

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

Институт энергетики и электротехники

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование кафедры)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство ГК «ПаркОтель» с применением когенерационной установки»

Студент

А.С. Оприщенко

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

Руководитель

А.Н. Черненко

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Тольятти 2017

## **Аннотация**

Представленная выпускная квалификационная работа (далее - ВКР) содержит в себе разработку электроснабжения головного корпуса «ПаркОтель», высотой в три этажа и находящегося территориально в Пензенской области.

В пояснительной записке для корпуса были определены ожидаемые электрические и тепловые нагрузки, так как планируется введение когенерационной установки для комбинированной выработки тепла и электроэнергии. Однако, было установлено, что в котельной, относящейся ко всему комплексу, имеется водогрейный котел на 150 кВт, а расчетная тепловая мощность рассматриваемого корпуса составила почти 194 кВт, в связи с чем была выбрана когенерационная установка фирмы TEDOM с электрической мощностью 25 кВт и тепловой мощностью 47 кВт.

Далее был произведен выбор трансформатора, защитных аппаратов и проводников и рассчитаны токи короткого замыкания для проверки на способность устройств защиты противостоять аварийному режиму.

ВКР состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка включает в себя 48 листов. Графическая часть выпускной квалификационной работы содержит в себе 6 чертежей, формата А1, 8 таблиц и 6 рисунков.

## **Abstract**

The topic of the given thesis is Electrical Equipment and Electrical facilities of the Main Park Hotel Complex with Use of the Cogeneration Installation. The presented graduation project includes the development of power supply to the main Park Hotel building, three stores high and located territorially in the Penza region.

In the explanatory note, the expected electrical and thermal loads were determined, since it is planned to introduce a cogeneration plant for combined heat and power generation. However, it was found that in the boiler house belonging to the whole complex there is a 150 kW hot water boiler and the calculated thermal capacity of the housing in question was almost 194 kW, and therefore a cogeneration unit of TEDOM with an electric power of 25 kW and a thermal power 47 kW.

Further, a choice was made of the transformer, protective apparatus and conductors, and short-circuit currents were calculated to test the ability of the protection devices to withstand the emergency mode.

Overall, use of the cogeneration installation leads us to a conclusion that it is not only energy efficient, but also favourably economically.

The graduation project consists of an explanatory note on 48 pages, introduction, including 6 figures, 8 tables, the list of 20 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

## Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика электрохозяйства рассматриваемого объекта.....	6
2 Расчет осветительной нагрузки .....	7
3 Расчет электрических нагрузок .....	17
4 Расчет теплотребления .....	22
5 Выбор когенерационной установки .....	25
6 Выбор мощности силового трансформатора.....	31
7 Определение параметров кабелей и автоматических выключателей.....	32
8 Расчет токов короткого замыкания .....	37
9 Расчет заземления .....	43
Заключение .....	46
Список использованных источников .....	47

## Введение

Системы электроснабжения административных зданий имеют значительное отличие от схем электроснабжения промышленных предприятий, так как схемы ЭСН административных зданий будут обладать выраженными отличительными чертами, заключающиеся в:

- большое количество рассредоточенных электроприемников малой мощности;
- маленькая доля электроприемников с высокими требованиями к категории надежности;
- большая длина протяженности электрических сетей;
- малая плотность электрических нагрузок;
- большие потери напряжения в сетях;
- большая доля однофазных потребителей, из-за чего возможна несимметрия напряжений.

Данные отличия должны учитываться при проектировании систем электроснабжения рассматриваемых потребителей.

## **1 Характеристика электрохозяйства рассматриваемого объекта**

Головной корпус комплекса «ПаркОтель» территориально расположен в Пензенской области, город Сердобск.

Здание состоит из трех этажей, наружной площадью около 500 м<sup>2</sup>, предполагается, что в помещениях будут оборудованы офисы, так как штат сотрудников расширяется и рабочих мест на первом этаже гостиницы, предусмотренном под рабочие кабинеты, уже не хватает.

Планируется, что питание здание будет получать от ТП 10/0,4 и параллельно с ней будет работать когенерационная установка. Для данного решения есть несколько причин:

- поступающая электроэнергия не совсем хорошего качества, при работе параллельно с сетью когенерационная установка будет балансировать напряжение и частоту, держа эти параметры на должном уровне.

- собственная генерация электроэнергии с минимальными потерями позволит организации сэкономить значительную сумму.

- производство тепла, выдаваемое когенератором, не расходуется впустую, благодаря чему КПД установки достигает 90%

## 2 Расчет осветительной нагрузки

Освещение здания в ВКР будет производиться разрядными источниками света, а именно люминесцентными лампами. Изначально предполагалось ввести светодиодные источники света. Однако, ввиду их дороговизны и необходимости установки драйвера, а так же в дальнейшей перспективе при замене ламп во избежание риска купить продукт низкого качества, не прошедший сертификацию, было решено установить светильники в помещениях с люминесцентными лампами.

Влияние недостаточного или несоответствующего освещения является причиной дискомфорта и может вызвать проблемы со здоровьем, особенно при работе за компьютером. К примеру, это могут быть головные боли, ухудшение зрения, головокружения, быстрая утомляемость и трудности с концентрацией внимания.

Различные концепции освещения и экспертные решения могут предотвратить подобного рода проблемы со здоровьем. Они учитывают правовые, эргономические и физиологические принципы работы, объединяя их с новейшими технологиями и должным образом экономя энергию.

Расчет числа светильников производился по методу коэффициента использования светового потока, которому соответствует формула:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{\Phi_{л} \cdot n \cdot K_u}$$

где E – нормируемый уровень освещенности

S – площадь рассчитываемого помещения

$K_3$  – коэффициент запаса (для помещений с люминесцентными лампами и нормальной средой  $K_3$  считать равным 1,4)

z - коэффициент неравномерности рассчитываемого помещения (для люминесцентного типа ламп следует принимать 1,1)

$\Phi_{л}$ - световой поток лампы

$n$  - количество ламп в светильнике

$K_u$  – коэффициент использования, характеризующий эффективность использования светового прибора в помещении.

Для определения коэффициента использования необходимо знать такую величину, как индекс помещения  $\varphi$  и коэффициенты отражения потолка  $r_p$ , стен  $r_c$  и пола  $r_p$

Примем, что коэффициенты отражения равны 70, 50 и 20 соответственно.

$$\varphi = \frac{S}{h_1 - h_2 \cdot (a + b)}$$

Где  $S$  – площадь рассчитываемого помещения

$a$  – длина рассчитываемого помещения

$b$  - ширина рассчитываемого помещения

$h_1$  – высота потолка

$h_2$  – высота рабочей поверхности

Для примера рассчитаем помещение № 306: Зал собраний

Площадь: 76,2 м<sup>2</sup>; ширина: 5,6 м; длина: 13,6 м; высота потолка: 2,8 м; высота рабочей поверхности: 0,8 м; минимальная освещенность: 200 лк; каждый светильник в данном помещении имеет 4 лампы, световой поток каждой лампы =1025 лм

$$\varphi = \frac{76,2}{2,8 - 0,8 \cdot (5,6 + 13,6)} = 1,98$$

По справочным таблицам определяем коэффициент использования светильника с помощью коэффициента отражения и индекса помещения,  $K_u=0,48$

$$N = \frac{200 \cdot 76,2 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{1025 \cdot 4 \cdot 0,48} = 12$$

Таким образом, количество светильников в помещении № 306 составит 12 штук.

