

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 административного здания ООО ИК «Сибинтек»

Обучающийся

В. В. Романкевич

(И. О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доц. М. Н. Третьякова

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Актуальность темы исследования обусловлена возрастающими требованиями к качеству и надёжности электроснабжения административных зданий, а также необходимостью снижения затрат на электроэнергию и обеспечение безопасности персонала.

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения административного здания ООО ИК «Сибинтек», отвечающей современным требованиям и обеспечивающей комфорт и безопасность сотрудников.

В работе проводится расчет электрических нагрузок, выбор оборудования, кабелей административного здания ООО ИК «Сибинтек», а также оборудование питающей трансформаторной подстанции. Учитываются требования по качеству электроэнергии и безопасности эксплуатации системы электроснабжения административного здания ООО ИК «Сибинтек». В результате предлагается оптимальная схема электроснабжения административного здания ООО ИК «Сибинтек» с учетом всех необходимых требований и нормативов.

Кроме того, проведен разработана система учета электроэнергии административного здания ООО ИК «Сибинтек».

ВКР представляет собой пояснительную записку, состоящую из введения, шести разделов основной части, заключения, списка используемой литературы и источников и графической части на 6 листах формата А1. Пояснительная записка выполнена на 64 листах формата А4, содержит 19 таблиц и 14 рисунков.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ электроприемников административного здания ООО ИК «Сибинтек» .....	5
1.1 Общие сведения об административном здании .....	5
1.2 Характеристики потребителей электроэнергии административного здания.....	7
1.3 Характеристики внешней системы электроснабжения административного здания.....	11
2 Расчёт электрических нагрузок и выбор схемы электроснабжения здания	14
3 Расчет освещения .....	21
4 Расчет и выбор силовых трансформаторов .....	32
5 Расчет и выбор электрооборудования.....	34
5.1 Расчет токов короткого замыкания .....	34
5.2 Расчет и выбор электропроводов и кабелей .....	38
5.3 Расчет и выбор аппаратов защиты.....	45
5.3.1 Выбор автоматических выключателей и проверка выбранных кабельных линий, выбор щитов ВРУ .....	45
5.3.2 Выбор электрооборудования трансформаторных подстанций .....	51
6 Разработка системы учета электроэнергии .....	57
Заключение .....	60
Список используемой литературы и используемых источников.....	62

## Введение

В современном мире административные здания играют важную роль в обеспечении деятельности различных организаций и компаний. Эффективное функционирование таких зданий напрямую зависит от качества электроснабжения. В связи с этим возникает необходимость проектирования и оптимизации систем электроснабжения административных зданий.

Актуальность темы исследования обусловлена возрастающими требованиями к качеству и надёжности электроснабжения административных зданий, а также необходимостью снижения затрат на электроэнергию и обеспечение безопасности персонала.

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения административного здания ООО ИК «Сибинтек», отвечающей современным требованиям и обеспечивающей комфорт и безопасность сотрудников.

Предметом исследования ВКР является система электроснабжения административного здания ООО ИК «Сибинтек». Объектом исследования является административное здание ООО ИК «Сибинтек».

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи:

- провести анализ электроприемников административного здания ООО ИК «Сибинтек»;
- выполнить расчет электрических нагрузок и выбор схемы электроснабжения здания;
- выполнить расчет освещения здания;
- выбрать силовые трансформаторы ТП;
- выбрать электрооборудование здания;
- разработать систему учета электроэнергии.

В процессе выполнения работы будут использованы современные методы и подходы к проектированию систем электроснабжения, а также учтены требования нормативных документов и стандартов.

# 1 Анализ электроприемников административного здания ООО ИК «Сибинтек»

## 1.1 Общие сведения об административном здании

Рассматриваемое многоэтажное административное здание семиэтажное. В административном здании со второго по седьмой этаж расположены офисные помещения. Планы этих этажей идентичны. На первом этаже расположены входная группа, столовая, помещение пожарных насосов, бойлерная, венткамера, комната охраны, электрощитовая, а также офисные помещения.

План типового этажа административного здания приведен на рисунке 1.

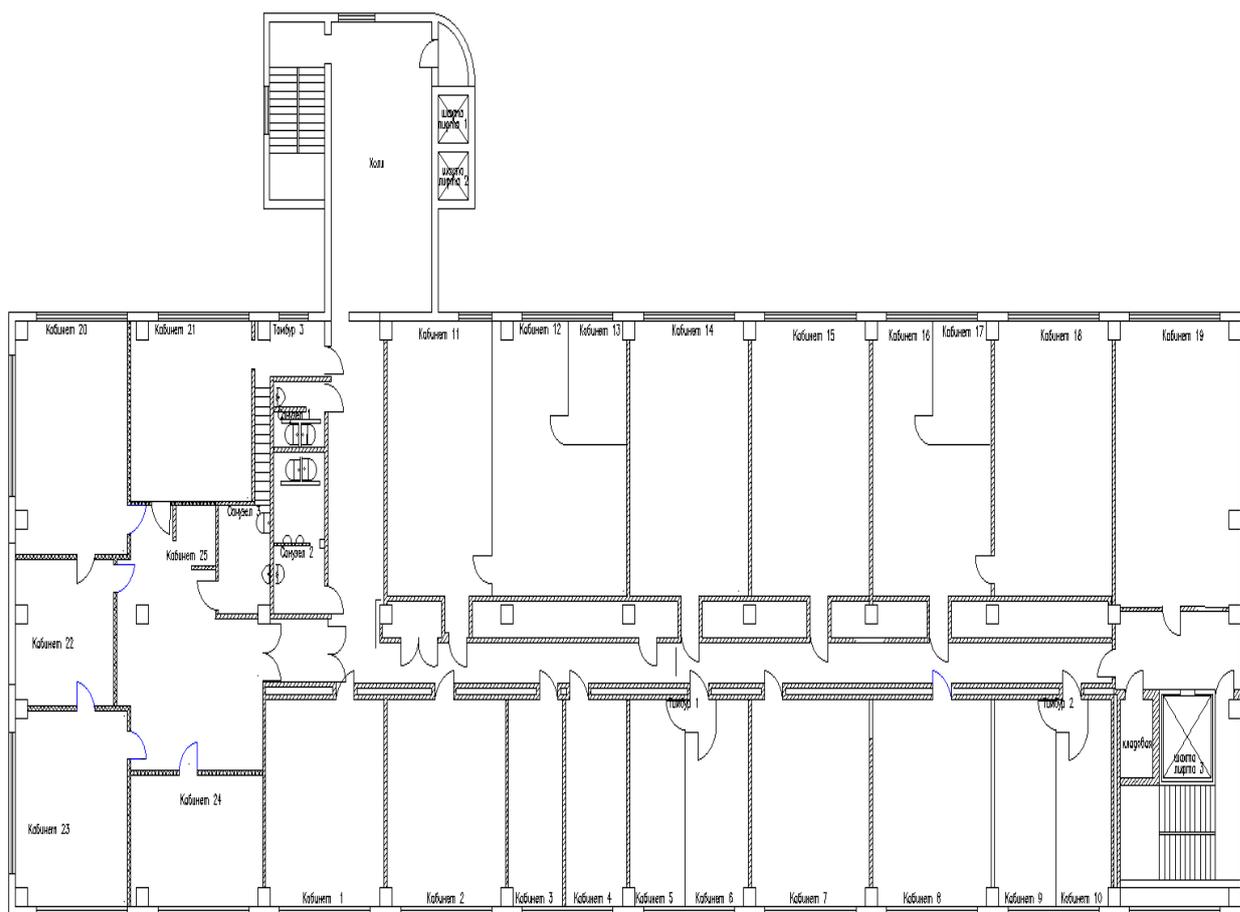


Рисунок 1 – План типового этажа многоэтажного административного здания



## 1.2 Характеристики потребителей электроэнергии административного здания

Электрооборудование административного здания состоит из осветительных приборов и силовых электроприемников. При проектировании системы электроснабжения предлагается использовать новые типы энергоэффективного оборудования – светодиодные световые приборы. Выбор светильников зависит от назначения помещения, его площади и некоторых других факторов, которые будут рассмотрены далее.

«Система освещения должна соответствовать СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (актуализированная редакция СНиП 23–05–95\*). Важной особенностью документа является наличие требований к светодиодным световым приборам. В настоящее время светодиодное освещение – одно из перспективных направлений технологий искусственного освещения» [9].

«Преимущества светодиодных осветительных приборов по сравнению с альтернативными источниками света:

- экономия электроэнергии до 90%, по сравнению с лампами накаливания, (то есть 10 Вт светодиодной лампы аналогичен 100 Вт лампе накаливания);
- срок службы от 50 000 до 100 000 часов;
- срок службы светильника не менее 15 лет;
- диапазон рабочих температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ;
- коэффициент пульсации 0;
- коэффициент мощности:  $\cos\varphi$  составляет  $> 0,9$ ;
- отсутствие ртутных паров и ультрафиолетового излучения; не требуют специальной утилизации;
- отсутствие стробоскопического эффекта (мерцаний);
- отсутствие больших пусковых токов;
- стойкие к перепадам напряжения в сети от 170–280 В;

- виброустойчивость;
- повышенная устойчивость к механическим воздействиям;
- мгновенный запуск;
- снижение потребляемой мощности;
- сокращение издержек на техническое обслуживание осветительных приборов, (то есть эксплуатационные расходы на стартера и дросселя отсутствуют);
- более эффективное и качественное освещение, за счёт белого света светодиодов» [6].

Силовые электроприемники административного здания это:

- офисное оборудование (персональные компьютеры, принтеры, сканеры, МФУ). Каждое рабочее место оснащено персональным компьютером, мощностью 500 Вт. Также в каждом рабочем кабинете установлено по 2 принтера, мощностью 1000 Вт и один сканер, мощностью 200 Вт. Также на каждом этаже установлено по одному МФУ, мощностью 600 Вт;
- кулеры для воды, электрочайники. В каждом кабинете установлено по одному кулеру, мощностью 600 Вт и один электрочайник, мощностью 2000 Вт;
- кондиционеры. В каждом кабинете установлено по одному кондиционеру, мощностью 1,5 кВт, в коридоре каждого этажа установлено по два кондиционера, мощностью 1,5 кВт;
- электросушилки. В каждом санузле установлено по одной электросушилке, мощностью 2 кВт;
- система вентиляции здания. Все вентиляторы здания установлены в венткамере на первом этаже здания. Мощность всей системы вентиляции составляет 100 кВт. Установлены 2 щита вентиляции, мощность каждого составляет 50 кВт;
- два насоса водоснабжения. Для надежного водоснабжения верхних этажей административного здания применяются насосы

водоснабжения 1К 80–65–160 50 (рисунок 4) [17]. Мощность каждого насоса составляет 7 кВт;

- противопожарная система, мощностью 40 кВт. Данную систему в расчете нагрузок не учитываем, так как в нормальном режиме они не работают, а при пожаре отключаются вентиляторы и кондиционеры, мощность которых больше мощности пожарной системы. Однако ее необходимо учитывать при выборе коммутационных аппаратов и кабельных линий АВР;



Рисунок 4 – Насос водоснабжения 1К 80–65–160 50 [17]

- тепловые завесы на входе. В здании установлены 2 тепловые завесы, мощность каждой составляет 9 кВт;
- лифты. В административном здании установлено 3 лифта с безредукторным электроприводом KONE EcoDisc (рисунок 5) [16]. Мощность каждого лифта составляет 15 кВт;



Рисунок 5 – Лифтовой безредукторный электропривод KONE EcoDisc [16]

- серверы. В здании установлены серверы, суммарной мощностью 20 кВт.
- электроприемники столовой – 2 кухонные плиты, мощностью 11 кВт, микроволновая печь, мощностью 1300 Вт, чайник, мощностью 2000 Вт, 2 холодильника, мощностью 300 Вт и 1 морозильная камера, мощностью 500 Вт. Также на кухне расположены потребители электроэнергии, которые работают очень редко – мясорубка, духовой шкаф, весы, хлебопечь и т.д. Данные электроприемники учитываем дополнительной нагрузкой, мощностью 1000 Вт.

Потребители электроэнергии административного здания первой и второй категории. К потребителям первой категории относятся лифты, пожарные насосы, аварийное освещение, насосы водоснабжения и серверы. Их питание необходимо осуществить через АВР. Все остальные потребители относятся ко II категории.

### 1.3 Характеристики внешней системы электроснабжения административного здания

В данном пункте ВКР необходимо обосновать достаточность существующих трансформаторных мощностей ТП, расположенной рядом с проектируемым многоэтажным административным зданием, или же необходимость реконструкции существующей ТП (сооружения новой ТП) для подключения многоэтажного административного здания. Существующая активная нагрузка на сборных шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции, согласно исходным данным, полученным от АО «Объединённая энергетическая компания», составляет  $P_{\text{сущ}} = 1125$  кВт; коэффициент мощности составляет  $\cos\varphi_{\text{сущ}} = 0,92$ . Реактивная существующая нагрузка на сборных шинах 0,4 кВ ТП определяется по формуле [2]:

$$Q_{\text{сущ}} = P_{\text{сущ}} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{\text{сущ}}; \quad (1)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi_{\text{сущ}}$  – существующий коэффициент мощности на сборных шинах 0,4 кВ ТП, определяется по выражению

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{сущ}} = \sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi_{\text{сущ}}} - 1}; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{сущ}} = \sqrt{\frac{1}{0,92^2} - 1} = 0,426;$$

тогда реактивная существующая нагрузка на сборных шинах 0,4 кВ ТП составляет

$$Q_{\text{сущ}} = 1125 \cdot 0,426 = 479,3 \text{ квар.}$$

Полная мощность на сборных шинах 0,4 кВ питающей ТП после подключения рассматриваемого многоэтажного административного здания

будет равна [2]:

$$S_{\text{ТП}} = \sqrt{(P_{\text{сущ}} + P_{\text{р}})^2 + (Q_{\text{сущ}} + Q_{\text{р}})^2}; \quad (3)$$

где  $P_{\text{сущ}}$  – активная мощность существующих потребителей на сборных шинах 0,4 кВ ТП, кВт;

$Q_{\text{сущ}}$  – реактивная мощность существующих потребителей на сборных шинах 0,4 кВ ТП, квар;

$P_{\text{р}}$  – расчетная активная мощность административного здания (согласно таблицы 9), кВт;

$Q_{\text{р}}$  – расчетная реактивная мощность административного здания (согласно таблицы 9), квар;

$$S_{\text{ТП}} = \sqrt{(1125 + 992,1)^2 + (479,3 + 489,8)^2} = 2328,4 \text{ кВА.}$$

Коэффициент загрузки в нормальном режиме каждого силового трансформатора ТП определяется по формуле [24]:

$$k_{\text{з.норм}} = \frac{S_{\text{ТП}}}{n_{\text{т}} \cdot S_{\text{н.т.}}}; \quad (4)$$

где  $n_{\text{т}}$  – количество трансформаторов на ТП,  $n_{\text{т}} = 2$ ;

$S_{\text{н.т.}}$  – номинальная мощность трансформаторов ТП,  $S_{\text{н.т.}} = 1250$  кВА

$$k_{\text{з.норм}} = \frac{2328,4}{2 \cdot 1250} = 0,931 > 0,7,$$

следовательно, в нормальном режиме работы существующих трансформаторных мощностей недостаточно для подключения рассматриваемого многоэтажного административного здания.

