

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 медицинского центра»

Студент

В.А. Елин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., доцент А.В.Кириллова

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

Тольятти 2020

Аннотация

Название выпускной квалификационной работы: «Электроснабжение медицинского центра».

Выпускная работа состоит из введения, девяти глав, заключения, таблиц, списка литературы, включая зарубежные источники и графической части на 6 листах формата А1.

Ключевым вопросом выпускной работы является проектирование электроснабжения диализного медицинского центра в г. Ейск.

Выпускная квалификационная работа может быть разделена на следующие логически взаимосвязанные части: электроснабжение медицинских учреждений; система освещения; молниезащита; заземление; аппараты защиты.

Целью работы является разработка проекта по обеспечению надежного и безопасного электроснабжения систем медицинского учреждения.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен анализ электропримеников объекта, анализ учебно-методической и учебной литературы и разработан проект системы электроснабжения. Произведен расчет электрических нагрузок. Выбраны провода для питания внешних и внутренних электропроводок. Произведен расчет и выбор устройств защитной аппаратуры и выполнена их проверка. Произведен расчет заземляющего устройства и выбор молниезащитных устройств, расчет и выбор трансформатора комплектной трансформаторной подстанции.

Цели и задачи, поставленные в данном проекте, выполнены, разработанный проект выполнен с учетом действующих нормативных документов.

Abstract

The title of the final qualification work: “Power supply of the medical center”.

The senior paper consists of an introduction, nine parts, a conclusion, tables, list of references including foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The key issue of the thesis is the design of power supply for a dialysis medical center in Yeysk.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: power supply of medical institutions; lighting system; lightning protection; grounding protection devices.

The aim of the work is to develop a project to ensure reliable and safe power supply for medical institution systems.

In the course of the final qualification work, an analysis was made of the electrical applications of the object, an analysis of the educational and methodical and educational literature, and a draft of the power supply system was developed. Electrical loads were calculated. Selected wires for power supply of external and internal wiring. The calculation and selection of protective equipment devices was made and their verification was performed. The calculation of the grounding device and the selection of lightning protection devices, the calculation and selection of the transformer of a complete transformer substation.

The project has been completed taking into account current regulatory documents.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика объекта проектирования	5
1.1 Исходные данные для проектирования.....	5
1.2 Характеристика источников электроснабжения	6
1.3 Характеристика электроприемников.....	6
1.4 Система внутреннего освещения.....	7
2 Расчет нагрузок освещения.....	9
2.1 Расчет освещенности.....	9
2.2 Расчет аварийного освещения.....	12
2.3 Распределение осветительных нагрузок по фазам.....	13
3 Расчет электрических нагрузок силовой цепи.....	16
4 Определение мощности комплектной трансформаторной подстанции ...	19
4.1 Выбор силового трансформатора трансформаторной подстанции	19
4.2 Расчёт параметров силового трансформатора трансформаторной подстанции.....	20
5 Расчет и выбор сечения кабелей питающей, распределительной и групповой сети.....	24
5.1 Выбор марок кабелей	24
5.2 Выбор сечения токопроводящих жил	24
5.3 Расчет и подбор аппаратов защиты линий электроснабжения для групповых линий.....	25
6 Расчёт токов короткого замыкания	28
6.1 Расчет трехфазного тока короткого замыкания в цепи на стороне низкого напряжения.....	28
6.2 Расчет трехфазного короткого замыкания на стороне высокого напряжения	31
7 Выбор оборудования комплектной трансформаторной подстанции	33
7.1 Подбор выключателей на стороне высокого напряжения	33

7.2	Выбор разъединителей.....	34
7.3	Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения	34
8	Расчет и выбор защитного заземления и молниезащиты	36
8.1	Расчет защитного заземления.....	36
8.2	Молниезащита.....	39
9	Выбор дизельной электростанции	41
	Заключение	43
	Список используемой литературы и использованных источников	44
	Приложение А Осветительная нагрузка по зданию	46
	Приложение Б Электрические нагрузки силовой цепи.....	49

Введение

В настоящее время Правительством Российской Федерации уделяется большое внимание объектам системы здравоохранения.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является построение систем электроснабжения диализного центра г. Ейск. Основными задачами при проектировании систем электроснабжения медицинских объектов являются высокая степень надежности, безопасности и экономичности эксплуатации сетей.

Данный проект электроснабжения диализного медицинского центра предусматривает расчет питающих и групповых сетей, подключение технологического, вентиляционного оборудования, щитов рабочего и аварийного освещения.

При разработке данной работы были поставлены следующие задачи:

- Определение расчетных нагрузок основного освещения, а также аварийного освещения согласно нормативных требований к освещенности помещений медицинских учреждений;
- Определение расчетных нагрузок силовых цепей;
- Определение мощности комплектной трансформаторной подстанции (КТП). Подбор силового трансформатора подстанции по параметрам системы;
- Расчет и выбор устройств, установленных в комплектной трансформаторной подстанции;
- Расчет и выбор сечения кабельных сетей и аппаратов защиты линий электроснабжения по действующим нормативным условиям электроснабжения;
- Расчет и выбор систем защитного заземления и молниезащиты медицинского учреждения;
- Выбор резервных источников обеспечения электроэнергией.

1 Характеристика объекта проектирования

1.1 Исходные данные для проектирования

Исходными данными для проектирования раздела силового электрооборудования и электрического освещения являются архитектурно-планировочные и технологические решения по размещению медицинского оборудования.

По надежности электроснабжения данного объекта в соответствии с СП 31-110-2003 [9, п.5 таб. 5.1.] электроприемники относятся к 1(особой), 1 и 2 категориям электроснабжения.

К 1-ой особой категории относятся: диализные аппараты (все электроприемники снабжены индивидуальными источниками бесперебойного питания ИБП), аварийное и эвакуационное освещение. Время работы ИБП не менее 10 минут, что позволяет обеспечить бесперебойное электроснабжение с момента пропадания электроснабжения во внешней электросети до автоматического запуска дизельной электростанции (ДЭС).

1 категория: система пожаротушения и пожарной сигнализации, управление противопожарным электромагнитным клапаном водомерного узла.

2 категория: остальные электроприемники (розеточные группы, освещение, системы вентиляции и кондиционирования, водопровода и т.д.).

Тип сети электроснабжения проектируемого здания TN – S (система с глухозаземленной нейтралью), напряжение 380/220 В, источниками питания являются линии электропередач (ЛЭП) – 10 кВ, в качестве резервного источника электропитания предусматривается дизельная электростанция (ДЭС) 0,4кВ.

1.2 Характеристика источников электроснабжения

Согласно техническим условиям электроснабжения проектируемого медицинского учреждения источниками питания являются ЛЭП – 10 кВ, в качестве резервного источника питания запроектирована дизельная электростанция (ДЭС) 0,4кВ.

В рабочем режиме электроснабжение осуществляется через двухтрансформаторную тупиковую КТП с разделным секционированием, питающаяся от двух различных линий электропередач (ЛЭП) 10 кВ.

При отсутствии электроснабжения от одной из ЛЭП электроснабжение происходит через оставшуюся в работе линию электропередач.

1.3 Характеристика электроприемников

Электроприемниками проектируемого учреждения являются электроприемники медицинского оборудования, оборудование приточно-вытяжной вентиляции, освещение, технологическое оборудование, оборудование, системы пожарной сигнализации и противопожарных устройств.

Для ввода, учета и распределения сетей электроснабжения в подвале здания установлены ВРУ-1 и ВРУ-2, с устройством защиты и учета электроэнергии. Для электропитания потребителей 1 категории предусмотрена система АВР, обеспечивающая автоматическое переключение питания потребителей.