Все последующие расчеты были произведены аналогично с предыдущим и сведены в таблицу 2.1

Таблица 2.1 – Расчет количества светильников

№ помещения	Наименование помещения	h <sub>2</sub>	h <sub>1</sub>	Тип светильника	Освещенность Е,лк	Площадь S,м <sup>2</sup>	Кол-во светильников, шт.
1 этаж							
101	Рабочий кабинет	0,8	2,8	ЛВО02У-4х18	400	132,75	42
102	Вестибюль	0,0	2,8	FM 6820 1х26	75	18,22	8
103	Лестн. Холл	0,0	2,8	Холл: FM 6820 1х26, лестница: TL-3019 2х9	100	44,98	9,4
104	Рабочий кабинет	0,8	2,8	ЛВО02У-4х18	400	27,92	12

Продолжение таблицы 2.1

105	Рабочий кабинет	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	400	41,39	15
106	Буфет	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	200	36,35	9
107	Закрытое стояночное место	0,0	2,8	ЛББ 31-11- 004 АВВГ3x2,5	50	38,14	6
108	Электрощитовая	0,0	2,8	Лестница: ТЛ-3019 2x9, щитовая: ЛББ 31-11- 004	50	5,03	2,2
109	Коридор	0,0	2,8	ФМ 6820 1x26	75	25,18	7
110	Жен. Санузел	0,0	2,8	ЛББ 31-11- 004	75	10,49	6
111	Муж. Санузел						
2 этаж							
201	Рабочий кабинет	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	400	132,76	42
202	Рабочий кабинет	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	400	20,23	12

Продолжение таблицы 2.1

203	Лестн. Холл	0,0	2,8	Холл: FM 6820 1x26	100	43,93	11
204	Рабочий кабинет	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	400	29,16	12
205	Рабочий кабинет	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	400	29,10	12
206	Кабинет руководителя отдела	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	300	24,18	12
207	Приемная	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	300	11,28	5
208	Кабинет директора	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	300	38,14	12
209	Коридор	0,0	2,8	FM 6820 1x26	75	36,59	12
210	Распределительный тамбур	0,0	2,8	FM 6820 1x26	75	5,36	2
211	Комната уборочного инвентаря	0,0	2,8	ЛББ 31- 11-004	30	5,65	2
212	Жен. санузел	0,0	2,8	ЛББ 31- 11-004	75	10,49	6
213	Муж. санузел						
3 этаж							

Продолжение таблицы 2.1

301	Рабочий кабинет	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	400	132,76	42
302	Рабочий кабинет	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	400	20,23	12
303	Лестн. Холл	0,8	2,8	FM 6820 1x26	100	43,93	11
304	Рабочий кабинет	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	400	29,16	12
305	Рабочий кабинет	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	400	29,10	12
306	Зал собраний	0,8	2,8	ЛВО02У- 4x18	200	76,20	12
307	Коридор	0,0	2,8	FM 6820 1x26	75	36,59	12
308	Распределительный тамбур	0,0	2,8	FM 6820 1x18	75	5,36	2
309	Комната уборочного инвентаря	0,0	2,8	ЛББ 31- 11-004	30	5,65	2
310	Жен. санузел	0,0	2,8	ЛББ 31- 11-004	75	10,49	6
311	Муж. санузел						

Названия моделей люминесцентных светильников включают в себя различные данные, а именно:

- ЛВО02У-4x18 – Л-люминисцентный трубчатый светильник, растровый, В-встраиваемый с назначением для О-общественных зданий, серии 02У с люминисцентными лампами 4 шт.х18Вт;
- FM 6820 1x26 – накладной светильник с компактными люминисцентными лампами 1штх26Вт;
- TL-3019 2x9 – светильник с люминисцентными лампами 2штх9Вт;
- ЛББ 31-11-004 –Л- люминисцентный трубчатый светильник,Б-настенный с назначением для жилых помещений (бытовых), имеет степень защиты IP54 с компактными люминисцентными лампами 1штх11Вт.

На каждом этаже предусмотрены светильники эвакуационного освещения аккумуляторного типа люминисцентные TigerAwex с лампой типа T5, имеют степень защиты IP22,  $U_{\text{вх раб}}=220-240 \text{ В}$

Далее для всех светильников определяется их нагрузка по следующим формулам:

$$P_p = P_y \cdot n \cdot K_c$$

Где  $P_p$ - расчетная мощность светильника, кВт;

$P_y$ - установленная мощность, Вт;

$n$  - количество светильников в помещении, шт;

$K_c$  - коэффициент спроса.

Результаты расчета осветительной нагрузки для каждого помещения сведены в таблицу 2.2

Таблица 2.2 – Определение расчетной мощности светильников для каждого помещения

№ помещения	Тип лампы в светильнике	Кол-во ламп в светильнике, шт.	Установленная потребляемая мощность светильника $P_y$ , Вт	Кол-во светильников в помещении, шт.	Коэффициент спроса $K_c$	Расчетная потребляемая мощность $P_p$ , кВт
1 этаж						
101	Philips TL D T8	4	72	42	1	3,024
102	TORNADOESaver E27	1	26	8	1	0,208
103	TORNADO ESaver E27, PL S G23	1, 2	26, 18	9,4	1	0,306
104	Philips TL D T8	4	72	12	1	0,864
105	Philips TL D T8	4	72	15	1	1,08
106	Philips TL D T8	4	72	9	1	0,648
107	PL114000G23LUniel G23	1	11	6	1	0,066
108	PL114000G23LUniel G23, PL S G23	1,2	11,18	2,2	1	0,058
109	TORNADOESaver E27	1	26	7	1	0,182
110	PL114000G23LUniel	1	11	6	1	0,066
111	G23					

Продолжение таблицы 2.2

Итого по 1 этажу: 6,502 кВт						
2 этаж						
201	PhilipsTL D T8	4	72	42	1	3,024
202	PhilipsTL D T8	4	72	12	1	0,864
203	TORNADOESaver E27	1	26	11	1	0,286
204	PhilipsTL D T8	4	72	12	1	0,864
205	PhilipsTL D T8	4	72	12	1	0,864
206	PhilipsTL D T8	4	72	12	1	0,864
207	PhilipsTL D T8	4	72	5	1	0,36
208	PhilipsTL D T8	4	72	12	1	0,864
209	TORNADOESaver E27	1	26	12	1	0,312
210	TORNADOESaver E27	1	26	2	1	0,052
211	PL114000G23LUniel G23	1	11	2	1	0,022
212	PL114000G23LUniel G23	1	11	6	1	0,066
213						
Итого по 2 этажу: 8,442 кВт						
3 этаж						
301	PhilipsTL D T8	4	72	42	1	3,024
302	PhilipsTL D T8	4	72	12	1	0,864
303	TORNADOESaver E27	1	26	11	1	0,286
304	PhilipsTL D T8	4	72	12	1	0,864
305	PhilipsTL D T8	4	72	12	1	0,864
306	PhilipsTL D T8	4	72	12	1	0,864

Продолжение таблицы 2.2

307	TORNADOESaver E27	1	26	12	1	0,312
308	TORNADOESaver E27	1	26	2	1	0,052
309	PL114000G23LUniel G23	1	11	2	1	0,022
310	PL114000G23LUniel G23	1	11	6	1	0,066
311						
Итого по 3 этажу: 7,218 кВт						
Итого по зданию осветительная нагрузка: 22,162 кВт						

### 3 Расчет электрических нагрузок

Для определения оптимального значения и правильного подбора сечений линий, аппаратов защиты и распределительных устройств, производят расчет электрических нагрузок. В данной квалификационной работе расчет электрических нагрузок будет вестись по методу установленной мощности и коэффициенту спроса;

Метод коэффициента спроса – это приближенный метод, применяется для оценочного определения расчетной мощности предприятия или цеха.

Порядок расчета:

- Для каждой группы электроприемников посредством сложения определяется номинальная мощность (установленная)

$$P_{уст\ l} = \sum P_{ном\ l}$$

-Из справочной литературы выписываются значения коэффициента спроса  $K_{cl}$  и косинуса  $\varphi_1$

- Далее определяются расчетные нагрузки: активная, реактивная и полная мощности для каждой группы электроприемников

$$P_{p.l} = K_{cl} \cdot P_{уст.l}$$

$$Q_{p.l} = P_{p.l} \cdot tg\varphi_1$$

где  $tg\varphi_1$  определяется по  $cos\varphi_1$ .

