$$
$$S_{\text{с-тр}} = \frac{15}{1,1} = 13,63 \text{ мм}^2.$$

Округляем до 25 мм^2 . Согласно ПУЭ, для ААБл 3х16-6 допустимый ток составляет 77 А. При аварийном отключении одного трансформатора кабель выдержит проходящий ток.

«Активное сопротивление кабеля $r_{\text{уд.1}}=1,94 \text{ Ом/км}$ и индуктивное сопротивление кабеля $x_{\text{уд.1}}=0,102 \text{ Ом/км}$ » [15]. Длина кабельной линии от точки питания до КТП равна $l_{\text{кл.1}}=500 \text{ м}$ [14].

Активное и индуктивное сопротивление кабеля:

$$r_{\text{кл.1}} = r_{\text{уд.1}} \cdot l_{\text{кл.1}}, \quad (19)$$

$$r_{\text{кл.1}} = 1,94 \cdot 0,5 = 0,97 \text{ Ом},$$

$$x_{\text{кл.1}} = x_{\text{уд.1}} \cdot l_{\text{кл.1}}, \quad (20)$$

$$x_{\text{кл.1}} = 0,102 \cdot 0,5 = 0,051 \text{ Ом}.$$

Сопротивление кабельной линии в о.е.:

$$x_{\text{кл.16}} = x_{\text{кл.1}} \frac{S_6}{U_{\text{ВН}}^2}, \quad (21)$$

$$x_{\text{кл.16}} = 0,051 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 1,29 \text{ о.е.}$$

Сопротивление системы в о.е.:

$$X_{с.б} = \frac{S_б}{S_{сист}}, \quad (22)$$
$$X_{с.б} = \frac{1000}{500} = 2 \text{ о.е.}$$

Сопротивление цепи от системы до К1:

$$X_{рез.б} = X_{с.б} + X_{КЛ.1б}, \quad (23)$$
$$X_{рез.б} = 2,0 + 1,29 = 3,9 \text{ о.е.}$$

Базисный ток:

$$I_б = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot U_б} \cdot S_б, \quad (24)$$
$$I_б = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 6,3} \cdot 1000 = 91,64 \text{ кА.}$$

Начальное действующее значение периодической составляющей ТКЗ:

$$I_{п.0} = \frac{E_б \cdot I_б}{Z_{рез.б}}, \quad (25)$$
$$I_{п.0} = \frac{1 \cdot 91,64}{3,42} = 26,79 \text{ кА.}$$

Ударный ток точки К1:

$$i_{уд.К1} = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot K_{уд.К1}, \quad (26)$$
$$i_{уд.К1} = \sqrt{2} \cdot 26,79 \cdot 1,4 = 53,04 \text{ кА.}$$

Поэтому на стороне выше 1000 В получаем $i_{уд.К1}=53,04 \text{ кА}$.