Коэффициент загрузки в послеаварийном режиме оставшегося в работе силового трансформатора ТП при выходе из строя второго трансформатора

или выводе его в ремонт определяется по формуле [24]:

$$k_{з.п/ав} = \frac{S_{ТП}}{(n_T - 1) \cdot S_{н.т.}}; \quad (5)$$
$$k_{з.норм} = \frac{2328,4}{(2 - 1) \cdot 1250} = 1,862 < 1,4,$$

следовательно, в послеаварийном режиме работы при выходе из строя одного из силовых трансформаторов ТП или выводе его в ремонт существующих трансформаторных мощностей недостаточно для подключения рассматриваемого многоэтажного административного здания.

Таким образом, принимается решение для электроснабжения рассматриваемого многоэтажного административного здания спроектировать новую КТП.

#### Выводы по разделу 1

В первом разделе приведены общие сведения об административном здании, приведены планы этажей здания, даны характеристики потребителей электроэнергии административного здания, и характеристики внешней системы электроснабжения административного здания. Проверена возможность подключения административного здания к существующей ТП. Определено, что в послеаварийном режиме работы при выходе из строя одного из силовых трансформаторов существующей ТП или выводе его в ремонт существующих трансформаторных мощностей недостаточно для подключения рассматриваемого многоэтажного административного здания. Таким образом, принято решение для электроснабжения рассматриваемого многоэтажного административного здания спроектировать новую КТП.

## 2 Расчёт электрических нагрузок и выбор схемы электроснабжения здания

Для этажей со второго по седьмой потребителями являются офисная техника, установленная у работников, а также кулеры, чайники и кондиционеры.

Для начала расчета необходимо определить коэффициенты спроса установленных электроприборов. Так как компьютеры сотрудников включены полный рабочий день, то их коэффициент спроса принимаем равным  $k_c = 1,0$ . В летнее время кондиционеры работают также весь рабочий день, поэтому их коэффициент спроса также равен единице. Принтеры, сканеры, МФУ, кулеры и чайники, а также электросушилки включаются достаточно редко и имеют коэффициент спроса  $k_c = 0,1$  [1].

От этажного силового щита ЩС подключены все электроприемники этажей, кроме кондиционеров. Кондиционеры питаются от щитка кондиционеров. Каждый кондиционер питается от отдельного фидера. От каждого фидера силового щита ЩС подключен отдельный кабинет и отдельный санузел. Розетки коридора, холла от отдельного фидера щита ЩС.

Расчет нагрузок будем производить по методу коэффициента спроса. Произведем расчет для кабинета 1, второго этажа. В первом кабинете 6 рабочих мест, то есть суммарная активная мощность компьютеров, установленных в кабинете 1 равна [7]:

$$P_{p.пк.} = P_{пк} \cdot n_{пк} \cdot k_c; \quad (15)$$

где  $P_{пк}$  – мощность компьютеров в одном кабинете, кВт;

$n_{пк}$  – количество рабочих мест (компьютеров) в кабинете;

$k_c$  – коэффициент спроса;

$$P_{p.пк.} = 0,5 \cdot 6 \cdot 1,0 = 3,0 \text{ кВт.}$$

Мощность прочих потребителей кабинета 1 равна [7]:

$$P_{p.p.} = \Sigma(P_{pri} \cdot n_{pri} \cdot k_{ci}); \quad (16)$$

где  $P_{pri}$  – мощность прочего потребителя кабинета, кВт;

$n_{pri}$  – количество каждого типа потребителя в кабинете (по 2 принтера, мощностью 1000 Вт и один сканер, мощностью 200 Вт, кулер, мощностью 600 Вт и один электрочайник, мощностью 2000 Вт);

$k_{ci}$  – коэффициент спроса (0,1);

$$P_{p.p.} = 0,1 \cdot (2 \cdot 1 + 1 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,6 + 1 \cdot 2) = 0,5 \text{ кВт.}$$

Суммарная расчетная нагрузка кабинета 1 составляет

$$P_p = P_{p.пк.} + P_{p.p.}; \quad (17)$$

$$P_p = 3,0 + 0,5 = 3,5 \text{ кВт.}$$

Суммарная реактивная нагрузка кабинета 1 составляет

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi; \quad (18)$$

где  $\text{tg}\varphi = \text{tg}(\arccos(\cos\varphi))$ , о.е.,

$\cos\varphi$  – коэффициент активной мощности освещения,  $\cos\varphi = 0,98$ ;

$$\text{tg}\varphi = \text{tg}(\arccos(0,98)) = 0,20;$$

$$Q_p = 3,5 \cdot 0,2 = 0,7 \text{ квар.}$$

Расчетная полная мощность кабинета 1 определяется по формуле

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (19)$$

$$S_p = \sqrt{3,5^2 + 0,7^2} = 3,6 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток, определяется по формуле

$$I_p = \frac{S_p}{U_{\text{НОМ}}}; \quad (20)$$

где  $U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение сети,  $U_{\text{НОМ}} = 220 \text{ В}$ ;

$$I_p = \frac{3,6 \cdot 10^3}{220} = 16,1 \text{ А.}$$

Расчет потребителей остальных помещений на этажах со второго по седьмой произведены согласно вышеприведенной методике и итоги расчетов сведены в таблицу 6. Учитывается также, как указано в пункте 1.2 ВКР, в каждом санузле устанавливается по одной электросушилке, мощностью 2 кВт. Кроме того, в каждом коридоре установлено по одному кулеру, мощностью 600 Вт каждый.

Таблица 6 – Расчет нагрузок силовой сети этажей 2–7

Помещение	Компьютеры				Прочие потребители			cosφ	tgφ	Расчетная нагрузка			
	n <sub>пк</sub>	k <sub>с</sub>	P <sub>пк</sub> , кВт	P <sub>р.пк.</sub> , кВт	k <sub>с</sub>	P <sub>пр</sub> , кВт	P <sub>р.пр.</sub> , кВт			P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВар	S <sub>р</sub> , кВА	I <sub>р</sub> , А
Кабинет 1	6	1	0,5	3,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	3,5	0,7	3,6	16,1
Кабинет 2	5	1	0,5	2,5	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	3,0	0,6	3,0	13,8
Кабинет 3	2	1	0,5	1,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	1,5	0,3	1,5	6,9
Кабинет 4	2	1	0,5	1,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	1,5	0,3	1,5	6,9
Кабинет 5	3	1	0,5	1,5	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	2,0	0,4	2,0	9,2
Кабинет 6	2	1	0,5	1,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	1,5	0,3	1,5	6,9
Кабинет 7	6	1	0,5	3,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	3,5	0,7	3,6	16,1
Кабинет 8	7	1	0,5	3,5	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	4,0	0,8	4,1	18,5
Кабинет 9	2	1	0,5	1,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	1,5	0,3	1,5	6,9
Кабинет 10	3	1	0,5	1,5	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	2,0	0,4	2,0	9,2
Кабинет 11	7	1	0,5	3,5	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	4,0	0,8	4,1	18,5
Кабинет 12	6	1	0,5	3,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	3,5	0,7	3,6	16,1
Кабинет 13	3	1	0,5	1,5	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	2,0	0,4	2,0	9,2
Кабинет 14	8	1	0,5	4,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	4,5	0,9	4,6	20,8
Кабинет 15	8	1	0,5	4,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	4,5	0,9	4,6	20,8

Продолжение таблицы 6

Помещение	Компьютеры				Прочие потребители			cosφ	tgφ	Расчетная нагрузка			
	n <sub>пк</sub>	k <sub>c</sub>	P <sub>пк</sub> , кВт	P <sub>р.пк.</sub> , кВт	k <sub>c</sub>	P <sub>пр</sub> , кВт	P <sub>р.пр.</sub> , кВт			P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВар	S <sub>p</sub> , кВА	I <sub>p</sub> , А
Кабинет 16	6	1	0,5	3,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	3,5	0,7	3,6	16,1
Кабинет 17	1	1	0,5	0,5	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	1,0	0,2	1,0	4,5
Кабинет 18	8	1	0,5	4,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	4,5	0,9	4,6	20,8
Кабинет 19	8	1	0,5	4,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	4,5	0,9	4,6	20,8
Кабинет 20	2	1	0,5	1,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	1,5	0,3	1,5	6,9
Кабинет 21	4	1	0,5	2,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	2,5	0,5	2,5	11,5
Кабинет 22	1	1	0,5	0,5	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	1,0	0,2	1,0	4,5
Кабинет 23	2	1	0,5	1,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	1,5	0,3	1,5	6,9
Кабинет 24	2	1	0,5	1,0	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	1,5	0,3	1,5	6,9
Кабинет 25	1	1	0,5	0,5	0,1	4,8	0,5	0,98	0,20	1,0	0,2	1,0	4,5
Санузел 1	–	–	–	–	0,1	2	0,2	0,85	0,62	0,2	0,1	0,2	1,1
Санузел 2	–	–	–	–	0,1	2	0,2	0,85	0,62	0,2	0,1	0,2	1,1
Санузел 3	–	–	–	–	0,1	2	0,2	0,85	0,62	0,2	0,1	0,2	1,1
Коридор	1	0,1	0,6	0,1	–	–	–	0,98	0,20	0,1	0,0	0,1	0,3
ИТОГО по ЩС:	–	–	–	52,6	–	–	12,6	0,98	0,21	65,2	13,5	66,6	101,3

Суммарные активная и реактивная мощности на вводе щита ЩС определяются как сумма мощностей каждой группы.

Расчетный ток на вводе щита ЩС, определяется по формуле [8]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (21)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение сети,  $U_{ном} = 380$  В;

$$I_{p.ЩС} = \frac{66,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 101,3 \text{ А.}$$

Суммарная активная нагрузка каждого кондиционера составляет  $P_{р.к.} = 1,5$  кВт.

Реактивная нагрузка каждого кондиционера составляет [8]:

$$Q_{р.к.} = P_{р.к.} \cdot \text{tg}\varphi; \quad (22)$$

где  $\text{tg}\varphi = \text{tg}(\arccos(\cos\varphi))$ , о.е.,

$\cos\varphi$  – коэффициент активной мощности,  $\cos\varphi = 0,75$ ;

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}(\arccos(0,75)) = 0,88;$$

$$Q_{p.k.} = 1,5 \cdot 0,88 = 1,3 \text{ квар.}$$

Расчетная полная мощность каждого кондиционера рассматриваемого административного здания составляет

$$S_{p.k.} = \sqrt{1,5^2 + 1,3^2} = 2,0 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток каждого кондиционера составляет

$$I_{p.k.} = \frac{2,0 \cdot 10^3}{220} = 9,1 \text{ А.}$$

Так как все кондиционеры, устанавливаемые в кабинетах рассматриваемого административного здания одинаковые, то рассчитанные величины справедливы для всех кондиционеров и соответственно каждого фидера. Суммарные активная и реактивная мощности на вводе щита ЩК определяются как сумма мощностей каждой группы, так как в летнее время все кондиционеры работают на протяжении всего рабочего дня и составляют:

$$P_{p.ЩК} = P_{p.k.} \cdot n_k; \quad (23)$$

где  $P_{p.k.}$  – мощность одного кондиционера,  $P_{p.k.} = 1,5$  кВт;

$n_k$  – число кондиционеров рассматриваемого административного здания, подключенных от щита ЩК,  $n_k = 27$  шт.;

$$P_{p.ЩК} = 1,5 \cdot 27 = 40,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.ЩК} = Q_{p.k.} \cdot n_k; \quad (24)$$

$$Q_{p.ЩК} = 1,3 \cdot 27 = 35,7 \text{ квар.}$$

$$S_{p.к.} = \sqrt{40,5^2 + 35,7^2} = 54,0 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток на вводе щита ЩК равен

$$I_{p.щк} = \frac{54,0 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 82,1 \text{ А.}$$

Мощность щита кондиционеров первого этажа равна мощности щитов ЩК этажей 2 – 7.

Потребителями первого этажа, которые подключены от щита ЩС первого этажа рассматриваемого административного здания, являются электроприемники столовой, две электросушилки в туалетах и тепловые завесы.

Расчет нагрузок данного щита аналогичен расчету нагрузок щитов ЩС верхних этажей, сводим этот расчет в таблицу 7.