- Путем сложения расчетных активных и реактивных мощностей групп электроприемников определяется итоговая нагрузка:

$$P_p = \sum P_{p\ l}$$

$$Q_p = \sum Q_{p\ l}$$

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

- Расчетный ток определяется следующим соотношением:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi}$$

Где  $U_{\text{ном}}$  - базисное напряжение

Результаты расчета электрических нагрузок по каждому этажу приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Расчет электрических нагрузок по каждому этажу

Наименование ЭП	Кол-во	Руст, кВт		коэффициенты			Расчетная мощность		
		одног о	итог о	К с	cos φ	tgφ	Активна я мощн., кВт	Реактивн ая мощн., кВАр	Полна я мощн., кВА
1 этаж:									
Розеточная сеть	25	0,45	11,25	1	0,85	0,62	11,25	6,97	13,23
м/в печь Panasonic NN-DS596MZPE	2	1,00	2	1	0,85	0,62	2	1,24	2,35
Электрочайник Scarlett SC-EK27G99	1	2,2	2,2	1	0,95	0,33	2,2	0,72	2,31

Продолжение таблицы 3.1

КофемашинaBorkC804	1	1,85	1,85	1	0,95	0,33	1,85	0,6	1,94
РукоосушительNRGHI-TECH	2	1,65	3,3	1	0,85	0,62	3,3	2,05	3,88
2 этаж									
Розеточная сеть	32	0,45	14,4	1	0,85	0,62	14,4	8,92	17
РукоосушительNRGHI-TECH	2	1,65	3,3	1	0,85	0,62	3,3	2,05	3,88
3 этаж									
Розеточная сеть	29	0,45	13,05	1	0,85	0,62	13,05	8,1	15,3
РукоосушительNRGHI-TECH	2	1,65	3,3	1	0,85	0,62	3,3	2,05	3,88

Расчетная нагрузка по зданию с учетом освещения при совместном питании силовой и осветительной части будет рассчитываться по формуле:

$$P_p = K P_{p.o} + P_{p.c} + K1P_{p.x.c}$$

где K - коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов нагрузок силовых электроприемников, включая холодильное оборудование и освещение

K1 - коэффициент, зависящий от отношения расчетной нагрузки освещения к нагрузке холодильного оборудования холодильной станции

P p.o - расчетная нагрузка освещения, кВт;

$$P_{p.o} = P_p \cdot K_{c.o}$$

$K_{c.o}$  - коэффициент спроса для расчета нагрузок рабочего освещения питающей сети и вводов общественных зданий, при мощности 5-10 кВт следует принимать равным 0,95

$P_{p.c}$  - расчетная нагрузка силовых электроприемников без холодильных машин систем кондиционирования воздуха, кВт;

$$P_{P.C} = K_C \cdot P_{У.C}$$

$K_C$  принимать равным 0,45

$K_C$  для технологического оборудования принимать равным 0,75

$P_{p.x.c}$  - расчетная нагрузка холодильного оборудования систем кондиционирования воздуха, кВт.

Для 1 этажа:

$$P_p = 0,95(6,5 \cdot 0,95 + 0,45 \cdot 25 \cdot 0,45 + (2 + 2,2 + 1,85 + 3,3) \cdot 0,75)$$

$$P_p = 17,34 \text{ кВт}$$

Коэффициент  $K$  при отношении расчетной нагрузки освещения к силовой, % :

$$(6,5/18,41) \cdot 100 = 35,$$

принимаем  $K=0,95$

$$I_p = \frac{17,34}{1,73} \cdot 0,38 \cdot 0,85 = 31 \text{ А}$$

Для 2 этажа:

$$P_p = 0,95(8,44 \cdot 0,95 + 0,45 \cdot 32 \cdot 0,45) = 13,77 \text{ кВт}$$

Коэффициент К при отношении расчетной нагрузки освещения к силовой, % :  
 $(8,44/17,72) \cdot 100 = 47$ , принимаем  $K=0,95$

$$I_p = \frac{13,77}{1,73} \cdot 0,38 \cdot 0,85 = 25 \text{ A}$$

Для 3 этажа:

$$P_p = 0,95(7,22 \cdot 0,95 + 0,45 \cdot 29 \cdot 0,45) = 12,73 \text{ кВт}$$

Коэффициент К при отношении расчетной нагрузки освещения к силовой, % :  
 $(7,22/16,35) \cdot 100 = 44$ , принимаем  $K=0,95$

$$I_p = \frac{12,73}{1,73} \cdot 0,38 \cdot 0,85 = 23 \text{ A}$$

Расчетная общая нагрузка и ток:

$$P_p = 17,34 + 13,77 + 12,73 = 44 \text{ кВт}$$

$$I_p = 44/1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,85 = 79 \text{ A}$$

#### 4 Расчет теплотребления

Для определения теплотребления здания необходимо знать его наружный объем:

$$V^3 = S_3 \cdot h_3$$
$$V^3 = 484 \cdot 9 = 4266 \text{ м}^3$$

Где  $S_3$ - площадь по внешнему обводу здания,  $\text{м}^2$ ,

Что бы определить наружную площадь здания, необходимо разбить его на простейшие геометрические фигуры, как указано на рисунке 4.1, вычислить их площадь и путем суммирования этих фигур определить искомую площадь. Данные для определения площади здания приведены в таблице 4.1.

$h_3$  – высота здания с учетом плит перекрытия, м

$$h_3 = h_{\text{пом}} \cdot n = 3 \cdot 3 = 9 \text{ м}$$

где  $h_{\text{пом}}$  - высота помещения от уровня пола до уровня пола следующего этажа

$n$  – количество этажей в здании

Таблица 4.1 – Определение площади здания

Длина участка	А, м	Ширина участка	В, м	Площадь $S=A \times B$ , $\text{м}^2$
А-В	12,6	1-5	30,62	385,8
В-Г	2,4	2-5	18,372	44,1
Г-Д	7,2	4-5	6,124	44,1
				Площадь застройки $S_3=484 \text{ м}^2$