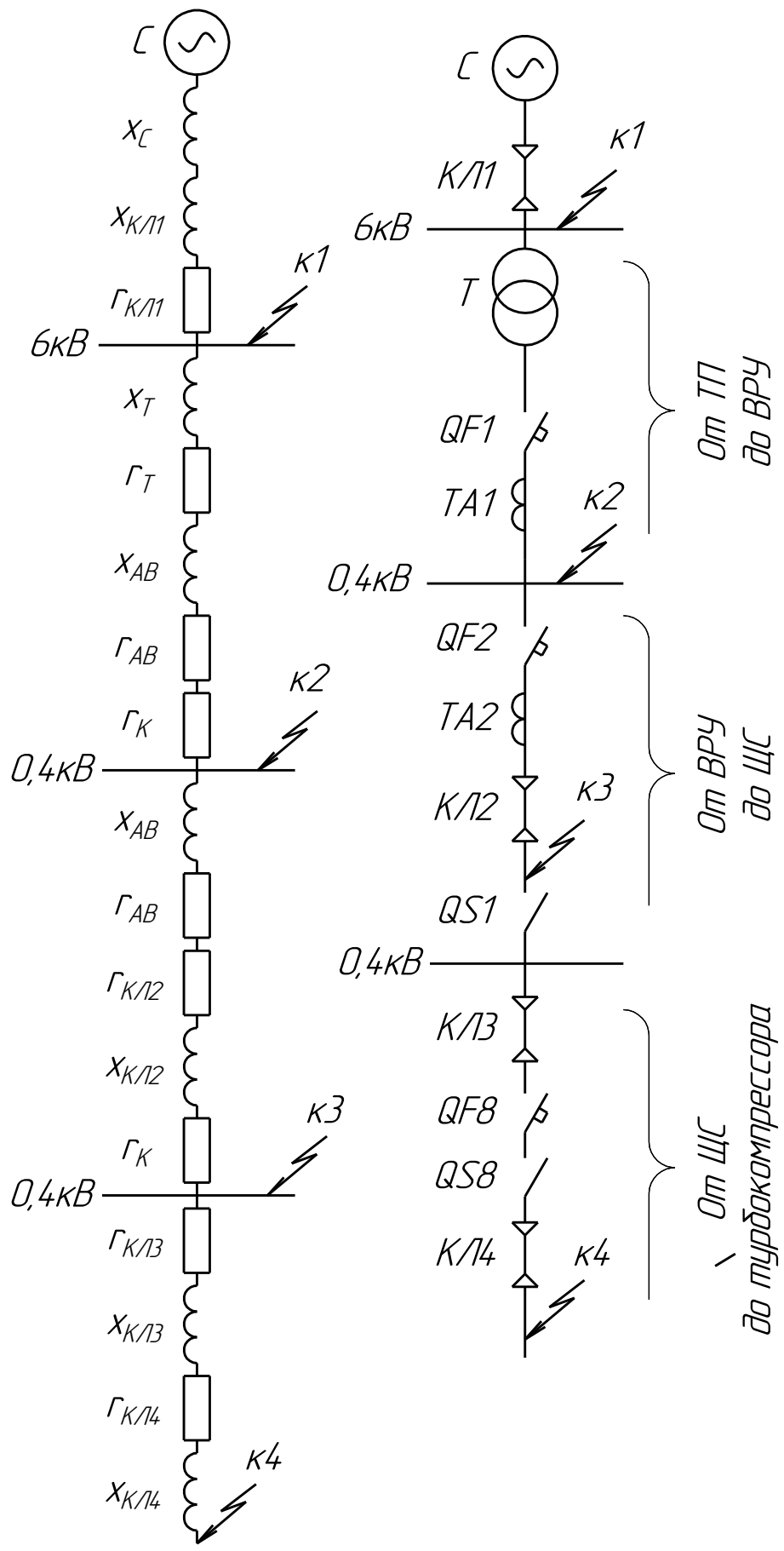


Рисунок 3 – Расчетная схема и схема замещения

Расчетную схему и схему замещения цепи с указанием точек КЗ приведем на рисунке 3.

«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 $r_{ТА}=0,2$ мОм, $x_{ТА}=0,3$ мОм. Активное сопротивление контактов $r_k=0,1$ мОм» [2].

Сопротивление системы для ступени НН:

$$X_{с.НН} = \frac{U_{НН}^2}{S_{сист}}, \quad (27)$$

$$X_{с.НН} = \frac{400^2}{500} \cdot 10^{-3} = 0,32 \text{ мОм.}$$

Формулы приведения сопротивлений К1 к именованным единицам:

$$r_{К.1} = r_{К.1} \cdot \frac{U_{ВН}^2}{S_6}, \quad (28)$$

$$X_{К.1} = X_{К.1} \cdot \frac{U_{ВН}^2}{S_6}. \quad (29)$$

В результате по формулам получаем, что для точки К1: $r_{К.1}=0,13$ мОм; $X_{К.1}=0,038$ мОм.

Активное и индуктивное сопротивления ТМГ160/6/0,4 [5]:

$$r_T = \frac{P_{кз.т} \cdot U_{НН}^2}{S_{н.тр}^2} \cdot 10^6, \quad (30)$$

$$r_T = \frac{2,6 \cdot 0,4^2}{160^2} \cdot 10^6 = 16,25 \text{ мОм,}$$

$$X_T = \sqrt{u_{кз.т}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{кз.т}}{S_{н.тр}}\right)^2} \cdot \frac{U_{НН}^2}{S_{н.тр}} \cdot 10^4, \quad (31)$$

$$X_T = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 2,6}{160}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{160} \cdot 10^4 = 41,96 \text{ мОм.}$$

Сопротивление цепи от системы до точки К2:

$$r_{рез.2} = r_{КЛ.1} + r_T + r_K + r_{КВ} + r_{ТТ}, \quad (32)$$

$$X_{рез.2} = X_{КЛ.1} + X_T + X_{КВ} + X_{ТТ} + X_C. \quad (33)$$

Получаем следующие значения сопротивлений цепи: $r_{рез.2} = 42,6$ мОм,
 $X_{рез.2} = 18,28$ мОм.

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного ТКЗ без учета подпитки от электродвигателей» [2]:

$$I_{п.0} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3 \cdot (r_{рез.2}^2 + X_{рез.2}^2)}}, \quad (34)$$

$$I_{п.0} = \frac{400}{\sqrt{3 \cdot (13,86^2 + 29,19^2)}} = 4,13 \text{ кА.}$$

«Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей ТКЗ» [2]:

$$\psi = \arctg\left(\frac{X_{сумм2}}{r_{сумм2}}\right), \quad (35)$$

$$\psi = \arctg\left(\frac{29,19}{13,86}\right) = 1,13.$$

«Время от начала КЗ до появления ударного тока» [2]:

$$\zeta = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \psi}{\pi}, \quad (36)$$

$$\zeta = 0,01 \cdot \frac{\frac{3,14}{2} + 1,13}{3,14} = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