Таблица 7 – Расчет нагрузок щита ЩС первого этажа

Помещение	$k_c$	$n_{пк}$	$P_{ном}, \text{ кВт}$	$P_p, \text{ кВт}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$Q_p, \text{ кВар}$	$S_p, \text{ кВА}$
Электросушилки	0,1	2	2	0,4	0,85	0,62	0,2	0,5
Тепловые завесы	0,8	2	9	14,4	0,85	0,62	8,9	16,9
Кухонные плиты	0,5	2	11	11,0	0,98	0,20	2,2	11,2
Микроволновая печь	0,5	1	1,3	0,7	0,98	0,20	0,1	0,7
Чайник	0,1	1	2	0,2	0,98	0,20	0,0	0,2
Холодильники	0,5	2	0,3	0,3	0,98	0,20	0,1	0,3
Морозильная камера	0,5	1	0,5	0,3	0,98	0,20	0,1	0,3
Дополнительная нагрузка	0,5	1	1	0,5	0,98	0,20	0,1	0,5
ИТОГО по ЩС1	–	–	–	27,7	0,91	0,43	11,8	30,6

Расчет нагрузок потребителей первой категории также аналогичен произведенным выше расчетам. Данные потребители питаются от щита АВР. Расчет нагрузок первой категории (щита АВР) рассматриваемого административного здания сводим в таблицу 8.

Таблица 8 – Расчет нагрузок первой категории (щита АВР)

Помещение	$k_c$	$n_{пк}$	$P_{ном}, кВт$	$P_p, кВт$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$Q_p, кВар$	$S_p, кВА$
Лифты	0,8	3	15	36	0,65	1,17	42,1	55,4
Щит ЩАО	–	–	–	4,2	0,96	0,29	1,2	4,4
Насосы водоснабжения	0,9	2	7	12,6	0,8	0,75	9,5	15,8
Серверы	1	1	20	20	0,98	0,20	4,1	20,4
Пожарные насосы	–	–	40	–	0,8	0,75	–	–
ИТОГО	–	–	–	72,8	0,76	0,86	56,8	95,9

Расчет нагрузок всего административного здания сведем в таблицу 9.

Таблица 9 – Расчет нагрузок административного здания

Помещение	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_p, кВт$	$Q_p, кВар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
ЩС2	0,98	0,21	65,2	12,5	66,6	101,3
ЩС3	0,98	0,21	65,2	12,5	66,6	101,3
ЩС4	0,98	0,21	65,2	12,5	66,6	101,3
ЩС5	0,98	0,21	65,2	12,5	66,6	101,3
ЩС6	0,98	0,21	65,2	12,5	66,6	101,3
ЩС7	0,98	0,21	65,2	12,5	66,6	101,3
ЩВ1 (Система вентиляции 1)	0,85	0,62	50	31	58,8	89,5
ЩВ2 (Система вентиляции 2)	0,85	0,62	50	31	58,8	89,5
ИТОГО I СШ	0,95	0,28	491	137	517,2	786,8
ЩС1	0,91	0,43	27,7	11,8	30,6	46,5
ЩК1	0,75	0,88	40,5	35,7	54	82,1
ЩК2	0,75	0,88	40,5	35,7	54	82,1
ЩК3	0,75	0,88	40,5	35,7	54	82,1
ЩК4	0,75	0,88	40,5	35,7	54	82,1
ЩК5	0,75	0,88	40,5	35,7	54	82,1
ЩК6	0,75	0,88	40,5	35,7	54	82,1
ЩК7	0,75	0,88	40,5	35,7	54	82,1
ЩО1	0,96	0,29	16,7	4,9	17,4	26,5
ЩО2	0,96	0,29	16,7	4,9	17,4	26,5
ЩО3	0,96	0,29	16,7	4,9	17,4	26,5
ЩО4	0,96	0,29	16,7	4,9	17,4	26,5
ЩО5	0,96	0,29	16,7	4,9	17,4	26,5
ЩО6	0,96	0,29	16,7	4,9	17,4	26,5
ЩО7	0,96	0,29	16,7	4,9	17,4	26,5
ИТОГО II СШ	0,81	0,69	428	296	530,4	806,7
АВР	0,76	0,86	72,8	56,8	95,9	145,9
ИТОГО по ВРУ	0,87	0,49	992,1	489,8	1143,5	1739,4

Выводы по разделу 2

Во втором разделе ВКР проведен расчет электрических нагрузок силовой сети здания, а также мощности силовых шкафов каждого этажа.

### 3 Расчет освещения

«Светотехнический расчёт выполняется методом коэффициента использования светового потока» [11].

«Например, в кабинете №1 второго этажа с нормальными условиями среды, с разрядом зрительных работ IV, с размерами 6 x 6,6 м<sup>2</sup> необходимо достичь освещенности  $E_n = 400$  лк, используются светильники со светодиодными лампами. Для установки выбираем светильники WAVE LED 595 производства компании «Световые технологии» [21]. Внешний вид светильников представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Внешний вид светильников WAVE LED 595 [21].

Характеристики светодиодного светильника WAVE LED 595 производства компании «Световые технологии» [21] приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики светодиодного светильника WAVE LED 595

Технические характеристики	Значение
Потребляемая мощность	55 Вт
Степень защиты корпуса светильника	IP 20
Масса светильника	4,5 кг
Коэффициент мощности $\cos\phi$	> 0,96
Марка светодиода	SMD
Световой поток светильника	3750 лм
Цветовая температура	4000 К
КПД	100 %

Расчетная высота [13]:

$$H_p = h_{\text{пом}} - h_{\text{р.п.}} - h_c, \quad (6)$$

где  $h_{\text{пом}}$  – высота помещения, равная 6 м;

$h_{\text{р.п.}}$  – высота рабочей поверхности, равная 0,8 м;

$h_c$  – высота свеса светильника, принимаемая равной 0,5 м;

$$H_p = 3,0 - 0,8 - 0,5 = 1,7 \text{ м.}$$

Расстояние между рядами и светильниками в ряду [13]:

$$L = \lambda_c \cdot H_p, \quad (7)$$

где  $\lambda_c$  – наивыгоднейшее относительное расстояние, принимается равным  $\lambda_c = 1,2 \dots 1,4$  [11], о.е.;

$$L = (1,2 \dots 1,4) \cdot 1,7 = 2,04 \dots 2,38.$$

Принимаем  $L = 2,2$  м.

Количество рядов светильников

$$R = A / L;$$

$$R = 6 / 2,2 = 2,7.$$

Принимаем  $R = 3$  ряда.

Количество светильников в ряду

$$N_c = B / L;$$

$$N_c = 6,6 / 2,2 = 3.$$

Принимаем  $N_c = 3$  светильника в ряду.

Количество светильников в помещении

$$N = R \cdot N_c;$$

$$N = 3 \cdot 3 = 9 \text{ светильников.}$$

Индекс помещения [12], о.е.:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A+B)}, \quad (8)$$

где  $A$  и  $B$  – длина и ширина помещения, м;

$H_p$  – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м;

$$i = \frac{6 \cdot 6,6}{1,7 \cdot (6 + 6,6)} = 1,9.$$

Коэффициент использования помещения  $\eta_{\text{п}}$  определяется в зависимости от индекса помещения, от сочетания коэффициентов отражения поверхностей помещения, от КСС светильника. Для  $i = 1,8$ ,  $\rho_{\text{п}} = 0,7$ ,  $\rho_{\text{с}} = 0,5$ ,  $\rho_{\text{р}} = 0,3$  и КСС типа Д-2  $\eta_{\text{п}} = 59\%$  [9].

Коэффициент использования светового потока, о.е.,

$$\eta = \eta_{\text{с}} \cdot \eta_{\text{п}}; \quad (9)$$

где  $\eta_{\text{с}}$  – КПД светильника,  $\eta_{\text{с}} = 100\%$ ;

$$\eta = 1,0 \cdot 0,59 = 0,59.$$

Расчётный световой поток каждого светильника [14]:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (10)$$

где  $E_{\text{н}}$  – нормативная минимальная освещённость [11], лк;

$z$  – коэффициент, характеризующий неравномерность освещения, равный 1,1 для светодиодных светильников [11], о.е.;

$k_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса, равный 1,5 [11];

$S$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ,

$$S = A \cdot B, \quad (11)$$

$$S = 6 \cdot 6,6 = 39,6 \text{ м}^2.$$

$$\Phi_p = \frac{400 \cdot 1,5 \cdot 39,6 \cdot 1,1}{9 \cdot 0,59} = 4922 \text{ лм.}$$

У выбранного к установке в кабинете 1 светильника WAVE LED 595 с  $P_{\text{ном}} = 55 \text{ Вт}$ ,  $\Phi_d = 3750 \text{ лм}$  [21].

Отличие действительного светового потока от требуемого [14]:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_d - \Phi_p}{\Phi_p} \cdot 100\%, \quad (12)$$

$$\Delta\Phi = \frac{3750 - 4922}{4922} \cdot 100\% = -23,8 \text{ \%}.$$

Стандартный (действительный) световой поток светильников меньше расчётного на 23,8 %, что превышает допустимые нормы

$$-10\% < \Delta\Phi = -23,8 \text{ \%} < +20\% [12].$$

Таким образом, необходимо увеличить количество рядов светильников. Принимаем  $R = 4$  ряда, тогда общее количество светильников равно

$$N = 4 \cdot 3 = 12 \text{ светильников.}$$

Расчётный световой поток каждого светильника равен

$$\Phi_p = \frac{400 \cdot 1,5 \cdot 39,6 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,54} = 4033 \text{ лм.}$$

Отличие действительного светового потока от требуемого, %,

$$\Delta\Phi = \frac{3750-3692}{3692} \cdot 100\% = -7,0 \%$$

Стандартный (действительный) световой поток светильников больше расчётного на 1,6 %, что не превышает допустимые нормы

$$-10\% < \Delta\Phi = 1,6 \% < +20\% [12].$$

Уточнённое значение установленной мощности освещения, кВт,

$$P_p = N \cdot P_d \cdot 10^{-3}, \quad (13)$$
$$P_p = 12 \cdot 55 \cdot 10^{-3} = 0,66 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная нагрузка освещения, квар,

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (14)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}(\arccos(\cos\varphi))$ , о.е.,

$\cos\varphi$  – коэффициент активной мощности освещения,  $\cos\varphi = 0,96$ ;

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}(\arccos(0,96)) = 0,292;$$

$$Q_p = 0,66 \cdot 0,292 = 0,19 \text{ квар.}$$

Аналогично рассчитываются светильники в остальных помещениях.

Данные светильники устанавливаются во всех кабинетах, коридоре, холле, тамбурах.

Для установки на лестничных клетках применяются светодиодные светильники ARCTIC LED 1200 и ARCTIC M LED 1500 EM производства компании «Световые технологии» [21]. Внешний вид данных светильников показан на рисунке 7.

Технические характеристики светодиодного светильника ARCTIC LED 1200 сведены в таблицу 2.



Рисунок 7 – Светодиодный светильник ARCTIC LED

Таблица 2 – Технические характеристики светильника ARCTIC LED 1200

Технические характеристики	Значение
Потребляемая мощность	50 Вт
Степень защиты корпуса светильника	IP 65
Масса светильника	4,35 кг
Коэффициент мощности cosφ	> 0,90
Марка светодиода	SMD
Световой поток светильника	4000 лм
Цветовая температура	5000 К
КПД	100 %

Технические характеристики светодиодного светильника ARCTIC M LED 1500 EM сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Технические характеристики светильника ARCTIC M LED 1500 EM

Технические характеристики	Значение
Потребляемая мощность	65 Вт
Степень защиты корпуса светильника	IP 65
Масса светильника	4,56 кг
Коэффициент мощности cosφ	> 0,90
Марка светодиода	SMD
Световой поток светильника	5120 лм
Цветовая температура	5000 К
КПД	100 %

Для установки в санузлах применяется светодиодный светильник DL LED производства компании «Световые технологии» [21]. Внешний вид данного светильника показан на рисунке 8.



Рисунок 8 – Светодиодный светильник DL LED

Технические характеристики светодиодного светильника DL LED сведены в таблицу 4.

Таблица 4 - Технические характеристики светодиодного светильника DL LED

Технические характеристики	Значение
Потребляемая мощность	14 Вт
Степень защиты корпуса светильника	IP 20
Масса светильника	0,6 кг
Коэффициент мощности cosφ	> 0,95
Марка светодиода	SMD
Световой поток светильника	650 лм
Цветовая температура	4000 К
КПД	100 %

Результаты светотехнического расчета сведены в таблицу 5. План электроосвещения этажей 2–7 показан на рисунке 9.

Мощность электроосвещения на первом этаже принимаем равной мощности на втором этаже. Таким образом, активная мощность электроосвещения каждого этажа составляет 16,7 кВт, полная мощность 17,4 кВА.