Перечень технологического оборудования, питающегося от ВРУ-1:

а) Щиты освещения первого этажа и подвала (ЩО-1.1 и ЩО-1)

Щиты освещения принимают и распределяют электроэнергию переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 380/220 В, защищает

отходящие линии питания электроприемников от коротких замыканий и перегрузок, служит для оперативных отключений и включений.

б) Щит распределительный (ЩР-3)

Распределительные щиты принимают и распределяют электроэнергию для питания розеточных сетей и различных электроприемников.

в) Щиты вентиляционные (ЩВ-1.5 и ЩВ-5)

Предназначены для управления средствами вентиляции.

г) Шкаф управления пожарным гидрантом (ШУ-ПГ)

Предназначен для управления насосов систем водяного пожаротушения.

Перечень технологического оборудования, питающегося от ВРУ-2:

а) Щиты аварийного освещения первого этажа и подвала (ЩАО-1.2 и ЩАО-2)

Щиты управления включением или отключением аварийного освещения при сбоях в сети освещения.

б) Щит управления диализными аппаратами (ЩД-1.3)

Предназначен для распределения электроэнергии, а также защиты линий от коротких замыканий и перегрузок.

в) Щиты распределительные (ЩР-4, ЩР-1.4)

Распределительные щиты принимают и распределяют электроэнергию для питания розеточных сетей, нагревательных электроприемников и насосов.

1.4 Система внутреннего освещения

Проектом предусматривается освещение всех помещений диализного центра. Электроснабжение осветительных сетей производится согласно СП52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [12].

Степень защиты светильников выбрана в зависимости от характеристики помещения, в процедурных помещениях установлены

светильники со степенью защиты не менее IP54, в административных помещениях светильники должны иметь степень защиты не менее IP20.

Управление рабочим и аварийным освещением выполнено выключателями, установленными в обслуживаемом помещении.

Нормируемые характеристики освещенности помещений обеспечиваются совместной работой светильников рабочего и аварийного освещения, так как для рабочего и аварийного освещения применяются одинаковые светильники, а аварийные светильники выделяются из числа светильников общего освещения буквой «А» с видимой стороны. Освещенность каждого помещения регламентируется соответствующими нормами [12].

Групповых осветительные сети от ВРУ до распределительных щитов проложены по кабельным лоткам кабелем с медными жилами, не распространяющим горение типа ППГнг(А)–HF, а для потребителей систем противопожарной защиты кабелем типа ППГнг(А)–FRHF с пониженным дымо и газовойделением.

Вывод по разделу 1.

В данном разделе был исследован объект проектирования, определено электрооборудование, технологические решения по его размещению и категория электроснабжения электропримеников, определены основные и резервные источники питания, определены параметры систем внутреннего освещения.

2 Расчет нагрузок освещения

Для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации электрических сетей необходимо произвести расчет электрических нагрузок. По расчетам электрических нагрузок выполняется подбор силовых и защитных элементов электрической сети. Расчетная осветительная нагрузка производственных, общественных и жилых зданий определяется исходя из общей мощности рассчитанных ламп. Начнем расчет нагрузок с определения нагрузок на освещение на основании нормативных документов: «Свод правил по проектированию строительству. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» [10].

2.1 Расчет освещенности

Расчет освещения проводим по методике, указанной в [6, с. 137], с использованием гигиенических требований к освещению помещений [8].

Для примера расчета освещенности возьмем диализный зал на 5 мест помещение №106.

Его габариты составляют:

- длина 8,8 м;
- ширина 5,5 м;
- высота 3м.

Нормируемая освещенность в помещениях данного типа:

$$E_{\text{норм}}=500\text{Лк.}$$

Выбираем тип источника света. Принимаем для расчета встраиваемые люминесцентные лампы низкого давления.

Выбираем тип светильника. OWS/К 2x55; КПД=46%; P=55Вт; $h_p=0,8\text{м}$; $h_c=0\text{м}$ (так как светильник является встраиваемым) кривая сил света типа Д.

Размещаем светильники по помещению:

Рассчитаем подвес светильников по формуле (1):

$$h = H - h_c - h_p, \quad (1)$$

где h – высота подвеса светильников, м;

H – высота помещения, м;

h_c – высота свеса светильника, м;

h_p – высота рабочей поверхности, м.

$$h = 3,0 - 0 - 0,8 = 2,2 \text{ м.}$$

Диапазон расстояния между светильниками рассчитывается по формуле (2):

$$L = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot h, \quad (2)$$

где L – диапазон распределения светильников

λ_1 и λ_2 – относительные светотехнические и энергетические кривой сил, наивыгоднейшие расстояния между светильниками, зависящие от типа света, м.

h – высота помещения, м.

Для светильника с кривой силой света типа Д $\lambda_1/\lambda_2=1,2/1,6$, м,

$$L = \frac{1,2}{1,6} \cdot 2,2 = 1,7 \text{ метра.}$$

Количество светильников по ширине помещения по формуле (3):

$$n = \frac{b}{L}, \quad (3)$$

где n – количество светильников, м;

b – ширина помещения, м;

L – диапазон распределения светильников.

$$n = \frac{5,5}{1,7} = 3 \text{ ряда.}$$

Проведем расчет методом коэффициента использования светового потока:

Рассчитаем индекс помещения по формуле (4).

$$i = \frac{a \cdot b}{h(a+b)}, \quad (4)$$

где i – индекс помещения, отн. ед.;

a и b – длина и ширина помещения, м;

h – высота, м.

$$i = \frac{8,8 \cdot 5,5}{3(8,8 + 5,5)} = 1,1 \text{ отн. ед.}$$

Определяем коэффициенты отражения для светлых общественных помещений: для потолка $p_{\text{п}} = 0,7$ отн. ед.; для стен $p_{\text{с}} = 0,5$ отн. ед.; для рабочих поверхностей $p_{\text{р}} = 0,3$ отн. ед.

Расчёт количества светильников ведется по формуле (5):

$$N_{\text{св}} = \frac{E_{\text{норм}} \cdot S \cdot K_{\text{зап}} \cdot z}{n \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot U_{\text{оу}}}, \quad (5)$$

где $E_{\text{норм}}$ – нормативная освещенность в помещении, лк;

S – площадь помещения, м²;

$K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса от 1,3 до 1,5;

z – коэффициент неравномерности освещения примем среднее значение равное 1,2;

n – количество ламп в светильнике, шт;

$\Phi_{\text{л}}$ – мощность ламп, Лм;

$U_{\text{оу}}$ – коэффициент использования светового потока для данного помещения равен 46%.

$$N_{\text{св}} = \frac{500 \cdot 48,5 \cdot 1,3 \cdot 1,2}{2 \cdot 4800 \cdot 0,46} = 8,55 \text{ шт.}$$

Округлим количество светильников до ближайшего числа 9.

Окончательно выбираем тип лампы:

Тип лампы –OWS/К 2x55; общая мощность – 110 Вт, световой поток – 9600 Лм; срок службы – 30000ч.

Рассчитаем удельную осветительную нагрузку для данного помещения по формуле (6).

$$P_{\text{нагр}} = P_{\text{лампы}} \cdot n \cdot N_{\text{св}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{нагр}}$ – мощность нагрузки, Вт;

$P_{\text{лампы}}$ – мощность лампы светильника, Вт;

n – количество ламп в светильнике, шт;

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

$$P_{\text{нагр}} = 55 \cdot 2 \cdot 9 = 0,99 \text{ кВт},$$

Удельная осветительная нагрузка составила 0,99кВт.

По этому методу рассчитываем освещенность и осветительную нагрузку для других помещений и заполним таблицу А.1 приложение А, столбцы 3, 4, 5, 6, 7.