«Постоянная времени затухания аperiodической составляющей ТКЗ» [2]:

$$T_{a.K} = \frac{x_{рез.2}}{r_{рез.2} \cdot \omega}, \quad (37)$$

$$T_{a.K} = \frac{27,97}{16,824 \cdot 314} = 6,71 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

«Ударный коэффициент» [2]:

$$K_{уд.К} = (1 + \sin\psi \cdot e^{\frac{-\zeta}{T_a}}), \quad (38)$$

$$K_{уд.К} = \left(1 + \sin(1,13) \cdot 2,71^{\frac{-8,6 \cdot 10^{-3}}{6,71 \cdot 10^{-3}}} \right) = 1,25.$$

Ударный ток:

$$i_{уд.К} = \sqrt{2} \cdot 4,13 \cdot 1,25 = 7,3 \text{ кА.}$$

Рассчитаем точки К3 и К4 по аналогии, результаты внесем в таблицу 6.

Таблица 6 – Расчет трехфазных КЗ корпуса по производству аммиака

Точка КЗ	Элемент цепи	x	r	I _{п.0}	ψ	ζ	K _{уд}	i _{уд.К}
		МОм	МОм	кА	рад	10 ⁻³ с	–	кА
1	Система	2	–	–	–	–	–	–
	КЛ от системы до КТП	1,28	0,97	–	–	–	–	–
	Результирующее сопротивление точки	3,28	0,97	26,79	–	–	1,4	53,04
2	Сопrotивление К1 в Ом	0,130	0,038	–	–	–	–	–
	Силовой трансформатор	41,96	16,25	–	–	–	–	–
	КЛ от КТП до ВРУ	0,04	0,07	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 6

Точка КЗ	Элемент	x	r	Ип.0	ψ	ζ	Куд	iуд.К
		МОм	МОм	кА	рад	10^{-3} с	–	кА
2	Контакты	–	0,1	–	–	–	–	–
	Катушки автоматических выключателей	0,17	0,65	–	–	–	–	–
	Трансформаторы тока	0,17	0,11	–	–	–	–	–
	Результирующее сопротивление точки	42,47	18,19	2,89	1,17	8,72	1,29	5,27
3	КЛ от ВРУ до ЩС	3,08	5,2	–	–	–	–	–
	Контакты	–	0,1	–	–	–	–	–
	Катушки автоматических выключателей	0,5	1,1	–	–	–	–	–
	Трансформаторы тока	0,67	0,32	–	–	–	–	–
	Результирующее сопротивление точки	46,72	24,91	2,52	1,08	8,44	1,21	4,31
4	КЛ от ЩС до ЭП	4,62	7,8	–	–	–	–	–
	Контакты	–	0,1	–	–	–	–	–
	Катушки автоматических выключателей	0,7	1,3	–	–	–	–	–
	Трансформаторы тока	1,2	0,75	–	–	–	–	–
	Результирующее сопротивление точки	53,24	34,86	2,1	0,99	8,15	1,16	3,45

Вывод по разделу

Расчет четырех точек КЗ показал, что чем дальше точка возникновения КЗ, тем меньше ударный ток и начальное действующее значение периодической составляющей.

Теперь проведем выбор оборудования КТП.

7 Выбор основного оборудования и его проверка

Проверяя оборудование 2КТП 160/10(6)0,4 [9] сделаем расчет термической и электродинамической стойкостей.

Ток термической стойкости точки К2:

$$W_K = I_{п.0}^2 (T_a + t_{п.в}), \quad (39)$$
$$W_K = 4,13^2 \cdot (6,7 + 30) \cdot 10^{-3} = 0,63 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

«Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\gamma = t_{рз} + t_{сво}, \quad (40)$$
$$\gamma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с},$$

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

$t_{сво}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с» [16].

«Максимальное значение аperiodической составляющей ТКЗ» [16]:

$$i_{a,\gamma} = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot e^{\frac{-\gamma}{T_a}}, \quad (41)$$
$$i_{a,\gamma} = \sqrt{2} \cdot 4,13 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{6,7}} = 5,8 \text{ кА}.$$

«Номинальное значение аperiodической составляющей» [16]:

$$i_{a,n} = \sqrt{2} \cdot I_{\delta} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \gamma}), \quad (42)$$
$$i_{a,n} = \sqrt{2} \cdot 7 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 13,11 \text{ кА},$$

где I_{δ} – ток отключения выключателя, кА.

Таблица 7 – Проверка параметров

Расчетный параметр	Сравниваемый параметр	Автоматический выключатель	Трансформатор тока	Разъединитель
$I_{\max}=460\text{А}$	$I_{\text{раб}}$	630 А	500 А	630 А
$I_{п.0}=4,13\text{кА}$	I_{δ}	7 кА	–	–
$i_{\alpha\gamma}=5,8\text{кА}$	$i_{\text{а..н}}$	13,11 кА	–	–
$i_{\text{уд.к}}=7,3\text{кА}$	$i_{\text{пр.с}}$	15 кА	15 кА	15 кА
$В_{\text{к}}=0,63 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$	$В_{\text{к.ном}}$	$7 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$	$7 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$	$7 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$

Теперь выберем кабели для корпуса по производству аммиака.