Таблица 5 – Результаты светотехнического расчета

Помещение	Ен, лк	h, м	А, м	В, м	S, м <sup>2</sup>	Светильник	Ф <sub>д</sub> , лм	cosφ	tgφ	N	i	η, о.е.	Ф <sub>р</sub> , лм	ΔФ	Р <sub>л</sub> , Вт	Р <sub>р</sub> , Вт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА
Кабинет 1	400	1,7	6	6,6	39,6	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	12	1,8	0,59	3692	1,6	55	0,66	0,19	0,69
Кабинет 2	400	1,7	6	6,6	39,6	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	12	1,8	0,59	3692	1,6	55	0,66	0,19	0,69
Кабинет 3	400	1,7	3	6,6	19,8	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	7	1,2	0,5	3734	0,4	55	0,385	0,11	0,40
Кабинет 4	400	1,7	3	6,6	19,8	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	7	1,2	0,5	3734	0,4	55	0,385	0,11	0,40
Кабинет 5	400	1,7	3	6,6	19,8	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	7	1,2	0,5	3734	0,4	55	0,385	0,11	0,40
Кабинет 6	400	1,7	3	6,6	18,3	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	6	1,2	0,5	4026	-6,9	55	0,33	0,10	0,34
Кабинет 7	400	1,7	6	6,6	39,6	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	12	1,8	0,59	3692	1,6	55	0,66	0,19	0,69
Кабинет 8	400	1,7	6	6,6	39,6	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	12	1,8	0,59	3692	1,6	55	0,66	0,19	0,69
Кабинет 9	400	1,7	3	6,6	19,8	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	7	1,2	0,5	3734	0,4	55	0,385	0,11	0,40
Кабинет 10	400	1,7	3	6,6	18,3	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	6	1,2	0,5	4026	-6,9	55	0,33	0,10	0,34
Кабинет 11	400	1,7	5,2	8,7	45,24	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	15	1,9	0,6	3318	13,0	55	0,825	0,24	0,86
Кабинет 12	400	1,7	6,7	8,7	46,98	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	12	2,2	0,64	4037	-7,1	55	0,66	0,19	0,69
Кабинет 13	400	1,7	2,9	3,9	11,31	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	4	1,0	0,45	4147	-9,6	55	0,22	0,06	0,23
Кабинет 14	400	1,7	5,8	8,7	50,46	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	16	2,0	0,62	3357	11,7	55	0,88	0,26	0,92
Кабинет 15	400	1,7	5,8	8,7	50,46	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	16	2,0	0,62	3357	11,7	55	0,88	0,26	0,92
Кабинет 16	400	1,7	5,8	8,7	39,15	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	12	2,0	0,62	3473	8,0	55	0,66	0,19	0,69
Кабинет 17	400	1,7	2,9	3,9	11,31	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	4	1,0	0,45	4147	-9,6	55	0,22	0,06	0,23
Кабинет 18	400	1,7	5,8	8,7	50,46	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	16	2,0	0,62	3357	11,7	55	0,88	0,26	0,92
Кабинет 19	400	1,7	6,2	9	55,8	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	16	2,2	0,64	3596	4,3	55	0,88	0,26	0,92
Кабинет 20	400	1,7	5,6	7,4	41,44	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	14	1,9	0,6	3256	15,2	55	0,77	0,22	0,80
Кабинет 21	400	1,7	6	5,7	34,2	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	12	1,7	0,58	3243	15,6	55	0,66	0,19	0,69
Кабинет 22	400	1,7	4,9	4,6	22,54	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	7	1,4	0,54	3936	-4,7	55	0,385	0,11	0,40
Кабинет 23	400	1,7	5,6	6,2	34,72	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	10	1,7	0,58	3951	-5,1	55	0,55	0,16	0,57
Кабинет 24	400	1,7	6,5	4,2	27,3	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	8	1,5	0,55	4095	-8,4	55	0,44	0,13	0,46

Продолжение таблицы 5

Помещение	Ен, лк	h, м	A, м	B, м	S, м <sup>2</sup>	Светильник	Φ <sub>д</sub> , лм	cosφ	tgφ	N	i	η, о.е.	Φ <sub>р</sub> , лм	ΔΦ	P <sub>л</sub> , Вт	P <sub>р</sub> , Вт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА
Кабинет 25	400	1,7	6,6	8,4	46,6	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	12	2,2	0,64	4005	-6,4	55	0,66	0,19	0,69
Санузел 1	100	1,7	2,6	2,1	5,46	DL LED	650	0,95	0,329	4	0,7	0,36	626	3,9	14	0,056	0,02	0,06
Санузел 2	100	1,7	2,6	5,2	13,52	DL LED	650	0,95	0,329	7	1,0	0,45	708	-8,2	14	0,098	0,03	0,10
Санузел 3	100	1,7	2,6	3,4	8,84	DL LED	650	0,95	0,329	5	0,9	0,42	695	-6,4	14	0,07	0,02	0,07
Холл	150	1,7	5	9,2	46	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	6	1,9	0,6	3163	18,6	55	0,33	0,10	0,34
Коридор	200	1,7	57	2	114	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	25	1,1	0,48	3135	19,6	55	1,375	0,40	1,43
Тамбур 1	400	1,7	1,5	1	1,5	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	1	0,4	0,25	3960	-5,3	55	0,055	0,02	0,06
Тамбур 2	400	1,7	1,5	1	1,5	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	1	0,4	0,25	3960	-5,3	55	0,055	0,02	0,06
Тамбур 3	400	1,7	3,5	1,8	6,3	WAVE LED 595	3750	0,96	0,292	3	0,7	0,36	3850	-2,6	55	0,165	0,05	0,17
Лестничная клетка	150	1,7	2,7	2,8	7,56	ARCTIC M LED 1500 EM	5120	0,90	0,484	1	0,8	0,39	4798	6,7	65	0,065	0,02	0,07
Промежуточная лестничная клетка	150	1,7	2,7	2,8	7,56	ARCTIC M LED 1500 EM	5120	0,90	0,484	1	0,8	0,39	4798	6,7	65	0,065	0,02	0,07
Кладовая	100	1,6	2,5	2,8	7	DL LED	650	0,95	0,329	4	0,8	0,39	740	-12,2	14	0,056	0,02	0,06
Служебная лестничная клетка	150	3	3	3,8	11,4	ARCTIC LED 1200	4000	0,90	0,484	2	0,6	0,32	4409	-9,3	50	0,1	0,03	0,10
Служебная промежуточная лестничная клетка	150	3	3	4,8	14,4	ARCTIC LED 1200	4000	0,90	0,484	3	0,6	0,32	3713	7,7	50	0,15	0,04	0,16
ИТОГО	—	—	—	—	—	—	—	—	—	325	—	—	—	—	—	16,7	4,9	17,4

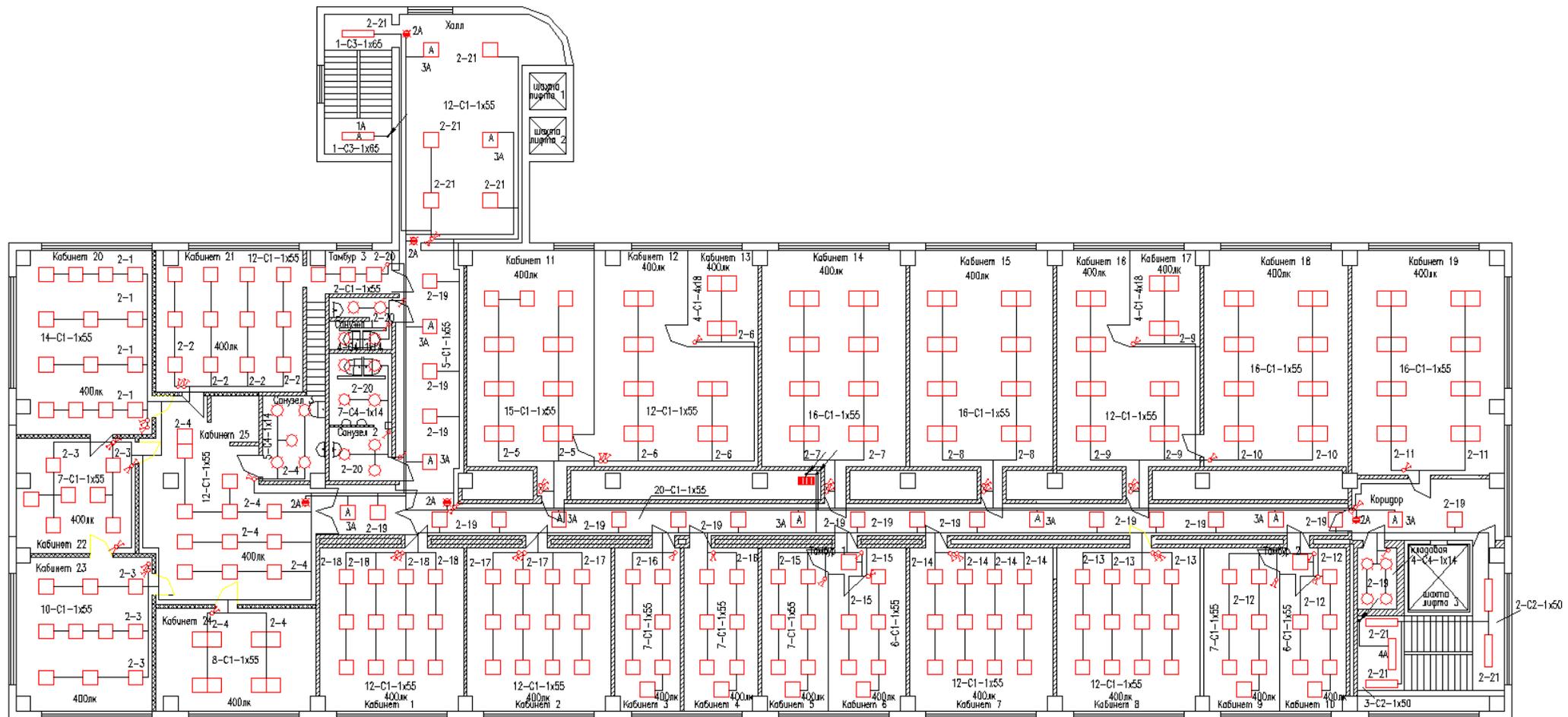


Рисунок 9 – План электроосвещения этажей 2–7

На каждом этаже для эвакуационного освещения установлено:

- 8 светильников в коридоре, мощностью 55 Вт каждый;
- 2 светильника, мощностью 50 Вт и 65 Вт;
- 5 светильников с указателем «ВЫХОД», мощностью 8 Вт каждый.

Исходя из вышеперечисленного мощность аварийного освещения равна

$$P_{\text{ЩАО}} = 7 \cdot (8 \cdot 55 + 50 + 65 + 5 \cdot 8) = 4165 \text{ Вт} = 4,2 \text{ кВт.}$$

Выводы по разделу 3

Произведен светотехнический расчет системы освещения, выбран тип и количество светильников в каждом помещении, рассчитана мощность осветительных приборов на каждом этаже.

Для установки в кабинетах, коридорах приняты светильники WAVE LED 595 производства компании «Световые технологии». Для установки на лестничных клетках применяются светодиодные светильники ARCTIC LED 1200 и ARCTIC M LED 1500 EM. Для установки в санузлах применяется светодиодный светильник DL LED.

#### 4 Расчет и выбор силовых трансформаторов

Так как потребители административного здания относятся к первой, второй и третьей категориям по надежности электроснабжения, то для электроснабжения административного здания применяется двухтрансформаторная подстанция напряжением 10/0,4 кВ.

Мощность силового трансформатора ТП определяется по формуле [22]:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_p}{2 \cdot K_3}, \quad (25)$$

где  $N$  – число трансформаторов;

$K_3$  – оптимальный коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме эксплуатации,  $K_3 = 0,7$ .

Мощность одного трансформатора составляет

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{1143,5}{2 \cdot 0,7} = 817 \text{ кВА.}$$

Выбираются масляные силовые трансформаторы ТМГ–1000/10 производства компании «МЭТЗ им. В.И. Козлова» [19].

Технические характеристики выбранных трансформаторов представлены в таблице 10 [19].

Таблица 10 – Технические характеристики трансформаторов ТМГ–1000/10

Тип трансформатора	$S_{\text{ном}}$ , кВА	$U_{\text{ВН}}$ , кВ	$U_{\text{НН}}$ , кВ	$\Delta P_{\text{КЗ}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{ХХ}}$ , кВт	$i_0$ , %	$U_{\text{к}}$ , %
ТМГ–1000/10	1000	10	0,4	10,8	1,9	1,2	5,5

Масляный силовой трансформатор ТМГ–1000/10 показан на рисунке 10.



Рисунок 10 – Масляный силовой трансформатор ТМГ–1000/10

Действительный коэффициент загрузки трансформаторов определяется по формуле [22]:

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_{н.т.}}, \quad (26)$$
$$K_3 = \frac{1143,5}{2 \cdot 1000} = 0,57.$$

Коэффициент перегрузки трансформаторов при условии отключения одного из них определяется по формуле [22]:

$$K_3 = \frac{S_p}{S_{н.т.}}, \quad (27)$$
$$K_3 = \frac{1143,5}{1000} = 1,14 < 1,4,$$

что допустимо.

Выводы по разделу 4

В четвертом разделе ВКР выполнен расчет силовых трансформаторов питающей трансформаторной подстанции. Так как потребители административного здания относятся к первой, второй и третьей категориям по надежности электроснабжения, то для электроснабжения административного здания применяется двухтрансформаторная подстанция напряжением 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами ТМГ–1000/10.

## 5 Расчет и выбор электрооборудования

### 5.1 Расчет токов короткого замыкания

На шинах 10 кВ подстанции, от которой планируется подключить рассматриваемую КТП, ток короткого замыкания по данным АО «Объединённая энергетическая компания» составляет 10 кА. Так как расчет кабельной линии не входит в рамки выпускной квалификационной работы, и сопротивление кабельной линии не оказывает существенного влияния на ток КЗ вследствие своей малости, то с незначительными допущениями принимаем ток КЗ на стороне 10 кВ КТП (точка К1) равным 10 кА.

Точка К2 расположена на сборных шинах 0,4 кВ КТП (рисунок 2.2). Суммарное сопротивление сети 10 кВ можно принять равной нулю, так как данные сопротивления много меньше сопротивлений сети 0,4 кВ. В сети напряжением ниже 1000 В необходимо учитывать реактивные и активные сопротивления. Расчетная схема сети и схема замещения представлены на рисунке 11.