2.2 Расчет аварийного освещения

Помимо общего освещения в медицинских учреждениях должно быть обеспечено аварийное освещение. Аварийным освещением должны обеспечиваться:

- маршруты эвакуации людей;
- подсветка указателей выхода;
- помещения, в которых расположены аварийные электрогенераторы и распределительные устройства основной и аварийной электросетей;

- помещения для экстренных процедур. В каждом помещении должен быть, по крайней мере, один светильник, подключенный к аварийной сети;
- помещения группы 1. В каждом помещении должен быть, по крайней мере, один светильник, подключенный к аварийной сети;
- помещения группы 2. В этих помещениях не менее 50 % светильников должны иметь подключение к аварийной сети [4].

Расчетная нагрузка сетей освещения определяется умножением установленной мощности осветительных приборов на коэффициент спроса, для расчета аварийного освещения коэффициент спроса принимают равным 1,0.

Питание щитков рабочего освещения ЩО осуществляется от ВРУ-1, а питание щитков аварийного освещения ЩАО от ВРУ-2. Светильники аварийного освещения выделяются из числа светильников общего освещения буквой «А» с видимой стороны светильника, устанавливаются в помещениях на 1 этаже: в коридоре (102), в диализных залах на 5 мест (106,107); в подвале: в коридоре (002), в помещении водоподготовки (004), в помещении для приготовления и хранения диализных концентратов (005), в электрощитовой (008).

Расчетные значения мощностей и выбор светильников аварийного освещения занесем в таблицы А.2 и А.3 приложения А.

2.3 Распределение осветительных нагрузок по фазам

Для обеспечения симметрии напряжения необходимо распределить однофазные нагрузки по фазам. «Распределение нагрузок между фазами сети освещения общественных зданий должно быть, как правило, равномерным; разница в токах наиболее и наименее нагруженных фаз не должна превышать 30% в пределах одного щитка» [9].

Для начала разделим нагрузки щитка на три примерно одинаковые по уровню потребления группы, которые будут питаться от каждой из фаз.

Расчет разности токов будем производить по формуле (7).

$$\Delta I = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где ΔI – разность токов, А;

I_{max} – ток самой загруженной фазы, А;

I_{min} – ток самой ненагруженной фазы, А.

Рассчитаем значения токов однофазных электроприемников по формуле (8).

$$I = \frac{\sum P \cdot 1000}{U_{ном} \cdot \cos \varphi}, \quad (8)$$

где I – ток однофазных электроприемников, А;

$\sum P$ – суммарная нагрузка электроприемников подключенных к одной фазе, Вт;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение электроприемников, В;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности электроприемников.

Коэффициент мощности электроприемников рассчитываем по формуле (9).

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}, \quad (9)$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности электроприемника;

P – величина активной мощности электроприемника, Вт;

S – величина полной мощности электроприемника, ВА.

Рассчитаем несимметрию ЩО-1.1:

Коэффициент мощности $\cos\varphi$ светильников люминесцентных ламп низкого давления равен 0,92.

Для нахождения наиболее и наименее загруженных фаз необходимо рассчитать суммарные нагрузки на каждую фазу по формуле:

$$\sum P = P_1 + P_2 + \dots + P_n, \quad (10)$$

где $\sum P$ – суммарная нагрузка электроприемников, Вт;

P_1, P_2, P_n – нагрузки электроприемников, Вт.

$$P_A = 880 + 144 + 36 + 36 + 36 = 1132 \text{ Вт.}$$

$$P_B = 432 + 990 = 1422 \text{ Вт.}$$

$$P_C = 72 + 72 + 72 + 288 + 144 + 36 + 36 + 216 + 216 + 144 = 1296 \text{ Вт.}$$

Фаза В наиболее загруженная, ее ток равен I_{\max} .

Фаза А наименее загруженная, ее ток равен I_{\min} .

$$I_{\max} = \frac{1,422 \cdot 1000}{230 \cdot 0,92} = 6,72 \text{ А.}$$

$$I_{\min} = \frac{1,132 \cdot 1000}{230 \cdot 0,92} = 5,35 \text{ А.}$$

$$\Delta I = \frac{6,72 - 5,35}{6,72} \cdot 100\% = 20,4\%.$$

Разность токов ΔI ЩО-1.1 не превышает 30%.

Аналогичным способом распределяем нагрузку для остальных распределительных щитов и заполним таблицу А.1 приложение А, столбец 8.

Вывод по разделу 2.

В данном разделе была рассчитана освещенность и электрическая нагрузка основных осветительных установок, а также нагрузок аварийного освещения. Все электроприемники были распределены по фазам для обеспечения симметрии напряжения.

3 Расчет электрических нагрузок силовой цепи

Верное определение величин электрических нагрузок является одним из основополагающих факторов на стадии проектирования и при дальнейшей эксплуатации электрических сетей.

Нахождение расчетной нагрузки методом коэффициента спроса является наиболее точным, используется для нахождения расчетной электрической нагрузки на всех уровнях системы электроснабжения предприятия, при наличии исходной информации о каждом электроприемнике.

Исходя из информации электрооборудования, по справочным данным находятся значения коэффициентов использования и коэффициентов мощности установленных электроприемников в помещениях проектируемого учреждения.

Произведем расчет нагрузки для потребителей напряжением 220 и 380 Вольт на основании строительных нормативных документов: «Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» [10].

Для каждого электроприемника выбирается коэффициент спроса $K_c=0,5...1$ и коэффициент полезной мощности $\cos\varphi=0.5...1$.

Используя коэффициент спроса и заявленную мощность электроприемников, находим расчетную активную мощность по формуле (11).

$$P_p = K_c \cdot P, \quad (11)$$

где P_p – расчетная активная мощность, Вт;

K_c – коэффициент спроса;

P – мощность электроприемника, Вт.

Используя расчетную активную мощность и коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$ найдем расчетную реактивную мощность по формуле (12):

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (12)$$

где Q_p – расчетная реактивная мощность, квар;
 P_p – расчетная активная мощность, Вт;
 $\operatorname{tg}\varphi$ – расчетный коэффициент реактивной мощности, соответствующий значению $\cos\varphi$.

Полную расчетную мощность рассчитываем по формуле (13):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (13)$$

где S_p – полная мощность, ВА;
 Q_p – расчетная реактивная мощность, Вт;
 P_p – расчетная активная мощность, Вт.

Расчетный ток однофазной нагрузки определяется по формуле (14):

$$I_p = \frac{P_p \cdot 1000}{U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi}, \quad (14)$$

где I_p – расчетный ток однофазной нагрузки, А;
 P_p – расчетная активная мощность, Вт;
 $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение электроприемника, В;
 $\cos\varphi$ – коэффициент мощности электроприемника.

Расчетный ток трехфазной нагрузки определяется по формуле (15):

$$I_p = \frac{P_p \cdot 1000}{1,73 \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi}, \quad (15)$$

где I_p – расчетный ток трехфазной нагрузки, А;
 P_p – суммарная нагрузка электроприемника, кВт;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение электроприемника, В;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности электроприемников.

Согласно формул (11), (12), (13), (14), (15) производим расчеты для каждого электроприемника и занесем рассчитанные данные в таблицу Б.1 приложение Б для электроприемников подвала и в таблицу Б.2 приложение Б для электроприемников первого этажа.

Вывод по разделу 3.

В данном разделе методом коэффициентов спроса осуществляется расчет электрических нагрузок силовых цепей напряжением 220 и 380 В проектируемого учреждения. Определены активные, реактивные и полные мощности установленных электроприемников. Рассчитаны токи трехфазных и однофазных электроприемников.

4 Определение мощности комплектной трансформаторной подстанции

4.1 Выбор силового трансформатора трансформаторной подстанции

Система электроснабжения состоит из большого количества структурных элементов для распределения и передачи электроэнергии от электростанции до потребителя. Обеспечение электрической энергией потребителей до 1кВ (220 В, 380 В, 660В) осуществляется подстанцией с напряжением на высокой стороне 10 кВ.

