

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 здания центра к принудительным работам в Архангельской области

Обучающийся

М.Н. Муравьев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

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

Тольятти 2022

## **Аннотация**

В бакалаврской работе произведён расчет системы электроснабжения здания центра к принудительным работам в Архангельской области.

Цель работы заключается в определении параметров системы электроснабжения здания центра к принудительным работам в Архангельской области с учетом современных требований уровня надежности, качества, электробезопасности и энергоэффективности.

Задачи, решаемые при проектировании:

- рассчитать ожидаемые силовые нагрузки до 1000 В и нагрузки освещения;
- произвести выбор ТП, схему электроснабжения;
- рассчитать токи короткого замыкания;
- провести выбор электрооборудования до и выше 1000 В;
- произвести расчет релейной защиты;
- рассчитать заземления здания объекта;
- рассмотреть вопрос молниезащиты здания объекта.

Краткая характеристика структуры работы: введение, теоретическая, исследовательская (расчетная) информация, графическая часть.

Бакалаврская работа состоит из расчетно-пояснительной записки на 59 страницах формата А4, которая содержит 6 рисунков, 11 таблиц, 24 источников литературы, 4 приложений и графического материала на 6 листах формата А1.

## Содержание

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                                              | 4  |
| 1 Обоснование актуальности разрабатываемой темы. Краткая характеристика объекта проектирования.....                        | 5  |
| 1.1 Обоснование актуальности разрабатываемой темы.....                                                                     | 5  |
| 1.2 Краткая характеристика объекта проектирования.....                                                                     | 5  |
| 2 Расчет ожидаемых электрических нагрузок на стороне 0,4 кВ и освещение.....                                               | 9  |
| 2.1 Расчет электрических нагрузок системы освещения.....                                                                   | 9  |
| 2.2 Расчет суммарных электрических нагрузок.....                                                                           | 11 |
| 3 Выбор трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.....                                          | 15 |
| 4 Выбор и обоснование схемы электроснабжения.....                                                                          | 21 |
| 5 Расчет токов короткого замыкания.....                                                                                    | 23 |
| 6 Расчет и выбор электрооборудования и проводников (силовое электрооборудование и проводники до 1000 В и выше 1000 В)..... | 34 |
| 6.1 Расчет и выбор силового электрооборудования выше 1000 В.....                                                           | 34 |
| 6.2 Расчет и выбор силового электрооборудования до 1000 В.....                                                             | 37 |
| 6.3 Расчет и выбор проводников выше 1000 В.....                                                                            | 39 |
| 6.4 Расчет и выбор проводников до 1000 В.....                                                                              | 43 |
| 7 Расчет релейной защиты и автоматики.....                                                                                 | 46 |
| 8 Расчет заземления здания объекта.....                                                                                    | 51 |
| 9 Молниезащита здания объекта.....                                                                                         | 54 |
| Заключение.....                                                                                                            | 56 |
| Список используемых источников.....                                                                                        | 57 |
| Приложение А Расчет количества светильников и осветительной нагрузки..                                                     | 60 |
| Приложение Б Расчет электрических нагрузок.....                                                                            | 63 |
| Приложение В Выбор автоматических выключателей.....                                                                        | 65 |
| Приложение Г Выбор кабельных линий до 1000 В.....                                                                          | 67 |

## **Введение**

Объектом выпускной квалификационной (бакалаврской) работы выбрано Федеральное казенное учреждение «Исправительная колония № 4» Управления Федеральной службы исполнения наказаний России по Архангельской области (далее по тексту - ФКУ ИК-4). Данное учреждение предназначено для размещения лиц, приговоренных судом к лишению свободы.

В ближайшие годы в Российской Федерации, как информирует Министерство юстиции РФ, предполагается привлечение к принудительным работам 100% осужденных, имеющих на это право. Их труд планируется использовать на производственных объектах, в строительстве и в экологических проектах. В главе 8.1 УИК РФ предусмотрено содержание осужденных к принудительным работам в специальных учреждениях – исправительных центрах на территории Российской Федерации [23]. Такие центры, как правило, создаются при исправительных учреждениях.

В процессе осуществления специальной программы Федеральной службы исполнения наказаний РФ на территории Архангельской области планируется открытие исправительного центра для осужденных к исправительным работам при ФКУ ИК-4 (далее по тексту – ИУФИЦ).

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является разработка системы электроснабжения здания центра к принудительным работам в Архангельской области. Основными рассматриваемыми вопросами при этом являются:

- проектирование с учетом особенностей объекта;
- правильный выбор уровней напряжения для объекта и построение схемы;
- определение параметров схемы, выбор электрооборудования, проводников и защиты в соответствии с уровнем надежности.

## **1 Обоснование актуальности разрабатываемой темы. Краткая характеристика объекта проектирования**

### **1.1 Обоснование актуальности разрабатываемой темы**

При вводе в эксплуатацию новых объектов, а также модернизации существующих, предъявляются требования к их рациональному (надежному и качественному) электроснабжению.

К ним выдвигаются требования, а именно:

- организация надежного электроснабжения;
- реализация мероприятий по обеспечению безопасности персонала;
- обеспечение экономного использования энергоресурсов;
- проект электроснабжения должен содержать решения, позволяющие снизить потери в линиях и трансформаторах, а также уменьшить выработку реактивной электроэнергии.

Для исключения перерасхода электроэнергии и дополнительной амортизации источников света и осветительного оборудования необходимо обеспечить использование энергосберегающих устройств, а именно светильников со светодиодными лампами.

Актуальность темы работы в сфере проектирования заключается в выборе оптимальной конфигурации сети, выборе экономически целесообразных технических параметров сети и режимов работы, что способствует снижению издержек на транспортировку электрической энергии.

### **1.2 Краткая характеристика объекта проектирования**

Объект электроснабжения представляет собой здание общежития ИУФИЦ при ФКУ ИК-4 УФСИН России по Архангельской области для проживания осужденных мужчин вместимостью 45 мест.

Здание общежития – это исправительный центр для размещения лиц, приговоренных судом к наказанию в виде принудительных работ.

В общежитиях таких центров обеспечиваются нормальные коммунально-бытовые условия, включая возможность приготовления и разогрева пищи и проведения досуга.

На первом этаже располагаются административные, хозяйственные, бытовые и специальные помещения для охраны и досмотра. На втором этаже находятся жилые комнаты и бытовые помещения, комната для воспитательной работы.

Высота от пола до потолка во всех помещениях составляет 3,0 м.

Здание имеет плоскую полимерную кровлю, стены здания выполнены из негорючего материала. Стены и потолок окрашены в светлые тона.

Общая площадь всех помещений составляет 972,71 м<sup>2</sup>.

Назначение и площади помещений общежития (экспликация) указаны в таблице 1.

По категории электроснабжения электроприемники относятся ко второй категории и частично к первой категории надежности электроснабжения. К электроприемникам первой категории относятся приборы охранно-пожарной сигнализации и системы оповещения, светильники эвакуационного освещения.

Питание электроприемников выполняется от сети 380/220 В с системой заземления TN-C-S.

Состав электрооборудования и электроосвещения должен соответствовать установленным требованиям.

С учетом требований [7] потребителями электроэнергии в здании ИУФИЦ являются:

- электроосвещение;
- электроприемники, подключаемые в розеточную сеть;
- электроприемники системы вентиляции;
- аварийный источник горячего водоснабжения (водонагреватель);

- бытовые электрические плиты;
- электроприемники управления технологическими процессами: охранной сигнализации и системы оповещения, системы противопожарной защиты.

Ведомость силовых электрических нагрузок и технические характеристики электроприемников здания общежития, рассчитанных в соответствии с [7], представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Экспликация помещений здания общежития

| № на плане        | Наименование помещений                                                  | Площадь $S$ , мм <sup>2</sup> |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1                 | 2                                                                       | 3                             |
| Подвал            |                                                                         |                               |
| 1                 | Подвальное помещение                                                    | 15,60                         |
| 2                 | Подвальное помещение                                                    | 15,10                         |
| 3                 | Подвальное помещение                                                    | 148,70                        |
| 4                 | Подвальное помещение                                                    | 115,50                        |
| 5                 | Подвальное помещение                                                    | 30,20                         |
| Итого по подвалу: |                                                                         | 325,10                        |
| 1 этаж            |                                                                         |                               |
| 1                 | Тамбур                                                                  | 1,80                          |
| 2                 | Коридор                                                                 | 5,30                          |
| 3                 | Помещение дежурной смены                                                | 10,69                         |
| 4                 | Душевая                                                                 | 10,27                         |
| 5                 | Комната мытья и хранения посуды                                         | 9,90                          |
| 6                 | Комната приготовления, подогрева и раздачи пищи                         | 14,03                         |
| 7                 | Кабинет начальника участка ИЦ                                           | 27,96                         |
| 8                 | Помещение для содержания нарушителей 2-местное                          | 15,81                         |
| 9                 | Помещение для содержания нарушителей 2-местное                          | 13,19                         |
| 10                | Тамбур                                                                  | 1,43                          |
| 11                | Сан.кабинка                                                             | 0,75                          |
| 12                | Сан.кабинка                                                             | 0,75                          |
| 13                | Безопасное помещение для краткосрочного содержания осужденных 2-местное | 9,19                          |
| 14                | Помещение для содержания нарушителей 2-местное                          | 12,80                         |
| 15                | Кабинет группы специального учета и делопроизводства                    | 13,52                         |
| 16                | Сан.кабинка                                                             | 0,75                          |
| 17                | Комната хранения питания и приема пищи                                  | 26,05                         |
| 18                | Помещение хранения уборочного инвентаря                                 | 2,12                          |
| 19                | Постирочная                                                             | 8,01                          |
| 20                | Коридор                                                                 | 14,31                         |
| 21                | Комната быта                                                            | 9,54                          |
| 22                | Помещение хранения личных вещей осужденных                              | 15,10                         |
| 23                | Помещение отдыха дежурной смены                                         | 9,29                          |

Продолжение таблицы 1

|                   |                                                |        |
|-------------------|------------------------------------------------|--------|
| 24                | Комната подогрева и приема пищи дежурной смены | 7,80   |
| 25                | Душевая                                        | 2,49   |
| 26                | Душевая                                        | 2,50   |
| 27                | Гардеробная дежурной смены                     | 4,88   |
| 28                | Санузел                                        | 2,15   |
| 29                | Лестничная клетка                              | 15,70  |
| 30                | Коридор                                        | 32,17  |
| 31                | Коридор                                        | 9,07   |
| 32                | Сан.кабинка                                    | 0,75   |
| 33                | Помещение для досмотра                         | 9,48   |
| Итого по 1 этажу: |                                                | 319,55 |
| 2 этаж            |                                                |        |
| 1                 | Лестничная клетка                              | 15,50  |
| 1                 | 2                                              | 3      |
| 2                 | Комната жилая 3-местная                        | 14,95  |
| 3                 | Комната жилая 6-местная                        | 24,11  |
| 4                 | Комната жилая 6-местная                        | 26,36  |
| 5                 | Комната жилая 4-местная                        | 16,90  |
| 6                 | Комната жилая 6-местная                        | 26,18  |
| 7                 | Комната жилая 6-местная                        | 33,04  |
| 8                 | Тамбур                                         | 7,64   |
| 9                 | Умывальная                                     | 9,50   |
| 10                | Санузел                                        | 8,50   |
| 11                | Комната воспитательной работы                  | 23,60  |
| 12                | Комната жилая 2-местная                        | 10,50  |
| 13                | Комната жилая 6-местная                        | 27,59  |
| 14                | Комната жилая 6-местная                        | 27,55  |
| 15                | Коридор                                        | 56,14  |
| Итого по 2 этажу: |                                                | 328,06 |
| Всего по зданию:  |                                                | 972,71 |

Таблица 2 – Ведомость силовых электрических нагрузок и технические характеристики электроприемников здания общежития

| Наименование электроприемников                          | Количество,<br>n, шт | Установленная<br>мощность,<br>$P_{уст}$ , кВт | Коэффициент<br>мощности<br>$\cos\varphi$ |
|---------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|
| Розетки                                                 | 97                   | 0,1                                           | 0,95                                     |
| Бытовые электрические плиты                             | 3                    | 9,0                                           | 1,0                                      |
| Водонагреватель                                         | 1                    | 15                                            | 1,0                                      |
| Вентиляция                                              | 1                    | 30                                            | 0,8                                      |
| Электроприемники управления технологическими процессами | 1                    | 2,0                                           | 0,95                                     |

## 2 Расчет электрических нагрузок на стороне 0,4 кВ

### 2.1 Расчет электрических нагрузок системы освещения

Расчет освещения здания производится методом коэффициента использования светового потока.

Индекс помещения  $i$  [4]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (1)$$

где  $A, B$  – размеры помещения, м;

$H_p$  – высота подвеса светильников, м.

Световой поток  $\Phi$  в светильнике [4]:

$$\Phi = \frac{E_{\text{норм}} \cdot S \cdot K_{\text{зап}} \cdot Z}{N \cdot \eta_{\text{и}}}, \quad (2)$$

где  $E_{\text{норм}}$  – норма освещенности, лк, принимается по справочным данным [7];

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$K_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса; принимается по справочным данным в зависимости от освещаемого объекта; для всех помещений с нормальной средой  $K_{\text{зап}} = 1,3$  [15];

$Z$  – коэффициент минимальной освещенности, принимается приближенно равным 1,1 для светодиодных ламп [15];

$N$  – число светильников, шт.;

$\eta_{\text{и}}$  – коэффициент использования светового потока, о.е. [15].

Для освещения помещений здания выбираются светодиодные лампы,

которые обладают рядом преимуществ: низкое энергопотребление, экологичность, длительный срок службы.

Количество ламп в светильнике [4]:

$$N = \frac{E_{\text{норм}} \cdot S \cdot K_{\text{зап}} \cdot Z}{\Phi_{\text{л}} \cdot \eta_{\text{и}}}, \quad (3)$$

где  $\Phi_{\text{л}}$  – световой поток лампы, лм.

Выполняется расчет для помещения №13 первого этажа с габаритными размерами:  $A = 3,69$  м;  $B = 2,49$  м;  $H_{\text{р}} = 3,0$  м.

Рассчитывается индекс помещения по формуле (1):

$$i = \frac{3,69 \cdot 2,49}{3,0 \cdot (3,69 + 2,49)} = 0,50.$$

Выбираются потолочные светильники ДВО/ДПО12-34-001 со светодиодными лампами мощностью 34 Вт.

По паспортным данным выбранного светильника [1]  $\Phi_{\text{л}} = 3661$  лм.

Коэффициент отражения помещений здания в зависимости от цвета и исполнения принимаем: потолка - 50%, стен – 30%, пола – 10%. [15]

Коэффициент использования по [15]  $\eta_{\text{и}} = 0,34$

Тогда по формуле (3):

$$N = \frac{150 \cdot 9,19 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{3661 \cdot 0,34} = 1,6 \approx 2 \text{ шт.}$$

Для помещения № 13 первого этажа определили требуемое количество светильников: 2 шт

Определяется мощность осветительной установки в одном помещении по формуле [15]:

$$P_{\text{oy}} = K_{\text{с}} \cdot P_{\text{ном.л}} \cdot N_{\text{св}}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{oy}}$  – мощность осветительной установки в помещении;

$K_{\text{с}}$  – коэффициент спроса, принимается  $K_{\text{с}} = 1$ , согласно [15];

$P_{\text{ном.л}}$  – номинальная мощность одной лампы, Вт [15];

$N_{\text{св}}$  – количество светильников в помещении, шт.

$$P_{\text{oy}} = 1 \cdot 34 \cdot 2 = 68 \text{ Вт.}$$

Для остальных помещений расчет аналогичен.

В зависимости от назначения помещений и норм освещенности выбираются светодиодные светильники различного исполнения с разным световым потоком и номинальной мощностью лампы: ДПП03-13-001[1], ДБО88-18-001[1], ДПО02-40-001[1]. Результаты расчетов сводятся в таблицу А.1.

## 2.2 Расчет суммарных электрических нагрузок

Расчет нагрузки является одним из первых шагов в процессе проектирования электрической распределительной системы здания.

Согласно нормам проектирования [24] расчетная нагрузка на вводе здания общежития  $P_{\text{р}}$  при смешанном питании:

$$P_{\text{р}} = 0,75 \cdot (P_{\text{р.р}} + P_{\text{р.о}} + P_{\text{р.пл}} + P_{\text{р.ст}} + P_{\text{р.с}}), \quad (5)$$

Где  $P_{\text{р.р}}$  – нагрузка от ЭП подключаемых к розеткам, кВт;

$P_{\text{р.о}}$  – нагрузка от освещения, кВт;

$P_{\text{р.пл}}$  – нагрузка от электроплит, кВт;

$P_{\text{р.ст}}$  – нагрузка от санитарно-технического оборудования, кВт;

$P_{p.c}$  – нагрузка от силовых электроприемников (управления технологическими процессами и т.д.), кВт.