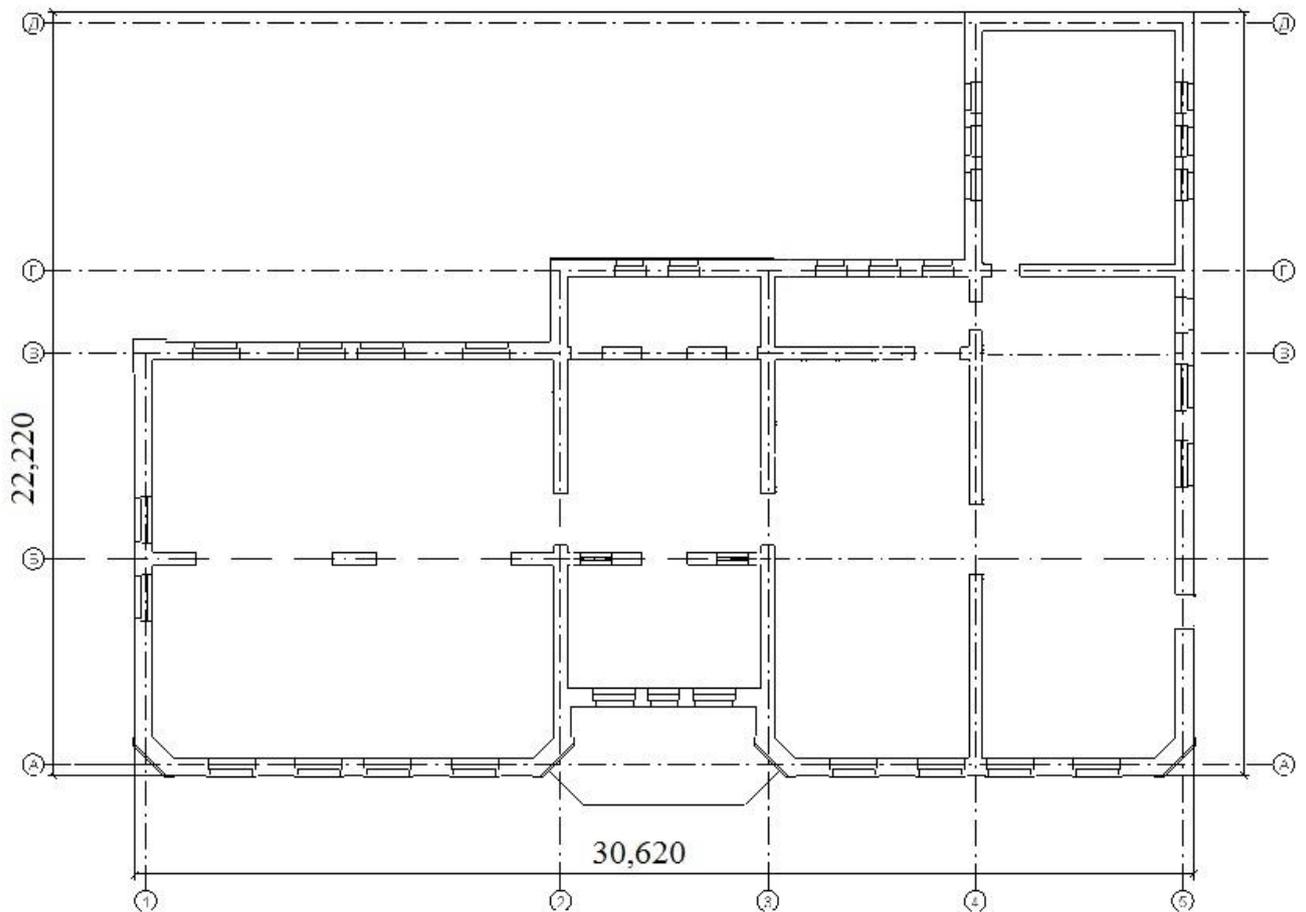


Рисунок 4.1 – План здания

После нахождения объема по наружному обмеру здания, по приближенной формуле определяется расход тепла на отопление[3]:

$$Q_{OT} = q_0 \cdot V^3 \cdot t_{вн} - t_n = 8,3 \cdot 10^{-4} \cdot 4266 \cdot 18 + 26 = 138 \text{ кВт}$$

$q_0$ —тепловая отопительная характеристика здания кВт/(м<sup>3</sup>·К)

$t_{вн}$ — расчетная температура воздуха внутри помещения принимается равной 18<sup>0</sup>С

$t_n$  – расчетная температура наружного воздуха для Пензенской области принимается равной -26<sup>0</sup>С

Тепловая отопительная характеристика здания, численно равная теплопотерям на кубометр здания в единицу времени при температурной

разности наружной и внутренней температуры в  $1^{\circ}\text{C}$  определяется по следующей формуле:

$$q_0 = \frac{a \cdot 10^{-3}}{\sqrt[8]{V}} \left( 1,54 - \frac{22}{t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}} \right) = \frac{2,3 \cdot 10^{-3}}{\sqrt[8]{4266}} \left( 1,54 - \frac{22}{18 + 26} \right) \\ = 8,3 \cdot 10^{-4} \text{кВт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$$

Где  $a$  – постоянный коэффициент, для железобетонных зданий находится в пределах 2,3-2,6; принимается равным 2,3

Расход тепла на горячее водоснабжение  $Q_{\text{ГВ}}$  можно принять по следующей формуле:

$$Q_{\text{ГВ}} = 0,1 \cdot Q_{\text{ОТ}} = 13,8 \text{ кВт}$$

Расход тепла на вентиляцию для подогрева воздуха в зимний сезон, можно принять по следующей формуле:

$$Q_{\text{В}} = (0,3 \sim 0,4) \cdot Q_{\text{ОТ}} = 41,44 \text{ кВт}$$

Общие тепловые нагрузки составят:

$$Q_{\text{сет}} = Q_{\text{ГВ}} + Q_{\text{ОТ}} + Q_{\text{В}} = 193,8 \text{ кВт}$$

Прежде, чем перейти к определению мощности когенерационной установки, необходимо упомянуть, что на территории имеется котельная с водогрейным котлом фирмы ROSSEN серии RS-A общей мощностью на 150 кВт.

Таким образом, требуется определить такую когенерационную установку, тепловая мощность которой не будет превышать 50 кВт

## **5 Выбор когенерационной установки (далее - КГУ)**

Когенерация – это комбинированное производство электроэнергии и тепловой энергии с последующим эффективным использованием их на технологические нужды.

Система когенерации должна надежно покрывать электрические и тепловые нагрузки. Когенерация тепла и энергии является высокоэффективным средством в обеспечении этими ресурсами потребителей. Кроме того, установки комбинированной выработки тепла и электроэнергии вносят вклад в сохранение ресурсов и в обеспечение охраны окружающей среды. В 1997 году проходило заседание ООН, которое привело к публикации Киотского протокола. Как результат, развитые страны подтвердили свое намерение сократить выбросы газов с парниковым эффектом. Эффективное использование энергии на миниТЭЦ является одним из основных способов сокращения выбросов CO<sub>2</sub>, таким образом это приводит к осуществлению цели, изложенной в Киотском протоколе. Основная мотивация увеличения использования комбинированного производства тепла и электроэнергии в бытовом и промышленном энергоснабжении определяет их основной вклад в обеспечение эффективного и рационального энергоснабжения. Важными аспектами здесь являются энергетический и экологический [17].

Когенерационные системы с поршневыми двигателями характеризуются широким диапазоном номинальной мощности, модульности, низкими капитальными и инвестиционными затратами. Они также имеют быстрый запуск, высокую эффективность при частичной нагрузке и высокую надежность. Их основными недостатками являются вредные выбросы в атмосферу и шум излучения. Современное производство включает в себя двигатели с искровым зажиганием с низким уровнем выбросов, работающих на природном газе или биогазе с низкой степенью сжатия по отношению к двигателям с воспламенением от сжатия. Базовый модуль когенерационной установки с использованием поршневых двигателей состоит из:

- системы выработки электроэнергии (генератор) и тепловой энергии;
- электрическая система безопасности;
- вспомогательные приводы распределительных устройств;
- установка автоматического пополнения масла;
- шум глушителей на выпускном и воздушном выходах;
- мастер шкафа управления позволяют осуществлять управление и визуализацию рабочих параметров;
- электрическая система синхронизации сети;
- система аварийного охлаждения;
- звуконепроницаемый корпус.

Поршневой двигатель работает на природном газе, пропане или биогазе и помещается на общем валу с генератором. Работа такого набора позволяет производить электрическую и тепловую энергию. В результате сгорания газа поршневой двигатель производит тепло в качестве дополнительного продукта преобразования энергии. Это тепло поступает от корпуса двигателя и выхлопа, затем его извлекают с помощью контуров теплообменника, смешивают с системой воды или гликолем, переданного рецептором. Для достижения предполагаемой температуры воды или гликоля на выходе модуля и для стабильности операций когенерационной системы используется распределительное устройство. Это распределительное устройство управляет клапанами системы аварийного охлаждения и непрерывно контролирует охлаждающую жидкость:

- в случае слишком горячей температуры воды на входе в систему когенерации, оно перенаправляет часть его к дополнительной системе охлаждения;
- в случае слишком холодной воды активируется, нагревая его до определенной температуры.

Очевидное преимущество когенерационной установки заключается в высоком КПД, который может достигать 90 % при совместной выработке электро- и теплоэнергии, в отличие от отдельного производства этих форм энергии, что представлено для наглядности на рисунке 5.1. Для подключения

установки на режим работы параллельно с сетью достаточно соблюдения условия синхронизации по равенству напряжения, частоты и совпадения фаз. Помимо параллельного режима работы, когенерационная установка так же может работать автономно, одиночно или в группе установок.



Рисунок 5.1 – КПД при различных способах выработки электроэнергии и тепла

В настоящее время КГУ являются распространенными источниками электроснабжения, в связи с чем их производство увеличивается, как и количество предприятий, выпускающих эти установки. В данной ВКР был выбран производитель TEDOM, как один из наиболее надежных и зарекомендовавших себя с положительной стороны производителей в сфере электроснабжения.