Силовые трансформаторы являются основной составляющей всех понижающих подстанций. Основным элементом всех понижающих подстанций являются силовые трансформаторы.

Для установки в комплектной трансформаторной подстанции (КТП) примем трансформаторы с масляным типом изоляции, так как сухие или элегазовые трансформаторы в несколько раз дороже масляных, а также жидкая изоляция эффективнее охлаждает обмотки трансформатора.

Основными критериями выбора силового трансформатора являются:

- класс напряжения;
- расчетная мощность нагрузки должна быть меньше или равна мощности трансформатора;
- номинальный ток вторичной обмотки трансформатора должен превышать сумму токов линий нагрузки.

Проектирование электроснабжения медицинского учреждения предусматривает питание потребителей 1 и 2 категорий, поэтому следует установить двухтрансформаторную КТП. Для 1 категории электропотребителей оптимальный коэффициент загрузки составляет $K_3=0,6-0,7$.

4.2 Расчёт параметров силового трансформатора трансформаторной подстанции

Для определения мощности трансформаторов подстанции необходимо рассчитать полную суммарную нагрузку всех электроприемников по формуле (16):

$$S = \sum_{k=1}^n S_k = S_{\text{подв}} + S_{1\text{эт}}, \quad (16)$$

где S – полная суммарная нагрузка электроприемников, кВА;

k – индекс суммирования;

S_k – переменная, обозначающая полную мощность каждого электроприемника, кВА;

n – верхняя граница суммирования;

$S_{\text{подв}}$ – полная мощность потребителей подвала, кВА;

$S_{1\text{эт}}$ – полная мощность потребителей 1 этажа, кВА.

$$S = S_{\text{подв}} + S_{1\text{эт}} = 63,01 + 56,03 = 119,04 \text{ кВА.}$$

Исходя из величины полной нагрузки, рассмотрим трансформаторы номинальной мощностью 63кВА и 100кВА.

Определим минимальное число трансформаторов по формуле (17):

$$N_T = \frac{S}{K_3 \cdot S_{\text{нт}}}, \quad (17)$$

где N_T – число трансформаторов, шт;

S – расчетная полная нагрузка, кВА;

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора;

$S_{\text{нт}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА.

$$N_T = \frac{119,04}{0,7 \cdot 63} = 2,70 \text{ шт.}$$

Принимаем к установке 3 трансформатора.

Определим коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме работы по формуле (18):

$$K_{\text{нр}} = \frac{S}{N_{\text{T}} \cdot S_{\text{нт}}}, \quad (18)$$

где $K_{\text{нр}}$ – коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме работы;

S – расчетная полная нагрузка, кВА;

N_{T} – число трансформаторов, шт;

$S_{\text{нт}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА.

$$K_{\text{нр}} = \frac{121,5}{3 \cdot 63} = 0,63.$$

Определим коэффициент загрузки трансформаторов в послеаварийном режиме по формуле (19):

$$K_{\text{пав}} = \frac{S}{(N_{\text{T}} - 1) \cdot S_{\text{нт}}}, \quad (19)$$

где $K_{\text{пав}}$ – коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме работы;

S – расчетная полная нагрузка, кВА;

N_{T} – число трансформаторов, шт;

$S_{\text{нт}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА.

$$K_{\text{пав}} = \frac{119,04}{(3 - 1) \cdot 63} = 0,95.$$

Рассчитаем минимальное количество, а также коэффициенты загрузки в нормальном и послеаварийном режиме работы трансформаторов мощностью 100кВА.

$$N_{\text{T}} = \frac{119,04}{0,7 \cdot 100} = 1,7 \text{ шт.}$$

Принимаем к установке 2 трансформатора.

$$K_{\text{нр}} = \frac{119,04}{2 \cdot 100} = 0,60.$$

$$K_{\text{пав}} = \frac{119,04}{(2 - 1) \cdot 100} = 1,19.$$

Исходя из сравнения коэффициентов и требуемого количества трансформаторов, с точки зрения экономической целесообразности и надежности электроснабжения ТП с трансформаторами на 100кВА имеет меньшую загрузку в послеаварийном режиме работы. Поэтому, для установки на КТП следует принять два трансформатора ТМГ-100/10/0,4. Данный выбор трансформаторов соответствует ГОСТ 14209-85 пункт 4.1 таблиц 8-14 [3].

Таблица 1 – Паспортные данные выбранного силового трансформатора

Тип	S _{ном.Т} кВА	Каталожные данные					
		U _{ном} обмоток, кВ		U _х , %	I _х , %	P _{кз} , Вт	P _х , Вт
		ВН	НН				
ТМГ-100/10/0,4	100	10,5	0,4	4,5	4,0	400	2400

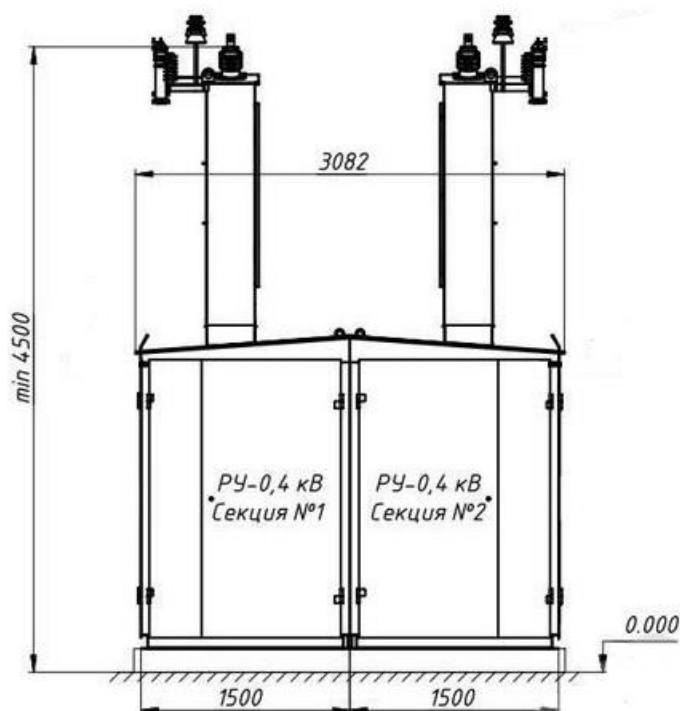


Рисунок 1 – Общий вид комплектной трансформаторной подстанции 2КТП – ТВ 100 10/0,4.

Выбранные трансформаторы устанавливаются в комплектную трансформаторную подстанцию киоскового типа, тупиковую, с двумя воздушными вводами, наружной установки, предназначенная для приема, преобразования и распределения электроэнергии переменного тока частотой 50Гц и напряжением 10/0,4кВ. КТП имеет два отсека для силовых масляных трансформаторов.

Для защиты трансформаторной подстанции от перегрузок, коротких замыканий и перепадов напряжения на КТП устанавливаются разрядники, а также автоматические выключатели или рубильники с предохранителями. Расположить КТП согласно СП 42.13330.2011 [11, п. 12.26] необходимо на расстоянии не менее 15 метров до зданий лечебно-профилактических учреждений.

Вывод по разделу 4.

В данном разделе осуществляется выбор параметров трансформаторной подстанции с учетом категорий электроснабжения потребителей. На основании нормативных требований произведен выбор трансформаторной подстанции с двумя трансформаторами типа ТМГ-100/10/0,4. Коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме работы составил 0,60, а в послеаварийном режиме 1,19.