Расчетная нагрузка групповых и питающих линий от ЭП, подключаемых к розеткам [24]:

$$P_{p.p} = P_{уд} \cdot n_p \cdot K_{o.p}, \quad (6)$$

где  $P_{уд}$  – удельная мощность одной розетки, кВт по [19];

$n_p$  – количество розеток, шт.;

$K_{o.p}$  – коэффициент одновременности по [19].

Расчетная нагрузка питающих линий от общего освещения  $P_{p.o}$  определяется по формуле [24]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} \cdot P_{oy}, \quad (7)$$

где  $K_{c.o}$  – коэффициент спроса осветительной установки по [24]

$P_{oy}$  – установленная мощность осветительной установки, кВт.

Расчетная нагрузка питающих линий от бытовых электрических плит определяется по формуле [24]:

$$P_{p.пл} = P_{пл} \cdot n_{пл} \cdot K_{c.пл}, \quad (8)$$

где  $P_{p.пл}$  – расчетная нагрузка питающих линий от бытовых электрических плит, кВт;

$P_{пл}$  – удельная мощность одной бытовой плиты, кВт;

$n_{пл}$  – количество бытовых плит, шт.;

$K_{c.пл}$  – коэффициент спроса по [24].

Расчетная нагрузка питающих линий от санитарно-технического оборудования в проектируемом здании  $P_{ст} = 0$ .

Расчетная реактивная нагрузка  $Q_p$  [2]:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (9)$$

где  $P_p$  – расчетная активная нагрузка, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности.

Полная расчетная нагрузка  $S_p$  [2]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (10)$$

Расчетный ток ЭП для трехфазной сети [2]:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (11)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение, кВ;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности.

Расчетный ток ЭП для однофазной сети [2]:

$$I_p = \frac{P_p}{U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{U_{ном}}, \quad (12)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение однофазной сети, кВ.

С учетом расположения помещений все электроприемники разбиваются на группы. Согласно норм может быть несимметричность

нагрузки по фазам 15% [16].

Далее выполняется расчет нагрузок групп потребителей, подключенных к силовым распределительным щитам (ЩС1 и ЩС2), к распределительным щитам освещения (ЩО1 и ЩО2) с распределением указанных нагрузок между двумя секциями основного РУ-0,4 кВ здания.

Расчет нагрузок всех групп потребителей и вводов выполняется в табличной форме. Результаты расчета электрических нагрузок помещений по группам с учетом данных расчета освещения по таблице 3 и данных силовых нагрузок по таблице 2 приводятся в таблице Б.1.

По результатам вычислений расчетная активная нагрузка здания общежития ИУФИЦ на вводе в РУ-0,4 кВ ТП-39 составляет 91,5 кВт, реактивная нагрузка составляет 38,25 квар.

### 3 Выбор трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности. Проверка возможности присоединения к существующей ТП-10/0,4 кВ

Количество трансформаторов для трансформаторной подстанции (ТП) определяется заданным уровнем надёжности и мощностью ЭП.

Номинальная мощность  $S_{\text{ном.тр}}$  силового трансформатора ТП с учетом потерь мощности в трансформаторе осуществляется по формуле [2]:

$$S_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{\text{р.ВН}}}{n_{\text{тр}} \cdot k_3}, \quad (13)$$

где  $S_{\text{р.ВН}}$  – полная расчетная нагрузка ТП на стороне ВН, кВА;

$n_{\text{тр}}$  – количество трансформаторов, шт.;

$k_3$  – коэффициент загрузки трансформатора.

$$K_{\text{загр}} = \frac{S_{\text{р.НН}}}{S_{\text{ном.тр}} \cdot n_{\text{тр}}}, \quad (14)$$

где  $S_{\text{р.НН}}$  – полная расчетная нагрузка ТП на стороне НН, кВА;

$$K_{\text{пер}} = \frac{S_{\text{р.НН}}}{S_{\text{ном.тр}} \cdot (n_{\text{тр}} - 1)}, \quad (15)$$

Коэффициент перегрузки в послеаварийном режиме сравнивается с допустимым  $K_{\text{доп.пер}}$  [3]:

$$K_{\text{доп.пер}} \geq K_{\text{пер}}, \quad (16)$$

Перед проведением проверки возможности подключения здания

общежития к существующей ТП-39 необходимо произвести расчет существующей нагрузки с учетом компенсации реактивной мощности.

Существующая нагрузка на ТП-39 без компенсации реактивной мощности представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Существующая нагрузка на ТП-39 без компенсации реактивной мощности

| Параметр           | $\cos\varphi$ | $\operatorname{tg}\varphi$ | $P_p$ ,<br>кВт | $Q_p$ ,<br>квар | $S_3$ ,<br>кВА |
|--------------------|---------------|----------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Всего на НН без КУ | 0,83          | 0,67                       | 215,00         | 144,05          | 258,80         |

Мощность  $Q_{к.р}$  компенсирующего устройства (КУ) по [14]:

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_p \cdot (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k), \quad (17)$$

Рекомендуемый коэффициент мощности после компенсации  $\cos\varphi_k = 0,95$ , тогда  $\operatorname{tg}\varphi_k = 0,33$ .

По формуле (17) определяется расчетная мощность компенсирующего устройства (КУ):

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 215 \cdot (0,67 - 0,33) = 65,79 \text{ квар.}$$

Устанавливаются две КУ марки УКМ58-0,4-35-5У3 по 35 квар [10].

Фактические значения  $\operatorname{tg}\varphi_\phi$  и  $\cos\varphi_\phi$  после компенсации [14]:

$$\operatorname{tg}\varphi_\phi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_p}, \quad (18)$$

где  $Q_{к.ст}$  – стандартное значение мощности КУ, квар.

$$\operatorname{tg} \varphi_{\phi} = 0,67 - \frac{2 \cdot 35}{0,9 \cdot 215} = 0,31.$$

По значению  $\operatorname{tg} \varphi_{\phi}$  определяют  $\cos \varphi_{\phi}$ :

$$\cos \varphi_{\phi} = \cos(\operatorname{arctg} \varphi_{\phi}), \quad (19)$$

По формуле (19) определяется фактическое значение  $\cos \varphi_{\phi}$ :

$$\cos \varphi_{\phi} = \cos(\operatorname{arctg} 0,31) = 0,96.$$

Определяются расчетные нагрузки с учетом компенсации реактивной мощности:

$$P_{\text{р.нн}} = 215 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.нн}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{к.ст}} = 144,05 - 70 = 74,05 \text{ квар},$$

$$S_{\text{р.нн}} = \sqrt{215^2 + 74,05^2} = 227,39 \text{ кВА}.$$

Расчетная мощность трансформатора определяется с учетом потерь в трансформаторе, приближенно определяемых по выражениям [14]:

$$\Delta P_{\text{т}} = 0,02 \cdot S_{\text{р.нн}}, \quad (20)$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = 0,1 \cdot S_{\text{р.нн}}, \quad (21)$$

$$\Delta S_{\text{т}} = \sqrt{\Delta P_{\text{т}}^2 + \Delta Q_{\text{т}}^2}, \quad (22)$$

где  $S_{\text{р.нн}}$  – расчетная полная мощность объекта на стороне НН с учетом компенсации, кВА.

Определяются потери в трансформаторе по формулам (20) – (22):

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 227,39 = 4,55 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 227,39 = 22,74 \text{ квар},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{4,55^2 + 22,74^2} = 23,19 \text{ кВА}.$$

Параметры нагрузки на стороне ВН с учетом компенсации:

$$P_{p.ВН} = P_{p.НН} + \Delta P_T = 215 + 4,55 = 219,55 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.ВН} = Q_{p.НН} + \Delta Q_T = 74,05 + 22,74 = 96,79 \text{ квар},$$

$$S_{p.ВН} = \sqrt{219,55^2 + 96,79^2} = 239,94 \text{ кВА}.$$

Таблица 4 – Сводная ведомость нагрузок на ТП-39

| Параметр           | $\cos\varphi\varphi$ | $\operatorname{tg}\varphi\varphi$ | $P_p$ ,<br>кВт | $Q_p$ ,<br>квар | $S_3$ ,<br>кВА |
|--------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Всего на НН без КУ | 0,83                 | 0,67                              | 215,00         | 144,05          | 258,80         |
| КУ                 | -                    | -                                 | -              | 2×35            | -              |
| Всего на НН с КУ   | 0,96                 | 0,31                              | 215,00         | 74,05           | 227,39         |
| Потери             | -                    | -                                 | 4,55           | 22,74           | 23,19          |
| Всего на ВН с КУ   | -                    | -                                 | 219,55         | 96,79           | 239,94         |

Вычисляется расчетная нагрузка на один трансформатор с учетом потерь мощности в трансформаторе по формуле (13):

$$S_{\text{ном.тр}} = \frac{239,94}{2 \cdot 0,7} = 171,38 \text{ кВА}.$$

Ближайшее большее стандартное значение – трансформатор мощностью 250 кВА, поэтому выбираем для установки в ТП два силовых трансформатора типа ТМГ-250-10/0,4.

Технические данные выбранных трансформаторов указаны в таблице 5 [12].

Таблица 5 – Технические характеристики трансформатора ТП-10/0,4 кВ

| Тип        | Номинальная мощность, кВА | Номинальное напряжение, кВ |     | Потери, кВт |     | Напряжение КЗ, % | Ток ХХ, % |
|------------|---------------------------|----------------------------|-----|-------------|-----|------------------|-----------|
|            |                           | ВН                         | НН  | ХХ          | КЗ  |                  |           |
| ТМГ-250/10 | 250                       | 10                         | 0,4 | 0,74        | 3,7 | 4,5              | 2,3       |

$$K_{\text{пер}} = \frac{227,39}{250 \cdot (2 - 1)} = 0,91.$$

По условию (16) выполняется проверка силового трансформатора в послеаварийном режиме:

$$1,4 > 0,91.$$

Условие выполняется.

Выполняется проверка возможности подключения проектируемого здания к ТП-39. Определяется суммарная нагрузка, потери мощности. Результаты вносятся в таблицу 6.

Мощность силового трансформатора:

$$S_{\text{ном.тр}} = \frac{344,96}{2 \cdot 0,7} = 246,4 \text{ кВА.}$$

Таблица 6 – Сводная ведомость нагрузок на ТП-39 с учетом присоединенной мощности объекта

| Параметр                             | $\cos\varphi\varphi$ | $\text{tg}\varphi\varphi$ | $P_p$ , кВт | $Q_p$ , квар | $S_3$ , кВА |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------|-------------|--------------|-------------|
| Всего на НН с КУ                     | 0,83                 | 0,67                      | 215,00      | 74,05        | 227,39      |
| Нагрузка объекта                     | 0,92                 | 0,43                      | 91,5        | 38,25        | 99,17       |
| Всего на НН с КУ и нагрузкой объекта | -                    | -                         | 306,50      | 112,30       | 326,43      |
| Потери                               | -                    | -                         | 6,53        | 32,64        | 33,29       |
| Всего на ВН с КУ и нагрузкой объекта | -                    | -                         | 313,03      | 144,94       | 344,96      |

$$K_{\text{загр}} = \frac{326,43}{250 \cdot 2} = 0,65.$$

$$K_{\text{пер}} = \frac{326,43}{250 \cdot (2 - 1)} = 1,31.$$

По условию (16) выполняется проверка силового трансформатора в послеаварийном режиме:

$$1,4 > 1,31.$$

Условие выполняется.

Выбранный силовой трансформатор типа ТМГ-250-10/0,4, мощностью 250 кВА способен присоединить нагрузку здания общежития без замены и выдерживать нагрузки в нормальном и послеаварийном режимах.

#### **4 Выбор и обоснование схемы электроснабжения**

При выборе схем электроснабжения необходимо руководствоваться требованиями Правил устройства электроустановок [16]. При этом схемы должны быть максимально простыми и надежными.

Согласно правил [16] электроприемники I и II категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых, взаимно резервирующих источников питания.

Питающая сеть проектируемого объекта, имеющего потребителей второй и первой категории, осуществляется по двум независимым, взаимно резервирующим кабельным линиям 0,4 кВ от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ до вводно-распределительного устройства 0,4 кВ (ВРУ-0,4 кВ) объекта.

Высоковольтный выключатель напряжением 10 кВ устанавливается на распределительном пункте энергосистемы со стороны питания.

В ТП для защиты трансформатора устанавливаются автоматические выключатели ввода, для защиты отходящих линий, питающих потребителей, предусмотрены линейные автоматические выключатели.

Схема электрических соединений ТП приведена на рисунке 1.

Питание электроприемников (ЭП) здания общежития осуществляется от ВРУ-0,4 кВ, выполненного по двухлучевой схеме с перекидным рубильником.

Электроснабжение ЭП I категории осуществляется от ВРУ-0,4 кВ через щит АВР. Отдельные электроприемники дополнительно оснащены резервными источниками питания (аккумуляторными батареями).

ВРУ-0,4 кВ объекта устанавливается в помещении №3 дежурной смены на первом этаже. Здесь же размещаются: основное распределительное устройство (РУ), щит аварийного (эвакуационного) освещения щит (ЩАО), щит управления технологическими процессами (ЩУТП), щит ЩВ для подключения ЭП вентиляции, силовой щит ЩС1 и щит освещения ЩО1 для питания групп потребителей первого этажа и подвальных помещений.

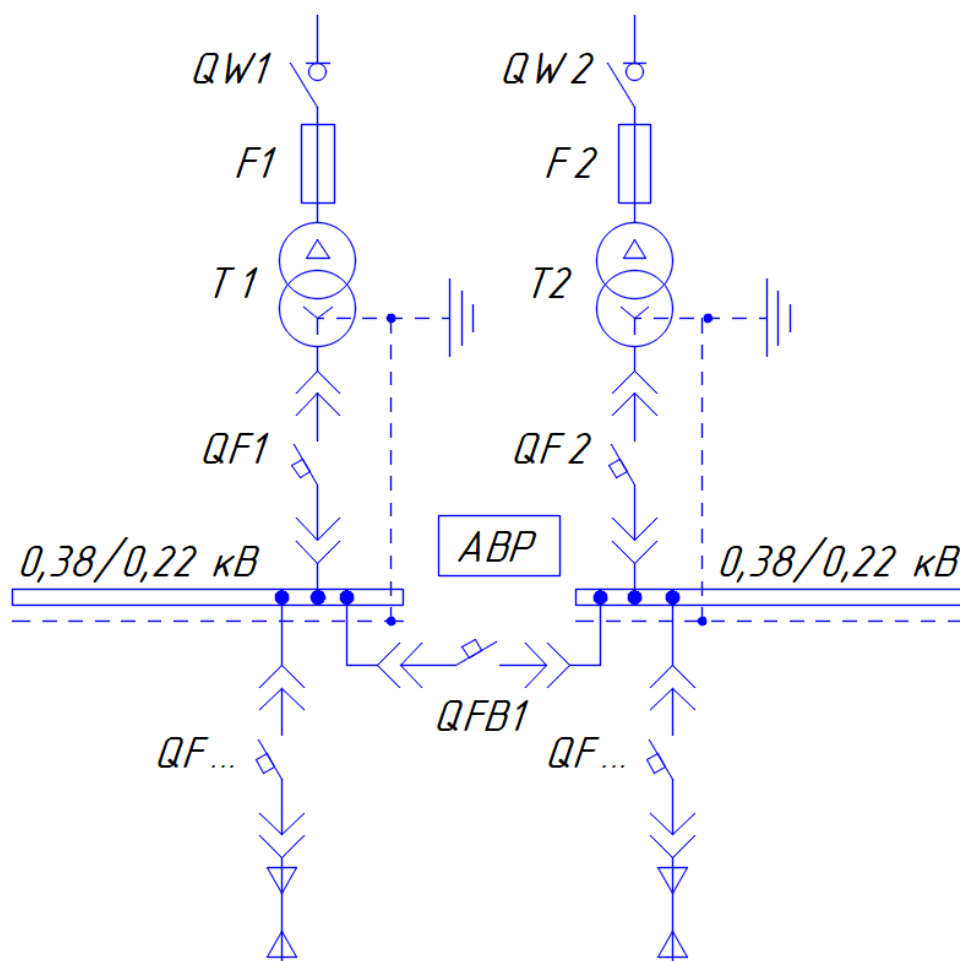


Рисунок 1 – Схема электрических соединений ТП

Щиты ЩС1, ЩС2, ЩО1, ЩО2, ЩВ и ЩУТП подключаются к распределительному устройству (РУ). РУ, в свою очередь, подключается к вводному устройству (ВУ) двумя вводами.

Питание электроприемников систем противопожарной защиты (СПЗ) осуществляется от панели противопожарных устройств (ППУ).