Распределительные сети покажем на чертеже [4].

Для ступени напряжения 6 кВ принимаем кабель марки ААБл 3х16-6.

«Кабель имеет следующую конструкцию:

- Жила –алюминиевая.
- Оболочка – алюминиевая.
- Броня из стальных лент» [7].

Кабели АПвБШп(А) 5х240 проложенные от КТП до ВРУ имеют следующую конструкцию:

- «А – Алюминиевая токопроводящая жила
- Пв – Изоляция жил из сшитого полиэтилена
- Б – броня из двух стальных оцинкованных лент
- Шп – защитный шланг из сшитого полиэтилена» [8].

Для соблюдения требований пожаробезопасности выберем кабели для прокладки в помещениях типа ВВГнг(А)-FRLS [3].

«Автоматические выключатели выбираем исходя из сечений кабелей» [1].

Таблица 8 – Технические данные используемых электродвигателей в составе технологического оборудования

Номер оборудования на плане	Наименование двигателя	Р, кВт	КПД, %	cosφ	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$
1,2	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5
	АИР90L4	2,2	81	0,83	6,5
	АИР80А4	1,1	75	0,81	5,5
3,4	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5
	АИР100S4	3	82	0,83	7
	АИР90L2	3	84,5	0,88	7
5,6	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5
	АИР100А2	1,5	78	0,83	5,5
7,8	АИР132М2	11	88	0,9	7,5
9,10	АИР100S2	4	87	0,88	7,5
	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5
	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5
11, 12	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5
	АИР100S2	4	87	0,88	7,5
	АИР71В4	0,75	73	0,76	5
13, 14	АИР112А4	7,5	87,5	0,88	7,5
	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5
15,16	АИР90L2	3	84,5	0,88	7
17, 18	АИР112А4	7,5	87,5	0,88	7,5
	АИР100S2	4	87	0,88	7,5
	АИР100А2	1,5	78	0,83	5,5
19-21	АИР160S4	15	90	0,89	7
	АИР112М2	7,5	87,5	0,88	7,5
	АИР90L4	2,2	81	0,83	6,5
22-24	АИР132М2	11	88	0,9	7,5
	АИР80А4	1,1	75	0,81	5,5
	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5
25	АИР100S2	4	87	0,88	7,5

Таблица 9 – Расчет токов приводов электрооборудования

№ на плане	Наименование ЭО и типдвигателя	Справочные данные				Расчетные величины			
		P_n , кВт	η , %	$\cos\phi$	K_n	$I_{ном}$	$I_{пуск}$	$I_{пик}$	I_p
1,2	Сетевые насосы								
	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5	10,1	75,7		
	АИР90L4	2,2	81	0,83	6,5	4,7	30,5		
	АИР80А4	1,1	75	0,81	5,5	2,6	14,3	83	17,4
3,4	Циркуляционные насосы								
	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5	10,1	75,7		
	АИР100S4	3	82	0,83	7	6,4	44,8		
	АИР90L2	3	84,5	0,88	7	5,8	40,6	87,9	22,3
5,6	Осевые насосы								
	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5	10,1	75,7		
	АИР100А2	1,5	78	0,83	5,5	3,3	18,2	79	13,4
7,8	Конденсаторы АИР132М2	11	88	0,9	7,5	20	150	150	20
9,10	Испарители								
	АИР100S2	4	87	0,88	7,5	7,5	56,3		
	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5	1,6	8		
	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5	1,6	8	59,5	10,7
11,12	Компрессоры поршневые								
	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5	10,1	75,7		
	АИР100S4	4	87	0,88	7,5	7,5	56,3		
	АИР71В4	0,75	73	0,776	5	1,9	9,7	84,1	19,5
13,14	Центробежные насосы								
	АИР112А4	7,5	87,5	0,88	7,5	14	105		
	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5	1,6	8	106,6	15,6
15,16	Компрессорно-конденсаторные блоки АИР90L2	3	84,5	0,88	7	5,8	40,6	40,6	5,8
17,18	Компрессоры винтовые								
	АИР112А4	7,5	87,5	0,88	7,5	14	105		
	АИР100S2	4	87	0,88	7,5	7,5	56,3		
	АИР100А2	1,5	78	0,83	5,5	3,3	18,2	115,8	24,8