5 Расчет и выбор сечения кабелей питающей, распределительной и групповой сети

5.1 Выбор марок кабелей

Согласно ПУЭ [7] и требованиям пожарной безопасности [5] для электроснабжения внутренних электропроводок зданий следует применять кабели и провода с тремя или пятью медными жилами. Выбор сечений токопроводящих жил и марок кабелей произведем с учетом вышеуказанных требований и с учетом способов прокладки:

– для электроснабжения трехфазных и однофазных электроприемников, а также для выполнения групповой сети рабочего освещения используется кабель марки ППГнг(А)–НF, характеризующийся как кабель с медными токопроводящими жилами с изоляцией и оболочкой из безгалогенного полимерного пластика без защитных покровов, нг – не распространяющий горение, НF – отсутствие выделяющихся галогеносодержащих соединений, а также низкая дымообразующая способность при горении и тлении. Такие кабели прокладываются в помещениях с массовым скоплением людей, где предъявлены высокие требования пожаробезопасности.

– для электроснабжения щитов аварийного освещения, групп аварийного освещения, а также потребителей систем противопожарной защиты используется кабель марки ППГнг(А)–FRHF, FR – огнестойкий, за счёт применения обмотки из слюдосодержащих лент.

5.2 Выбор сечения токопроводящих жил

Проводники для линий электроснабжения выбираются с учетом соответствия аппарату защиты.

Произведем выбор сечения кабелей ППГнг(А)–HF и ППГнг(А)–FRHF. Сечение жил проводников выбираем согласно ПУЭ [7] по табл. 1.3.6 исходя из следующего условия (20):

$$I_p \leq I_d, \quad (20)$$

где I_p – расчетный ток сети, А;

I_d – длительно допустимый ток кабеля, А.

Допустимый ток принимается как для кабелей, проложенных в воздухе без учета заземляющих и нулевых защитных проводников.

Проведем расчет сечения кабеля для линий освещения. Самая большая осветительная нагрузка в помещении 106, ее суммарная мощность составляет 0,99кВт. Рассчитаем ток по формуле 8.

$$I = \frac{\sum P \cdot 1000}{U_{ном} \cdot \cos\varphi} = \frac{0,99 \cdot 1000}{230 \cdot 0,92} = 4,68 \text{ А.}$$

Согласно ПУЭ [7] п. 7.1.33. минимальное сечение медного кабеля $1,5\text{мм}^2$, его допустимый ток составляет 23А, $4,68 \text{ А} \leq 23\text{А}$, на основании полученных данных принимаем для установки кабель сечением $1,5\text{мм}^2$.

Линии питания от распределительного щита до светильников сети электроснабжения выполняются кабелем 3x1,5, а линии питания розеточных сетей выполняются кабелем 3x2,5

5.3 Расчет и подбор аппаратов защиты линий электроснабжения для групповых линий

Для обеспечения надежного и безопасного использования сетей электроснабжения необходимо выбрать аппараты защиты для всех электроприемников в щитах и вводные автоматы для них.

После расчета нагрузок линий электроснабжений необходимо выбрать выводные автоматы для распределительных щитов и всех

электроприемников в щитах. Произведем расчет на основании В.П. Шеховцев «Расчет и проектирование схем электроснабжения» [14, с. 42] и справочному пособию по электрооборудованию и электроснабжению [15].

Определим номинальные токи сетей с помощью формулы (17).

Для защиты линий выберем автоматические выключатели с комбинированным расцепителем (тепловым и электромагнитным) [13, с. 32].

Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя определяются с помощью формул (21), (22), (23).

– для линий без электродвигателей:

$$I_{н.р.} \geq I_{д.н.}, \quad (21)$$

– для линий с одним электродвигателем:

$$I_{н.р.} \geq 1,25I_{д.н.}, \quad (22)$$

– для групповой линии с несколькими электродвигателями:

$$I_{н.р.} \geq 1,1I_{д.н.}, \quad (23)$$

где $I_{н.р.}$ – расчетный ток расцепителя, А;

$I_{д.н.}$ – номинальный длительно допустимый ток кабеля, А.

Результаты расчетов аппаратов защиты сводим в таблицу.

Рассмотрим выбор автоматических выключателей для ЩР-4, как для линий с многодвигательным приводом.

$$I_{н.ЩР-4} = 35,75 \text{ А.}$$

$$I_{н.р.} \geq 1,1 \cdot I_{н.ЩР-4} = 1,1 \cdot 35,75 \text{ А} = 39,33 \text{ А.}$$

Зная номинальный ток автомата, его тип и число полюсов, выписываются каталожные данные выбираем автоматический выключатель типа ВА47-60 3Р с номинальным током $I_{ном.авт.}=40\text{А}$ и характеристикой срабатывания С. Такой автоматический выключатель имеет тепловой и электромагнитный типы расцепителей, предназначенные для автоматического отключения питания сети при возникновении сверхтоков.

Согласно ПУЭ [7] п.7.1.71 «Для защиты групповых линий, питающих штепсельные розетки для переносных электрических приборов, рекомендуется предусматривать устройства защитного отключения (УЗО).»

Устанавливаем на розеточные сети автоматические выключатели дифференциального тока типа АВДТ32 с дифференциальным током срабатывания 30 мА и характеристикой срабатывания типа В, предназначенные для защиты человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении к токоведущим частям электроустановки, а также от защиты от сверхтоков и перегрузок. Так же дифференциальные выключатели должны устанавливаться на сети многофункциональных консолей для диализных аппаратов согласно ГОСТ Р 50571.28-2006 [4].

Вывод по разделу 5.

В данном разделе выбраны параметры кабельных линий распределительных и групповых сетей, для осуществления высокой пожаробезопасности выбраны кабели типа ППГнг(А)–HF и ППГнг(А)–FRHF. По токам электроприемников рассчитаны сечения кабельных линий. Согласно нормативным документам по защите линий электроснабжения выбраны аппараты защиты.

6 Расчёт токов короткого замыкания

6.1 Расчет трехфазного тока короткого замыкания в цепи на стороне низкого напряжения

Расчет токов короткого замыкания производится для проверки и подбора аппаратов защиты и проводников, для проверки по условиям термической стойкости кабелей и распределительных устройств, для определения параметров срабатывания, проверки чувствительности и согласованности работы цепей релейной защиты.

Возникновение короткого замыкания в сети приводит к резкому росту тока в токоведущих частях электроустановок, что приводит к разрушению изоляции, а также возникновению механических усилий, которые могут привести к полному разрушению электроустановки. Причинами КЗ являются скачки напряжения выше допустимых параметров, старение изоляции под действием внешних факторов, механические повреждения изоляции, ошибки оперативного персонала, а также прямые удары молний.

Расчет токов КЗ позволяет определить токи, протекающие в сети в момент КЗ в сети на стороне высокого и низкого напряжения [1, с. 10].

Составим расчетную схему для расчёта КЗ.

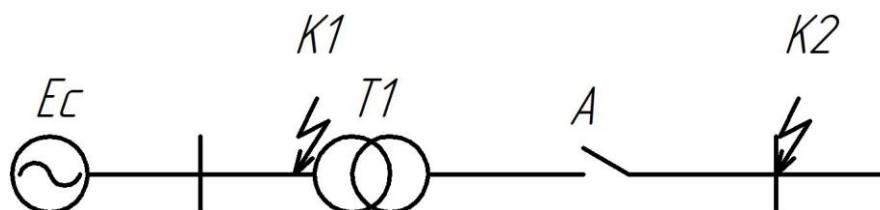


Рисунок 18 – Расчетная схема с точками КЗ

Изобразим схему замещения цепи, в которой произошло КЗ на стороне низкого напряжения в точке $K2$.