Щит ППУ подключается к ВУ через щит автоматического ввода резерва (АВР), который устанавливается в одном помещении с ВУ и ППУ.

ВРУ-0,4 кВ предусматривается в шкафах напольного исполнения, распределительные щиты – навесные.

Выбранная схема электроснабжения соответствует заданной категории надежности электроснабжения

## 5 Расчет токов короткого замыкания

Для вычисления трехфазного тока КЗ применяется выражение [17]:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{к}}}{\sqrt{3}Z_{\text{к}}}, \quad (23)$$

где  $U_{\text{к}}$  – линейное напряжение в точке КЗ, кВ;

$Z_{\text{к}}$  – полное сопротивление до точки КЗ, Ом.

$$I_{\text{к}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (24)$$

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{U_{\text{кф}}}{Z_{\text{п}} + \frac{Z_{\text{т}}^{(1)}}{3}}, \quad (25)$$

где  $U_{\text{кф}}$  – фазное напряжение в точке КЗ, кВ;

$Z_{\text{п}}$  – полное сопротивление петли «фаза – нуль» до точки КЗ, Ом;

$Z_{\text{т}}^{(1)}$  – полное сопротивление трансформатора 1-фазному КЗ, Ом.

$$i_{\text{y}} = \sqrt{2} K_{\text{y}} I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (26)$$

где  $K_{\text{y}}$  – ударный коэффициент, определяется по графику [23]:

$$K_{\text{y}} = F \left( \frac{R_{\text{к}}}{X_{\text{к}}} \right), \quad (27)$$

Действующее значение ударного тока [17]:

$$I_{\text{y}} = q I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (28)$$

где  $q$  – коэффициент действующего значения ударного тока:

$$q = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}, \quad (29)$$

На рисунке 2 представлена расчетная схема для вычисления токов КЗ.

Далее определяются параметры схемы замещения.

Ток со стороны системы [23]:

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_c}, \quad (30)$$

где  $S_T$  – полная мощность трансформатора, кВА;

$U_c$  – напряжение сети, кВ.

$$I_c = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,45 \text{ А.}$$

КЛ-10 кВ выполнена кабелем АПвЭГПу-10(1х50/35) длиной 0,6 км.

По справочным данным [11]:  $I_{доп} = 152 \text{ А}; \quad x_0 = 0,09 \text{ Ом/км};$

$r_0 = 0,625 \text{ Ом/км};$

$$R_{л} = r_0 L_{л}, \quad (31)$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление, мОм/м;

$$X_{л} = x_0 L_{л}, \quad (32)$$

где  $x_0$  – удельное индуктивное сопротивление, мОм/м;

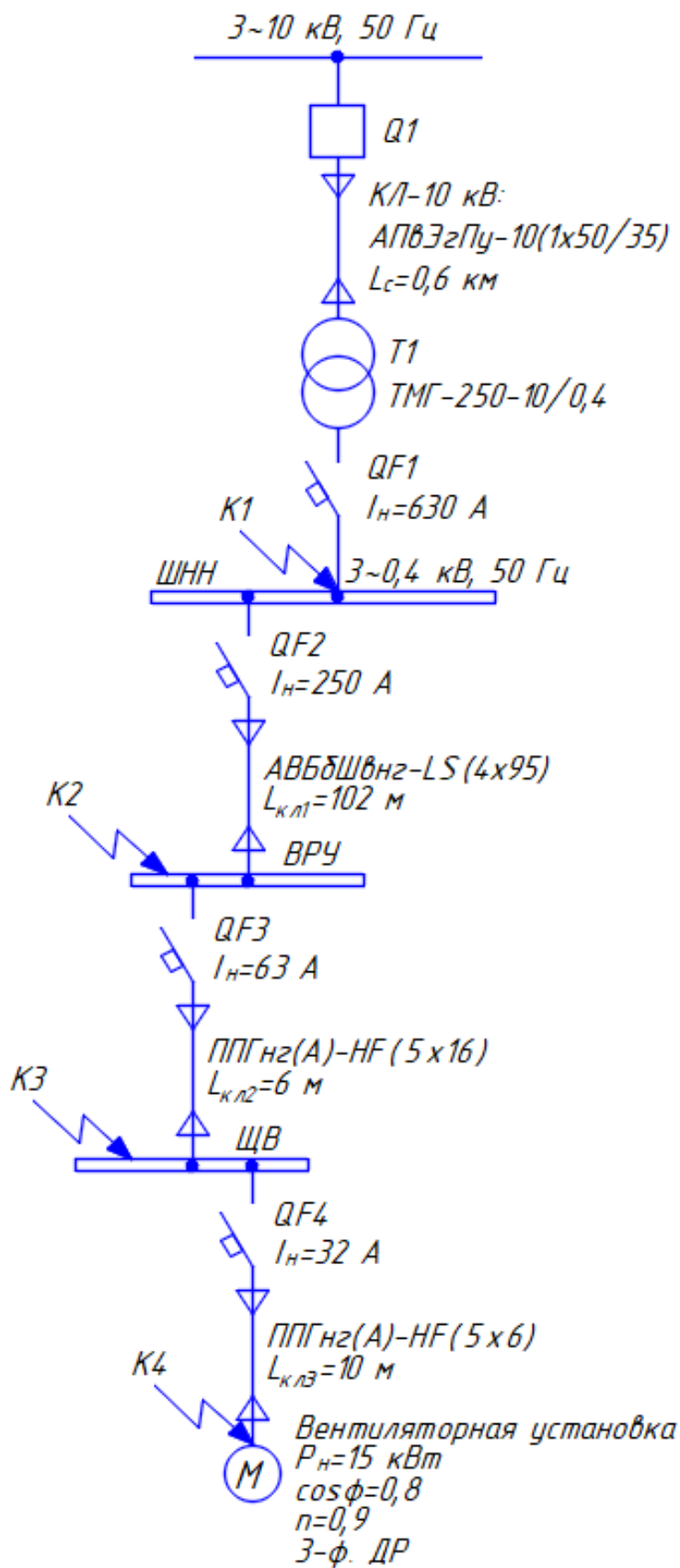


Рисунок 2 – Расчетная схема электроснабжения

По формулам (31) и (32):

$$X'_c = x_0 \cdot L_{\text{кл}} = 0,09 \cdot 0,6 = 0,054 \text{ Ом};$$

$$R'_c = r_0 \cdot L_{\text{кл}} = 0,625 \cdot 0,6 = 0,375 \text{ Ом}.$$

Сопротивления элементов на ВН приводятся к НН по формулам [17]:

$$R_{\text{НН}} = R_{\text{ВН}} \left( \frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}} \right)^2, \quad (33)$$

$$X_{\text{НН}} = X_{\text{ВН}} \left( \frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}} \right)^2, \quad (34)$$

где  $R_{\text{НН}}$  и  $X_{\text{НН}}$  – сопротивления, приведенные к НН, мОм;

$R_{\text{ВН}}$  и  $X_{\text{ВН}}$  – активное и индуктивное сопротивления на стороне ВН, мОм;

$U_{\text{НН}}$  и  $U_{\text{ВН}}$  – напряжения низкое и высокое, кВ.

По формулам (33) и (34):

$$R_c = 0,375 \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,6 \text{ мОм};$$

$$X_c = 0,054 \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,09 \text{ мОм}.$$

Для силового трансформатора принимается по [22]:

$$R_T = 9,4 \text{ мОм};$$

$$X_T = 27,2 \text{ мОм};$$

$$Z_T^{(1)} = 312 \text{ мОм.}$$

Для автоматических выключателей [22]:

- QF1:  $R_{QF1} = 0,15 \text{ мОм}$ ,  $X_{QF1} = 0,17 \text{ мОм}$ ,  $R_{\pi QF1} = 0,4 \text{ мОм}$ ;
- QF2:  $R_{QF2} = 0,7 \text{ мОм}$ ,  $X_{QF2} = 0,7 \text{ мОм}$ ;  $R_{\pi QF2} = 0,7 \text{ мОм}$ ;
- QF3:  $R_{QF3} = 2,4 \text{ мОм}$ ;  $X_{QF3} = 2 \text{ мОм}$ ;  $R_{\pi QF3} = 1 \text{ мОм}$ ;
- QF4:  $R_{QF4} = 5,5 \text{ мОм}$ ,  $X_{QF4} = 4,5 \text{ мОм}$ ;  $R_{\pi QF4} = 1,3 \text{ мОм}$ .

Для КЛ-0,4 кВ по [22]:

- КЛ1:  $r_0 = 0,329 \text{ мОм/м}$ ,  $x_0 = 0,081 \text{ мОм/м}$ ,  $L_{\text{кл1}} = 102 \text{ м}$ ;
- КЛ2:  $r_0 = 1,16 \text{ мОм/м}$ ,  $x_0 = 0,095 \text{ мОм/м}$ ,  $L_{\text{кл2}} = 6 \text{ м}$ ;
- КЛ3:  $r_0 = 3,09 \text{ мОм/м}$ ,  $x_0 = 0,1 \text{ мОм/м}$ ,  $L_{\text{кл2}} = 10 \text{ м}$ .

По формулам (31) и (32) определяются сопротивления КЛ-0,4 кВ:

$$R_{\text{кл1}} = 0,329 \cdot 102 = 33,56 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{кл1}} = 0,081 \cdot 102 = 8,26 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{кл2}} = 1,16 \cdot 6 = 6,96 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{кл2}} = 0,095 \cdot 6 = 0,57 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{кл3}} = 3,09 \cdot 10 = 30,9 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{кл3}} = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мОм}.$$

Для ступеней распределения по [22]:

$$R_{c1} = 15 \text{ мОм}, R_{c2} = 20 \text{ мОм}, R_{c3} = 25 \text{ мОм}.$$

На основании расчетной схемы формируется схема замещения рисунок 3, проставляются точки КЗ.

$$R_{\Sigma 1} = R_c + R_T + R_{QF1} + R_{\Pi QF1} + R_{c1} = 0,6 + 9,4 + 0,15 + 0,4 + 15 = 25,55 \text{ МОм};$$

$$X_{\Sigma 1} = X_c + X_T + X_{QF1} = 0,09 + 27,2 + 0,17 = 27,46 \text{ МОм};$$

$$R_{\Sigma 2} = R_{QF2} + R_{\Pi QF2} + R_{кЛ1} + R_{c2} = 0,7 + 0,7 + 33,56 + 20 = 54,96 \text{ МОм};$$

$$X_{\Sigma 2} = X_{QF2} + X_{кЛ1} = 0,7 + 8,26 = 8,96 \text{ МОм};$$

$$R_{\Sigma 3} = R_{QF3} + R_{\Pi QF3} + R_{кЛ2} + R_{c3} = 2,4 + 1 + 6,96 + 25 = 35,36 \text{ МОм};$$

$$X_{\Sigma 3} = X_{QF3} + X_{кЛ2} = 2 + 0,57 = 2,57 \text{ МОм};$$

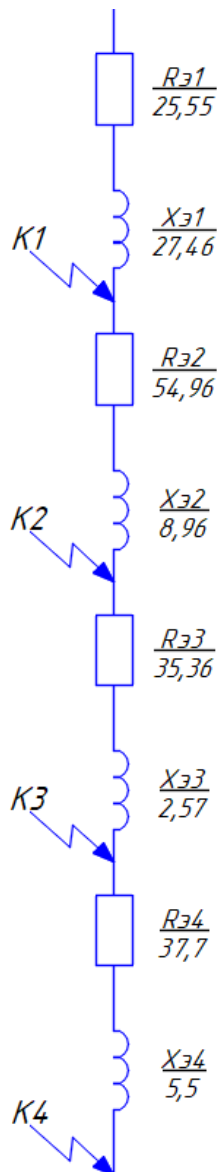


Рисунок 3 – Упрощенная схема замещения для расчета токов КЗ

$$R_{\text{э4}} = R_{QF4} + R_{\Pi QF4} + R_{\text{кл3}} = 5,5 + 1,3 + 30,9 = 37,7 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э4}} = X_{QF4} + X_{\text{кл3}} = 4,5 + 1 = 5,5 \text{ мОм};$$

Рассчитываются сопротивления до точек К3 и заносятся в таблицу 7.

$$R_{\text{К1}} = R_{\text{э1}} = 25,5 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{К1}} = X_{\text{э1}} = 27,46 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{К1}} = \sqrt{R_{\text{К1}}^2 + X_{\text{К1}}^2} = \sqrt{25,55^2 + 27,46^2} = 37,5 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{К2}} = R_{\text{К1}} + R_{\text{э2}} = 25,5 + 54,96 = 80,51 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{К2}} = X_{\text{К1}} + X_{\text{э2}} = 27,46 + 8,96 = 36,42 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{К2}} = \sqrt{R_{\text{К2}}^2 + X_{\text{К2}}^2} = \sqrt{80,51^2 + 36,42^2} = 88,4 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{К3}} = R_{\text{К2}} + R_{\text{э3}} = 80,51 + 35,36 = 115,87 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{К3}} = X_{\text{К2}} + X_{\text{э3}} = 36,42 + 2,57 = 38,99 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{К3}} = \sqrt{R_{\text{К3}}^2 + X_{\text{К3}}^2} = \sqrt{115,87^2 + 38,99^2} = 122,3 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{К4}} = R_{\text{К3}} + R_{\text{э4}} = 115,87 + 37,7 = 153,57 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{К4}} = X_{\text{К3}} + X_{\text{э4}} = 38,99 + 5,5 = 44,49 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{К4}} = \sqrt{R_{\text{К4}}^2 + X_{\text{К4}}^2} = \sqrt{153,57^2 + 44,49^2} = 159,9 \text{ мОм};$$

Для определения ударного коэффициента рассчитываются соотношения:

$$\frac{R_{\text{К1}}}{X_{\text{К1}}} = \frac{25,55}{27,46} = 0,93;$$

$$\frac{R_{\text{К2}}}{X_{\text{К2}}} = \frac{80,51}{36,42} = 2,21;$$

$$\frac{R_{\text{К3}}}{X_{\text{К3}}} = \frac{115,87}{38,99} = 2,97;$$

$$\frac{R_{K4}}{X_{K4}} = \frac{153,57}{44,49} = 3,45.$$

По формулам (27) и (29) определяются коэффициенты  $K_y$  и  $q$ :

$$K_{y1} = F\left(\frac{R_{K1}}{X_{K1}}\right) = F(0,93) = 1,0;$$

$$K_{y2} = F\left(\frac{R_{K2}}{X_{K2}}\right) = F(2,21) = 1,0;$$

$$K_{y3} = F\left(\frac{R_{K3}}{X_{K3}}\right) = F(2,97) = 1,0;$$

$$K_{y4} = F\left(\frac{R_{K4}}{X_{K4}}\right) = F(3,45) = 1,0;$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_{y1} - 1)^2} = 1;$$

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 1.$$

Рассчитываются трехфазные и двухфазные токи КЗ:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{K1}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 37,5} = 5,85 \text{ кА};$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{K2}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 88,4} = 2,48 \text{ кА};$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{K3}}{\sqrt{3}Z_{K3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 122,3} = 1,79 \text{ кА};$$

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{U_{K4}}{\sqrt{3}Z_{K4}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 159,9} = 1,37 \text{ кА};$$

$$I_{yK1} = q_1 \cdot I_{K1}^{(3)} = 5,85 \text{ кА};$$

$$I_{yK2} = q_2 \cdot I_{K2}^{(3)} = 2,48 \text{ кА};$$

$$I_{yK3} = q_3 \cdot I_{K3}^{(3)} = 1,79 \text{ кА};$$

$$I_{yK4} = q_4 \cdot I_{K4}^{(3)} = 1,37 \text{ кА};$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot K_{yK1} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 5,85 = 8,25 \text{ кА};$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot K_{yK2} \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 2,48 = 3,5 \text{ кА};$$

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot K_{yK3} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,79 = 2,53 \text{ кА};$$

$$i_{yK4} = \sqrt{2} \cdot K_{yK4} \cdot I_{K4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,37 = 1,93 \text{ кА};$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,85 = 5,07 \text{ кА};$$

$$I_{K2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K2}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,48 = 2,15 \text{ кА};$$

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K3}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,79 = 1,55 \text{ кА};$$

$$I_{K4}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K4}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,37 = 1,19 \text{ кА}.$$