Продолжение таблицы 9

№ на плане	Наименование ЭО и тип двигателя	Справочные данные				Расчетные величины			
		P_n , кВт	η , %	$\cos\phi$	K_n	$I_{ном}$	$I_{пуск}$	$I_{пик}$	I_p
19-21	Турбокомпрессоры								
	АИР160S4	15	90	0,89	7	27	189		
	АИР112M2	7,5	87,5	0,88	7,5	14	105		
	АИР90L4	2,2	81	0,83	6,5	4,7	30,5	207,7	45,7
22-24	Вентиляционное оборудование								
	АИР132M2	11	88	0,9	7,5	20	150		
	АИР80A4	1,1	75	0,81	5,5	2,6	14,3		
	АИР71A4	0,55	70,5	0,7	5	1,6	8	154,2	24,2
25	Сепаратор АИР90L2	4	87	0,88	7,5	7,5	56,3	56,3	7,5

К некоторым потребителем проложено по два кабеля, поскольку они запитаны от индивидуального блока питания и секций шин для повышения надежности электроснабжения.

Вывод по разделу

В данном разделе выбрано оборудование КТП для обеспечения электроснабжения, потребителя. Затем рассчитаны сечения кабелей внутрицеховой сети, выбраны автоматические выключатели для защиты кабельных линий для питания электроприемников.

8 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Рассчитаем и выберем аппаратуру управления и защиты для турбокомпрессора.

Для данного типа компрессора выбираем предохранитель для каждого двигателя М1, М2, М3. Предохранитель выбирается по условию ток номинальный предохранителя должен быть больше или равен номинальному току электродвигателя.

Предохранитель выбирается по следующим двум условиям:

- номинальный ток плавкой вставки больше или равен номинальному току двигателя $I_{пл.в} \geq I_n$;
- номинальный ток плавкой вставки больше или равен пиковому току, деленному на коэффициент кратковременной тепловой перегрузки $I_{пл.в} \geq I_{пуск}/\alpha$.

Для легких условий пуска $\alpha=2,5$.

Предохранитель для электродвигателя М1 главного движения выбираем согласно двум ранее приведенным условиям:

$$I_{пл.в} \geq 10,2 \text{ А,}$$

$$I_{пл.в} \geq 75,4 \text{ А.}$$

Наиболее приемлемым является большее значение тока плавкой вставки предохранителя, поскольку это удовлетворяет условиям пуска электродвигателя. Следовательно, выбираем предохранители ПН2-100/80.

Предохранитель для электродвигателя М2 насоса охлаждения выбираем согласно двум вышесказанным условиям:

$$I_{пл.в} \geq 15 \text{ А,}$$

$$I_{пл.в} \geq 41 \text{ А.}$$

Наиболее приемлемым является большее значение тока плавкой вставки предохранителя, поскольку это удовлетворяет условиям пуска электродвигателя. Следовательно, выбираем предохранители ПН2-100/50.

Выбираем предохранитель для электродвигателя МЗ турбокомпрессора согласно двум вышесказанным условиям:

$$I_{пл.в} \geq 4,8 \text{ А,}$$

$$I_{пл.в} \geq 12,4 \text{ А.}$$

Наиболее приемлемым является большее значение тока плавкой вставки предохранителя, поскольку это удовлетворяет условиям пуска электродвигателя. Следовательно, выбираем предохранители НПН2-63/16.

Для остального оборудования сводим все в таблицу 10.

Таблица 10 – Технические параметры предохранителей

Общие сведения электропривода			Данные предохранителя		
№ на схеме	$I_{ном}$, А	$I_{пуск/\alpha}$	$I_{н.пр}$, А	$I_{н.пл.вст}$, А	Тип
1,2	10,2	30,28	100	31,5	ПН2-100/31,5
	4,8	12,4	60	16	НПН2-63/16
	2,6	5,72	60	6	НПН2-63/6
3,4	10,2	30,28	100	31,5	ПН2-100/31,5
	6,4	17,92	60	20	НПН2-63/20
	5,8	16,24	60	20	НПН2-63/20
5,6	10,2	30,28	100	31,5	ПН2-100/31,5
	3,3	7,28	60	10	НПН2-63/10
7,8	20	75	100	80	ПН2-100/80
9,10	7,5	22,52	60	25	НПН2-63/25
	1,6	3,2	60	6	НПН2-63/6
	1,6	3,2	60	6	НПН2-63/6
11,12	10,2	30,28	100	31,5	ПН2-100/31,5
	7,5	22,52	60	25	НПН2-63/25
	1,9	3,88	60	6	НПН2-63/6
13,14	15	45	100	50	ПН2-100/50
	1,6	3,2	60	6	НПН2-63/6
15,16	5,8	2,9	60	6	НПН2-63/6

Продолжение таблицы 10

Общие сведения электропривода			Данные предохранителя		
№ на схеме	$I_{ном}, А$	$I_{пуск/\alpha}$	$I_{н.пр}, А$	$I_{н.пл.вст}, А$	Тип
17,18	15	45	100	50	ПН2-100/50
	7,5	22,52	60	25	НПН2-63/25
	3,3	7,28	60	10	НПН2-63/10
19-21	27	75,4	100	80	ПН2-100/80
	15	45	100	50	ПН2-100/50
	4,8	12,4	60	16	НПН2-63/16
22-24	20	60	100	63	ПН2-100/63
	2,6	5,72	60	6	НПН2-63/6
	1,6	3,2	60	6	НПН2-63/6
25	7,5	22,52	60	25	НПН2-63/25