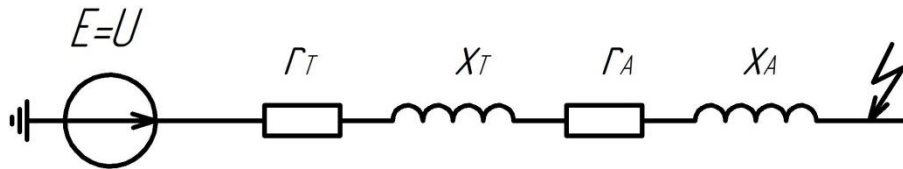


Рисунок 19 – Схема замещения цепи

Рассчитаем значения всех сопротивлений. Полное сопротивление находим по формуле (24).

$$z = \sqrt{x^2 + r^2}, \quad (24)$$

- где z – полное сопротивление, мОм;
 x – реактивное сопротивление, мОм;
 r – активное сопротивление, мОм.

С помощью паспортных данных трансформатора ТМГ-100/10/0,4 рассчитываем значение полного сопротивления по формуле (25).

$$z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{к}} \cdot U_{\text{ном}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном}}}, \quad (25)$$

- где $z_{\text{тр}}$ – полное сопротивление трансформатора, мОм;
 $U_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;
 $U_{\text{ном}}$ – номинальное линейное напряжение, кВ;
 $S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА.

$$U_{\text{к}} = 4,5 \%$$

$$U_{\text{н}} = 0,4 \text{ кВ.}$$

$$S_{\text{ном}} = 100 \text{ кВА.}$$

$$z_{\text{тр}} = \frac{4,5 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 100} = 72 \text{ мОм.}$$

Рассчитаем сопротивление автомата с помощью активного и реактивного сопротивления контактов, выбранных из паспортных данных $x_{\text{А}} = 0,5 \text{ мОм}$; $r_{\text{А}} = 1,1 \text{ мОм}$.

$$z_A = \sqrt{0,5^2 + 1,1^2} = 1,2 \text{ мОм.}$$

Полное сопротивление до точки КЗ К2 находим по формуле (26):

$$z_{\Pi} = z_{\text{тр}} + z_A, \quad (26)$$

где z_{Π} – полное сопротивление сети до точки КЗ, мОм;

$z_{\text{тр}}$ – полное сопротивление трансформатора, мОм;

z_A – полное сопротивление автомата, мОм.

$$z_{\Pi} = 72 + 1,2 = 73,2 \text{ мОм.}$$

Изобразим упрощённую схему замещения цепи и рассчитаем суммарные параметры схемы замещения:

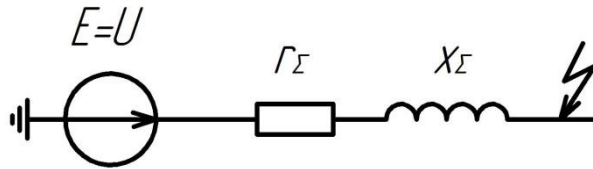


Рисунок 20 – Упрощённая схема замещения цепи

Рассчитаем ток трехфазного КЗ в точке К2 по формуле (27).

$$I_{\text{к.НН}}^{(3)} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Pi}}, \quad (27)$$

где $I_{\text{к.НН}}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на стороне НН, А;

$U_{\text{НОМ}}$ – полное сопротивление трансформатора, В;

z_{Π} – полное сопротивление сети до точки КЗ, мОм.

$$I_{\text{к.НН}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,0732} = 3155 \text{ А.}$$

Ток двухфазного КЗ рассчитаем по формуле (28).

$$I_{\text{к.НН}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{к.НН}}^{(3)}, \quad (28)$$

где $I_{\text{к.НН}}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на стороне НН, А;

$I_{к.НН}^{(2)}$ – ток двухфазного КЗ на стороне НН, А.

$$I_{к.НН}^{(2)} = 0,866 \cdot 3155 = 2732 \text{ А.}$$

Рассчитаем ток однофазного КЗ по формуле (29):

$$I_{к.НН}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_{\text{тр}}}{3} + z_{\text{А}}}, \quad (29)$$

где $I_{к.НН}^{(1)}$ – ток однофазного КЗ на стороне НН, А;

U_{ϕ} – фазное напряжение трансформатора, В;

$z_{\text{тр}}$ – полное сопротивление трансформатора, мОм;

$z_{\text{А}}$ – полное сопротивление автомата, мОм;

Для определения тока однофазного КЗ необходимо определить сопротивление трансформатора при однофазном КЗ, определим $z_{\text{Т}}$ по таблице 2.4 [2, с. 29]. Трансформатор ТМГ-100/10/0,4 имеет полное сопротивление $z_{\text{Т}}=225,9$ мОм

$$I_{к.НН}^{(1)} = \frac{230}{\frac{225,9}{3} + 1,2} = 3007 \text{ А.}$$

6.2 Расчет трехфазного короткого замыкания на стороне высокого напряжения

Ток однофазного КЗ на стороне 10,5 кВ рассчитаем по формуле (30).

$$I_{к.ВН}^{(1)} = \frac{2 \cdot I_{к.НН}^{(1)}}{3} \cdot \frac{U_{НН}}{U_{ВН}}, \quad (30)$$

где $I_{к.ВН}^{(1)}$ – ток однофазного КЗ на стороне ВН, А;

$I_{к.НН}^{(1)}$ – ток однофазного КЗ на стороне НН, А;

$U_{НН}$ – номинальное напряжение на стороне НН, кВ;

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

$$I_{к.ВН}^{(1)} = \frac{2 \cdot 3007}{3} \cdot \frac{0,4}{10,5} = 76,4 \text{ А.}$$

Ток трехфазного КЗ на стороне 10,5 кВ рассчитаем по формуле (31):

$$I_{к.ВН}^{(3)} = I_{к.НН}^{(3)} \cdot \frac{U_{НН}}{U_{ВН}}, \quad (31)$$

где $I_{к.ВН}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на стороне ВН, А;

$I_{к.НН}^{(1)}$ – ток однофазного КЗ на стороне НН, А;

$U_{НН}$ – номинальное напряжение на стороне НН, кВ;

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

$$I_{к.ВН}^{(3)} = 3155 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 120 \text{ А.}$$

Ток двухфазного КЗ на стороне 10,5 кВ рассчитаем по формуле (32):

$$I_{к.ВН}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к.ВН}^{(3)}, \quad (32)$$

где $I_{к.ВН}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на стороне ВН, А;

$I_{к.НН}^{(1)}$ – ток однофазного КЗ на стороне НН, А;

$U_{НН}$ – номинальное напряжение на стороне НН, кВ;

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

$$I_{к.ВН}^{(2)} = 0,866 \cdot 120 = 104 \text{ А.}$$

Вывод по разделу 6.

В ходе выполнения данного раздела были рассчитаны токи КЗ на стороне НН и ВН подстанции. Ток трехфазного КЗ на стороне низкого напряжения составляет 3,16 кА, ток двухфазного КЗ составляет 2,73 кА, ток однофазного КЗ на землю составил 3,00 кА. На основе полученных расчетов можно сказать, что самым опасным является трехфазное КЗ.

7 Выбор оборудования комплектной трансформаторной подстанции

7.1 Подбор выключателей на стороне высокого напряжения

Надежная и бесперебойная работа электрических аппаратов обеспечивается правильным выбором аппаратов защиты при максимальной нагрузке и в режиме короткого замыкания.

Согласно [7], оборудование выбирается по каталогам, исходя из номинальных условий работы.

Выключатели выбираются согласно условию (33) по напряжению:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}, \quad (33)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение выключателя по каталогу, В;
 $U_{\text{уст}}$ – напряжение сети, В.

По длительному току:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб.мах}}, \quad (34)$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток выключателя по каталогу, А;
 $I_{\text{раб.мах}}$ – максимальный рабочий ток, А.