С учетом того, что тепловая мощность не должна превышать 50 кВт, была выбрана установка TEDOMPremi 25SPI(E), где Premi- обозначение типа установки, 25-мощность, на которую рассчитана установка кВт, S – с синхронным генератором, возможна работа как параллельно с сетью – Р, так и в автономном режиме – I, E-работа в аварийном режиме. Можно комбинировать режимы между собой SPE. Основные технические данные

установки представлены в таблице 5.1. В системном операторе установки мощностью до 25 кВт на учет не ставятся. Внешний вид установки приведен на рисунке 5.2

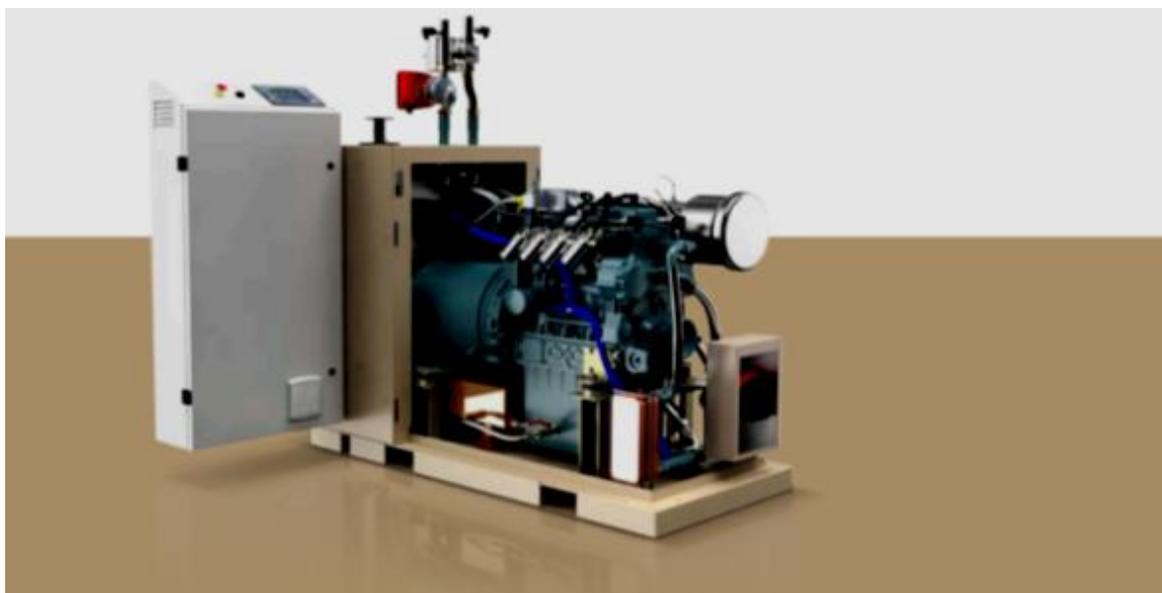


Рисунок 5.2 - Внешний вид установки

Таблица 5.1 - основные технические данные TEDOMPremi 25 SPI(E)

Параметр	Числовое значение	Размерность
Максимальная электрическая мощность	25	кВт
Максимальная тепловая мощность	47	кВт
Потребляемая мощность топлива	77,5	кВт
К.п.д. электрический	28,4	%
К.п.д. тепловой	58,8	%
К.п.д. общий (использование топлива)	87,2	%
Расход газа при 100% мощности	8,2	м <sup>3</sup> /час
Расход газа при 75% мощности	6,6	м <sup>3</sup> /час
Расход газа при 50% мощности	5,2	м <sup>3</sup> /час

Рассчитаем стоимость 1 кВт\*ч электроэнергии, вырабатываемой установкой при нагрузке в 100% при ускоренной амортизации в 2,5 года (или  $t_a = 20\,000$  часов)

На данный момент известны следующие данные:

-тариф на электроэнергию для организации составляет:

$C_{\text{ээ}}$  - 6,22 руб за 1 кВт\*ч

-тариф на газ для организации:

$C_{\text{г}}$  - 5,2 руб за 1 м<sup>3</sup> газа

- цена КГУ:

$C_{\text{кгу}}$  – 850 000 руб

- стоимость пуско-наладки – 25 000 руб

- общая стоимость:

$C_{\text{ос}}$  - 875 000 руб

- расход газа при 100% нагрузке:

$P_{\text{г}}$  – 8,2 м<sup>3</sup>/ час

- расход масла:

$P_{\text{м}}$  – 0,3 г/кВт\*ч

- стоимость масла:

$C_{\text{м}}$  – 80 руб

Суточный расход газа  $P_{\text{д.г}}$  составит :

$$P_{\text{д.г}} = P_{\text{г}} \cdot C_{\text{г}} \cdot 24 = 8,2 \cdot 5,2 \cdot 24 = 1023 \text{ руб}$$

Расход газа за срок амортизации  $P_{\text{д.г.а}}$  :

$$P_{\text{д.г.а}} = P_{\text{д.г}} \cdot t_{\text{а}} = 1023 \cdot 20000 = 20460000 \text{ руб}$$

Расход масла за срок амортизации  $P_{\text{м.а}}$  :

$$P_{\text{м.а}} = P_{\text{м}} \cdot C_{\text{м}} \cdot t_{\text{а}} \cdot 25 = 0,3 \cdot 80 \cdot 20000 \cdot 25 = 12000 \text{ руб}$$

Полная амортизационная стоимость  $C_{\text{с.а}}$  :

$$C_{c.a} = C_{oc} + P_{z.a} + P_{m.a} = 875000 + 852800 + 12000 = 1739800 \text{ руб}$$

Выработка электроэнергии за 20000 часов составит 500000 кВт, тогда общая стоимость электроэнергии за амортизационный срок при тарифе 6,2 руб/кВт\*ч:

$$6,2 \cdot 500000 = 3100000 \text{ руб}$$

При ускоренной амортизации полная себестоимость кВт\*часа  $C_{c.c.a}$  будет составлять:

$$C_{c.c.a} = \frac{C_{c.a}}{500000} = \frac{1739800}{500000} = 3,5 \text{ руб}$$

После срока амортизации полная себестоимость кВт\*часа  $C_{c.c}$  будет составлять:

$$C_{c.c} = \frac{C_{c.a} - C_{oc}}{500000} = \frac{1739800 - 875000}{500000} = 1,6 \text{ руб}$$

## 6 Выбор мощности силового трансформатора

В данной работе большая часть потребителей нагрузки относится к III категории надежности электроснабжения. Соответственно, снабжать здание электроэнергией будет  $N_T=1$  трансформатор и коэффициент запаса считать равным  $K_3=0,9$ .

Мощность трансформатора находится по формуле:

$$S_n = \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot N_m} = \frac{44}{0,9 \cdot 1} = 48 \text{ кВА}$$

Выбираем к установке трансформатор масляный герметизированный ТМГ-63/10/0,4 с данными, приведенными в таблице 6.1.

Таблица 6.1– Каталожные данные трансформатора ТМГ-63/10/0,4

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВ·А	Номинальное напряжение, кВ		$\Delta P_{xx}$ , кВт	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$U_{кз}$ , %	$I_{xx}$ , %
		ВН	НН				
ТМГ-63/10/0,4	63	10	0,4	2,20	1,28	4,5	1,8

## 7 Определение параметров кабелей и автоматических выключателей

Выбор сечения кабелей и проводов является обязательным и очень важным пунктом при монтаже и проектировании схемы любой электрической установки.

Для правильного выбора сечения силового проводника необходимо учитывать величину максимально потребляемого нагрузкой тока.