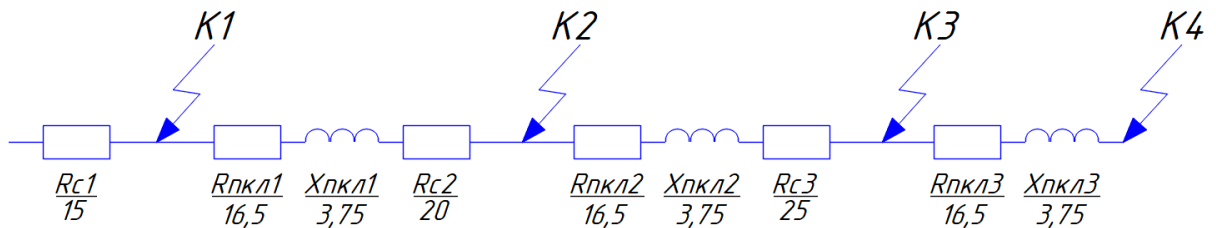


Рисунок 4 – Схема замещения для расчета однофазных токов КЗ

Удельное сопротивление петли «фаза-нуль» [22]:

$$r_{0\Pi} = 2r_0. \quad (35)$$

По формулам (31) и (32) определяются сопротивления КЛ:

$$R_{\text{пкЛ1}} = 2r_0 L_{\text{кЛ1}} = 2 \cdot 0,329 \cdot 102 = 67,12 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{пкЛ1}} = x_{0\text{п}} L_{\text{кЛ1}} = 0,15 \cdot 102 = 15,3 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{пкЛ2}} = 2r_0 L_{\text{кЛ2}} = 2 \cdot 1,16 \cdot 6 = 13,92 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{пкЛ2}} = x_{0\text{п}} L_{\text{кЛ2}} = 0,15 \cdot 6 = 0,9 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{пкЛ3}} = 2r_0 L_{\text{кЛ3}} = 2 \cdot 3,09 \cdot 10 = 61,8 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{пкЛ3}} = x_{0\text{п}} L_{\text{кЛ3}} = 0,15 \cdot 10 = 1,5 \text{ мОм};$$

Полное сопротивление:

$$Z_{\text{п1}} = 15 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{п2}} = R_{\text{с1}} + R_{\text{пкЛ1}} + R_{\text{с2}} = 15 + 67,12 + 20 = 102,12 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{п2}} = X_{\text{пкЛ1}} = 15,3 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{п2}} = \sqrt{R_{\text{п2}}^2 + X_{\text{п2}}^2} = \sqrt{102,12^2 + 15,3^2} = 103,3 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{п3}} = R_{\text{п2}} + R_{\text{пкЛ2}} + R_{\text{с3}} = 102,12 + 13,92 + 25 = 141,04 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{п3}} = X_{\text{п2}} + X_{\text{пкЛ2}} = 15,3 + 0,9 = 16,2 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{п3}} = \sqrt{R_{\text{п3}}^2 + X_{\text{п3}}^2} = \sqrt{141,04^2 + 16,2^2} = 142 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{п4}} = R_{\text{п3}} + R_{\text{пкЛ3}} = 141,04 + 61,8 = 202,84 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{п4}} = X_{\text{п3}} + X_{\text{пкЛ3}} = 16,2 + 1,5 = 17,7 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{п4}} = \sqrt{R_{\text{п4}}^2 + X_{\text{п4}}^2} = \sqrt{202,84^2 + 17,7^2} = 203,6 \text{ мОм};$$

По формуле (25) определяем токи однофазного КЗ:

$$I_{\text{К1}}^{(1)} = \frac{U_{\text{кф}}}{Z_{\text{п1}} + \frac{Z_{\text{т}}^{(1)}}{3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{15 + \frac{312}{3}} = 1,85 \text{ кА};$$

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{U_{\text{кф}}}{Z_{\text{п2}} + \frac{Z_{\text{Т}}^{(1)}}{3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{103,3 + \frac{312}{3}} = 1,06 \text{ кА};$$

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\text{кф}}}{Z_{\text{п3}} + \frac{Z_{\text{Т}}^{(1)}}{3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{142 + \frac{312}{3}} = 0,89 \text{ кА};$$

$$I_{K4}^{(1)} = \frac{U_{\text{кф}}}{Z_{\text{п4}} + \frac{Z_{\text{Т}}^{(1)}}{3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{203,6 + \frac{312}{3}} = 0,72 \text{ кА}.$$

Таблица 7 – Расчет токов КЗ

| Точка<br>КЗ | Трехфазные токи КЗ     |                        |                        |                             |                |     |                             |                       | Двухфазные<br>токи КЗ       | Однофазные<br>токи КЗ  |                             |
|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------|-----|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
|             | $R_{\text{к}},$<br>мОм | $X_{\text{к}},$<br>мОм | $Z_{\text{к}},$<br>мОм | $R_{\text{к}}/X_{\text{к}}$ | $K_{\text{у}}$ | $q$ | $I_{\text{к}}^{(3)},$<br>кА | $i_{\text{у}},$<br>кА | $I_{\text{к}}^{(2)},$<br>кА | $Z_{\text{п}},$<br>мОм | $I_{\text{к}}^{(1)},$<br>кА |
| K1          | 25,55                  | 27,46                  | 37,5                   | 0,93                        | 1,0            | 1   | 5,85                        | 8,25                  | 5,07                        | 15,00                  | 1,85                        |
| K2          | 80,51                  | 36,42                  | 88,4                   | 2,21                        | 1,0            | 1   | 2,48                        | 3,50                  | 2,15                        | 103,3                  | 1,06                        |
| K3          | 115,87                 | 38,99                  | 122,3                  | 2,97                        | 1,0            | 1   | 1,79                        | 2,53                  | 1,55                        | 142,0                  | 0,89                        |
| K4          | 153,57                 | 44,49                  | 159,9                  | 3,45                        | 1,0            | 1   | 1,37                        | 1,93                  | 1,19                        | 203,6                  | 0,72                        |

Расчёт токов короткого замыкания произведен, чтобы корректно выбрать электрооборудование и проверить его на электродинамическую и термическую устойчивость, а также правильно выбрать и настроить устройства релейной защиты и автоматики [22, 17].

## **6 Расчет и выбор электрооборудования и проводников (силовое электрооборудование и проводники до 1000 В и выше 1000 В)**

### **6.1 Расчет и выбор силового электрооборудования выше 1000 В**

Выбор электрических аппаратов (ЭА) напряжением выше 1 кВ осуществляют по условиям работы в нормальном (длительном) и максимальном режимах и режимах короткого замыкания [15].

Прочность изоляции для работы в длительном режиме и при кратковременных перенапряжениях:

$$U_{\text{ном.ЭА}} \geq U_{\text{ном.с}}, \quad (36)$$

где  $U_{\text{ном.ЭА}}$  – номинальное напряжение ЭА, кВ;

$U_{\text{ном.с}}$  – номинальное напряжение сети, кВ.

Допустимый нагрев токами в длительном режиме:

$$I_{\text{ном.ЭА}} \geq I_{\text{ф}}, \quad (37)$$

где  $I_{\text{ном.ЭА}}$  – номинальный ток ЭА, А;

$I_{\text{ф}}$  – ток максимального режима (форсированный ток), А.

Максимальный рабочий ток определяется по формуле:

$$I_{\text{ф}} = k_{\text{рез}} \cdot I_{\text{норм}}, \quad (38)$$

где  $k_{\text{рез}}$  – коэффициент резервирования, для двухтрансформаторной

ТП  $k_{\text{рез}} = 1,4$ ;

$I_{\text{норм}}$  – ток нормального режима, А.

Ток электродинамической стойкости:

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}, \quad (39)$$

где  $i_{\text{дин}}$  – ток электродинамической стойкости ЭА, кА;

$i_{\text{уд}}$  – расчетный ударный ток КЗ, кА.

б) Термическая стойкость при КЗ:

$$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq I_{\text{к}}^2 t, \quad (40)$$

где  $I$  и  $t$  – расчетные параметры тока КЗ и расчетной продолжительности отключения КЗ.

Дополнительные условия выбора:

– параметры основной функциональной характеристики:

- для коммутационных ЭА – это ток отключения (включения) при КЗ (коммутационная способность);
- для ЭА защиты – номинальный ток плавкой вставки предохранителя или уставка расцепителя автомата;
- для трансформатора тока (ТТ) – это сопротивление нагрузки вторичной цепи.

В ТП-39 на стороне ВН устанавливаются:

- выключатели нагрузки;
- плавкие предохранители.

Определяются токи нормального и максимального режимов:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (39)$$

$$I_{\text{мах}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (40)$$

где  $S_{\text{ном.тр}}$  – номинальная мощность силового трансформатора, кВА;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение, кВ.

$$I_{\text{норм}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,43 \text{ А},$$

$$I_{\text{max}} = \frac{1,4 \cdot 250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 20,21 \text{ А}.$$

Таблица 8 – Выбор выключателя нагрузки ВНРп-10/400-10зп У3 [13]

| Условия                                                                            | Параметры электроустановки                       | Паспортные данные                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| По номинальному напряжению<br>$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.с}}$             | $U_{\text{ном.с}} = 10 \text{ кВ}$               | $U_{\text{ном.в}} = 10 \text{ кВ}$                       |
| По номинальному току<br>$I_{\text{ном.в}} \geq I_{\text{ном.ф}}$                   | $I_{\text{ф}} = 20,21 \text{ А}$                 | $I_{\text{ном.в}} = 400 \text{ А}$                       |
| Род установки, соответствие окружающей среде                                       | Устанавливается в помещений с нормальной средой  | У3                                                       |
| По динамической устойчивости $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у}}$                    | $i_{\text{у.к}} = 13,43 \text{ кА}$              | $i_{\text{дин}} = 25 \text{ кА}$                         |
| По термической устойчивости<br>$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq I_{\text{к}}^2 t$ | $I_{\text{к}}^2 t = 58,97 \text{ кА}^2 \text{с}$ | $I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 65 \text{ кА}^2 \text{с}$ |

Таблица 9 – Выбор высоковольтных предохранителей ПК102-10-40-31,5У3

| Условия                                                                                       | Параметры электроустановки          | Паспортные данные                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|
| По номинальному напряжению<br>$U_{\text{ном.п}} \geq U_{\text{ном.с}}$                        | $U_{\text{ном.с}} = 10 \text{ кВ}$  | $U_{\text{ном.п}} = 10 \text{ кВ}$      |
| По номинальному току плавкой вставки<br>$I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\text{ном.ф}}$            | $I_{\text{ф}} = 20,21 \text{ А}$    | $I_{\text{ном.вст}} = 40 \text{ А}$     |
| Род установки, соответствие окружающей среде                                                  | Нормальная среда                    | У3                                      |
| Несрабатывания при переходных процессах<br>$I_{\text{ном.вст}} \geq (1,1-2)I_{\text{ном.тр}}$ | $1,5 \cdot 20,21 = 30,31 \text{ А}$ | $I_{\text{ном.вст}} = 40 \text{ А}$     |
| По номинальному току предохранителя<br>$I_{\text{ном.п}} \geq I_{\text{ном.вст}}$             | $I_{\text{ном.п}} = 40 \text{ А}$   | $I_{\text{ном.вст}} = 40 \text{ А}$     |
| По отключающей способности<br>$I_{\text{ном.откл}} \geq I_{\text{к}}$                         | $I_{\text{к}} = 9,52 \text{ кА}.$   | $I_{\text{ном.откл}} = 31,5 \text{ кА}$ |

## 6.2 Расчет и выбор силового электрооборудования до 1000 В

В ТП-39 в качестве аппаратов защиты до 1000 В выбираются наиболее современные и надежные автоматические выключатели (АВ) серии ВА с тепловым и электромагнитным расцепителем. На стороне НН в ТП-39 для защиты отходящих линий устанавливаются линейные автоматические выключатели.

В РУ-0,4 кВ и распределительных щитах здания общежития для защиты групп потребителей предусматриваются автоматические выключатели серии ВА, модульные выключатели ВМ63, а также автоматические выключатели дифференциального тока серии Д63-22С для розеточной силовой сети здания, установленные в стандартных распределительных щитах серий БВ-06-250 (ВУ), БР-А1-10-3(РУ), ЩАП-23(ППУ), ЩРН(В) (ЩС и ЩО) [9].

Выбор автоматических выключателей производится по следующим условиям [20]: по номинальным параметрам сети, по току теплового и электромагнитного расцепителей, по отключающей способности.

По номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{с}}, \quad (41)$$

где  $U_{\text{ном.а}}$  – номинальное напряжение АВ, В;

$U_{\text{с}}$  – номинальное напряжение сети, В.

По номинальному току:

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}, \quad (42)$$

где  $I_{\text{ном.а}}$  – номинальный ток АВ, А;

$I_{\text{ном.р}}$  – номинальный ток расцепителя АВ, А.

По номинальному току теплового расцепителя:

$$I_{\text{ном.р}} \geq 1,1I_{\text{ф}}, \quad (43)$$

$I_{\text{ф}}$  – ток форсированного режима (максимальный рабочий ток), А.

По уставке тока электромагнитного расцепителя:

$$I_{\text{у.э.р}} \geq 1,5I_{\text{ф}}, \quad (44)$$

По отключающей способности:

$$I_{\text{ном.откл.а}} \geq I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (45)$$

где  $I_{\text{к}}^{(3)}$  – ток трехфазного КЗ, кА.

Определяются токи нормального и максимального режимов на стороне низкого напряжения ТП-39 по формулам (39) и (40):

$$I_{\text{норм}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 379,85 \text{ А},$$

$$I_{\text{max}} = \frac{1,4 \cdot 250}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 531,79 \text{ А}.$$

По максимальному току для ввода НН ТП-39 выбирается автоматический выключатель ВА 57-39 [9].

Выбирается в ТП-39 линейный автоматический выключатель ВА57-35 для линии, питающей ВРУ-0,4 кВ здания общежития.

Таблица 10 – Выбор АВ ввода ТП-39 ВА 57-39

| Условия выбора                                                                           | Расчетные данные                                                  | Каталожные данные автомата ВА57-39                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| По номинальному напряжению<br>$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.с}}$                   | $U_{\text{ном.с}} = 380 \text{ В}$                                | $U_{\text{ном.а}} = 660 \text{ В}$                                                    |
| По номинальному току<br>$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\phi}$                                 | $I_{\phi} = 531,79 \text{ А}$                                     | $I_{\text{ном.а}} = 630 \text{ А}$                                                    |
| По номинальному току теплового расцепителя<br>$I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\phi}$ | $1,1 \cdot I_{\phi} =$<br>$= 1,1 \cdot 531,79 = 584,96 \text{ А}$ | $I_{\text{у.т.р}} = 630 \text{ А}$                                                    |
| Ток уставки электромагнитного расцепителя<br>$I_{\text{у.э.р}} \geq 1,5 \cdot I_{\phi}$  | $1,5 \cdot I_{\phi} =$<br>$= 1,5 \cdot 531,79 = 797,68 \text{ А}$ | $I_{\text{у.э.р}} = 10 \cdot I_{\text{у.т.р}} =$<br>$= 10 \cdot 630 = 6300 \text{ А}$ |
| По отключающей способности<br>$I_{\text{ном.откл.а}} \geq I_{\text{к}}^{(3)}$            | $I_{\text{к1}}^{(3)} = 5,85 \text{ кА}$                           | $I_{\text{ном.откл.а}} = 25 \text{ кА}$                                               |

Таблица 11 – Выбор автоматического выключателя, питающего ВРУ-0,4 кВ здания общежития ВА57-35 [9]

| Условия выбора                                                                               | Расчетные данные                                                     | Каталожные данные автомата ВА57-35                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| По номинальному напряжению<br>$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.с}}$                       | $U_{\text{ном.с}} = 380 \text{ В}$                                   | $U_{\text{ном.а}} = 660 \text{ В}$                                                    |
| По номинальному току<br>$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{р}}$                                 | $I_{\text{р}} = 150,7 \text{ А}$                                     | $I_{\text{ном.а}} = 250 \text{ А}$                                                    |
| По номинальному току теплового расцепителя<br>$I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{р}}$ | $1,1 \cdot I_{\text{р}} =$<br>$= 1,1 \cdot 150,7 = 165,77 \text{ А}$ | $I_{\text{у.т.р}} = 200 \text{ А}$                                                    |
| Ток уставки электромагнитного расцепителя<br>$I_{\text{у.э.р}} \geq 1,5 \cdot I_{\phi}$      | $1,5 \cdot I_{\text{р}} =$<br>$= 1,5 \cdot 150,7 = 226,05 \text{ А}$ | $I_{\text{у.э.р}} = 10 \cdot I_{\text{у.т.р}} =$<br>$= 10 \cdot 200 = 2000 \text{ А}$ |
| По отключающей способности<br>$I_{\text{ном.откл.а}} \geq I_{\text{к}}^{(3)}$                | $I_{\text{к1}}^{(3)} = 5,85 \text{ кА}$                              | $I_{\text{ном.откл.а}} = 25 \text{ кА}$                                               |

Аналогичные расчеты с учетом нагрузок (таблица Б.1) проводятся для аппаратов защиты РУ-0,4 кВ и щитов здания общежития, результаты расчетов приведены в таблице В.1.

### 6.3 Расчет и выбор проводников выше 1000 В

Для системы электроснабжения в качестве проводников выше 1000 В в условиях городской среды, как правило, применяются кабельные линии.

Первый этап. Выбор сечения в нормальном режиме нагрузки.