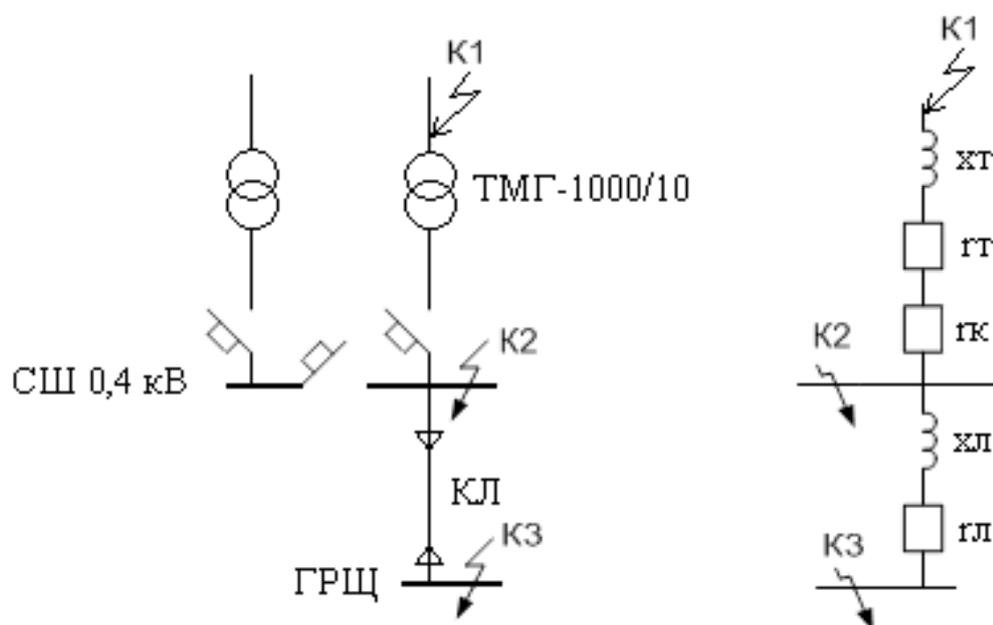


Рисунок 11 – Расчетная схема сети и схема замещения

Расчет производим в относительных единицах. Определим параметры схемы замещения. Принимаем базисную мощность  $S_B=1000$  МВА, базисное напряжение  $U_B = 0,4$  кВ.

Полное сопротивление трансформатора ТП [25]:

$$z_T = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{H.T.}}, \quad (28)$$

$$z_T = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{1000} = 55 \text{ о. е.}$$

активное сопротивление трансформатора [25]:

$$r_T = \Delta P_{K3} \cdot \frac{S_B}{S_{H.T.}^2}, \quad (29)$$

$$r_T = 10,8 \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{1000^2} = 10,8 \text{ о. е.};$$

индуктивное сопротивление трансформатора [25]:

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2}. \quad (30)$$

$$x_T = \sqrt{55^2 - 10,8^2} = 53,9 \text{ о. е.}$$

Активное сопротивление кабельной линии определяется по формуле

$$r_L = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_{НОМ}^2}, \quad (31)$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление кабельной линии, для сдвоенного кабеля 2ПВБбШв–4х185–1  $r_0 = 0,0495$  Ом/км [23];

$l$  – длина питающей кабельной линии, согласно исходных данных  $l = 0,15$  км;

$S_B$  – базисная мощность, МВА;

$U_{НОМ}$  – номинальное напряжение линии, кВ;

$$r_{л} = 0,0495 \cdot 0,15 \cdot \frac{1000}{0,4^2} = 46,4 \text{ о. е.};$$

индуктивное сопротивление кабельной линии определяется по формуле [25]:

$$x_{л} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{Б}}{U_{НОМ}^2}, \quad (32)$$

где  $x_0$  – удельное реактивное сопротивление кабельной линии, для  
сдвоенного кабеля 2ПВБбШв–4х185–1  $x_0 = 0,0385$  Ом/км;

$l$  – длина питающей кабельной линии, согласно исходных данных  $l =$   
 $0,15$  км;

$S_{Б}$  – базисная мощность, МВА;

$U_{НОМ}$  – номинальное напряжение линии, кВ;

$$x_{л} = 0,0385 \cdot 0,15 \cdot \frac{1000}{0,4^2} = 36,1 \text{ о. е.}$$

Согласно [3] для распределительных устройств 0,4 кВ ТП переходное  
сопротивление контактов можно принять  $r_{конт} = 0,015$  Ом. Это сопротивление  
в относительных единицах

$$r_{к} = r_{конт} \cdot \frac{S_{Б}}{U_{Б}^2}; \quad (33)$$

где  $r_{конт}$  – удельное активное сопротивление контактов,  $r_{конт} = 0,015$  Ом  
[3];

$S_{Б}$  – базисная мощность, МВА;

$U_{Б}$  – базисное напряжение,  $U_{Б} = 0,4$  кВ;

$$r_{к} = 0,015 \cdot \frac{1000}{0,4^2} = 93,8 \text{ о. е.}$$

Полное сопротивление до точки К2

$$z_{K2} = \sqrt{(r_T + r_K)^2 + x_T^2}, \quad (34)$$

$$z_{K2} = \sqrt{(10,8 + 93,8)^2 + 53,9^2} = 117,7 \text{ о. е.}$$

Мощность короткого замыкания в точке К2:

$$S_{K2} = \frac{S_B}{z_{K2}}, \quad (35)$$

$$S_{K2} = \frac{1000}{117,7} = 8,5 \text{ МВА.}$$

Ток КЗ определяется по выражению:

$$I_{K2} = \frac{S_{K2}}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (36)$$

$$I_{K2} = \frac{8,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 12,3 \text{ кА.}$$

Ударный ток короткого замыкания определяется по формуле:

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K2}, \quad (37)$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент, для сети 0,4 кВ за силовым трансформатором распределительной сети  $k_y = 1,6$  [3],

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 12,3 = 27,8 \text{ кА.}$$

Полное сопротивление до точки К3

$$z_{K3} = \sqrt{(r_T + r_K + r_L)^2 + (x_T + x_L)^2}, \quad (38)$$

$$z_{K3} = \sqrt{(10,8 + 93,8 + 46,4)^2 + (53,9 + 36,1)^2} = 175,8.$$

Мощность короткого замыкания в точке К3:

$$S_{КЗ} = \frac{S_B}{z_{КЗ}}, \quad (39)$$

$$S_{КЗ} = \frac{1000}{175,8} = 5,7 \text{ МВА.}$$

Ток КЗ определяется по выражению:

$$I_{КЗ} = \frac{S_{КЗ}}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (40)$$

$$I_{КЗ} = \frac{5,7}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 8,2 \text{ кА.}$$

Ударный ток короткого замыкания определяется по формуле:

$$i_{уКЗ} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{КЗ}, \quad (41)$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент, для сети 0,4 кВ за силовым трансформатором распределительной сети  $k_y = 1,6$  [3],

$$i_{уКЗ} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 8,2 = 18,5 \text{ кА.}$$

Результаты данного раздела работы будут полезны при проектировании и выборе электрооборудования административного здания.

## 5.2 Расчет и выбор электропроводов и кабелей

В современном мире электроэнергия играет ключевую роль в обеспечении функционирования различных отраслей экономики и жизнедеятельности человека. Надежная и эффективная передача электроэнергии является одной из основных задач энергетической отрасли. Выбор электропроводов и кабелей является важным этапом при проектировании и строительстве электрических сетей, так как от правильного выбора зависит безопасность и надежность электроснабжения потребителей.

Сечение кабеля выбирается по длительно допустимому току по условию нагрева.

$$I_{д.доп} \geq I_p, \quad (42)$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии;

$I_{д.д.}$  – длительно допустимый ток кабеля.

Например, для потребителей кабинета №1 с расчетным током  $I_p = 16,1$  А принимаем кабель ВВГнг-LS-3х2,5 с  $I_{д.доп.} = 26$  А [23]:

$$I_{д.доп} = 26 \text{ А} \geq I_p = 16,1 \text{ А}.$$

Потери напряжения в распределительной сети можно рассчитать методом момента нагрузки по мощности:

$$\Delta U = \frac{P \cdot l}{C \cdot F} \leq 5 \%, \quad (43)$$

где  $P$  – активная мощность, передаваемая по линии, кВт;

$l$  – длина линии, м;

$F$  – сечение проводника, мм<sup>2</sup>;

$C$  – коэффициент определяемых уровнем напряжения и системой сети, родом тока и материалом жил провода или кабеля. Для сети 220 В при системе сети три фазы и нулевой провод и использовании кабеля с медными жилами  $C = 12$  кВт · м / мм<sup>2</sup>, для сети 380 В при системе сети три фазы и нулевой провод и использовании кабеля с медными жилами  $C = 77$  кВт · м / мм<sup>2</sup>;

$$\Delta U = \frac{3,5 \cdot 10}{12 \cdot 2,5} = 1,2 \% \leq 5 \%.$$

Аналогично выбираются кабели для остальных потребителей силовой сети для этажей 2–7. Результаты расчетов сведем в таблицу 11.

Таблица 11 – Выбор кабельных линий силовой сети [23]

Помещение	$P_p$ , кВт	$I_p$ , А	Кабель	$I_{д.доп.}$ , А	Длина линии $l$ , м	$\Delta U$ , %
Кабинет 1	3,5	16,1	ВВГнг-LS-3x2,5	26	10,0	1,2
Кабинет 2	3,0	13,8	ВВГнг-LS-3x2,5	26	16,0	1,6
Кабинет 3	1,5	6,9	ВВГнг-LS-3x2,5	26	19,0	0,9
Кабинет 4	1,5	6,9	ВВГнг-LS-3x2,5	26	22,0	1,1
Кабинет 5	2,0	9,2	ВВГнг-LS-3x2,5	26	25,0	1,7
Кабинет 6	1,5	6,9	ВВГнг-LS-3x2,5	26	28,0	1,4
Кабинет 7	3,5	16,1	ВВГнг-LS-3x2,5	26	34,0	3,9
Кабинет 8	4,0	18,5	ВВГнг-LS-3x4	34	40,0	3,3
Кабинет 9	1,5	6,9	ВВГнг-LS-3x2,5	26	43,0	2,1
Кабинет 10	2,0	9,2	ВВГнг-LS-3x2,5	26	46,0	3,0
Кабинет 11	4,0	18,5	ВВГнг-LS-3x2,5	26	15,0	2,0
Кабинет 12	3,5	16,1	ВВГнг-LS-3x2,5	26	21,0	2,4
Кабинет 13	2,0	9,2	ВВГнг-LS-3x2,5	26	25,0	1,7
Кабинет 14	4,5	20,8	ВВГнг-LS-3x2,5	26	28,0	4,2
Кабинет 15	4,5	20,8	ВВГнг-LS-3x4	34	34,0	3,2
Кабинет 16	3,5	16,1	ВВГнг-LS-3x2,5	26	40,0	4,6
Кабинет 17	1,0	4,5	ВВГнг-LS-3x2,5	26	43,0	1,4
Кабинет 18	4,5	20,8	ВВГнг-LS-3x4	34	46,0	4,3
Кабинет 19	4,5	20,8	ВВГнг-LS-3x4	34	52,0	4,9
Кабинет 20	1,5	6,9	ВВГнг-LS-3x2,5	26	21,0	1,0
Кабинет 21	2,5	11,5	ВВГнг-LS-3x2,5	26	16,0	1,3
Кабинет 22	1,0	4,5	ВВГнг-LS-3x2,5	26	21,0	0,7
Кабинет 23	1,5	6,9	ВВГнг-LS-3x2,5	26	25,0	1,2
Кабинет 24	1,5	6,9	ВВГнг-LS-3x2,5	26	21,0	1,0
Кабинет 25	1,0	4,5	ВВГнг-LS-3x2,5	26	15,0	0,5
Санузел 1	0,2	1,1	ВВГнг-LS-3x2,5	26	5,0	0,0
Санузел 2	0,2	1,1	ВВГнг-LS-3x2,5	26	8,0	0,1
Санузел 3	0,2	1,1	ВВГнг-LS-3x2,5	26	8,0	0,1
Коридор	0,1	0,3	ВВГнг-LS-3x2,5	26	50,0	0,1
ЩС2	65,2	101,3	ВВГнг-5x25	107	10,0	0,5
ЩС3	65,2	101,3	ВВГнг-5x25	107	13,0	0,7
ЩС4	65,2	101,3	ВВГнг-5x25	107	16,0	0,8
ЩС5	65,2	101,3	ВВГнг-5x25	107	19,0	1,0
ЩС6	65,2	101,3	ВВГнг-5x25	107	22,0	1,2
ЩС7	65,2	101,3	ВВГнг-5x25	107	25,0	1,3

Для питания кондиционеров с номинальной мощностью 1,5 кВт и номинальным током 9,1 А выбираем кабель ВВГнг-LS-3x2,5 с длительно допустимым током  $I_{д.доп.} = 26$  А [23].

$$I_{д.доп.} = 26 \text{ А} \geq I_p = 9,1 \text{ А.}$$

Потеря напряжения для линий питания кондиционеров также определяется по формуле (43).

Самая длинная линия системы кондиционирования – это линия до кондиционера в кабинете 19 каждого этажа. Протяженность данной линии определяется из плана этажа и составляет 55 метров. Тогда величина потери напряжения для данной линии составляет:

$$\Delta U = \frac{1,5 \cdot 55}{12 \cdot 2,5} = 2,8\% \leq 5\%.$$

Так как в самой длинной линии потери напряжения не превышают допустимые, то и во всех остальных линиях потери напряжения также будут в пределах нормы.

Для питания щита кондиционеров каждого этажа с расчетной мощностью 40,5 кВт и номинальным током 82,1 А выбираем кабель ВВГнг-LS-3х25 с длительно допустимым током  $I_{д.доп.} = 107$  А [23].

$$I_{д.доп.} = 107 \text{ А} \geq I_p = 82,1 \text{ А}.$$

Потеря напряжения в самой длинной линии (до щита ЩК7) составляет:

$$\Delta U = \frac{40,5 \cdot 25}{77 \cdot 25} = 0,5\% \leq 5\%.$$

Так как в самой длинной линии потери напряжения не превышают допустимые, то и во всех остальных линиях потери напряжения также будут в пределах нормы.

Максимальная полная мощность одного из помещений каждого этажа составляет 1,43 кВА (таблица 5), соответственно максимальный рабочий ток по формуле (20) будет составлять:

$$I_p = \frac{1,43 \cdot 10^3}{220} = 6,5 \text{ А.}$$

Таким образом, принято решение в качестве проводников для системы рабочего электроосвещения применить кабели ВВГнг-LS-3×1,5, длительный ток которого составляет 19 А [23]. Аналогично, система аварийного электроосвещения выполнена кабелем ВВГнг-FRLS-3х×,5, длительный ток которого составляет 19 А [23].