Питание электроприемников от сети 380/220 В должно выполняться с системой заземления TN-S или TN-C-S [8], поэтому все кабели, питающие однофазные потребители, должны содержать три проводника: - фазный проводник - нулевой рабочий проводник - защитный (заземляющий проводник)

В случае с трехфазными потребителями, кабели должны содержать в себе 5 проводников, где 3 из них – фазные, один – нулевой рабочий проводник и еще один – защитный проводник

Сечение проводника выбирается из [12] по расчетным значениям тока и мощности, номинал автоматического выключателя выбирается так же по расчетному току. Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в групповой сети на каждую группу силового потребителя устанавливается УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током 30 мА и номиналом на шаг выше автоматического выключателя. Выбранные аппараты защиты и силовые кабели представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 –Выбор защитной аппаратуры и кабелей

Сеть	Расчетный ток $I_p, A$	Расчетная мощность $P_p, кВт$	Тип проводника	Автоматически й выключатель	Устройство защитного отключения
<b>Питающая сеть</b>					
ТП-ВРУ	79	44	ВВГнг 4x25	PLHT-D80/3	-
КГУ-ВРУ	45	25	ВВГнг 4x10	PLHT-D50/3	-

Продолжение таблицы 7.1

<b>Распределительная сеть</b>					
ВРУ-ЩР-1	31	17,4	ВВГнг 4x4	PL7-D32/3	-
ВРУ-ЩР-2	25	13,8	ВВГнг 4x4	PL6-D25/3	-
ВРУ-ЩР-3	23	12,8	ВВГнг4x4	PL6-D25/3	-
<b>Групповая сеть</b>					
<b>ЩР-1</b>					
Освещение помещения 101	8,07	1,51	NYM3x1,5	PL4-C10/1	-
Освещение помещения 101	8,07	1,51	NYM3x1,5	PL4-C10/1	-
Освещение помещения 102,103,108...111	4,38	0,82	NYM3x1,5	PL4-C6/1	-
Освещение помещения 104...106	13,86	2,6	NYM3x1,5	PL4-C16/1	-
Розетки помещения 101	14,44	2,7	NYM3x1,5	PL4-C16/1	PF4- 25/2/003
Розетки помещения 101	19,25	3,6	NYM3x1,5	PL4-C20/1	PF4- 25/2/003
Розетки помещения 104	9,62	1,8	NYM3x1,5	PL4-C10/1	FI-16/2/003
Розетки помещения 105	16,84	3,15	NYM3x1,5	PL4-C20/1	PF4- 25/2/003

Продолжение таблицы 7.1

Розетки помещения 106,м/в печь PanasonicNN- DS596MZPE	10,69	2	NYM3x1,5	PL4-C16/1	PF4- 25/2/003
Розетки помещения 106. Электрочайник ScarlettSC - EK27G99	11,76	2,2	NYM3x1,5	PL4-C16/1	PF4- 25/2/003
Розетки помещения 106.КофемашинаBorkC804	9,89	1,85	NYM3x1,5	PL4-C10/1	FI-16/2/003
РукосушительNRGHI- TECH	17,65	3,3	NYM3x1,5	PL4-C20/1	PF4- 25/2/003
<b>ЩР-2</b>					
Освещение помещения 201	8,07	1,51	NYM3x1,5	PL4-C10/1	-
Освещение помещения 201	8,07	1,51	NYM3x1,5	PL4-C10/1	-
Освещение помещения 203,209...213	3,94	0,738	NYM3x1,5	PL4-C6/1	-
Освещение помещения 202,204,205	13,86	2,6	NYM3x1,5	PL4-C16/1	-
Освещение помещения 207,208	6,54	1,22	NYM3x1,5	PL4-C10/1	-
Розетки помещения 201	14,44	2,7	NYM3x1,5	PL4-C16/1	PF4- 25/2/003
Розетки помещения 201	19,25	3,6	NYM3x1,5	PL4-C20/1	PF4- 25/2/003
Розетки помещения 202,204	16,84	3,15	NYM3x1,5	PL4-C20/1	PF4- 25/2/003

Продолжение таблицы 7.1

Розетки помещения 205,206	14,44	2,7	NYM3x1,5	PL4-C16/1	PF4- 25/2/003
Розетки помещения 207,208	3,05	0,57	NYM3x1,5	PL4-C6/1	FI-16/2/003
РукоосушительNRGHI- TECH	17,65	3,3	NYM3x1,5	PL4-C20/1	PF4- 25/2/003
<b>ЩР-3</b>					
Освещение помещения 301	8,07	1,51	NYM3x1,5	PL4-C10/1	-
Освещение помещения 301	8,07	1,51	NYM3x1,5	PL4-C10/1	-
Освещение помещения 307...312	3,94	0,738	NYM3x1,5	PL4-C6/1	-
Освещение помещения 302-304	9,24	1,728	NYM3x1,5	PL4-C10/1	-
Освещение помещения 305,306	9,24	1,728	NYM3x1,5	PL4-C10/1	-
Розетки помещения 301	14,44	2,7	NYM3x1,5	PL4-C16/1	PF4- 25/2/003
Розетки помещения 301	19,25	3,6	NYM3x1,5	PL4-C20/1	PF4- 25/2/003
Розетки помещения 302,304	16,84	3,15	NYM3x1,5	PL4-C20/1	PF4- 25/2/003
Розетки помещения 305	9,62	1,8	NYM3x1,5	PL4-C10/1	FI-16/2/003
РукоосушительNRGHI- TECH	17,65	3,3	NYM3x1,5	PL4-C20/1	PF4- 25/2/003

В качестве вводно-учетного устройства принимается счетчик электроэнергии трехфазный многотарифный НИК 2303 АП1Т с максимальной силой тока 100 А, предназначенный для измерения активной электрической энергии, по типу подключения к электросети относится к счетчикам прямого включения. Счетчик имеет возможность организации многотарифного учета электроэнергии. Класс точности – 1,0.

## 8 Расчет токов короткого замыкания

Для проверки правильности выбранного оборудования применяется расчет токов короткого замыкания. При расчете токов короткого замыкания будет использоваться методика, приведенная в [11]. Необходимо проанализировать влияние  $I_{кз}$  на питание потребителей в сети 0,4 кВ. Расчетная схема представлена на рисунке 8.1.

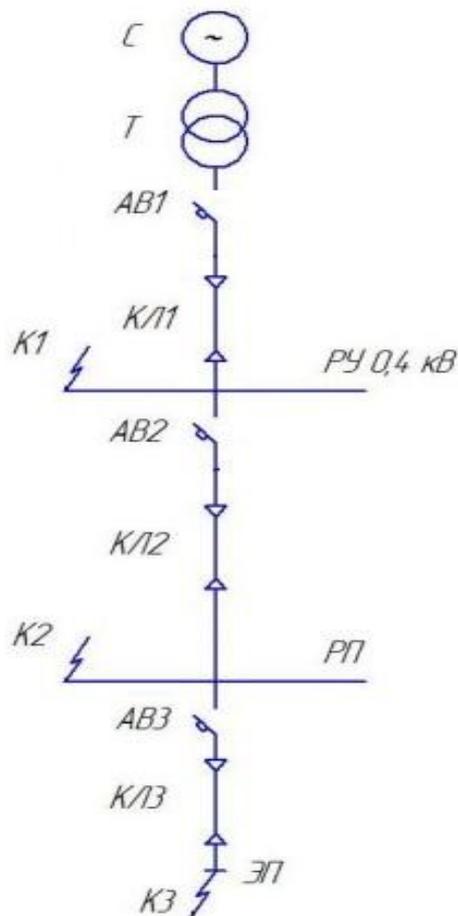


Рисунок 8.1 - Расчетная схема

Параметры расчетной схемы для определения токов короткого замыкания  $I_{кз}$

Трансформатор ТМГ-63 со схемой соединения обмоток  $Y/Y_H$ ;

$S_T=63$  кВА;  $U_{H.VH}=10,5$  кВ;  $U_{H.HH}=0,4$  кВ;  $U_K=4,5\%$  ;

$R_T=52$  мОм;  $X_T=102$  мОм;

Автоматический выключатель АВ1ПЛНТ-D80/3;

$$R_{D80/3}=1,85 \text{ мОм}; X_{D80/3}=1,6 \text{ мОм};$$

Автоматический выключатель АВ2PL7-D32/3;

$$R_{D32/3}=3,6 \text{ мОм};$$

Автоматический выключатель АВ3PL4-C16/1;

$$R_{C16/1}=7,0 \text{ мОм};$$

Для автоматических выключателей PL7-D32/3, PL4-C16/1 на 32 и 16 ампер соответственно, индуктивное сопротивление очень мало и им можно пренебречь.