Для турбокомпрессора выбираем магнитный пускатель, который выбирается по условию ток номинальный пускателя должен быть больше или равен номинальному току двигателя:

$$I_{ном.м.п.} \geq I_n \quad (43)$$

Выберем магнитный пускатель для электродвигателя М1:

$$I_{ном.м.п.} \geq 27 \text{ А.}$$

Выберем магнитный пускатель марки ПМЛ-3000 с $I_{ном.м.п.}=40 \text{ А.}$

Выберем магнитный пускатель для электродвигателя М2:

$$I_{ном.м.п.} \geq 15 \text{ А.}$$

Выберем магнитный пускатель марки ПМЛ-2000 с $I_{ном.м.п.}=25 \text{ А.}$

Выберем магнитный пускатель для электродвигателя М3:

$$I_{ном.м.п.} \geq 4,8 \text{ А.}$$

Выберем магнитный пускатель марки ПМЛ-1000 с $I_{ном.м.п.}=10 \text{ А.}$

Остальное оборудование приведем в таблицу 11.

Тепловое реле выбирается по току номинальному электродвигателя по условию:

$$I_{\text{ном.т.р.}} \geq I_{\text{н.}} \quad (44)$$

Выберем тепловое реле для электродвигателя М1:

$$I_{\text{ном.т.р.}} \geq 27 \text{ А.}$$

Выберем тепловое реле РТЛ-2053 с током уставки $I_{\text{уст}} = 28 \text{ А}$.

Выберем тепловое реле для электродвигателя М2:

$$I_{\text{ном.т.р.}} \geq 15 \text{ А.}$$

Выберем тепловое реле РТЛ-1021 с током уставки $I_{\text{уст}} = 15 \text{ А}$.

Выберем тепловое реле для электродвигателя М3:

$$I_{\text{ном.т.р.}} \geq 4,8 \text{ А.}$$

Выберем тепловое реле сер. РТЛ-1010 с током уставки $I_{\text{уст}} = 5 \text{ А}$.

Для остального оборудования сводим все в таблицу 11.

Таблица 11 – Технические параметры магнитных пускателей и тепловых реле

Общие данные оборудования		Пускатель магнитный		Тепловое реле		
№ на схеме	И _н , А	Тип	И _н , А	Тип	И _н , А	И _{уст} , А
1,2	10,2	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1016	25	10,5
	4,8	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1010	10	5
	2,6	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1008	10	3
3,4	10,2	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1016	25	10,5
	6,4	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1012	10	7
	5,8	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1010	10	6
5,6	10,2	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1016	25	10,5
	3,3	ПМЛ-2000	10	РТЛ-1008	10	4
7,8	20	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1022	25	20
9,10	7,5	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1012	10	8
	1,6	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1007	10	2
	1,6	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1007	10	2
11,12	10,2	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1016	25	10,5
	7,5	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1012	10	8
	1,9	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1007	10	2
13,14	14	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1021	25	15
	1,6	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1007	10	1,7
15,16	5,8	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1012	10	6

Продолжение таблицы 11

Общие данные оборудования		Пускатель магнитный		Тепловое реле		
№ на схеме	Ин, А	Тип	Ин, А	Тип	Ин, А	Иус, А
17,18	14	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1021	25	15
	7,5	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1012	10	8
	3,3	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1008	10	3,5
19-21	27	ПМЛ-3000	40	РТЛ-1053	40	28
	14	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1021	25	15
	4,7	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1010	10	5
22-24	20	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1022	25	21
	2,6	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1008	10	2,8
	1,6	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1007	10	1,7
25	7,5	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1014	10	8

Для защиты электроприводов от токов перегрузки и коротких замыканий выбираем автоматические выключатели.

Для примера рассчитаем автоматический выключатель турбокомпрессора.

Выбираем по следующим условиям:

$$I_{\text{ном..AB}} \geq I_p, \quad (45)$$

$$I_{\text{ном..AB}} \geq 45,7 \text{ А}$$

$$I_{\text{ном.р.}} \geq I_p, \quad (46)$$

$$I_{\text{ном.р.}} \geq 45,7 \text{ А}$$

где I_p – расчетный ток, защищаемого ЭП, А.

Ток срабатывания электромагнитного или комбинированного расцепителя $I_{\text{ср.р.}}$, А:

$$I_{\text{ср.р.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}, \quad (47)$$

$$I_{\text{ср.р.}} \geq 1,25 \cdot 207,7 \geq 259,61 \text{ А.}$$

Расчетное значение кратности тока отсечки $K_{т.о.}$:

$$K_{т.о} = \frac{1,25 \cdot I_{пик}}{I_{ном.р.}}, \quad (48)$$

$$K_{т.о} = \frac{259,61}{50} = 5,2.$$

Коэффициент отсечки стандартный принимаем равный 7.