Экономически обоснованное сечение кабеля определяется по формуле [2]:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{норм}}}{j_{\text{эк}}}, \quad (46)$$

где  $I_{\text{норм}}$  – ток нормального режима, А;

$j_{\text{эк}}$  – нормативное значение экономически выгодной плотности тока (согласно [1] для кабелей с алюминиевыми жилами и поливинилхлоридной изоляцией при  $T_{\text{макс}} = 1500$  ч/год принимается  $j_{\text{эк}} = 1,6 \text{ А/мм}^2$ ).

$$I_{\text{ном.тр.ВН}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.тр.1}}}, \quad (47)$$

где  $S_{\text{ном.тр}}$  – номинальная мощность силового трансформатора, кВА;

$U_{\text{ном.тр.1}}$  – номинальное первичное напряжение трансформатора, кВ.

$$I_{\text{ном.КТП-1}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,43 \text{ А}.$$

Определяется сечение кабеля в нормальном режиме по формуле (46):

$$S_{\text{эк}} = \frac{14,43}{1,6} = 9,02 \text{ мм}^2.$$

Тогда  $S_{\text{ст}} = 25 \text{ мм}^2$ .

Второй этап. Проверка сечения кабеля в максимальном режиме.

Сечение проводника, которое выбрано на первом этапе, необходимо проверить на нагрев при максимальной нагрузке:

$$K_{\text{пер}} I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{ф}} = K_{\text{рез}} I_{\text{норм}}, \quad (48)$$

где  $K_{\text{пер}}$  – коэффициент допустимой перегрузки для проводника, который принимается  $K_{\text{пер}} = 1$ .

$I'_{\text{доп}}$  – длительно допустимый ток проводника с учётом условий прокладки и отклонения параметров окружающей среды от стандартных условий при их длительном характере, А;

$I_{\text{ф}}$  – ток форсированного режима, А;

$I_{\text{норм}}$  – ток нормального режима.

Длительно допустимый ток с учётом отклонения параметров окружающей среды от стандартных условий определяется по формуле:

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} K_{\text{ср}} I_{\text{доп}}, \quad (49)$$

где  $K_{\text{ср}}$  – поправочный коэффициент на температуру окружающей среды;

$I_{\text{доп}}$  – длительно допустимый ток проводника стандартного сечения для стандартных условий (для одной отдельной линии; стандартных температур для земли и воды и плюс 15 °С и плюс 25 °С – для воздуха) в зависимости от материала жил, их изоляции и способа прокладки, А.

По [16] при расстоянии между двумя работающими кабелями 100 мм, проложенными в земле, поправочный коэффициент,  $K_{\text{пр}} = 1,0$  потому что температура земли ( $t_3 = +15^\circ\text{C}$ ) не отличается от нормативной, тогда принимается  $K_{\text{ср}} = 1$ .

По [19] для одножильных кабелей марки АПвЭгПу напряжением 10 кВ

и сечением жилы  $25 \text{ мм}^2$  длительно допустимый ток  $I_{\text{доп}} = 124 \text{ А}$ .

Выполняется проверка кабелей по условию (48):

$$1 \cdot 1 \cdot 124 \text{ А} \geq 1,4 \cdot 14,43 = 20,21 \text{ А},$$

$$124 \text{ А} > 20,21 \text{ А}.$$

Условие выполняется, выбранный кабель может работать в максимальном режиме нагрузки без перегрева изоляции.

Третий этап. Проверка сечения проводников на термическую устойчивость в аварийном режиме.

$$S_{\text{тер.мин}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C_{\text{Т}}} = \frac{\sqrt{I_{\text{к}}^2 t}}{C_{\text{Т}}} = \frac{I_{\text{к}} \sqrt{t}}{C_{\text{Т}}}, \quad (50)$$

где  $B_{\text{к}}$  – тепловой импульс тока КЗ (интеграл Джоуля),  $\text{А}^2\text{с}$ ;

$I_{\text{к}} = I_{\text{п}(0)}$  – ток трехфазного КЗ в начале проводника,  $\text{А}$ ;

$t$  – расчетная продолжительность КЗ для определения интеграла Джоуля,  $\text{с}$ ;

$C_{\text{Т}}$  – температурный коэффициент, учитывающий ограничения допустимой температуры проводника (приводится в [16]),  $\text{А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ .

По [16] принимается  $C_{\text{Т}} = 92 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ .

Величина продолжительности времени отключения КЗ определяется как [21]:

$$t = t_{\text{защ}} + t_{\text{в.выкл}} + T_{\text{а}}, \quad (51)$$

где  $t_{\text{защ}}$  – время действия основной защиты,  $\text{с}$ ;

$t_{\text{в.выкл}}$  – время отключения выключателя,  $\text{с}$ ;

$T_a$  – время тока, с.  $T_a = 0,06$  с.

$t_{MT3} = 0,5$  с, полное время отключения выключателя серии ВВ/TEL-10-20/630У2 0,09 с [13]:

$$t = 0,5 + 0,09 + 0,06 = 0,65 \text{ с.}$$

Минимальное сечение кабеля, который отвечает условию термической стойкости к токам КЗ, определяется по формуле (50):

$$S_{\text{тер.мин}} = \frac{6500 \cdot \sqrt{0,65}}{98} = 53,47 \text{ мм}^2.$$

Принимается одножильный кабель 10 кВ АПвЭгПу-10(1х50/35), длительно допустимый ток  $I_{\text{доп}} = 177$  А.

#### 6.4 Расчет и выбор проводников до 1000 В

Для системы электроснабжения в качестве проводников до 1000 В применяются кабели и провода.

Кабельная линия (КЛ) питающей сети напряжением до 1 кВ выбирается по допустимому нагреву [16]:

$$I'_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (52)$$

где  $I'_{\text{доп}}$  – длительно допустимый для данного проводника ток с учётом отклонения параметров окружающей среды от стандартных условий, А;

$I_p$  – расчётный ток групп ЭП, А.

Выполняется выбор КЛ от ТП-39 до ВРУ-0,4 кВ здания общежития по

расчетному току  $I_{p.BPY} = 150,7 \text{ A}$ .

Для питания ВРУ-1 здания выбирается силовой бронированный стальными оцинкованными лентами кабель с алюминиевыми жилами, изоляцией из ПВХ пластиката, защитным шлангом из ПВХ, не распространяющий горение при групповой прокладке с сечением жилы  $95 \text{ мм}^2$  марки АВББШвнг-LS (4x95) с пониженным дымо- и газовыделением (low smoke), [11],  $I_{\text{доп}} = 224 \text{ A}$ .

Выполняется проверка кабелей по условию работы при максимальных нагрузках по формуле (49):

$$1 \cdot 1 \cdot 224 \text{ A} > 150,7 \text{ A},$$

$$224 \text{ A} > 150,7 \text{ A}.$$

Условие выполняется, кабель выбранного сечения может работать в максимальном режиме без перегрева изоляции.

Выбранные проводники должны соответствовать их аппаратам защиты, что проверяется по условию [18]:

$$I'_{\text{доп}} \geq k_z I_z, \quad (53)$$

где  $k_z$  – кратность длительно допустимого тока провода или кабеля по отношению к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата (для автоматических выключателей с комбинированным расцепителем  $k_z = 1$ ) [18];

$I_z$  – номинальный ток или ток срабатывания защитного аппарата, (номинальный ток расцепителя), А.

Ток аппарата защиты ВРУ-0,4 кВ:

$$I_z = I_{\text{ном.р}} = 200 \text{ A}.$$

$$224 \text{ A} > 200 \text{ A}.$$

Условие выполняется.

Потеря напряжения КЛ-0,4 кВ [22]:

$$\Delta U_{\text{к}} = \frac{P_{\text{р}} r_0 l_{\text{к}} + Q_{\text{р}} x_0 l_{\text{к}}}{10 \cdot U_{\text{ном}}^2}, \quad (54)$$

Выполняется проверка КЛ-0,4 кВ от ТП-39 до ВРУ-0,4 кВ здания общежития на потерю напряжения:

$$\Delta U_{\text{к.ВРУ}} = \frac{91,5 \cdot 0,329 \cdot 0,102 + 38,25 \cdot 0,081 \cdot 0,102}{10 \cdot 0,38^2} = 2,35\%.$$

По результатам проверок выбирается кабель марки АВБбШвнг-LS (4х95).

Аналогично выбираются отходящие кабельные линии от ВРУ-0,4 кВ, здания до силовых ЩС и осветительных ЩО щитов, щита вентиляции ЩВ, щита управления технологическими процессами ЩУТП, панели противопожарных устройств ППУ, а также до групп потребителей в помещениях. Для прокладки внутри здания принимаются огнестойкие кабели, не распространяющие горение, с изоляцией и оболочкой из полимерных композиций с медными жилами марки ППГнг (трехжильные для однофазных ЭП и 5 жильные для трехфазных ЭП). Результаты выбора сводятся в таблицу Г.1.

В результате расчетов произведен выбор электрооборудования и проводников до и выше 1000 В в схеме электроснабжения здания.

## 7 Расчет релейной защиты и автоматики

Наиболее опасным и частым видом повреждения являются короткие замыкания.

К релейной защите предъявляются следующие основные требования:

- селективность,
- быстродействие,
- надёжность,
- чувствительность.

Для защиты силового трансформатора ТП-39 на выключателе 10кВ питающего РП-10 кВ используются следующие виды защит: мгновенная токовая отсечка и максимальная токовая защита.

Ток срабатывания мгновенной токовой отсечки (МТО) [21]:

$$I_{сз}^{МТО} = \frac{K_{от} \cdot I_{по.мах.К1}^{(3)}}{K_T}, \quad (55)$$

где  $K_{от}$  – коэффициент отстройки,  $K_{от} = 1,2$ ; [22]

$I_{по.мах.К1}^{(3)}$  – значение 3-фазного тока КЗ на стороне НН трансформатора, кА (из таблицы 9) ;

$K_T$  – коэффициент трансформации силового трансформатора.

Коэффициент трансформации силового трансформатора [21]:

$$K_T = \frac{U_{ср.ВН}}{U_{ср.НН}}, \quad (56)$$

где  $U_{ср.ВН}$  – среднее значение напряжения на ВН силового трансформатора, кВ;

$U_{ср.НН}$  – среднее значение напряжения на НН силового трансформатора, кВ.

$$K_T = \frac{10,5}{0,4} = 26,25.$$

$$I_{сз}^{МТО} = \frac{1,2 \cdot 5,85 \cdot 10^3}{26,25} = 267,43 \text{ А.}$$

$$I_{ср}^{МТО} = \frac{K_{сх} \cdot I_{сз}^{МТО}}{K_{тт}}, \quad (57)$$

где  $K_{сх}$  – коэффициент схемы,  $K_{сх} = 1$  [22];

$K_{тт}$  – коэффициент трансформации трансформатора тока.

Номинальный ток силового трансформатора на стороне ВН [21]:

$$I_{ном.ВН} = \frac{S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.ВН}}, \quad (58)$$

где  $S_{ном.тр}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_{ном.ВН}$  – номинальное напряжение трансформатора на стороне ВН, кВ.

$$I_{ном.ВН} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 13,75 \text{ А.}$$

Выбирается трансформатор тока с номинальным током первичной обмотки  $I_{ном.1об} = 50 \text{ А}$ , где  $K_{тт} = 10$ .

По формуле (57) определяется ток срабатывания реле МТО:

$$I_{ср}^{МТО} = \frac{1 \cdot 267,43}{10} = 26,74 \text{ А.}$$

Выбирается реле тока РТ-40/100 с последовательным соединением катушек и пределом уставок 25–50 А [19].

Проверяется защита на чувствительность к двухфазным коротким замыканиям на стороне низкого напряжения.

Коэффициент чувствительности защиты определяется по формуле [21]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}^{\text{МТО}}}, \quad (59)$$

где  $I_{\text{кз}}^{(2)}$  – ток 2-фазного КЗ на стороне ВН трансформатора, кА.

Ток 2-фазного КЗ на стороне ВН трансформатора определяется по формуле [21]:

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{кз}}^{(3)}, \quad (60)$$

где  $I_{\text{кз}}^{(3)}$  – ток 3-фазного КЗ на стороне ВН трансформатора, кА.

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,5 \cdot 10^3 = 5629 \text{ А.}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{5629}{267,43} = 21,05 > 2.$$

Чувствительность удовлетворяет требованиям [16].

Выполняется расчет параметров срабатывания максимальной токовой защиты (МТЗ).

Ток срабатывания МТЗ определяется по формуле [21]:

$$I_{\text{сз}}^{\text{МТЗ}} = \frac{K_{\text{от}}}{K_{\text{в}}} \cdot I_{\text{р.макс}}, \quad (61)$$

где  $K_{от}$  – коэффициент отстройки,  $K_{от} = 1,2$  [21];

$K_{в}$  – коэффициент возврата реле,  $K_{в} = 0,85$  [21];

$I_{р.мах}$  – максимальный рабочий ток силового трансформатора на стороне ВН, А.

Максимальный рабочий ток силового трансформатора на стороне ВН определяется по формуле [21]:

$$I_{р.мах} = K_{доп.пер} \cdot I_{ном.ВН}, \quad (62)$$

где  $K_{доп.пер}$  – коэффициент допустимой перегрузки трансформатора.

$I_{ном.ВН}$  – номинальный ток силового трансформатора на стороне ВН, А.

Коэффициент допустимой перегрузки принимается согласно [16].  
Принимаем  $K_{доп.пер} = 1,4$

$$I_{р.мах} = 1,4 \cdot 13,75 = 19,25 \text{ А.}$$

Тогда:

$$I_{сз}^{МТО} = \frac{1,2}{0,85} \cdot 19,25 = 27,18.$$

Ток срабатывания реле МТЗ определяется по формуле [21]:

$$I_{ср}^{МТЗ} = \frac{K_{сх}}{K_{тт}} \cdot I_{сз}^{МТЗ}, \quad (63)$$

$$I_{ср}^{МТЗ} = \frac{1}{10} \cdot 27,18 = 2,72.$$

Выбираем реле тока РТ-40/10 с пределом уставок 5–10А и последовательным соединением катушек [19].

Проверяется защита на чувствительность к двухфазным коротким замыканиям на стороне низкого напряжения.

Коэффициент чувствительности защиты определяется по формуле [21]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{по. min. K1}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}^{\text{МТЗ}} \cdot K_{\text{т}}}, \quad (64)$$

где  $I_{\text{по. min. K1}}^{(2)}$  – значение 2-фазного тока КЗ на стороне НН трансформатора (из таблицы 7), А.

$$K_{\text{ч}} = \frac{5,07 \cdot 10^3}{27,18 \cdot 26,25} = 7,11 > 1,6.$$

Чувствительность удовлетворяет требованиям норм [16].

Время срабатывания защиты определяется по выражению [21]:

$$t_{\text{сз}} = t_{\text{сз.л}} + \Delta t, \quad (65)$$

где  $t_{\text{сз.л}}$  – время срабатывания защит отходящих линий,  $t_{\text{сз.л}} = 0,3$  с;

$\Delta t$  – ступень селективности, принимается  $\Delta t = 0,5$  с.

$$t_{\text{сз}} = 0,3 + 0,5 = 0,8 \text{ с.}$$

В результате расчетов выбраны параметры релейной защиты, установленной на выключателе ВВ-10 питающего РП-10 кВ.

## 8 Расчет заземления здания объекта

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала от поражения электрическим током производится заземление всех металлических токоведущих частей электрооборудования, которые при повреждении изоляции могут оказаться под напряжением. Также для обеспечения электро- и пожарной безопасности предусмотрены: система уравнивания электрических потенциалов, применение изолированного рабочего проводника N и защитного нулевого проводника PE в системе заземления нейтрали TN-C-S. В ВРУ объекта устанавливается главная заземляющая шина (ГЗШ), с которой соединяются PEN-проводники питающих линий, нулевые защитные PE-проводники распределительной сети, защитные PE-проводники групповой сети, проводники системы уравнивания потенциалов, а также заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству (ЗУ) здания. Сечение ГЗШ должно быть не менее сечения PEN-проводника питающей линии [6], то есть не менее 95 мм<sup>2</sup>

Согласно нормам [16]  $R_3 = 30 \text{ Ом}$ .