Кабельная линия КЛ1 с кабелем ВВГнг 4x25;

$$r_0=0,74 \text{ мОм}; x_0=0,091 \text{ мОм/м}; l=80 \text{ м},$$

$$R_{кл1}=59 \text{ мОм}, X_{кл1}=7,3 \text{ мОм}$$

Кабельная линия КЛ2 с кабелем ВВГнг 4x4;

$$r_0=4,63 \text{ мОм}; x_0=0,107 \text{ мОм/м}; l=23 \text{ м},$$

$$R_{кл2}=106 \text{ мОм}, X_{кл2}=2,5 \text{ мОм}$$

Кабельная линия КЛ3 с кабелем NYM 3x1,5;

$$r_0=12,3 \text{ мОм}; x_0=0,126 \text{ мОм/м}; l=7 \text{ м},$$

$$R_{кл1}=86 \text{ мОм}, X_{кл1}=0,9 \text{ мОм}$$

При расчете токов короткого замыкания составляется схема замещения с выбором точек короткого замыкания и определения сопротивления элементов схемы. Схема замещения изображена на рисунке 8.2

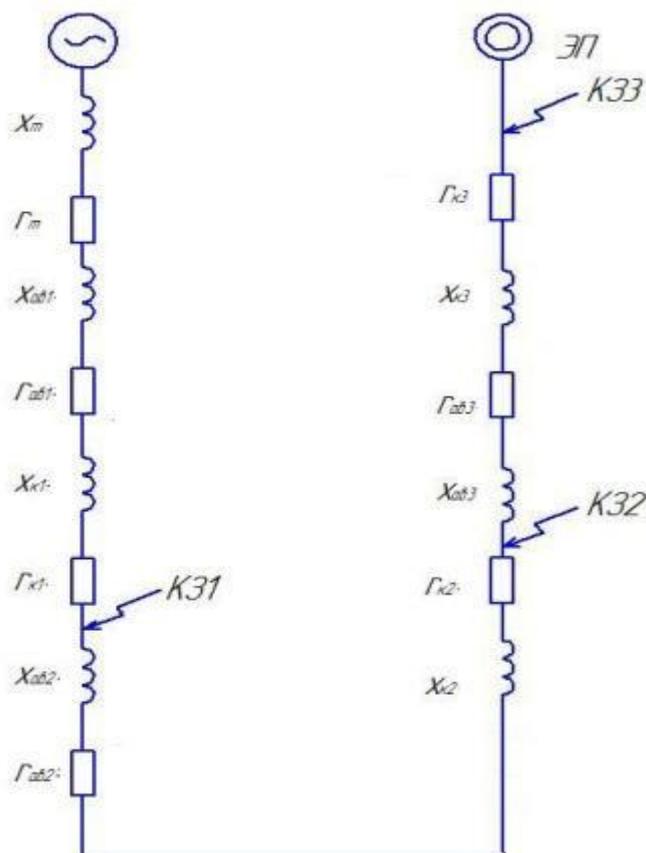


Рисунок 8.2 - Схема замещения

Определение эквивалентных сопротивлений между точками КЗ производится путем сложения активных и индуктивных сопротивлений на каждом участке:

$$R_{\rho 1} = R_T + R_{D80/3} + R_{кп1} = 52 + 1,85 + 59 = 112,85 \text{ мОм};$$

$$X_{\rho 1} = X_T + X_{D80/3} + X_{кп1} = 12 + 102 + 7,3 = 111 \text{ мОм};$$

$$R_{\rho 2} = R_{D32/3} + R_{кп2} = 3,6 + 106 = 109,6 \text{ мОм};$$

$$X_{\rho 2} = X_{D32/3} + X_{кп2} = 0 + 2,5 = 2,5 \text{ мОм};$$

$$R_{\rho 3} = R_{C16/1} + R_{кп3} = 7 + 86 = 93 \text{ мОм};$$

$$X_{\rho 3} = X_{C16/1} + X_{кп3} = 0 + 0,9 = 0,9 \text{ мОм};$$

Далее производится определение сопротивления  $Z_k$  до каждой точки КЗ:

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$$

До точки К1:

$$R_{к1}=R_{э1}=112,85 \text{ мОм};$$

$$X_{к1}=X_{э1}=111 \text{ мОм};$$

$$Z_{к1}=158,3 \text{ мОм}$$

До точки К2:

$$R_{к2}=R_{э1}+R_{э2}=222,5 \text{ мОм};$$

$$X_{к2}=X_{э1}+X_{э2}=113,5 \text{ мОм};$$

$$Z_{к2}=250 \text{ мОм}$$

До точки К3:

$$R_{к3}=R_{к2}+R_{э3}=315,5 \text{ мОм};$$

$$X_{к3}=X_{к2}+X_{э3}=114,5 \text{ мОм};$$

$$Z_{к3}=335,5 \text{ мОм}$$

Следующий этап- определение ударного коэффициента  $K_y$  по графику, изображенному на рисунке 8.3и коэффициента действующего значения ударного тока:

$$K_y = F \frac{R_k}{X_k} ;$$

$$q = \frac{1}{1 + 2(K_{y1} - 1)^2}$$

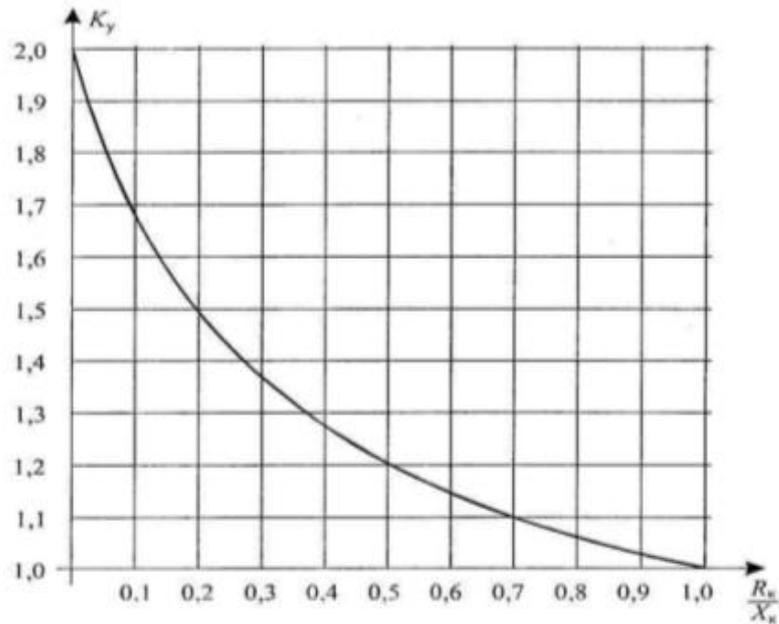


Рисунок 8.3 – График для определения ударного коэффициента  $K_y$

Далее следует определение 3-фазных, 2-фазных, ударных значений токов короткого замыкания для каждого участка цепи по формулам:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot Z_k};$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_k^{(3)};$$

$$i_{ук} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k^{(3)}$$

$$I_{ук} = q \cdot I_k^{(3)}$$

Расчет однофазных токов короткого замыкания для кабельных линий:

$$R_{пкл} = 2R_{кл}, \text{ мОм};$$

$$X_{пкл} = 0,15l_{кл}, \text{ мОм};$$

$$I_k^{(1)} = \frac{U_{кф}}{Z_{п2} + Z_T^1/3}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 8.1

Таблица 8.1 – Расчет токов коротких замыканий для различных участков схемы электроснабжения

Точка КЗ	$K_y$	$q$	$I_k^{(3)}, \text{кА}$	$I_k^{(2)}, \text{кА}$	$i_{ук}, \text{кА}$	$I_{ук}, \text{кА}$	$R_{пкл}, \text{МОм}$	$X_{пкл}, \text{МОм}$	$Z_{пкл}, \text{МОм}$	$I_k^{(1)}$
1	1,0	1,0	1,4	1,2	1,98	1,4	118	12	118,6	0,41
2	1,0	1,0	0,9	0,78	1,27	0,9	212	3,45	212,03	0,35
3	1,0	1,0	0,6	0,52	0,85	0,6	172	1,05	172	0,37

Правильный выбор автоматического выключателя обеспечивает его способность выдерживать ударные токи короткого замыкания. Производителем выключателей EATON отключающая способность для автоматов типа:

-PLHT-D и номинальным током 80-100 А заявлена в 20 кА, ударный ток КЗ для точки к1 = 1,98 кА, следовательно, выключатель выбран правильно;

- PL7-D заявлена в 10 кА; ударный ток КЗ для точки к2 = 1,27 кА, следовательно, выключатель выбран правильно;

PL4-C в 4,5 кА, ударный ток КЗ для точки к3 = 0,85 кА, следовательно, выключатель выбран правильно.