Для питания щитов освещения с расчетной мощностью 16,7 кВт и номинальным током 26,5 А выбираем кабель ВВГнг-LS-3×4 с длительно допустимым током  $I_{д.доп.} = 34 \text{ А}$  [23]:

$$I_{д.доп} = 34 \text{ А} \geq I_p = 26,5 \text{ А.}$$

Потеря напряжения в самой длинной линии (до щита ЩО7) составляет:

$$\Delta U = \frac{16,7 \cdot 25}{77 \cdot 4} = 1,4 \% \leq 5 \%.$$

Так как в самой длинной линии потери напряжения не превышают допустимые, то и во всех остальных линиях потери напряжения также будут в пределах нормы.

Выбор кабелей для силовой сети первого этажа, потребителей первой категории, а также от ВРУ до силовых шкафов производится согласно вышеприведенной методике, результаты выбора представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор кабельных линий силовой сети [23]

Линия	$P_p$ , кВт	$I_p$ , А	Кабель	$I_{д.доп}$ , А	Длина линии $l$ , м	$\Delta U$ , %
ЩС1	27,7	46,5	ВВГнг-LS-5×10	61	5	0,2
Электросушилки	2,0	9,1	ВВГнг-LS-5×2,5	26	20	0,2
Тепловые завесы	9,0	13,7	ВВГнг-LS-5×2,5	26	30	1,4

Продолжение таблицы 12

Линия	$P_p$ , кВт	$I_p$ , А	Кабель	$I_{д.доп}$ , А	Длина линии $l$ , м	$\Delta U$ , %
Кухонные плиты	11,0	16,7	ВВГнг-LS-5×2,5	26	40	2,3
Микроволновая печь	1,3	5,9	ВВГнг-LS-5×2,5	26	40	0,3
Чайник	2,0	9,1	ВВГнг-LS-5×2,5	26	40	0,4
Холодильники	0,3	1,4	ВВГнг-LS-5×2,5	26	40	0,1
Морозильная камера	0,5	2,3	ВВГнг-LS-5×2,5	26	40	0,1
Дополнительная нагрузка	1,0	4,5	ВВГнг-LS-5×2,5	26	40	0,2
АВР	72,8	145,9	ВВГнг-LS-5×50	155	5	0,1
Лифты	15,0	35,1	ВВГнг-LS-5×6	45	32	1,0
ЩАО	4,2	6,7	ВВГнг-LS-5×2,5	26	5	0,1
Насосы водоснабжения	7	13,3	ВВГнг-LS-5×2,5	26	15	0,5
Серверы	20	31,0	ВВГнг-LS-5×6	45	25	1,1
Пожарные насосы	40	76,1	ВВГнг-LS-5×25	107	30	0,6
ЩВ1 (Система вентиляции 1)	50	89,5	ВВГнг-LS-5×25	107	25	0,6
ЩВ2 (Система вентиляции 2)	50	89,5	ВВГнг-LS-5×25	107	25	0,6

Кабели питающей линии административного здания также необходимо выбирать по условию нагрева кабеля в нормальном режиме. Ток нормального режима питающей линии равен

$$I_{н.р.} = \frac{I_{р.ВРУ}}{2}; \quad (44)$$

$$I_{н.р.} = \frac{1739,4}{2} = 869,7 \text{ А.}$$

Для питающей линии выбираем кабель с медными жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена 2ПвБбШв-4х185-1 с длительно допустимым током  $I_{доп.} = 2 \times 500 = 1000 \text{ А}$  [23].

Допустимый ток кабеля необходимо скорректировать согласно условиям его прокладки:

$$I'_{доп} = k_p \cdot k_t \cdot I_{доп}, \quad (45)$$

где  $k_p$  – поправочный коэффициент на количество параллельно

прокладываемых кабелей [5], в нашем случае  $k_{\text{п}} = 0,9$  при 2 кабелях в траншее (вторые 2 кабеля прокладываются на расстоянии 500 мм от первой пары и следовательно данный коэффициент необходимо применять для двух кабелей);

$k_t$  – поправочный коэффициент на температуру окружающей среды, так как нет точных данных о температуре окружающей среды, то данный коэффициент принимаем равным 1,00 [5],

$$I'_{\text{доп}} = 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1000 = 900 \text{ А},$$

тогда

$$I'_{\text{доп}} = 900 \text{ А} \geq I_{\text{р.}} = 869,7 \text{ А},$$

а значит выбранные кабели проходят по условию допустимого тока кабеля с учетом условий его прокладки.

Потери напряжения в питающей линии в нормальном режиме можно рассчитать по формуле:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{U_{\text{ном}} \cdot n_{\text{кл}}} \cdot 100\% \leq 5\%, \quad (46)$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление кабеля 2ПвБбШв–4х185–1,

$r_0 = 0,0495 \text{ Ом/км}$ ;

$x_0$  – удельное индуктивное сопротивление кабеля 2ПвБбШв–4х185–

1,  $x_0 = 0,0385 \text{ Ом/км}$ ;

$l$  – длина питающей кабельной линии,  $l = 150 \text{ м} = 0,15 \text{ км}$ ;

$n_{\text{кл}}$  – количество кабельных линий

$$\Delta U = \frac{992,1 \cdot 0,0495 \cdot 0,15 + 489,8 \cdot 0,0385 \cdot 0,15}{400 \cdot 2} \cdot 100\% = 1,27\% \leq 5\%,$$

что говорит о том, что выбранные кабели проходят данную проверку.

## 5.3 Расчет и выбор аппаратов защиты

### 5.3.1 Выбор автоматических выключателей и проверка выбранных кабельных линий, выбор щитов ВРУ

Автоматические выключатели напряжением до 1 кВ выбираются по следующим условиям:

- по номинальному напряжению;
- по номинальному току отключения. Так как ток короткого замыкания в ВРУ равен 8,2 кА, а в административном здании будут применяться автоматические выключатели серии ВА47–100 и ВА47–125 производства фирмы «IEK» с номинальным током отключения 10 кА, то можно сделать вывод, что все автоматические выключатели административного здания удовлетворяют условию выбора по номинальному току отключения,
- по номинальному току теплового расцепителя;

$$I_{т.р.} \geq k_{т.р.} \cdot I_p, \quad (47)$$

где  $k_{т.р.}$  – коэффициент теплового расцепителя, для одиночного потребителя (для фидера) принимается  $k_{т.р.} = 1,15$ , для группы электроприемников (на вводных автоматических выключателях этажных щитков)  $k_{т.р.} = 1,1$ .

Так как мощных электроприемников с большой кратностью пусковых токов на территории административного здания нет, то проверку по отстройке от пусковых токов производить не нужно.

Например, для кабинета 1 второго этажа необходимо установить автоматический выключатель фирмы «IEK» ВА47–100 с параметрами  $U_{ном.АВ} = 220$  В;  $I_{ном.АВ} = 63$  А [15].

Номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя составляет:

$$I_{т.р.} \geq 1,15 \cdot 16,1 = 18,5 \text{ А.}$$

Окончательно принимаем к установке автоматический выключатель фирмы «IEK» ВА47–100 с параметрами  $U_{ном.АВ} = 220 \text{ В}$ ;  $I_{ном.АВ} = 63 \text{ А}$ ;  $I_{т.р.} = 20 \text{ А}$  [15]:

$$U_{ном.АВ} = 220 \text{ В} \geq U_{ном.сети} = 220 \text{ В};$$

$$I_{т.р.} = 20 \text{ А} \geq 18,5 \text{ А.}$$

Для питания потребителей кабинета 1 второго этажа рассматриваемого административного здания был выбран кабель ВВГнг-LS-3×2,5 с длительно допустимым током 26 А. Чтобы выбраны автоматический выключатель данной линии защищал кабель необходимо, чтобы выполнялось следующее условие

$$I_{д.доп.} \geq I_{т.р.}, \quad (48)$$

$$I_{д.доп.} = 26 \text{ А} \geq I_{т.р.} = 20 \text{ А},$$

а значит, выбранный автоматический выключатель будет защищать кабель.

Аналогично выбираем остальные автоматические выключатели рассматриваемого административного здания. В случае, если выбранные автоматические выключатели не будут защищать выбранные ранее кабели рассматриваемого административного здания, то сечение таких кабелей необходимо увеличить.

Выбор автоматических выключателей для остальных помещений этажей со второго по седьмой рассматриваемого административного здания сводим в таблицу 13.

Таблица 13 – Выбор автоматических выключателей силовой сети этажей 2–7

Помещение	$P_p$ , кВт	$I_p$ , А	$I_{т.р.}$ , А	Автоматический выключатель	Замененные кабели	$I_{д.доп.}$ , А
Кабинет 1	3,5	16,1	20,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 2	3,0	13,8	16,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 3	1,5	6,9	10,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 4	1,5	6,9	10,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 5	2,0	9,2	16,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 6	1,5	6,9	10,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 7	3,5	16,1	20,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 8	4,0	18,5	25,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	34
Кабинет 9	1,5	6,9	10,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 10	2,0	9,2	16,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 11	4,0	18,5	25,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 12	3,5	16,1	20,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 13	2,0	9,2	16,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 14	4,5	20,8	25,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 15	4,5	20,8	25,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	34
Кабинет 16	3,5	16,1	20,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 17	1,0	4,5	10,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 18	4,5	20,8	25,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	34
Кабинет 19	4,5	20,8	25,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	34
Кабинет 20	1,5	6,9	10,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 21	2,5	11,5	16,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 22	1,0	4,5	10,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 23	1,5	6,9	10,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 24	1,5	6,9	10,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Кабинет 25	1,0	4,5	10,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Санузел 1	0,2	1,1	6,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Санузел 2	0,2	1,1	6,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Санузел 3	0,2	1,1	6,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
Коридор	0,1	0,3	6,0	ВА47–100 $I_{НОМ.АВ} = 100$ А 6 кА	–	26
ЩС2	65,2	101,3	125,0	ВА47–125 $I_{НОМ.АВ} = 125$ А 15 кА	ВВГнг–5×35	135
ЩС3	65,2	101,3	125,0	ВА47–125 $I_{НОМ.АВ} = 125$ А 15 кА	ВВГнг–5×35	135
ЩС4	65,2	101,3	125,0	ВА47–125 $I_{НОМ.АВ} = 125$ А 15 кА	ВВГнг–5×35	135
ЩС5	65,2	101,3	125,0	ВА47–125 $I_{НОМ.АВ} = 125$ А 15 кА	ВВГнг–5×35	135
ЩС6	65,2	101,3	125,0	ВА47–125 $I_{НОМ.АВ} = 125$ А 15 кА	ВВГнг–5×35	135
ЩС7	65,2	101,3	125,0	ВА47–125 $I_{НОМ.АВ} = 125$ А 15 кА	ВВГнг–5×35	135

Для защиты кондиционеров с номинальной мощностью 1,5 кВт и номинальным током 9,1 А выбираем автоматический выключатель ВА47–100

с параметрами  $U_{\text{ном.АВ}} = 220 \text{ В}$ ;  $I_{\text{ном.АВ}} = 63 \text{ А}$ ;  $I_{\text{т.р.}} = 16 \text{ А}$  [15]:

$$I_{\text{т.р.}} = 16 \text{ А} \geq 1,15 \cdot 9,1 = 10,5 \text{ А.}$$

Для питания кондиционеров был выбран кабель ВВГнг-LS-3×2,5 с длительно допустимым током 26 А.

$$I_{\text{д.доп.}} = 26 \text{ А} \geq I_{\text{т.р.}} = 16 \text{ А,}$$

а значит, выбранный автоматический выключатель будет защищать кабель.

Для питания щита кондиционеров каждого этажа с расчетной мощностью 40,5 кВт и номинальным током 82,1 А выбираем автоматический выключатель производства фирмы «IEK» ВА47-125 с параметрами  $U_{\text{ном.АВ}} = 380 \text{ В}$ ;  $I_{\text{ном.АВ}} = 125 \text{ А}$ ,  $I_{\text{т.р.}} = 100 \text{ А}$  [15]:

$$I_{\text{т.р.}} = 100 \text{ А} \geq I_{\text{р.}} = 1,1 \cdot 82,1 = 90,3 \text{ А.}$$

Для питания щита кондиционеров был выбран кабель ВВГнг-LS-3×25 с длительно допустимым током 107 А

$$I_{\text{д.доп.}} = 107 \text{ А} \geq I_{\text{т.р.}} = 100 \text{ А,}$$

а значит, выбранный автоматический выключатель будет защищать кабель.

Все группы рабочего и аварийного освещения защищаются автоматическими выключателями производства фирмы «IEK» ВА47-100  $U_{\text{ном.АВ}} = 220 \text{ В}$ ;  $I_{\text{ном.АВ}} = 63 \text{ А}$ ,  $I_{\text{т.р.}} = 10 \text{ А}$  [15].

Для питания щитов освещения с расчетной мощностью 16,7 кВт и номинальным током 26,5 А выбираем автоматический выключатель производства фирмы «IEK» ВА47-100 с параметрами  $U_{\text{ном.АВ}} = 380 \text{ В}$ ;  $I_{\text{ном.АВ}} = 63 \text{ А}$ ;  $I_{\text{т.р.}} = 31,5 \text{ А}$  [15]

$$I_{т.р.} = 31,5 \text{ А} \geq I_p = 1,1 \cdot 26,5 = 29,2 \text{ А.}$$

Для питания щитов освещения был выбран кабель ВВГнг-LS-5х4 с длительно допустимым током 34 А

$$I_{д.доп.} = 34 \text{ А} \geq I_{т.р.} = 31,5 \text{ А,}$$

а значит, выбранный автоматический выключатель будет защищать кабель.