Расчетное сопротивление грунта [6]:

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (66)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$K_c$  – коэффициент сезонности,  $K_c = 1,5$ .

$$\rho_p = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$R_{bl} = \frac{\rho_p}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d}, \quad (67)$$

где  $l$  – длина вертикального электрода, м;

$d$  – диаметр вертикального электрода, м;

$$R_{\text{в1}} = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \ln \frac{4 \cdot 3}{16 \cdot 10^3} = 52,7 \text{ Ом.}$$

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{р}}}{2\pi \cdot l \cdot k_{\text{и.Г}}} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t}, \quad (68)$$

где  $l$  – длина горизонтального заземлителя, м;

$k_{\text{и.Г}}$  – коэффициент использования горизонтального заземлителя [6],

$$k_{\text{и.Г}} = 0,39;$$

$b$  – ширина полосы, м;

$t$  – глубина горизонтального заземлителя, м.

$$R_{\Gamma} = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 0,39} \cdot \ln \frac{2 \cdot 20^2}{0,04 \cdot 0,5} = 33,1 \text{ Ом.}$$

$$R_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в1}}}{n \cdot k_{\text{и.в}}}, \quad (69)$$

где  $k_{\text{и.в}}$  – коэффициент использования вертикального заземлителя [6],

$$k_{\text{и.в}} = 0,65.$$

$$R_{\text{в}} = \frac{52,7}{6 \cdot 0,65} = 13,5 \text{ Ом.}$$

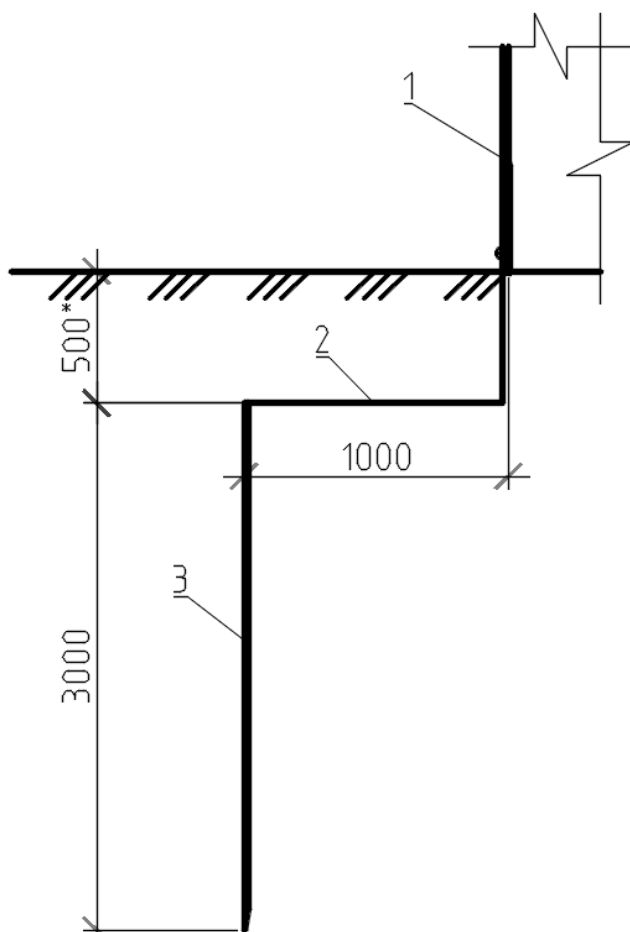
$$R_{\text{э}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\Gamma}}{R_{\text{в}} + R_{\Gamma}}, \quad (70)$$

$$R_{\text{э}} = \frac{13,5 \cdot 33,1}{13,5 + 33,1} = 9,6 \text{ Ом.}$$

Сопротивление выбранных заземляющих устройств должно соответствовать условию [16]:

$$R_3 \geq R_3, \quad (71)$$
$$30 \text{ Ом} > 9,6 \text{ Ом}.$$

Общий вид устройства заземления проектируемого здания показан на рисунке 5.



1 – заземляющий проводник; 2 – горизонтальный заземлитель; 3 – вертикальный заземлитель

Рисунок 5 – Общий вид устройства заземления здания

Выбранное заземляющее устройство удовлетворяет требованиям норм [16].

## **9 Молниезащита здания объекта**

Согласно классификации зданий и сооружений по устройству молниезащиты [5] здание общежития относится к обычным объектам.

По степени защиты от прямых ударов молнии здание относится к третьей категории. Уровень надежности составляет 0,95 [5].

Внешняя молниезащитная система выполняется в виде сетки (сетчатый молниеотвод) из стали диаметром 8 мм, расположенной на кровле здания. Молниеприемная сетка укладывается на кровлю здания через изолирующие держатели.

Шаг сетки составляет 10 м [5]. Токоотводы выполняются из круглой стали диаметром 8 мм. В местах спуска забивается вертикальный заземлитель. Среднее расстояние между токоотводами составляет 20 м.

Соединение и присоединение заземляющих, защитных проводников и проводников системы уравнивания потенциалов должны обеспечивать надежный гальванический контакт. Сопротивление соединения не должно превышать 0,05 Ом [5].

Выполняется соединение с молниеприемной сеткой всех конструкций на крыше здания.

Молниеприемная сетка соединяется с заземляющим устройством здания токоотводами диаметром 8 мм. Токоотводы размещаются на максимально возможном расстоянии от дверей и окон и прокладываются вблизи углов здания. Среднее расстояние между токоотводами не должно превышать 15 м [5].

Общий вид молниезащиты здания показан на рисунке 6.

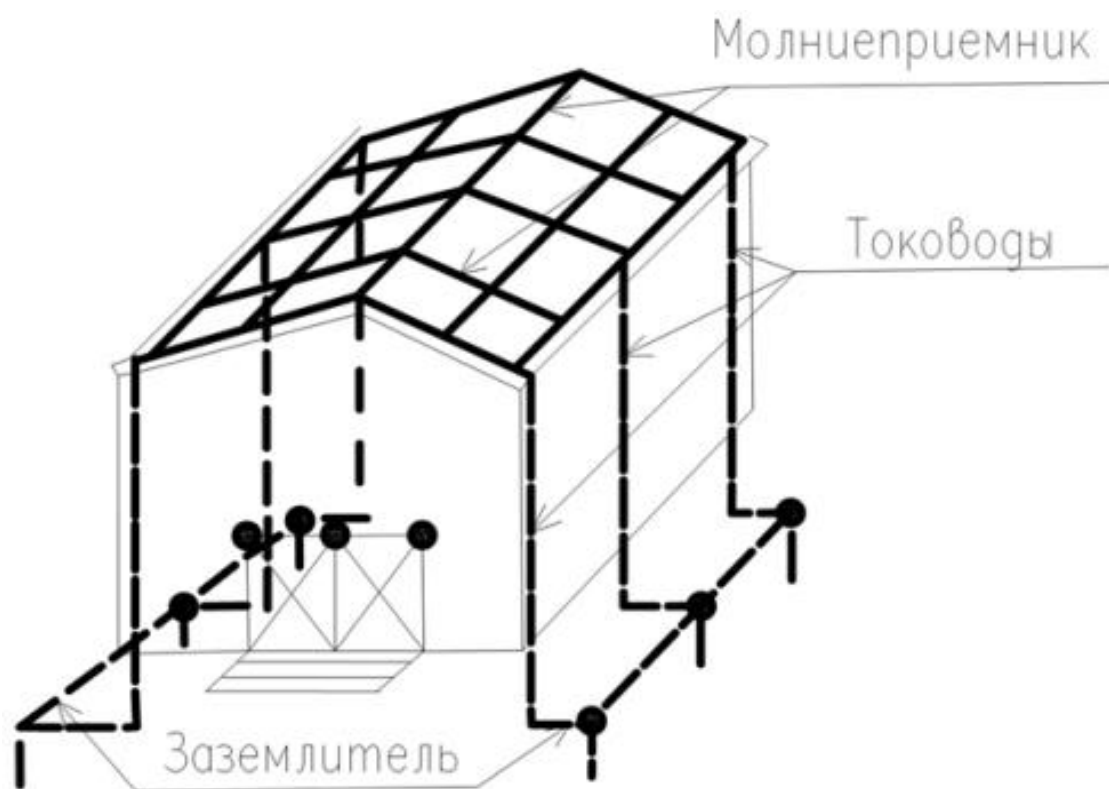


Рисунок 6 – Общий вид молниезащиты здания

Токоотводы следует прокладывать по прямым и вертикальным линиям, таким образом, чтобы путь тока до земли был кратчайшим.

Выбранная молниезащита соответствует требованиям норм.

## Заключение

В бакалаврской работе разработана система электроснабжения здания центра к принудительным работам в Архангельской области с учетом современных требований уровня надежности, качества и электробезопасности.

В ходе выполнения данной работы были решены следующие задачи:

- дано обоснование актуальности разрабатываемой темы и краткая характеристика объекта проектирования;
- рассчитаны ожидаемые электрические нагрузки на стороне 0,4 кВ и нагрузки освещения;
- выбрана трансформаторная подстанция с учетом компенсации реактивной мощности;
- проведен выбор и обоснование схемы электроснабжения;
- выполнен расчет токов короткого замыкания;
- рассчитаны и выбраны электрооборудования и проводников (силовое электрооборудование и проводники до 1000 В и выше 1000 В);
- выполнен расчет релейной защиты;
- рассчитано заземления здания объекта;
- решен вопрос молниезащиты здания объекта.

Спроектированная система электроснабжения отвечает нормам основных нормативных документов по экономичности, надёжности, электробезопасности и качеству электроэнергии.

Можно предположить, что результаты, полученные в данной работе, послужат материалом для дальнейшей исследовательской и конструкторской работы по улучшению электроснабжения общественных зданий, а также позволят реализовать проектные решения при реконструкции существующего здания бывшей казармы для ИУФИЦ.

## Список используемых источников

1. Ардатовский светотехнический завод [сайт]: URL: <https://astz.ru/> (дата обращения 15.02.2022).
2. Вахнина, В. В. Проектирование систем электроснабжения. учеб.-метод. пособие. - Тольятти: ТГУ, 2016. - 78 с.
3. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. Введ.1985-07-01.М.,2009.38 с.
4. Дробов А. В. Электрическое освещение: учебное пособие. Минск: РИПО, 2017. 219 с.
5. Защита электроустановок от прямых ударов молнии: методические указания к курсовому и дипломному проектированию. НГТУ. Сост.: Т.М. Щеголькова, Е.И. Татаров [и др.]. Н.Новгород, 2001.11 с.
6. Защитное заземление электроустановок: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. НГТУ; Сост.: Т.М. Щеголькова, Е.И. Татаров [и др.]. Н.Новгород, 2001.19 с.
7. Исправительные учреждения и центры уголовно-исполнительной системы. [Электронный ресурс] Правила проектирования: СП 308.1325800.2017 – Москва, Стандартинформ, 2018. 152 с. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/d76/SP-Ispravitelnye-uchrezhdeniya.pdf> (дата обращения 01.02.2022)
8. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: учебное пособие для вузов. М.: Кнорус, 2011. 368 с.
9. Курский электроаппаратный завод [сайт]: URL: <https://keaz.ru/> (дата обращения 20.03.2022).
10. НПО «Промэлектроавтоматика» [сайт]: URL: <https://www.pea.ru/docs/equipment/reactive-power-compensation/nizkovoltnye-kondensatornye-ustanovki-ukm58/> (дата обращения 10.03.2022).
11. ОАО «Севкабель холдинг» [сайт]: URL: <http://sevcable.ru/> (дата

обращения 10.03.2022).

12. ОАО «Тольяттинский трансформатор» [сайт]: URL: <https://www.transformator.com.ru> (дата обращения 10.03.2022).

13. ООО «Уралэнерго» [сайт]: URL: <https://www.uralen.ru/> (дата обращения 10.03.2022).

14. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс]: учебное пособие. М.: Форум; ИНФРА-М, 2018. 416 с. URL: <https://new.znanium.com/catalog/document?id=345761> (дата обращения 10.03.2022).

15. Плащанский Л.А. Электрооборудование подстанций и осветительные сети предприятий, организаций и учреждений: учебное пособие. М.: НИТУ «МИСиС», 2019. 180 с.

16. Правила устройства электроустановок. Раздел 4. Распределительные устройства и подстанции. Главы 4.1, 4.2. Раздел 1. Общие правила. Глава 1.2. [Электронный ресурс]. - 7-е изд. - Электрон. текстовые данные. - М.: ЭНАС, 2013. 107 с. ISBN 978-5-4248-0036-8. URL: <http://www.iprbookshop.ru/76191.html> (дата обращения: 22.02.2022).

17. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. [Электронный ресурс]. РД 153-34.0-20.527-98/ под ред. Б.Н. Неклепаева. – Москва: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. 152 с. – URL: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294817/4294817179> (дата обращения 25.03.2022).

18. Сибикин Ю. Д., Сибикин, В.А., Яшков М.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2022. 367 с.

19. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2009. 392 с.

20. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения. М: Форум - Инфра-М, 2006 г. 256 с.

21. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики

распределительных сетей: Монография. 4-е изд., перераб. и доп. СПб.: ПЭИПК, 2003. 350 стр.

22. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учеб. пособие. 3-е изд., испр. М.: Форум; ИНФРА-М, 2019. 214 с.

23. Уголовно-исполнительный Кодекс Российской Федерации. [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 08.01.1997 N 1-ФЗ: (ред. от 21.12.2021). // Консультант плюс: справочно-правовая система URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_12940/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_12940/) (дата обращения 25.01.2022).

24. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. СП 256.1325800.2016 Актуализированная редакция СП 31-110-2003. М., 2016. 125 с.

## Приложение А

### Расчет количества светильников и осветительной нагрузки

Таблица А.1– Результаты расчетов количества светильников и осветительной нагрузки

| № по плану | Наименование помещения                                                  | $S$ ,<br>мм <sup>2</sup> | $A$ ,<br>м | $B$ ,<br>м | $E_{\text{норм}}$ ,<br>лк | $i$ , | $\eta_{\text{и}}$ | $\Phi_{\text{л}}$ ,<br>лм | $N$ | Тип светильника  | $P_{\text{ном.л}}$ ,<br>Вт | $P_{\text{о.у}}$ ,<br>Вт |
|------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------|------------|---------------------------|-------|-------------------|---------------------------|-----|------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1          | 2                                                                       | 3                        | 4          | 5          | 6                         | 7     | 8                 | 9                         | 10  | 11               | 12                         | 13                       |
| Подвал     |                                                                         |                          |            |            |                           |       |                   |                           |     |                  |                            |                          |
| 1          | Подвальное помещение                                                    | 15,60                    | 5,57       | 2,80       | 20                        | 0,62  | 0,38              | 1200                      | 1   | ДПП03-13-001     | 13                         | 13                       |
| 2          | Подвальное помещение                                                    | 15,10                    | 5,39       | 2,80       | 20                        | 0,61  | 0,38              | 1200                      | 1   | ДПП03-13-001     | 13                         | 13                       |
| 3          | Подвальное помещение                                                    | 148,70                   | 5,55       | 26,81      | 20                        | 1,53  | 0,60              | 1200                      | 3   | ДПП03-13-001     | 13                         | 39                       |
| 4          | Подвальное помещение                                                    | 115,50                   | 5,51       | 20,97      | 20                        | 1,45  | 0,60              | 1200                      | 2   | ДПП03-13-001     | 13                         | 26                       |
| 5          | Подвальное помещение                                                    | 30,20                    | 5,55       | 5,44       | 20                        | 0,92  | 0,46              | 1200                      | 1   | ДПП03-13-001     | 13                         | 13                       |
| 1 этаж     |                                                                         |                          |            |            |                           |       |                   |                           |     |                  |                            |                          |
| 1          | Тамбур                                                                  | 1,80                     | 0,88       | 2,04       | 20                        | 0,21  | 0,50              | 1200                      | 2   | ДПП03-13-001     | 13                         | 26                       |
| 2          | Коридор                                                                 | 5,30                     | 2,30       | 2,30       | 100                       | 0,38  | 0,50              | 1890                      | 1   | ДБО88-18-001     | 18                         | 18                       |
| 3          | Помещение дежурной смены                                                | 10,69                    | 3,34       | 3,20       | 400                       | 0,54  | 0,67              | 3661                      | 2   | ДВО/ДПО12-34-001 | 34                         | 68                       |
| 4          | Душевая                                                                 | 10,27                    | 3,35       | 3,07       | 100                       | 0,53  | 0,46              | 1890                      | 2   | ДБО88-18-001     | 18                         | 36                       |
| 5          | Комната мытья и хранения посуды                                         | 9,90                     | 3,30       | 3,00       | 200                       | 0,52  | 0,60              | 1890                      | 2   | ДБО88-18-001     | 18                         | 36                       |
| 6          | Комната приготовления, подогрева и раздачи пищи                         | 14,03                    | 3,34       | 4,20       | 300                       | 0,62  | 0,38              | 1890                      | 4   | ДБО88-18-001     | 18                         | 72                       |
| 7          | Кабинет начальника участка ИЦ                                           | 27,96                    | 5,63       | 4,97       | 400                       | 0,88  | 0,70              | 3661                      | 6   | ДВО/ДПО12-34-001 | 34                         | 204                      |
| 8          | Помещение для содержания нарушителей 2-местное                          | 15,81                    | 5,27       | 3,00       | 150                       | 0,64  | 0,44              | 3661                      | 2   | ДВО/ДПО12-34-001 | 34                         | 68                       |
| 9          | Помещение для содержания нарушителей 2-местное                          | 13,19                    | 5,32       | 2,48       | 150                       | 0,56  | 0,38              | 3661                      | 2   | ДВО/ДПО12-34-001 | 34                         | 68                       |
| 10         | Тамбур                                                                  | 1,43                     | 1,00       | 1,43       | 20                        | 0,20  | 0,50              | 1200                      | 2   | ДПП03-13-001     | 13                         | 26                       |
| 13         | Безопасное помещение для краткосрочного содержания осужденных 2-местное | 9,19                     | 3,69       | 2,49       | 150                       | 0,50  | 0,34              | 3661                      | 2   | ДВО/ДПО12-34-001 | 34                         | 68                       |

Продолжение Приложения А.