## 9 Расчет заземления и молниезащита

Для предотвращения поражения человека электрическим током, в здании предусматривают систему заземления. Целью расчета в данном пункте будет являться определение размеров заземлителей и их количества.

Согласно ПУЭ, сопротивление в установках напряжением 380/220 В не должно превышать 4 Ома, это значение будет являться определяющим для расчета.

Сопротивление такого грунта, как суглинок, имеет значение  $\rho=100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Коэффициент сезонности для горизонтальных  $K_{\text{сез.Г}}$  и вертикальных  $K_{\text{сез.В}}$  заземлителей будет равен 3 и 1,3 соответственно.

Сопротивление стержневого электрода с заранее известными значениями:

- длина  $l_э$ ,
- диаметр  $d_э$ ,
- глубина заложения  $h_э$ ,

рассчитывается по следующей формуле:

$$R_э = \frac{\rho \cdot K_{\text{сез.В}}}{2 \cdot \pi \cdot l_э} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_э}{d_э} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot h_э + l_э}{4 \cdot h_э - l_э},$$
$$R_э = \frac{100 \cdot 1,3}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \ln \frac{2 \cdot 3}{0,057} + 0,5 \cdot \ln \frac{8 + 3}{8 - 3} = 35 \text{ Ом}$$

Требуемое количество электродов:

$$n' = \frac{R_и}{R_э \cdot \eta_э} = \frac{35}{4 \cdot 0,68} = 12,3 \text{ шт}$$

Где  $R_и$  - допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом;

$\eta_э$  - коэффициент использования заземлителя

Длина соединительной полосы  $l_n$  определяется расстоянием между электродами  $a$  и их количеством  $n$ :

$$l_n = a \cdot n' = 9 \cdot 12 = 108 \text{ м}$$

Сопротивление соединительной полосы, с заранее известной шириной горизонтального электрода  $b$ , будет определяться по формуле:

$$R_n = \frac{\rho \cdot K_{\text{сез.Г}}}{2 \cdot \pi \cdot l_n} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_n^2}{h_n \cdot b} ;$$

$$R_n = \frac{100 \cdot 3}{2 \cdot 3.14 \cdot 108} \cdot \ln \frac{2 \cdot 108^2}{108 \cdot 0,06} = 3,62 \text{ Ом}$$

Общее сопротивление контура заземления вычисляется следующим образом:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_{\text{э}} \cdot R_n}{R_{\text{э}} \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta_{\text{э}} \cdot n'}$$

$$R_{\Sigma} = \frac{35 \cdot 3,62}{35 \cdot 0,7 + 3,62 \cdot 0,68 \cdot 12} = 2,5 \text{ Ом}$$

По условию, сопротивление контура заземления не должно быть больше, чем допустимое сопротивление в 4 Ома:

$$R_{\Sigma} \leq R_{\text{д}};$$

$$2,5 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}$$

#### Молниезащита здания

Для сведения к минимуму рисков от прямого удара молнии, который может нанести значимый ущерб как самому зданию и его оборудованию, так и людям, находящимся в нем, необходимо предусмотреть молниезащиту.

Здание относится к III уровню защиты и надежностью защиты от прямых ударов молнии 0,9[2].

В качестве грозозащиты принимается молниеприемная сетка с установкой по всему периметру крыши и присоединением к полосе заземления. Шаг ячейки молниеприемной сетки не должен быть больше, чем 10x10 м.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе выполнено проектирование электрооборудования и электрохозяйства рассматриваемого объекта, выполнен расчет электрической и осветительной нагрузки. При расчете осветительной части было принято решение об использовании люминесцентных ламп с дальнейшим определением количества осветительных установок по каждому помещению.

Для обеспечения питания была выбрана когенерационная установка, электрической мощностью 25 кВт и тепловой 47 кВт, выбор производился на основании расчета по тепловой мощности. Так же питание здание получает от трансформатора ТМГ-63/10/0,4.

Был произведен выбор проводников и аппаратуры защиты с последовательной их проверкой на возможность выдерживания ударных токов короткого замыкания.

Так же было рассчитано заземление здания.

## Список использованных источников

1. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования монтажа. Актуализированная редакция СП 31-110-2003. Свод правил [Текст]. – Введ. 2017 – 02 – 03. – М.: Министерство строительства и ЖКХ РФ, 2016 – 119 с.
2. СП118.13330.2012. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-05-2003. Свод правил [Текст]. – Введ. 2013 – 01 – 01. – М.: Минрегион России, 2012 – 70 с.
3. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. Свод правил [Текст]. – Введ. 2013 – 01 – 01. – М.: Минрегион России, 2012 – 78 с.
4. Варфоломеев, Л.П. Элементарная светотехника [Текст] / Л.П. Варфоломеев – М.:Москва, 2013. – 288 с.
5. Вахнина, В.В. Проектирование осветительных установок: электронное учеб. пособие / В.В. Вахнина [и др.] – Тольятти: ТГУ, 2015. – 107 с.
6. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения: электронное учеб. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. - Тольятти: ТГУ, 2016. – 78 с.
7. Вахнина, В.В. Требования к выпускной квалификационной работе бакалавров [Текст]: учеб.-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работе / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко, О.В. Самолина. – Тольятти: ТГУ, 2017. – 32 с.
8. Долин, П.А. Электробезопасность. Теория и практика.: учеб. пособие / А.П. Долин. – М.: МЭИ, 2012. – 280 с.
9. Игнатович, В.М. Электрические машины и трансформаторы.: учеб. пособие для СПО / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. – М.: Юрайт, 2016. – 181 с.
10. Когенерационные установки Tedom. Каталог продукции [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель компания Tedom. – Трещин, 2016. – 32 с.

11. Михайлов, В.Е. Современная электросеть / В.Е. Михайлов. – СПб.: НиТ, 2013. – 256 с.
12. Самарская кабельная компания . Каталог продукции [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель Самарская кабельная компания. – Самара, 2016. – 76 с.
13. Хорошилов, Н.В. Электропитающие системы и электрические сети: учеб. пособие / Н.В. Хорошилов[и др.] – Белгород: ТНТ, 2013. – 352 с.
14. Шерстнев, С.Н. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике: справочное издание / С.Н. Шерстнев, Э.А. Киреева. – М.: КНО РУС, 2013. – 864 с.
15. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов – М.: Инфра-М, 2014. – 136 с.
16. FeizaMemet. The Use of Spark Ignition Engine in Domestic Cogeneration / FeizaMemet, Osman Kamil Sag - Analele Universității "Eftimie Murgu", 2012. – 28 p.
17. Jan Gilewski. Combined systems of energy generation – a characterisation and classification / Jan Gilewski, Jerzy Montusiewicz - DE GRUYTER, 2014. – 76 p.
18. Tarek Hussein Mohamed. Electrical machine fundamental / Tarek Hussein Mohamed – Slideshare, 2012. – 432 p.
19. Yingkai Bao. Impact analysis of human factors on power system operation reliability / Yingkai Bao, Chuangxin Guo - Modern Power Systems and Clean Energy, 2016. – 89 p.
20. Desh Deepak Sharma. Identification and characterization of irregular consumptions of load data / Desh Deepak Sharma - Modern Power Systems and Clean Energy, 2017. – 102 p.