Выбор автоматических выключателей для силовой сети первого этажа, потребителей первой категории, а также от ВРУ до силовых шкафов производим согласно вышеприведенной методике и результаты выбора представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Выбор автоматических выключателей силовой сети

Линия	$P_p$ , кВт	$I_p$ , А	$I_{т.р.}$ , А	Автоматический выключатель	Замененные кабели	$I_{д.доп.}$ , А
ЩС1	27,7	46,5	63	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	ВВГнг-5х16	81
Электросушилки	2,0	9,1	16	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	–	26
Тепловые завесы	9,0	13,7	16	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	–	26
Кухонные плиты	11,0	16,7	25	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	–	26
Микроволновая печь	1,3	5,9	10	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	–	26
Чайник	2,0	9,1	16	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	–	26
Холодильники	0,3	1,4	10	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	–	26
Морозильная камера	0,5	2,3	10	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	–	26
Дополнительная нагрузка	1,0	4,5	10	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	–	26
АВР	72,8	145,9	160	ВА57-35 $I_{ном.ав} = 250 \text{ А } 15 \text{ кА}$	ВВГнг-LS-5х50	196
Лифты	15,0	35,1	40	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	–	45
ЩАО	4,2	6,7	20	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	–	26
Насосы водоснабжения	7	13,3	16	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	–	26
Серверы	20	31,0	40	ВА47-100 $I_{ном.ав} = 100 \text{ А } 6 \text{ кА}$	–	45
Пожарные насосы	40	76,1	100	ВА47-125 $I_{ном.ав} = 125 \text{ А } 15 \text{ кА}$	–	107
ЩВ1 (Система вентиляции 1)	50	89,5	100	ВА47-125 $I_{ном.ав} = 125 \text{ А } 15 \text{ кА}$	–	107
ЩВ2 (Система вентиляции 2)	50	89,5	100	ВА47-125 $I_{ном.ав} = 125 \text{ А } 15 \text{ кА}$	–	107

Так как максимальный ток на вводе в здание составляет  $I_p = 1739,4 \text{ A}$  то в качестве вводного устройства выбирается ВРУ1–14–20 УХЛ4 собранная на оборудовании фирмы АО «Контактор» [15]. Электрическая схема вводной ВРУ1–14–20 УХЛ4 приведена на рисунке 12.

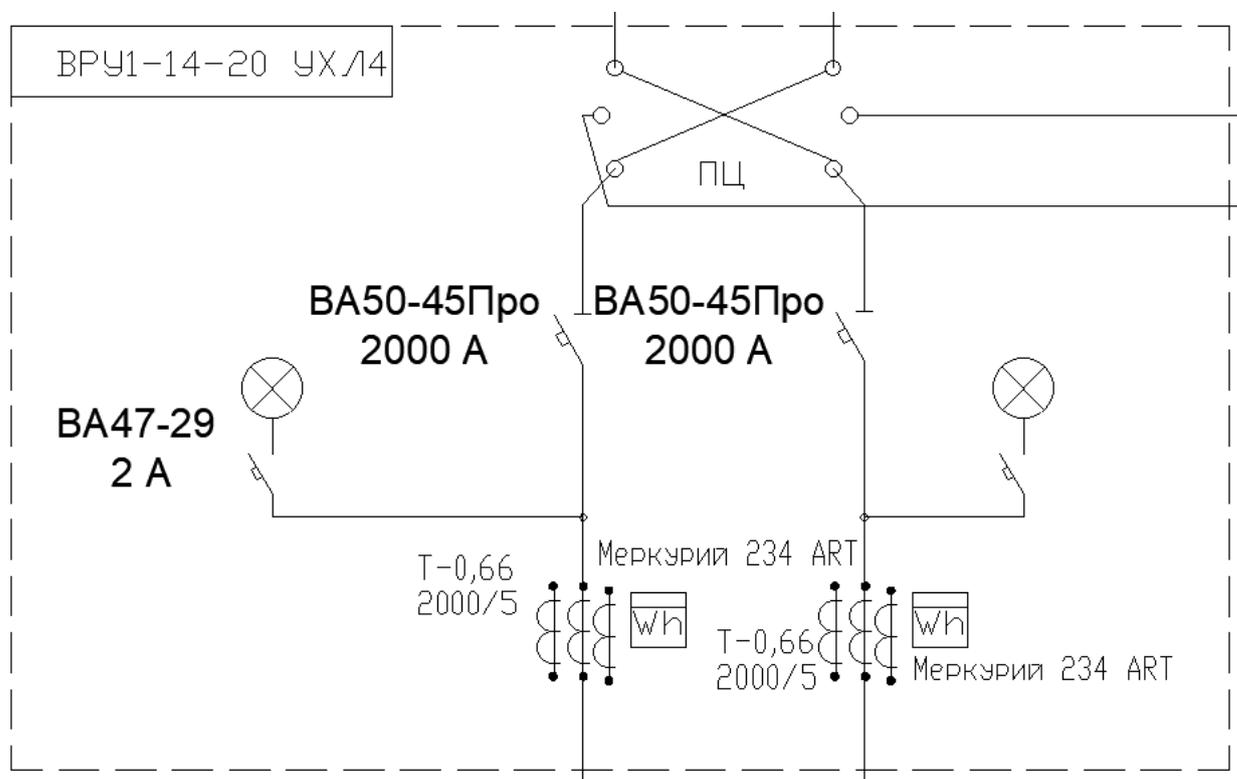


Рисунок 12 – Электрическая схема вводной ВРУ1–14–20 УХЛ4

Номинальный ток теплового расцепителя вводного автоматического выключателя

$$I_{т.р.} \geq 1,1 \cdot 1739,4 = 1913,4 \text{ A.}$$

Принимаем к установке автоматический выключатель АО «Контактор» ВА50–45Про с параметрами  $U_{ном.АВ} = 380 \text{ В}$ ;  $I_{ном.АВ} = 4000 \text{ А}$ ;  $I_{т.р.} = 2000 \text{ А}$  [15]

$$U_{ном.АВ} = 380 \text{ В} \geq U_{ном.сети} = 380 \text{ В};$$

$$I_{т.р.} = 2000 \text{ А} \geq 1913,4 \text{ А.}$$

В автоматических выключателях используются дополнительные дистанционные расцепители для реализации схемы автоматизированного ввода резерва (АВР).

В качестве секционного выключателя принимаем автоматический выключатель АО «Контактор» ВА50–45Про с параметрами  $U_{ном.АВ} = 380 \text{ В}$ ;  $I_{ном.АВ} = 2500 \text{ А}$ ;  $I_{т.р.} = 1000 \text{ А}$  [15].

В качестве щита АВР принимается панель вводная ВРУ1–18–80 УХЛ4 с АВР, производства компании «IEK» (рисунок 13).

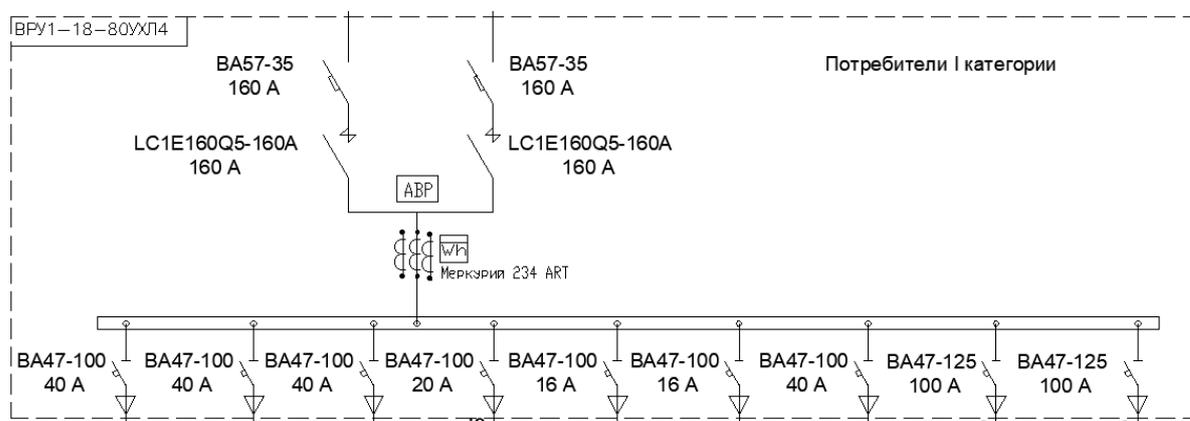


Рисунок 13 – Панель вводная ВРУ1–18–80 УХЛ4 с АВР

В качестве распределительного устройства применяется панель ВРУ1–49–03УХЛ4.

### 5.3.2 Выбор электрооборудования трансформаторных подстанций

Выбор ячеек комплектного распределительного устройства (КРУ) напряжением 10 кВ является важной задачей при проектировании электроснабжения.

Ячейки КРУ представляют собой модульные элементы, которые используются для разделения и защиты электрооборудования в системах распределения напряжением 10 кВ. Ячейки КРУ должны обеспечивать надежную защиту от короткого замыкания и перегрузок. Необходимо выбрать ячейки, которые поддерживают требуемый уровень защиты и имеют соответствующие выключатели и предохранители. Распределительное устройство РУ 10 кВ выполняется комплектным (КРУ) со шкафами типа КРУ–

СЭЩ–70 УЗ [18]. КРУ–СЭЩ–70 предназначено для приема и распределения электрической энергии переменного трехфазного тока с номинальным значением напряжения 6(10), 20 кВ и тока 630–4000 А с частотой 50 Гц. Тип выключателя для данных ячеек ВВУ–СЭЩ –10, тип трансформаторов тока ТОЛ–СЭЩ–10. Шкаф КРУ–СЭЩ–70–10 представляет собой каркасно – модульную конструкцию, состоящую из нескольких модулей, собираемых с помощью стыковочных элементов.

Максимальный ток на стороне 10 кВ ТП определяется по формуле

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}; \quad (49)$$

где  $U_{\text{ВН}}$  – напряжение на стороне ВН трансформатора,  $U_{\text{ВН}} = 10$  кВ;

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 80,9 \text{ А.}$$

Условия выбора, расчетные параметры сети и каталожные данные ячеек КРУ представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Выбор КРУ

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Каталожные данные КРУ–СЭЩ–70
$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{уст}} = 10$ кВ	$U_{\text{н}} = 12$ кВ
$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$	$I_{\text{макс}} = 80,9$ А	$I_{\text{ном}} = 630$ А
$i_{\text{у}} \leq i_{\text{пр.скв.}}$	$i_{\text{у}} = 24$ кА	$i_{\text{пр.скв.}} = 40$ кА
$B_{\text{k}} \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}$	$B_{\text{k}} = 70$ кА <sup>2</sup> ·с	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 768$ кА <sup>2</sup> ·с

В ячейках КРУ типа КРУ–СЭЩ–70 устанавливаются вакуумные выключатели ВВУ–СЭЩ–10–20/630 УЗ [18].

Технические характеристики выбранного выключателя сведены в таблицу 2.6.

Выключатель проверяется по отключающей способности по условию

$$I_{K1} \leq I_{\text{откл.ном}}; \quad (50)$$

$$I_{K1} = 10 \text{ кА} \leq I_{\text{откл.ном}} = 16 \text{ кА} - \text{верно.}$$

Выключатель проверяется по электродинамической стойкости по условию

$$i_{yK1} \leq i_{\text{пр.скв}}, \quad (51)$$

$$i_{yK1} = 24,0 \text{ кА} \leq i_{\text{пр.скв}} = 40 \text{ кА} - \text{верно.}$$

Выключатель проверяется по термической стойкости к токам короткого замыкания по условию:

$$W_K \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}, \quad (52)$$

где  $W_K$  – тепловой импульс;

$$W_K = I_{K1}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (53)$$

$$t_{\text{отк}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{п.в.}}, \quad (54)$$

где  $t_{\text{отк}}$  – длительность от начала КЗ до его отключения;

$t_{\text{рз}}$  – продолжительность действия основной релейной защиты силового трансформатора, принимаем  $t_{\text{рз}} = 0,5 \text{ с}$ ;

$t_{\text{п.в.}}$  – полное время отключения силового выключателя,  $t_{\text{п.в.}} = 0,05 \text{ с}$ ;

$$t_{\text{отк}} = 0,5 + 0,05 = 0,55 \text{ с};$$

$$W_K = 10^2 \cdot (0,55 + 0,15) = 70 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

$$W_K = 70 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 16^2 \cdot 3 = 768 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

а значит, выбранный выключатель удовлетворяет всем условиям проверки.

Характеристики выбранных выключателей ВВУ–СЭЦ –10 представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Технические характеристики выключателей ВВУ–СЭЩ –10

Параметры	Значения
Номинальное напряжение	10 кВ
Наибольшее рабочее напряжение	12 кВ
Номинальный ток	630 А (1600 А)
Номинальный ток отключения	20 кА
Сквозной ток КЗ:	
– наибольший пик	52 кА
– начальное действующее значение периодической составляющей	20 кА
Нормированное процентное содержание аperiodической составляющей	40 %
Среднеквадратическое значение тока за время его протекания (ток термической стойкости)	20 кА
Время протекания тока термической стойкости	3 сек
Собственное время отключения выключателя	0,015 сек
Полное время отключения	0,025 сек
Собственное время включения	0,055 сек
Неодновременность замыкания и размыкания контактов	0,004 сек
Номинальные параметры оперативного напряжения питания	
– переменное напряжение	220 В
– постоянное напряжение	220 В
Масса	39 кг
Срок службы до списания	25 лет

При выборе трансформаторов тока 10 кВ необходимо рассмотреть следующие аспекты:

- номинальный ток;
- точность измерения;
- нагрузка и нагрузочные характеристики;
- класс изоляции;
- конструктивные особенности.

В ячейках КРУ типа КРУ–СЭЩ–70–10 устанавливаются трансформаторы тока типа ТОЛ–СЭЩ–10–100/5–0,5/10Р–У3 [18]. Условия выбора, расчетные параметры сети и каталожные данные трансформаторов тока на вводе силового трансформатора со стороны 10 кВ рассматриваемой подстанции указаны в таблице 17.