Рабочий максимальный ток сети для сети с двумя параллельно работающими трансформаторами определяется с учетом допустимой перегрузки трансформатора 40% по формуле (35)

$$I_{\text{раб.мах}} = 1,4 \cdot I_{\text{ном}}. \quad (35)$$

Рабочий максимальный ток цепи генератора ДЭС рассчитывается по формуле (36):

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{P_{\text{ном.г}}}{\sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot U_{\text{ном}} \cdot 0,95}, \quad (36)$$

где $I_{\text{раб.мах}}$ – максимальный рабочий ток, А;
 $P_{\text{ном.г}}$ – номинальная активная мощность генератора, Вт;
 $\cos\varphi$ – коэффициент мощности генератора;
 $U_{\text{ном.г}}$ – номинальное напряжение генератора, В;
0,95 – коэффициент, учитывающий выдачу мощности генератором на напряжении ниже номинального на 5%.

По отключающей способности по формуле (37):

$$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{кз}}, \quad (37)$$

где $I_{\text{откл.ном}}$ – номинальный ток отключения выключателя, А;
 $I_{\text{кз}}$ – ток короткого замыкания, А.

7.2 Выбор разъединителей

Разъединитель является контактным коммутационным аппаратом, предназначенным для создания видимого разрыва высоковольтных сетях при проведении ремонта оборудования.

Выбор разъединителей осуществляется по параметрам выбора высоковольтных выключателей, без проверки на отключающую способность.

7.3 Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения

Трансформатор тока предназначен для преобразования тока до удобного для измерения значения, для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения. Питание измерительных приборов и устройств релейной защиты и автоматики используются трансформаторы тока с несколькими сердечниками типа.

Трансформаторы тока выбирают по:

1. По напряжению, формула (33).
2. По току (34). Номинальный ток должен быть как можно ближе к рабочему току.
3. По конструкции и классу точности.

Трансформатор напряжения предназначен для преобразования напряжения до удобной для измерения величины, а также для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения. Класс точности измерительных трансформаторов тока и напряжения определяется в зависимости от их назначения, для установки в трансформаторной подстанции с подключением расчетных счетчиков электроэнергии и измерительных приборов класс точности трансформатора должен быть 0,5.

Трансформаторы напряжения выбирают:

1. По напряжению, формула (33).
2. По конструкции и классу точности.

Вывод по разделу 7.

В ходе выполнения данного раздела осуществлён подбор оборудования трансформаторной подстанции, выбраны выключатели на стороне высокого напряжения, а также разъединители и измерительные трансформаторы тока и напряжения.

8 Расчет и выбор защитного заземления и молниезащиты

8.1 Расчет защитного заземления

Для защиты людей от удара электрическим током необходимо произвести расчет и выбор заземляющих устройств (ЗУ). Электроснабжение проектируемого объекта осуществляется по типу TN – S системы заземления, разделение рабочего (N) и защитного (PE) заземления реализовано на подстанции, электроснабжение производится по пяти проводам для трёхфазного напряжения, для однофазного – по трём.

Расчет защитного заземления подразумевает определение типа и сечения заземляющих проводников, количества вертикальных заземлителей и места размещения [18, с. 113].

В соответствии с требованиями ПУЭ [7] расчёт проводим для необходимого сопротивления заземляющего устройства. Расчет заземляющего устройства проводим по методике, указанной в [12, с. 88].

Для расчета заземляющего устройства используем следующие данные:

- используем только искусственные заземлители;
- размеры КТП = 4,7х4,0 м;
- тип ЗУ – контурное, вдоль корпуса КТП на расстоянии 1 м от стены здания;
- климатическая зона – III;
- грунт – глина, $\rho = 40 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
- вертикальный заземлитель — стержень заземления, омедненный с сечением 16 мм и длиной 3000мм, горизонтальный заземлитель — стальная оцинкованная полоса шириной 40 мм и толщиной 4мм;
- глубина заложения ЗУ в грунт 0,5 м.

Необходимое по ПУЭ [7] допустимое сопротивление заземляющего устройства составляет 4 Ом.

Определим расчетное сопротивление одного вертикального электрода по формуле (38):

$$r_B = 0.3 \cdot K_{\text{сез.в}} \cdot \rho, \quad (38)$$

где r_B – сопротивление вертикального заземлителя, Ом;

$K_{\text{сез.в}}$ – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта, принимаемы по [12, таблица 1.13.2];

ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м.

$$r_B = 0,3 \cdot 1,5 \cdot 40 = 18 \text{ Ом.}$$

Определяем необходимое количество вертикальных электродов без учета экранирования по формуле (39):

$$N'_B = \frac{r_B}{R_d}, \quad (39)$$

где N_B^1 – число вертикальных заземлителей без учета экранирования, шт;

r_B – сопротивление вертикального заземлителя с учётом коэффициента использования, Ом;

R_d – допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом.

$$N_B^1 = \frac{18}{4} = 4,5 \approx 5.$$

Определяем необходимое количество вертикальных электродов с учетом экранирования и соотношением расстояния между вертикальными заземлителями к их длине равным единице ($a/L=1$) по формуле (40):

$$N_B = \frac{N_B^1}{\eta_B}, \quad (40)$$

где N_B – число вертикальных заземлителей с учетом экранирования, шт;

N_B^1 – число вертикальных заземлителей без учета экранирования, шт;

$\eta_{\text{в}}$ – коэффициент использования вертикального заземлителя определяемый по [12, таблица 1.13.5];

$$N_{\text{в}} = \frac{5}{0,69} = 7,25.$$

Принимаем количество вертикальных электродов $N_{\text{в}}=8$.

Контурное заземление закладывается на расстоянии не менее 1 метра от здания, отсюда следует, что длина горизонтального заземлителя определяется по формуле (41):

$$L_{\text{г}} = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \cdot 2, \quad (41)$$

где $L_{\text{г}}$ – длина горизонтального заземлителя, м;

A – длина здания, м;

B – ширина здания, м.

$$L_{\text{г}} = (4,7 + 2) \cdot 2 + (4 + 2) \cdot 2 = 25,4 \text{ м.}$$

Для нахождения уточненных значений сопротивления ЗУ по [12, таблица 1.13.2] определяем коэффициент использования вертикального заземлителя $\eta_{\text{в}}=0,61$ и коэффициент использования горизонтального заземлителя $\eta_{\text{г}}=0,61$ и рассчитаем по формулам (42) и (43):

$$R_{\text{в}} = \frac{r_{\text{в}}}{N_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (42)$$

$$R_{\text{г}} = \frac{0,4}{L_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{г}}} \cdot \rho \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{\text{г}}^2}{b \cdot t}, \quad (43)$$

где $R_{\text{в}}$ – сопротивление вертикальных заземлителей, Ом;

$r_{\text{в}}$ – сопротивление вертикального заземлителя с учётом коэффициента использования, Ом;

$N_{\text{в}}$ – число вертикальных заземлителей с учетом экранирования, шт;

$\eta_{\text{в}}$ – коэффициент использования вертикального заземлителя;

$R_{\text{г}}$ – сопротивление горизонтального заземлителя, Ом;

$L_{\text{п}}$ – длина полосы, м;

B – ширина полосы, м;

T – глубина заложения заземляющего устройства, м.

$$R_{\text{в}} = \frac{18}{8 \cdot 0,61} = 3,68 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{г}} = \frac{0,4}{25,4 \cdot 0,61} \cdot 40 \cdot \lg \frac{2 \cdot 25,4^2}{0,004 \cdot 0,5} = 5,99 \text{ Ом}.$$

Фактическое значение сопротивления заземляющего контура определяем по формуле (44):

$$R_{\text{зу.ф}} = \frac{R_{\text{г}} \cdot R_{\text{в}}}{R_{\text{г}} + R_{\text{в}}}, \quad (44)$$

где $R_{\text{зу.ф}}$ – фактическое заземление, Ом;

$R_{\text{в}}$ – сопротивление вертикальных заземлителей, Ом;

$R_{\text{г}}$ – сопротивление горизонтального заземлителя, Ом.

$$R_{\text{зу.ф}} = \frac{5,99 \cdot 3,68}{5,99 + 3,68} = 2,28 \text{ Ом}.$$

$R_{\text{зу.ф}}$ (2,28 Ом) $\leq R_{\text{д}}$ (4 Ом), следовательно, защитное устройство будет работать эффективно.