Продолжение таблицы А.1

| 1      | 2                                                    | 3     | 4     | 5    | 6   | 7    | 8    | 9    | 10 | 11               | 12 | 13  |
|--------|------------------------------------------------------|-------|-------|------|-----|------|------|------|----|------------------|----|-----|
| 14     | Помещение для содержания нарушителей 2-местное       | 12,80 | 4,52  | 2,83 | 150 | 0,58 | 0,38 | 3661 | 2  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 68  |
| 15     | Кабинет группы специального учета и делопроизводства | 13,52 | 4,32  | 3,13 | 400 | 0,60 | 0,67 | 3661 | 3  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 102 |
| 17     | Комната хранения питания и приема пищи               | 26,05 | 4,32  | 6,03 | 200 | 0,84 | 0,60 | 3661 | 3  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 102 |
| 18     | Помещение хранения уборочного инвентаря              | 2,12  | 1,80  | 1,18 | 50  | 0,24 | 0,10 | 1890 | 1  | ДБО88-18-001     | 18 | 18  |
| 19     | Постирочная                                          | 8,01  | 2,60  | 3,08 | 200 | 0,47 | 0,50 | 1890 | 2  | ДБО88-18-001     | 18 | 36  |
| 20     | Коридор                                              | 14,31 | 12,13 | 1,18 | 100 | 0,36 | 0,34 | 3661 | 3  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 102 |
| 21     | Комната быта                                         | 9,54  | 3,00  | 3,18 | 200 | 0,51 | 0,34 | 3661 | 2  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 68  |
| 22     | Помещение хранения личных вещей осужденных           | 15,10 | 5,57  | 2,71 | 100 | 0,61 | 0,38 | 3661 | 2  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 68  |
| 23     | Помещение отдыха дежурной смены                      | 9,29  | 3,00  | 3,10 | 200 | 0,51 | 0,34 | 3661 | 2  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 68  |
| 24     | Комната подогрева и приема пищи дежурной смены       | 7,80  | 2,52  | 3,10 | 200 | 0,46 | 0,50 | 3661 | 1  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 34  |
| 25     | Душевая                                              | 2,49  | 2,31  | 1,08 | 100 | 0,25 | 0,34 | 1890 | 1  | ДБО88-18-001     | 18 | 18  |
| 26     | Душевая                                              | 2,50  | 2,31  | 1,08 | 100 | 0,25 | 0,34 | 1890 | 1  | ДБО88-18-001     | 18 | 18  |
| 27     | Гардеробная дежурной смены                           | 4,88  | 2,15  | 2,27 | 100 | 0,37 | 0,34 | 3661 | 1  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 34  |
| 28     | Санузел                                              | 2,15  | 2,26  | 0,95 | 50  | 0,22 | 0,34 | 1890 | 1  | ДБО88-18-001     | 18 | 18  |
| 29     | Лестничная клетка                                    | 15,70 | 5,61  | 2,80 | 100 | 0,62 | 0,38 | 3912 | 2  | ДПО02-40-001     | 40 | 80  |
| 30     | Коридор                                              | 32,17 | 14,89 | 2,16 | 100 | 0,63 | 0,38 | 3661 | 3  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 102 |
| 31     | Коридор                                              | 9,07  | 4,20  | 2,16 | 100 | 0,48 | 0,38 | 3661 | 1  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 34  |
| 33     | Помещение для досмотра                               | 9,48  | 3,34  | 2,84 | 300 | 0,51 | 0,50 | 3661 | 2  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 68  |
| 2 этаж |                                                      |       |       |      |     |      |      |      |    |                  |    |     |
| 1      | Лестничная клетка                                    | 15,50 | 5,54  | 2,80 | 100 | 0,62 | 0,34 | 3912 | 2  | ДПО02-40-001     | 40 | 80  |
| 2      | Комната жилая 3-местная                              | 14,95 | 5,62  | 2,66 | 100 | 0,60 | 0,34 | 3661 | 2  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 68  |
| 3      | Комната жилая 6-местная                              | 24,11 | 5,62  | 4,29 | 100 | 0,81 | 0,50 | 3661 | 2  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 68  |
| 4      | Комната жилая 6-местная                              | 26,36 | 5,62  | 4,69 | 100 | 0,85 | 0,50 | 3661 | 2  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 68  |

Продолжение Приложения А.

Продолжение таблицы А.1

| 1                                                          | 2                             | 3     | 4     | 5    | 6   | 7    | 8    | 9    | 10 | 11               | 12 | 13   |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|------|-----|------|------|------|----|------------------|----|------|
| 5                                                          | Комната жилая 4-местная       | 16,90 | 5,83  | 2,90 | 100 | 0,65 | 0,34 | 3661 | 2  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 68   |
| 6                                                          | Комната жилая 6-местная       | 26,18 | 5,82  | 4,50 | 100 | 0,85 | 0,50 | 3661 | 2  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 68   |
| 7                                                          | Комната жилая 6-местная       | 33,04 | 4,59  | 7,20 | 100 | 0,93 | 0,50 | 3661 | 3  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 102  |
| 8                                                          | Тамбур                        | 7,64  | 2,89  | 2,64 | 20  | 0,46 | 0,50 | 3661 | 1  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 34   |
| 9                                                          | Умывальная                    | 9,50  | 3,88  | 2,45 | 50  | 0,50 | 0,20 | 1890 | 2  | ДБО88-18-001     | 18 | 36   |
| 10                                                         | Санузел                       | 8,50  | 3,60  | 2,36 | 50  | 0,48 | 0,50 | 1890 | 1  | ДБО88-18-001     | 18 | 18   |
| 11                                                         | Комната воспитательной работы | 23,60 | 3,59  | 6,58 | 300 | 0,77 | 0,67 | 3661 | 3  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 102  |
| 12                                                         | Комната жилая 2-местная       | 10,50 | 3,71  | 2,83 | 100 | 0,54 | 0,38 | 3661 | 2  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 68   |
| 13                                                         | Комната жилая 6-местная       | 27,59 | 3,63  | 7,60 | 100 | 0,82 | 0,38 | 3661 | 3  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 102  |
| 14                                                         | Комната жилая 6-местная       | 27,55 | 3,63  | 7,59 | 100 | 0,82 | 0,38 | 3661 | 3  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 102  |
| 15                                                         | Коридор                       | 56,14 | 30,02 | 1,87 | 100 | 0,59 | 0,34 | 3661 | 6  | ДВО/ДПО12-34-001 | 34 | 204  |
| Итого с учетом светильников на аварийное освещение (530Вт) |                               |       |       |      |     |      |      |      |    |                  |    | 3230 |

## Приложение Б

### Расчет электрических нагрузок

Таблица Б.1 – Расчет электрических нагрузок

| № группы            | Наименование потребителя  | P <sub>y</sub> , кВт | Kc | cosφ | tgφ  | Расчетная нагрузка   |                       |                      | I <sub>p</sub> , А |
|---------------------|---------------------------|----------------------|----|------|------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
|                     |                           |                      |    |      |      | P <sub>p</sub> , кВт | Q <sub>p</sub> , квар | S <sub>p</sub> , кВА |                    |
| 1                   | 2                         | 3                    | 4  | 5    | 6    | 7                    | 8                     | 9                    | 10                 |
| РУ Ввод №1:         |                           |                      |    |      |      |                      |                       |                      |                    |
| 1-1                 | Водонагреватель           | 15                   | 1  | 1    | 0,00 | 15                   | 0                     | 15                   | 22,7               |
| 1-2                 | ЩС1:                      |                      |    |      |      |                      |                       |                      |                    |
| 1                   | Розетки помещение 13      | 0,1                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,1                  | 0,03                  | 0,11                 | 0,5                |
| 2                   | Розетки помещение 14      | 0,1                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,1                  | 0,03                  | 0,11                 | 0,5                |
| 3                   | Розетки помещение 9       | 0,1                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,1                  | 0,03                  | 0,11                 | 0,5                |
| 4                   | Розетки помещение 8       | 0,1                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,1                  | 0,03                  | 0,11                 | 0,5                |
| 5                   | Розетки помещение 7       | 1,6                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 1,6                  | 0,53                  | 1,68                 | 7,7                |
| 6                   | Розетки помещение 19      | 1,6                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 1,6                  | 0,53                  | 1,68                 | 7,7                |
| 7                   | Розетки помещение 19      | 1,6                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 1,6                  | 0,53                  | 1,68                 | 7,7                |
| 8                   | Розетки помещение 21      | 0,6                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,6                  | 0,20                  | 0,63                 | 2,9                |
| 9                   | Розетки помещение 23      | 0,6                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,6                  | 0,20                  | 0,63                 | 2,9                |
| 10                  | Розетки помещение 24      | 1,2                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 1,2                  | 0,40                  | 1,26                 | 5,7                |
| 11                  | Розетки помещение 6       | 1,1                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 1,1                  | 0,36                  | 1,16                 | 5,3                |
| 12                  | Розетки помещение 3       | 1,0                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 1,0                  | 0,33                  | 1,05                 | 4,8                |
| 13                  | Электроплита              | 9,0                  | 1  | 1,00 | 0,00 | 9,00                 | 0,00                  | 9,00                 | 40,9               |
| 14                  | Электроплита              | 9,0                  | 1  | 1,00 | 0,00 | 9,00                 | 0,00                  | 9,00                 | 40,9               |
| 13                  | Электроплита              | 9,0                  | 1  | 1,00 | 0,00 | 9,00                 | 0,00                  | 9,00                 | 40,9               |
| 14                  | Розетки коридор           | 0,2                  | 1  | 1,00 | 0,00 | 0,2                  | 0,00                  | 0,20                 | 1,0                |
| 15                  | Розетки помещение 15      | 0,8                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,8                  | 0,26                  | 0,84                 | 3,8                |
| 16                  | Розетки помещение 17      | 0,6                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,6                  | 0,20                  | 0,63                 | 2,9                |
| Итого по ЩС1        |                           | 38,3                 | 1  | 0,95 | 0,33 | 38,3                 | 12,64                 | 40,33                | 61,3               |
| 1-3                 | ЩО1:                      |                      |    |      |      |                      |                       |                      |                    |
| 1                   | Дежурное освещение 1 этаж | 0,07                 | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,07                 | 0,02                  | 0,07                 | 0,3                |
| 2                   | Освещение                 | 0,28                 | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,28                 | 0,09                  | 0,29                 | 1,3                |
| 3                   | Освещение                 | 0,2                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,2                  | 0,07                  | 0,21                 | 1,0                |
| 4                   | Освещение                 | 0,16                 | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,16                 | 0,05                  | 0,17                 | 0,8                |
| 5                   | Освещение                 | 0,34                 | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,34                 | 0,11                  | 0,36                 | 1,6                |
| 6                   | Освещение                 | 0,15                 | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,15                 | 0,05                  | 0,16                 | 0,7                |
| 7                   | Освещение                 | 0,11                 | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,11                 | 0,04                  | 0,12                 | 0,5                |
| 8                   | Освещение                 | 0,16                 | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,16                 | 0,05                  | 0,17                 | 0,8                |
| 9                   | Освещение                 | 0,13                 | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,13                 | 0,04                  | 0,14                 | 0,6                |
| Итого по ЩО1        |                           | 1,6                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 1,6                  | 0,53                  | 1,68                 | 2,6                |
| Итого по РУ Ввод №1 |                           | 54,9                 | 1  | 0,97 | 0,25 | 54,9                 | 13,73                 | 56,59                | 86,1               |
| РУ Ввод №2:         |                           |                      |    |      |      |                      |                       |                      |                    |
| 2-1                 | ЩС2:                      |                      |    |      |      |                      |                       |                      |                    |
| 1                   | Розетки помещение 7       | 0,3                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,3                  | 0,10                  | 0,32                 | 1,4                |
| 2                   | Розетки помещение 6       | 0,3                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,3                  | 0,10                  | 0,32                 | 1,4                |
| 3                   | Розетки помещение 5       | 0,2                  | 1  | 0,95 | 0,33 | 0,2                  | 0,07                  | 0,21                 | 1,0                |

# Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

| 1                   | 2                                   | 3    | 4 | 5    | 6    | 7    | 8     | 9     | 10    |
|---------------------|-------------------------------------|------|---|------|------|------|-------|-------|-------|
| 4                   | Розетки помещение 4                 | 0,3  | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,3  | 0,10  | 0,32  | 1,4   |
| 5                   | Розетки помещение 3                 | 0,3  | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,3  | 0,10  | 0,32  | 1,4   |
| 6                   | Розетки помещение 2                 | 0,2  | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,2  | 0,07  | 0,21  | 1,0   |
| 7                   | Розетки помещение 14                | 0,27 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,2  | 0,07  | 0,21  | 1,3   |
| 8                   | Розетки помещение 13                | 0,3  | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,3  | 0,10  | 0,32  | 1,4   |
| 9                   | Розетки помещение 12                | 0,1  | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,1  | 0,03  | 0,11  | 0,5   |
| 10                  | Розетки помещение 11                | 0,6  | 1 | 0,8  | 0,75 | 0,6  | 0,45  | 0,75  | 3,4   |
| 11                  | Розетки помещение 15                | 0,4  | 1 | 0,8  | 0,75 | 0,4  | 0,30  | 0,50  | 2,3   |
| Итого по ЩС2        |                                     | 3,3  | 1 | 0,95 | 0,33 | 3,3  | 1,09  | 3,48  | 5,2   |
| 2-2                 | ЩО2:                                |      |   |      |      |      |       |       |       |
| 1                   | Дежурное освещение 2 этаж           | 0,18 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,18 | 0,06  | 0,19  | 0,9   |
| 2                   | Освещение                           | 0,22 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,22 | 0,07  | 0,23  | 1,1   |
| 3                   | Освещение                           | 0,19 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,19 | 0,06  | 0,20  | 0,9   |
| 4                   | Освещение                           | 0,19 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,19 | 0,06  | 0,20  | 0,9   |
| 5                   | Освещение                           | 0,18 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,18 | 0,06  | 0,19  | 0,9   |
| 6                   | Освещение                           | 0,12 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,12 | 0,04  | 0,13  | 0,6   |
| Итого по ЩО2        |                                     | 1,1  | 1 | 0,95 | 0,33 | 1,1  | 0,36  | 1,16  | 1,7   |
| 2-3                 | ЩВ                                  | 30   | 1 | 0,8  | 0,75 | 30   | 22,50 | 37,50 | 56,8  |
| 2-4                 | ЩУТП                                | 2    | 1 | 0,95 | 0,33 | 2    | 0,66  | 2,11  | 9,6   |
| 2-5                 | Ремонтное освещение                 | 0,25 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,25 | 0,08  | 0,26  | 1,2   |
| Итого по РУ Ввод №2 |                                     | 36,6 | 1 | 0,83 | 0,67 | 36,6 | 24,52 | 44,06 | 67,1  |
| ППУ:                |                                     |      |   |      |      |      |       |       |       |
| ЩАО:                |                                     |      |   |      |      |      |       |       |       |
| 1                   | Аварийное освещение 1 этаж          | 0,21 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,21 | 0,07  | 0,22  | 1,0   |
| 2                   | Аварийное освещение 2 этаж          | 0,19 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,19 | 0,06  | 0,20  | 0,9   |
| 3                   | Аварийное освещение помещение 3, 7  | 0,09 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,09 | 0,03  | 0,09  | 0,4   |
| 4                   | Аварийное освещение подвал          | 0,04 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,04 | 0,01  | 0,04  | 0,2   |
| Итого по ЩАО        |                                     | 0,53 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,53 | 0,17  | 0,56  | 1,0   |
| 2                   | Охранно-пожарная сигнализация (ОПС) | 0,1  | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,1  | 0,03  | 0,11  | 0,5   |
| Итого по ППУ        |                                     | 0,63 | 1 | 0,95 | 0,33 | 0,63 | 0,21  | 0,66  | 1,0   |
| ИТОГО по ВРУ        |                                     | 91,5 | 1 | 0,92 | 0,43 | 91,5 | 38,25 | 99,17 | 150,7 |