Принимаем автоматический выключатель ВА 51-31.

Также выбираем автоматические выключатели для остальных электроприводов (таблица 12).

Таблица 12 – Выбор автоматических выключателей

Потребитель	Данные потребителя		Данные автоматического выключателя				Тип выключателя
	$I_{н.эп.}$, А	$1,25I_{пик.}$, А	$I_{ном.}$, А	$I_{ном.расц.}$, А	$K_{отс.расч}$	$K_{отс.ст.}$	
1,2	17,4	103,75	25	20	5,2	7	ВА 51-25
3,4	22,3	109,87	25	25	4,4	7	ВА 51-25
5,6	13,4	98,75	25	16	6,2	7	ВА 51-25
7,8	20	187,5	25	20	9,4	10	ВА 51-25
9,10	10,7	74,37	25	12,5	5,9	7	ВА 51-25
11,12	19,5	105,12	25	20	5,3	7	ВА 51-25
13,14	15,6	133,25	25	16	8,3	10	ВА 51-25
15,16	5,8	50,75	25	6,3	8	10	ВА 51-25
17,18	24,8	144,75	25	25	5,8	7	ВА 51-25
19-21	45,7	259,61	100	50	5,2	7	ВА 51-31
22-24	24,2	192,75	25	25	7,7	10	ВА 51-25
25	7,5	70,37	25	8	8,7	10	ВА 51-25

Вывод по разделу

Проектирование защиты оборудования корпуса по производству аммиака позволило рассчитать и выбрать автоматические выключатели, предохранители, магнитные пускатели и тепловые реле.

9 Расчет контура заземления производственного корпуса

Заземление представляет собой контур из металлической полосы 25x4 на высоте 0,3...0,7м от уровня земли [21].

Заземление рассчитывается по формулам из справочников. Формулы будут использовать для расчета через натуральные логарифмы.

Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{в.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2\pi L_{в.з}} \left(\ln \frac{2L_{в.з}}{d_{в.з}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{в.з} + L_{в.з}}{4 \cdot T_{в.з} - L_{в.з}} \right), \quad (49)$$
$$R_{в.з} = \frac{95}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,7} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,7}{0,017} + 0,5 \ln \frac{8 + 2,7}{8 - 2,7} \right) = 33,62 \text{ Ом.}$$

Сопротивление горизонтально расположенного заземлителя:

$$R_{г.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2 \cdot \pi \cdot L_{г.з}} \cdot \ln \frac{2L_{г.з}^2}{b_{г.з} \cdot h_{г.з}}, \quad (50)$$
$$R_{г.з} = \frac{95}{2\pi \cdot 160} \cdot \ln \frac{2 \cdot 160^2}{0,06 \cdot 0,4} = 1,38 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{з.у} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{и} \rho_{и}}{R_i}}, \quad (51)$$
$$R_{з.у} = \frac{1}{\frac{25 \cdot 0,68}{33,62} + \frac{1 \cdot 0,68}{1,38}} = 0,98 \text{ Ом.}$$

Сопротивление не превышает 4 Ом [11].

«Системы заземления на вводе в здание – TN-C-S построены с применением глухозаземленной нейтрали. Характеризуются подключением нулевого проводника (N) к контуру заземления. На вводе в здания, характеризуется объединением защитного проводника PE и нулевого N в один комбинированный нуль (PEN) с подстанции, подключенного к

глухозаземленной нейтрали. На входе в здание PEN проводник разделяется на N и PE проводники» [14].

В корпусе по производству аммиака отсутствуют места прохождения тока в местах с повышенной влажностью, поэтому дополнительная система уравнивания потенциалов не предусмотрена.

«Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине при помощи проводников системы уравнивания потенциалов» [13].

«Здание относится к обычным объектам по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения (к III категории по устройству молниезащиты). Кровля здания выполнена плоской. В качестве молниеприемника применяется молниеприемная сетка из полосовой стали 25x4, которая располагается на кровле. Молниеприемная сетка укладывается под слоем утеплителя(несгораемого) и гидроизоляции. Шаг ячеек сетки не должен превышать 10x10м. Узлы стальной сетки соединяются посредством сварки. Полосы сетки проходят по краю крыши» [14].

Вывод по разделу

Рассчитанное заземляющее устройство удовлетворяет требованиям ПУЭ, поскольку сопротивление меньше 4 Ом. Молниезащита корпуса по производству аммиака выполнена с соблюдением требований нормативных документов и правил.

Заключение

В работе была спроектирована система электроснабжения корпуса по производству аммиака.