Таблица 17 – Выбор трансформаторов тока на вводе в КРУ

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные ТОЛ–СЭЩ–10–100/5–0,5/10Р–У3
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ
$I_{ном} \geq I_{max}$	$I_{max} = 80,9$ А	$I_{ном} = 100$ А
$i_y \leq i_{пр.скв.}$	$i_y = 24$ кА	$i_{пр.скв.} = 40$ кА
$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$	$B_k = 70$ кА <sup>2</sup> ·с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 768$ кА <sup>2</sup> ·с

Сопротивление приборов, подключаемых от рассчитываемого трансформатора тока:

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}, \quad (55)$$

$$r_{приб} = \frac{0,1}{5^2} = 0,004 \text{ Ом.}$$

Допустимое сопротивление проводов [4]:

$$r_{пр} = Z_{2ном} - r_{приб} - r_k, \quad (56)$$

где  $r_k$  – сопротивление контактов, Ом;

$Z_{2ном}$  – вторичная номинальная нагрузка, Ом,

$$r_{пр} = 0,4 - 0,004 - 0,1 = 0,296 \text{ Ом.}$$

Сечение соединительных проводов при соединении в неполную звезду:

$$q = \frac{\rho \cdot L_{расч}}{r_{пр}}, \quad (57)$$

$$q = \frac{0,0283 \cdot \sqrt{3} \cdot 4}{0,296} = 0,41 \text{ мм}^2.$$

по условию механической прочности КРВГ с сечением 2,5 мм<sup>2</sup>.

Максимальный ток на стороне 0,4 кВ ТП определяется по формуле

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нн}}}; \quad (58)$$

где  $U_{\text{нн}}$  – напряжение на стороне НН трансформатора,  $U_{\text{нн}} = 10$  кВ;

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2023 \text{ А.}$$

Принимаем к установке автоматический выключатель фирмы АО «Контактор» ВА50–45Про с параметрами  $U_{\text{ном.АВ}} = 380$  В;  $I_{\text{ном.АВ}} = 4000$  А.  $I_{\text{т.р.}} = 2500$  А [15]

$$U_{\text{ном.АВ}} = 380 \text{ В} \geq U_{\text{ном.сети}} = 380 \text{ В};$$

$$I_{\text{т.р.}} = 2500 \text{ А} \geq 2023 \text{ А.}$$

Выводы по разделу 5

В пятом разделе ВКР рассчитаны токи короткого замыкания в сети, необходимые для выбора электрооборудования и выбрано электрооборудование административного здания. Для защиты электрооборудования от токов короткого замыкания и перегрева, а также для защиты кабельных линий от перегрева приняты автоматические выключатели типа ВА47. На вводе в здание выбран ВРУ1–14–20 УХЛ4 на ток 2000 А на базе автоматических выключателей ВА50–45Про.

Распределительное устройство РУ 10 кВ выполняется комплектным (КРУ) со шкафами типа КРУ–СЭЩ–70 У3 с выключателями ВВУ–СЭЩ–10, тип трансформаторов тока ТОЛ–СЭЩ–10.

## **6 Разработка системы учета электроэнергии**

«Учет активной электроэнергии обеспечивает определение количества энергии, отпущенной потребителям из электрической сети.

Учет реактивной электроэнергии необходим только в том случае, если по этим данным производятся расчеты или контроль режима работы компенсирующих устройств.

Установка приборов учета должна выполняться с учетом требований правил устройства электроустановок (ПУЭ). Установка счетчиков должна осуществляться на жестких основаниях щитков, на панелях ВРУ и на других конструкциях, не допускающих сотрясений и вибраций.

Для потребителей помещений общественного назначения, встроенных в жилые дома расчетные счетчики следует устанавливать на вводах независимо от источника питания – ТП или ВРУ административного здания.

В общественных зданиях современного типа для измерения энергии используют электронные счетчики. В этих счетчиках отсутствуют механические вращающиеся части, тем самым исключается трение. В результате удается добиться лучших метрологических характеристик: погрешности измерений, порога чувствительности, самохода счетчика и др.

В ряде электронных счетчиков вместо счетного механизма барабанного типа применяют индикатор на жидких кристаллах. Применение микропроцессоров позволило создать многофункциональные счетчики. Они измеряют активную и реактивную энергию, а также ток, напряжение,  $\cos\phi$ , контролируют и запоминают графики нагрузок, отображают на индикаторе информацию о схеме включения счетчика и другое» [10].

Для ввода принимаем счетчики Меркурий 234 ART. Счетчики предназначены для одно- или двунаправленного многотарифного учета активной и реактивной электрической энергии и мощности, а также измерения параметров электрической сети в трехфазных трех- или четырехпроводных сетях переменного тока с последующим хранением накопленной информации,

формированием событий и передач информации в центры сбора данных «АИИС КУЭ. Обмен данными по интерфейсам связи выполняется по протоколу СПОДЭС (IEC62056 DLMS/COSEM) или протоколу «Меркурий». При работе по протоколу СПОДЭС счетчики совместимы с ПО ИВК «Пирамида 2.0» и «Пирамида-сети». Счетчики предназначены для эксплуатации внутри закрытых помещений и в местах, имеющих защиту от влияния окружающей среды (в шкафах, в щитках)» [20].

Внешний вид счетчика Меркурий 234 ART показан на рисунке 14.



Рисунок 14 – Внешний вид счетчика Меркурий 234 ART

Измерение, учёт, хранение, вывод на ЖКИ и передача по интерфейсам активной и реактивной электроэнергии отдельно по каждому тарифу и сумму по всем тарифам за следующие периоды времени:

- энергия всего от сброса показаний;
- энергия на начало текущих и 123 предыдущих суток;
- энергия на начало текущего и 36 предыдущих месяцев;
- энергия на начало текущего и предыдущего года;
- расход за текущие и предыдущие сутки;
- расход за текущий и 11 предыдущих месяцев.

Технические характеристики счетчиков Меркурий 234 ART приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Технические характеристики счетчиков Меркурий 234 ART

Параметр	Величина
Активная / полная потребляемая мощность в каждой цепи напряжения счетчика при номинальном напряжении, Вт/ВА	1,5 / 9
Полная мощность, потребляемая каждой цепью тока, не более, ВА	0,1
Дополнительная потребляемая активная / полная мощность для счетчиков со встроенным модемом, Вт/ВА	6 / 30
Количество тарифов	4
Сохранность данных при перерывах питания, не менее, лет	срок службы
Межповерочный интервал, лет	16
Гарантийный срок эксплуатации, лет	5
Наработка на отказ, не менее, ч	320 000
Диапазон рабочих температур, °С	от -45 до +70
Масса, не более, кг	1,4
Габариты (Д×Ш×В), для корпуса без сменных модулей, мм	173,5×65×288,5

Метрологические характеристики счетчиков Меркурий 234 ART приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Метрологические характеристики счетчиков Меркурий 234 ART

Параметр	Величина
Класс точности счетчиков (актив. / реактив.):	
– трансформаторного включения:	0,2S/0,5 или 0,5S/1
– прямого включения:	0,5/1 или 1/2
Номинальное напряжение, В:	
– трансформаторного включения:	3×57,7/100 или 3×230/400
– прямого включения:	3×230/400
Базовый / максимальный ток, А:	
– трансформаторного включения:	1/2; 1/10; 5/10
– прямого включения:	5/60; 5/80; 5/100
Ток перегрузки для счетчиков прямого включения в течение 10 мс:	30×I макс
Ток перегрузки для счетчиков трансформаторного включения в течение 0,5 с:	20×I макс
Чувствительность при измерении активной энергии, А:	
– трансформаторного включения:	0,001·Iном
– прямого включения:	0,004·Iб

Выводы по разделу 6

В шестом разделе ВКР разработана система учета электроэнергии. Для учета потребляемой электроэнергии применены счетчики Меркурий 234 ART.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе был сделан проект системы электроснабжения административного здания.

Приведены общие сведения об административном здании, приведены планы этажей здания, даны характеристики потребителей электроэнергии административного здания, и характеристики внешней системы электроснабжения административного здания. Проверена возможность подключения административного здания к существующей ТП. Определено, что в послеаварийном режиме работы при выходе из строя одного из силовых трансформаторов существующей ТП или выводе его в ремонт существующих трансформаторных мощностей недостаточно для подключения рассматриваемого многоэтажного административного здания. Таким образом, принято решение для электроснабжения рассматриваемого многоэтажного административного здания спроектировать новую КТП.

Рассчитаны нагрузки силовой сети здания, а также мощности силовых шкафов каждого этажа, ЩАО, АВР и ВРУ.

Произведен светотехнический расчет системы освещения, выбран тип и количество светильников в каждом помещении, рассчитана мощность осветительных приборов на каждом этаже. Для установки в кабинетах, коридорах приняты светильники WAVE LED 595 производства компании «Световые технологии». Для установки на лестничных клетках применяются светодиодные светильники ARCTIC LED 1200 и ARCTIC M LED 1500 EM. Для установки в санузлах применяется светодиодный светильник DL LED.

Выполнен расчет силовых трансформаторов питающей трансформаторной подстанции. Так как потребители административного здания относятся к первой, второй и третьей категориям по надежности электроснабжения, то для электроснабжения административного здания применяется двухтрансформаторная подстанция напряжением 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами ТМГ–1000/10.

Выбраны кабели системы электроснабжения здания.

Расчитаны токи короткого замыкания в сети, необходимые для выбора электрооборудования. Для защиты электрооборудования от токов короткого замыкания и перегрева, а также для защиты кабельных линий от перегрева приняты автоматические выключатели типа ВА47. На вводе в здание выбран ВРУ1–14–20 УХЛ4 на ток 2000 А на базе автоматических выключателей ВА50–45Про.

Распределительное устройство РУ 10 кВ выполняется комплектным (КРУ) со шкафами типа КРУ–СЭЩ–70 У3 с выключателями ВВУ–СЭЩ –10, тип трансформаторов тока ТОЛ–СЭЩ–10.

Разработана система учета электроэнергии. Для учета потребляемой электроэнергии применены счетчики Меркурий 234 ART.

В результате проведенных расчетов все задачи, поставленные в начале работы, выполнены, и разработан проект системы электроснабжения административного здания.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений / Т.В. Анчарова, Е.Д. Стебунова, М.А. Рашевская. Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. 416 с.
2. Бакшаева Н.С. Расчёт электрических нагрузок, учебно–справочное пособие. Киров: Изд–во ВятГУ, 2008. 129 с.
3. ГОСТ 28249–93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ // Консультант плюс: справочно–правовая система
4. Передача и распределение электроэнергии, расчеты линий электропередач и электрических сетей / В. М. Степанов, В. С. Косырихин; ТулГУ. Тула : Изд–во ТулГУ, 2012. 186 с.
5. Правила устройства электроустановок // Консультант плюс: справочно–правовая система
6. Расчёт и проектирование электропитающих систем: монография / В. М. Степанов, В. С. Косырихин; ТулГУ, Ин–т высокоточных систем им. В. П. Грязева, Каф. "Электроэнергетика". Тула: Изд–во ТулГУ, 2012. 351 с.
7. Рождествина А.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. М. : КноРус, 2013. 368 с.
8. Рожин А. Н., Бакшаева Н. С. Внутрицеховое электроснабжение. Учебное пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. Киров: Изд–во ВятГУ, 2006. 258 с.
9. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (актуализированная редакция СНиП 23–05–95\*) // Консультант плюс: справочно–правовая система
10. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. Под общей редакцией В.И. Круповича и др. М.: Энергоиздат, 2007. 506 с.
11. Степанов В. М., Косырихин В. С. Системы электроснабжения

промышленных предприятий: учеб. –метод. пособие. ТулГУ, Ин–т высокоточных систем им. В. П. Грязева, Каф. «Электроэнергетика». Тула: Изд–во ТулГУ, 2013. 368 с.

12. Степанов В. М., Косырихин В. С. Система управления производственными активами в структуре межрегиональных и региональных распределительных электросетевых компаний: учебно–методическое пособие. ТулГУ. Тула: Изд–во ТулГУ, 2014. 62 с.

13. Степанов В.М., Косырихин В.С. Расчёт и проектирование электрических сетей и систем. ТулГУ. Тула : Изд-во ТулГУ, 2014. 351 с.

14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий : учебник. М. : Инфра-М, 2017. 89 с.

15. Технические характеристики модульных автоматических выключателей. URL: <https://www.kontaktor.ru/production/avtomaticheskie-vyklyuchateli/> (дата обращения 09.04.2024)

16. Технические характеристики лифтов KONE. URL: <http://www.kone.ru/> (дата обращения 09.04.2024)

17. Технические характеристики насосов водоснабжения 1К 80–65–160 50. URL: <http://www.ridan-nn.ru/> (дата обращения 09.04.2024)

18. Технические характеристики КРУ–СЭЩ–70. URL: <https://www.electroshield.ru/catalog/komplektnye-raspredelitelnye-ustroystva/kru-seshch-70-6-10-15-20-kv/?ysclid=lhpmmeu7r3537048737> (дата обращения 09.04.2024)

19. Технические характеристики силовых трансформаторов, производства Минского электротехнического завода имени В.И. Козлова. URL: <http://metz.by/> (дата обращения 09.04.2024)

20. Технические характеристики счетчиков Меркурий 234 ART. URL: <https://www.incotexcom.ru/catalogue/234art> (дата обращения 09.04.2024)

21. Технические характеристики светодиодных светильников. URL: <https://www.ltcompany.com/> (дата обращения 09.04.2024)

22. Фролов Ю. М. Электроснабжение промышленных предприятий :

учебное пособие для вузов. М. : Издательство Юрайт, 2023. 351 с.

23. Характеристики кабельно–проводниковой продукции. URL: <http://www.kabelarsenal.ru/> (дата обращения 09.04.2024)

24. Шахнин В.А., Рощина С.И. Электроснабжение микрорайона многоэтажной жилой застройки. Владимир: Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (ВлГУ), 2017. 107 с.

25. Электроэнергетические системы и электрические сети: учебно–методическое пособие / В. М. Степанов, В. С. Косырихин; ТулГУ, Ин–т высокочотч. систем им. В. П. Грязева. Тула: Изд–во ТулГУ, 2013. 229 с.