## Приложение В

### Выбор автоматических выключателей

Таблица В.1 – Выбор автоматических выключателей

| №<br>гр.            | Наименование<br>потребителя | $I_p$ ,<br>А | $I_{ном.а}$ ,<br>А | $I_{у.т.р.}$ ,<br>А | $I_{у.э.р.}$ ,<br>А | $I_{ном.откл.а}$ ,<br>кА | Марка<br>автомата |
|---------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 1                   | 2                           | 3            | 4                  | 5                   | 6                   | 7                        | 8                 |
| РУ Ввод №1:         |                             |              |                    |                     |                     |                          |                   |
| 1-1                 | Водонагреватель             | 22,7         | 25                 | 25                  | 250                 | 25                       | ВА57-31           |
| 1-2                 | ЩС1:                        |              |                    |                     |                     |                          |                   |
| 1                   | Розетки помещение 13        | 0,5          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 2                   | Розетки помещение 14        | 0,5          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 3                   | Розетки помещение 9         | 0,5          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 4                   | Розетки помещение 8         | 0,5          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 5                   | Розетки помещение 7         | 7,7          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 6                   | Розетки помещение 19        | 7,7          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 7                   | Розетки помещение 19        | 7,7          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 8                   | Розетки помещение 21        | 2,9          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 9                   | Розетки помещение 23        | 2,9          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 10                  | Розетки помещение 24        | 5,7          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 11                  | Розетки помещение 6         | 5,3          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 12                  | Розетки помещение 3         | 4,8          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 13                  | Электроплита                | 40,9         | 50                 | 50                  | 500                 | 10                       | BM63              |
| 14                  | Электроплита                | 40,9         | 50                 | 50                  | 500                 | 10                       | BM63              |
| 13                  | Электроплита                | 40,9         | 50                 | 50                  | 500                 | 10                       | BM63              |
| 14                  | Розетки коридор             | 1,0          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 15                  | Розетки помещение 15        | 3,8          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 16                  | Розетки помещение 17        | 2,9          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| Итого по ЩС1        |                             | 61,3         | 80                 | 80                  | 800                 | 25                       | ВА57-31           |
| 1-3                 | ЩО1:                        |              |                    |                     |                     |                          |                   |
| 1                   | Дежурное освещение 1 этаж   | 0,3          | 10                 | 10                  | 100                 | 10                       | BM63              |
| 2                   | Освещение                   | 1,3          | 10                 | 10                  | 100                 | 10                       | BM63              |
| 3                   | Освещение                   | 1,0          | 10                 | 10                  | 100                 | 10                       | BM63              |
| 4                   | Освещение                   | 0,8          | 10                 | 10                  | 100                 | 10                       | BM63              |
| 5                   | Освещение                   | 1,6          | 10                 | 10                  | 100                 | 10                       | BM63              |
| 6                   | Освещение                   | 0,7          | 10                 | 10                  | 100                 | 10                       | BM63              |
| 7                   | Освещение                   | 0,5          | 10                 | 10                  | 100                 | 10                       | BM63              |
| 8                   | Освещение                   | 0,8          | 10                 | 10                  | 100                 | 10                       | BM63              |
| 9                   | Освещение                   | 0,6          | 10                 | 10                  | 100                 | 10                       | BM63              |
| Итого по ЩО1        |                             | 2,6          | 25                 | 25                  | 250                 | 25                       | ВА57-31           |
| Итого по РУ Ввод №1 |                             | 86,1         | 100                | 100                 | 1000                | 25                       | ВА57-31           |
| РУ Ввод №2:         |                             |              |                    |                     |                     |                          |                   |
| 2-1                 | ЩС2:                        |              |                    |                     |                     |                          |                   |
| 1                   | Розетки помещение 7         | 1,4          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 2                   | Розетки помещение 6         | 1,4          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 3                   | Розетки помещение 5         | 1,0          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |
| 4                   | Розетки помещение 4         | 1,4          | 20                 | 20                  | 200                 | 6                        | D63-22C           |

## Продолжение Приложения В

Продолжение таблицы В.1

| 1                   | 2                                  | 3     | 4   | 5   | 6    | 7  | 8        |
|---------------------|------------------------------------|-------|-----|-----|------|----|----------|
| 5                   | Розетки помещение 3                | 1,4   | 20  | 20  | 200  | 6  | D63-22C  |
| 6                   | Розетки помещение 2                | 1,0   | 20  | 20  | 200  | 6  | D63-22C  |
| 7                   | Розетки помещение 14               | 1,3   | 20  | 20  | 200  | 6  | D63-22C  |
| 8                   | Розетки помещение 13               | 1,4   | 20  | 20  | 200  | 6  | D63-22C  |
| 9                   | Розетки помещение 12               | 0,5   | 20  | 20  | 200  | 6  | D63-22C  |
| 10                  | Розетки помещение 11               | 3,4   | 20  | 20  | 200  | 6  | D63-22C  |
| 11                  | Розетки помещение 15               | 2,3   | 20  | 20  | 200  | 6  | D63-22C  |
| Итого по ЩС2        |                                    | 5,2   | 25  | 25  | 250  | 25 | BA57-31  |
| 2-2                 | ЩО2:                               |       |     |     |      |    |          |
| 1                   | Дежурное освещение 2 этаж          | 0,9   | 10  | 10  | 100  | 10 | BM63     |
| 2                   | Освещение                          | 1,1   | 10  | 10  | 100  | 10 | BM63     |
| 3                   | Освещение                          | 0,9   | 10  | 10  | 100  | 10 | BM63     |
| 4                   | Освещение                          | 0,9   | 10  | 10  | 100  | 10 | BM63     |
| 5                   | Освещение                          | 0,9   | 10  | 10  | 100  | 10 | BM63     |
| 6                   | Освещение                          | 0,6   | 10  | 10  | 100  | 10 | BM63     |
| Итого по ЩО2        |                                    | 1,7   | 25  | 25  | 250  | 25 | BA57-31  |
| 2-3                 | ЩВ                                 | 56,8  | 63  | 63  | 630  | 25 | BA57-31  |
| 2-4                 | ЩУТП                               | 9,6   | 16  | 16  | 160  | 10 | BM63     |
| 2-5                 | Ремонтное освещение                | 1,2   | 10  | 10  | 100  | 10 | BM63     |
| Итого по РУ Ввод №2 |                                    | 67,1  | 100 | 100 | 1000 | 25 | BA57-31  |
| ППУ:                |                                    |       |     |     |      |    |          |
| 1                   | ЩАО:                               |       |     |     |      |    |          |
| 1                   | Аварийное освещение 1 этаж         | 1,0   | 6   | 6   | 60   | 10 | BM63     |
| 2                   | Аварийное освещение 2 этаж         | 0,9   | 6   | 6   | 60   | 10 | BM63     |
| 3                   | Аварийное освещение помещение 3, 7 | 0,4   | 6   | 6   | 60   | 10 | BM63     |
| 4                   | Аварийное освещение подвал         | 0,2   | 6   | 6   | 60   | 10 | BM63     |
| Итого по ЩАО        |                                    | 1,0   | 10  | 10  | 100  | 10 | BM63     |
| ОПС                 |                                    | 0,5   | 10  | 10  | 100  | 10 | BM63     |
| Итого по ППУ        |                                    | 1,0   | 25  | 25  | 250  | 25 | BA47-100 |
| Итого по ВРУ-0,4 кВ |                                    | 150,7 | 250 | 200 | 2000 | 25 | BA57-35  |

Приложение Г

**Выбор кабельных линий до 1000 В**

Таблица Г.1 – Выбор кабельных линий от ТП-39 до ВРУ и от ВРУ до щитов и ЭП здания

| №<br>гр. | Наименование<br>потребителя | $P_p$ ,<br>кВт | $Q_p$ ,<br>квар | $I_p$ ,<br>А | $k_3 \cdot I_3$ ,<br>А | $I_{доп}$ ,<br>А | $L_k$ ,<br>м | $\Delta U_k$ ,<br>% | Марка и сечение кабеля |
|----------|-----------------------------|----------------|-----------------|--------------|------------------------|------------------|--------------|---------------------|------------------------|
| 1        | 2                           | 3              | 4               | 5            | 6                      | 7                | 8            | 9                   | 10                     |
| 1-1      | Водонагреватель             | 15             | 0               | 22,7         | 25                     | 34               | 24           | 0,770               | ППГнг(А)-HF 5×6        |
| 1-2      | ЩС1:                        | 38,3           | 12,64           | 61,3         | 80                     | 85               | 5            | 0,102               | ППГнг(А)-HF 5×25       |
| 1        | Розетки помещение 13        | 0,1            | 0,03            | 0,5          | 20                     | 21               | 34           | 0,052               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 2        | Розетки помещение 14        | 0,1            | 0,03            | 0,5          | 20                     | 21               | 32           | 0,049               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 3        | Розетки помещение 9         | 0,1            | 0,03            | 0,5          | 20                     | 21               | 34           | 0,052               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 4        | Розетки помещение 8         | 0,1            | 0,03            | 0,5          | 20                     | 21               | 32           | 0,049               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 5        | Розетки помещение 7         | 1,6            | 0,53            | 7,7          | 20                     | 21               | 44           | 1,082               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 6        | Розетки помещение 19        | 1,6            | 0,53            | 7,7          | 20                     | 21               | 18           | 0,443               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 7        | Розетки помещение 19        | 1,6            | 0,53            | 7,7          | 20                     | 21               | 17           | 0,418               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 8        | Розетки помещение 21        | 0,6            | 0,20            | 2,9          | 20                     | 21               | 26           | 0,240               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 9        | Розетки помещение 23        | 0,6            | 0,20            | 2,9          | 20                     | 21               | 22           | 0,203               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 10       | Розетки помещение 24        | 1,2            | 0,40            | 5,7          | 20                     | 21               | 14           | 0,258               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 11       | Розетки помещение 6         | 1,1            | 0,36            | 5,3          | 20                     | 21               | 21           | 0,355               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 12       | Розетки помещение 3         | 1,0            | 0,33            | 4,8          | 20                     | 21               | 16           | 0,246               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 13       | Электроплита                | 9,00           | 0,00            | 40,9         | 50                     | 50               | 20           | 0,684               | ППГнг(А)-HF 3×10       |
| 14       | Электроплита                | 9,00           | 0,00            | 40,9         | 50                     | 50               | 21           | 0,719               | ППГнг(А)-HF 3×10       |
| 13       | Электроплита                | 9,00           | 0,00            | 40,9         | 50                     | 50               | 22           | 0,753               | ППГнг(А)-HF 3×10       |
| 14       | Розетки коридор             | 0,2            | 0,00            | 1,0          | 20                     | 21               | 33           | 0,101               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 15       | Розетки помещение 15        | 0,8            | 0,26            | 3,8          | 20                     | 21               | 36           | 0,443               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 16       | Розетки помещение 17        | 0,6            | 0,20            | 2,9          | 20                     | 21               | 37           | 0,341               | ППГнг(А)-HF 3×2,5      |
| 1-3      | ЩО1:                        | 1,6            | 0,53            | 2,6          | 25                     | 27               | 6            | 0,031               | ППГнг(А)-HF 5×4        |
| 1        | Дежурное освещение 1 этаж   | 0,07           | 0,02            | 0,3          | 10                     | 15               | 44           | 0,079               | ППГнг(А)-HF 3×1,5      |

Продолжение Приложения Г

Продолжение таблицы Г.1

| 1   | 2                         | 3    | 4    | 5   | 6  | 7  | 8  | 9     | 10                             |
|-----|---------------------------|------|------|-----|----|----|----|-------|--------------------------------|
| 2   | Освещение                 | 0,28 | 0,09 | 1,3 | 10 | 15 | 62 | 0,443 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 3   | Освещение                 | 0,2  | 0,07 | 1,0 | 10 | 15 | 50 | 0,255 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 4   | Освещение                 | 0,16 | 0,05 | 0,8 | 10 | 15 | 38 | 0,155 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 5   | Освещение                 | 0,34 | 0,11 | 1,6 | 10 | 15 | 75 | 0,650 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 6   | Освещение                 | 0,15 | 0,05 | 0,7 | 10 | 15 | 37 | 0,142 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 7   | Освещение                 | 0,11 | 0,04 | 0,5 | 10 | 15 | 28 | 0,079 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 8   | Освещение                 | 0,16 | 0,05 | 0,8 | 10 | 15 | 35 | 0,143 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 9   | Освещение                 | 0,13 | 0,04 | 0,6 | 10 | 15 | 87 | 0,288 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 2-1 | ЩС2:                      | 3,3  | 1,09 | 5,2 | 25 | 50 | 17 | 0,073 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 5×10  |
| 1   | Розетки помещение 7       | 0,3  | 0,10 | 1,4 | 20 | 21 | 45 | 0,207 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×2,5 |
| 2   | Розетки помещение 6       | 0,3  | 0,10 | 1,4 | 20 | 21 | 41 | 0,189 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×2,5 |
| 3   | Розетки помещение 5       | 0,2  | 0,07 | 1,0 | 20 | 21 | 31 | 0,095 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×2,5 |
| 4   | Розетки помещение 4       | 0,3  | 0,10 | 1,4 | 20 | 21 | 34 | 0,157 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×2,5 |
| 5   | Розетки помещение 3       | 0,3  | 0,10 | 1,4 | 20 | 21 | 28 | 0,129 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×2,5 |
| 6   | Розетки помещение 2       | 0,2  | 0,07 | 1,0 | 20 | 21 | 15 | 0,046 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×2,5 |
| 7   | Розетки помещение 14      | 0,2  | 0,07 | 1,3 | 20 | 21 | 45 | 0,138 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×2,5 |
| 8   | Розетки помещение 13      | 0,3  | 0,10 | 1,4 | 20 | 21 | 37 | 0,171 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×2,5 |
| 9   | Розетки помещение 12      | 0,1  | 0,03 | 0,5 | 20 | 21 | 19 | 0,029 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×2,5 |
| 10  | Розетки помещение 11      | 0,6  | 0,45 | 3,4 | 20 | 21 | 26 | 0,241 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×2,5 |
| 11  | Розетки помещение 15      | 0,4  | 0,30 | 2,3 | 20 | 21 | 31 | 0,192 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×2,5 |
| 2-2 | ЩО2:                      | 1,1  | 0,36 | 1,7 | 25 | 27 | 17 | 0,060 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 5×4   |
| 1   | Дежурное освещение 2 этаж | 0,18 | 0,06 | 0,9 | 10 | 15 | 80 | 0,367 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 2   | Освещение                 | 0,22 | 0,07 | 1,1 | 10 | 15 | 61 | 0,342 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 3   | Освещение                 | 0,19 | 0,06 | 0,9 | 10 | 15 | 39 | 0,189 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 4   | Освещение                 | 0,19 | 0,06 | 0,9 | 10 | 15 | 63 | 0,305 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 5   | Освещение                 | 0,18 | 0,06 | 0,9 | 10 | 15 | 46 | 0,211 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 6   | Освещение                 | 0,12 | 0,04 | 0,6 | 10 | 15 | 38 | 0,116 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |

Продолжение Приложения Г

Продолжение таблицы Г.1

| 1          | 2                                  | 3    | 4     | 5     | 6   | 7   | 8   | 9     | 10                             |
|------------|------------------------------------|------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|--------------------------------|
| 2-3        | ЩВ                                 | 30   | 22,50 | 56,8  | 63  | 70  | 6   | 0,153 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 5×16  |
| 2-4        | ЩУТП                               | 2    | 0,66  | 9,6   | 16  | 21  | 24  | 0,738 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×2,5 |
| 2-5        | Ремонтное освещение                | 0,25 | 0,08  | 1,2   | 10  | 15  | 22  | 0,140 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 2×1,5 |
| ППУ:       |                                    | 0,63 | 0,21  | 1,0   | 25  | 27  | 5   | 0,010 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 5×4   |
| 1          | ЩАО:                               | 0,53 | 0,17  | 1,0   | 10  | 27  | 6   | 0,010 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 5×4   |
| 1          | Аварийное освещение 1 этаж         | 0,21 | 0,07  | 1,0   | 6   | 15  | 68  | 0,364 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 2          | Аварийное освещение 2 этаж         | 0,19 | 0,06  | 0,9   | 6   | 15  | 63  | 0,305 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 3          | Аварийное освещение помещение 3, 7 | 0,09 | 0,03  | 0,4   | 6   | 15  | 32  | 0,073 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 4          | Аварийное освещение подвал         | 0,04 | 0,01  | 0,2   | 6   | 15  | 34  | 0,035 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 3×1,5 |
| 2          | ОПС                                | 0,1  | 0,03  | 0,5   | 10  | 27  | 6   | 0,002 | ППГ <sub>нг</sub> (А)-HF 5×4   |
| ВРУ-0,4 кВ |                                    | 91,5 | 38,25 | 150,7 | 200 | 224 | 102 | 2,345 | АВБ6ШВнг-LS (4х95)             |