Суммарные нагрузки электроприемников корпуса по производству аммиака рассчитывались на основании исходных данных. Исходными данными являлись мощности, коэффициенты использования, коэффициенты нагрузки. Суммарная полная мощность, полученная при расчете нагрузок необходима для выбора трансформатора для электроснабжения предприятия производственного корпуса. Полная мощность электроприемников корпуса по производству аммиака составила 217 кВА.

Технико-экономическое сравнение привело к выбору двух трансформаторов ТМГ160/6/0,4. Данные трансформаторы сравнивались с трансформаторами выше по мощности – ТМГ250/6/0,4. Они оказались невыгодными по причине более высоких эксплуатационных и экономических затрат.

Далее были рассчитаны сопротивление элементов цепи, сопротивления суммарные до каждой из четырех точек КЗ. Чем дальше находилась точка КЗ от системы, тем выше было сопротивление, поскольку количество элементов в цепи возрастало. В следствие этого снижались ударные токи и их начальная периодическая составляющая.

Расчет ТКЗ показал, подходит ли оборудование по условиям проверки. Проверка оборудования проводилась по рабочим токам, по напряжению, по термической и электродинамической стойкости. На стороне 0,4 кВ были выбраны вводные кабели, предохранители, магнитные пускатели, тепловые реле.

Заключительным пунктом проводился расчет заземления и молниезащиты корпуса по производству аммиака. По результатам расчета сопротивление заземляющего устройства производственного корпуса оказалось равным 0,98 Ом, что соответствует требованиям ПУЭ.

Список используемых источников

1. Выбор автомата по мощности нагрузки и сечению провода [Электронный ресурс] : Интернет-сайт. URL: <https://volgaproekt.ru/stati/vybor-avtomata-po-moshchnosti-nagruzki.html> (дата обращения: 02.08.2022).

2. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс] : утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 02.08.2022).

3. ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Межгосударственный стандарт утв. приказом №1097-ст от 22.11.2012. URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200101754> (дата обращения: 02.08.2022).

4. ГОСТ Р 50571.5.52-2011. Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки [Электронный ресурс] : Национальный стандарт РФ утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 13.12.2011 N 925-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092622> (дата обращения: 02.08.2022).

5. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс] : Национальный стандарт РФ утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050072> (дата обращения: 02.08.2022).

6. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением выше 1 кВ [Электронный ресурс] : утв. Приказом №173-ст от 12.12.2007. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200052838>(дата обращения: 02.08.2022).

7. Кабель ААБл [Электронный ресурс] : Официальный сайт поставщика кабельной продукции Кабель.РФ. URL: <https://cable.ru/cable/> (дата обращения: 02.08.2022).

8. Кабель АПвБШп [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://e-кс.ru/> (дата обращения: 17.02.2022).

9. Комплектные трансформаторные подстанции [Электронный ресурс] : Официальный сайт группы компаний «СвердловЭлектро». URL: <https://svel.ru/catalog/komplektnye-transformatornye-podstantsii/> (дата обращения: 17.02.2022).

10. Почему нужно компенсировать реактивную мощность [Электронный ресурс] : Официальный сайт дистрибьютера электротехнической продукции ГК "Развитие". URL: <http://verdit.ru/finansing/5666-2012-01-18-04-37-19.html> (дата обращения: 02.08.2022).

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

12. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей [Электронный ресурс] : Руководящий документ утв. приказом №213 от 07.07.1994. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004921> (дата обращения: 02.08.2022).

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: 02.08.2022).

14. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций [Электронный ресурс] : Инструкция утв. приказом №280 от 30.06.2003. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034368>(дата обращения: 02.08.2022).

15. СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения [Электронный ресурс] : Свод правил утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 635/10) (ред. от 19.12.2019). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092705> (дата обращения: 02.08.2022).

16. Требования к релейной защите [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <https://pue8.ru/relejnaya-zashchita/238-trebovaniya-k-relejnoj-zashchite.html> (дата обращения: 02.08.2022).

17. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. Chemical Engineering Transactions vol.56, 2017. p.259-264.

18. Donoso P., Schurch R., Ardila J., Orellana L. Analysis of Partial Discharges in Electrical Tree Growth Under Very Low Frequency (VLF) Excitation Through Pulse Sequence and Nonlinear Time Series Analysis. IEEE Access Vol. 8. 2020. p.673-684.

19. Benthous M. A coupled technological-sociological model for national electrical energy supply systems including sustainability. Energy, Sustainability and Society Vol. 9, №1. 2019. p.1-16.

20. Escrivá-Escrivá G., Roldán-Blay C., Roldán-Porta C., Serrano-Guerrero X. Occasional Energy Reviews from an External Expert Help to Reduce Building Energy Consumption at a Reduced Cost. Energies Vol. 12, №15. 2019. 14 p.

21. Xiao Han, Jing Qiu, Lingling Sun, Wei Shen, Yuan Ma, Dong Yuan. Low-carbon energy policy analysis based on power energy system modeling. Energy Conversion and Economics. Energy Conversion and Economics. 2020. p.34-44.