8.2 Молниезащита

Молниезащита здания предназначена для обеспечения безопасности людей, защиты сооружений и зданий, а также оборудования от грозовых ударов и позволяет снизить последствия прямого удара молнии в защищаемый объект.

При прямом ударе молнии происходит непосредственный контакт молнии с конструкциями здания, через которые протекает ток молнии, в результате чего проявляется электрическое, тепловое и динамическое

действие тока, а также происходит наведение потенциалов на металлических элементах оборудования и конструкциях здания [20, с.10]. Объекты, подлежащие защите от атмосферного электричества, подразделяются на обычные и специальные. Проектируемый объект ДООУ по устройству молниезащиты относится к обычным объектам [14].

По табл. 2.2 [14] уровень защиты проектируемого объекта от прямых ударов молнии – I, при этом надёжность защиты от прямых ударов молнии примем – 0,99. Молниезащита здания выполнена по I классу защиты молниеприемной сеткой согласно [14]. Молниеприемная сетка выполнена из круглой оцинкованной стальной проволоки диаметром 8 мм, уложенной сверху на кровлю на пластиковые держатели. Шаг ячеек сетки - 5x5 м, узлы сетки соединены сваркой. Все металлические элементы, выступающие над крышей, присоединяются к молниеприемной сетке и оборудованы дополнительными молниеприемниками. Токоотводы от молниеприемной сетки проложены к заземлителю. Прокладываемые по наружным стенам здания токоотводы, располагаются как можно дальше от входов. Горизонтальный заземлитель выполнен из стальной оцинкованной полосы шириной 40 мм и толщиной 4 мм, прокладывается в траншее на глубине 0,5м. Контуры заземления являются общими для молниезащиты, электроустановки здания и системы уравнивания потенциалов. Сопротивление наружного контура заземления не должно превышать 4 Ом.

Вывод по разделу 8.

В результате выполнения данного раздела определено число, сечение и общее сопротивление устройств заземления, определены параметры молниезащиты здания.

9 Выбор дизельной электростанции

Электроснабжение диализного корпуса осуществляется по первой категории за счет двух независимых источников питания, питание которых подходит к трансформаторной подстанции. В водных распределительных устройствах АВР происходят аварийные переключения между питающими линиями. Так же в схему электроснабжения входит дизельная электроустановка, которая, в случае аварии, берет на себя всю нагрузку помещений для диализных процедур и систем аварийного освещения.

Для установки в качестве резервного источника питания примем дизельную электростанцию производства «Азимут» АД – 50 – Т 400-1РП в кожухе, на основе дизельного двигателя Weifang N4105ZLDS номинальной мощностью 50кВт и максимальной мощностью 55кВт, предназначенный для производства трехфазного электрического тока напряжением 380 В. Выбранная ДЭС имеет II степень автоматизации, все рабочие механизмы расположены в шумо-теплоизолированном корпусе и защищены от повреждений и низких температур. Размещение АД – 50 – Т 400-1РП возможно на открытых площадках при любых погодных условиях. Объем собственного топливного бака дизель-генераторной установки (ДГУ) составляет 140 литров, расход топлива при 75% загрузке ДГУ составляет 13,8 л/час. Для обеспечения непрерывной работы ДГУ при аварии в сети основного источника питания запроектирована установка дополнительных топливных баков, емкость которых обеспечивает непрерывную работу ДЭС в течении суток. ДГУ может работать на биодизельном топливе, которое будет обладать лучшими характеристиками в сравнении с дизельным топливом. В качестве биодизеля используются различные масла, наиболее подходящие представлены в научной статье [16].

Дизельная электростанция будет находиться в режиме ожидания и в режиме работы резервного источника питания подстанции [18, с. 43].

В режиме ожидания ДЭС функционирует, когда основные источники питания находятся под напряжением, и не требуется использование дополнительных источников питания. При работе в данном режиме ДЭС не работает и находится в качестве резерва, для электроснабжения объекта.

Режим работы в качестве резервного источника питания является важным для электроснабжения всего объекта, так как при потере напряжения на шинах основных источников питания, ДЭС включается в работу в качестве резервного источника питания во время отключения, нестабильной работы централизованной сети, устранения аварии или других причин, по которым произошла потеря напряжения.

При потере напряжения в рабочей сети на запуск ДЭС подается сигнал, а через 1-3 секунды генераторная установка достигает номинального числа оборотов. При неудачном запуске двигателя управляющий сигнал на запуск подается повторно (до 3-5 раз). Через 15 секунд после того как двигатель достиг номинального числа оборотов, нагрузка автоматически переключается на дизель-генератор.

В случае восстановления питания от основных источников питания, нагрузка с ДЭС автоматически переключается на питание от трансформаторной подстанции. При этом, дизель-генераторная установка продолжает работать еще несколько минут на холостом ходу для охлаждения двигателя, а затем останавливается и становится готова к повторному запуску.

Вывод по разделу 9.

В ходе выполнения данного раздела определен выбор дизельной электростанции «Азимут» АД – 50 – Т 400-1РП, определен режимы работы установки в качестве резервного источника питания.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе разработана система энергоснабжения диализного центра г. Ейск.

В ходе работы произведен расчет осветительных нагрузок, выбраны осветительные приборы. Произведен расчёт электрических нагрузок силовых цепей, выбор марок и сечений кабельных линий для внешнего и внутреннего электроснабжения объекта, выбраны аппараты защиты для сетей внешнего и внутреннего электроснабжения.

Определена мощность и комплектность трансформаторной подстанции, выполнен расчет токов короткого замыкания на стороне высокого и низкого напряжения подстанции, на основании которого выполнена проверка правильности выбора аппаратов защиты.

Определена категория надежности электроснабжения медицинского центра и произведен выбор резервных источников электроснабжения (как рабочего, так и резервного).

Вопросы электробезопасности, касающиеся человеческой жизни решены с помощью использования аппаратов защиты линий электроснабжения с применением устройств защитного отключения.

Произведен расчет числа и общего сопротивления заземлителей заземляющих устройств проектируемого здания, а также выполнен расчет и выбор устройств молниезащиты здания.

Вопросы пожарной безопасности решены выбором не распространяющих горение с отсутствием выделяющихся галогеносодержащих соединений марок кабелей и выбором их сечений по действующим стандартам электроснабжения.

Таким образом, задачи, поставленные в данной выпускной квалификационной работе, выполнены. Система энергоснабжения диализного центра удовлетворяет всей действующей нормативно-технической документации.

Список используемой литературы и использованных источников

1. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сети 0,4 кВ : Учебное пособие. – СПб. : ИЭИПК, 2008 г. – 214 с.
2. Голубев М.Л. Расчет токов короткого замыкания в электросетях 0,4 – 35 кВ :-2-е изд. 1980 г.
3. ГОСТ 14209-85 «Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (с Изменением № 1)»
4. ГОСТ Р 50571.28-2006 «Электроустановки зданий. Часть 7-710. Требования к специальным электроустановкам. Электроустановки медицинских помещений».
5. ГОСТ Р 53315-2009 «Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности».
6. Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения. 2-е изд., перераб. и доп.– СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 1992 г. – 448 с.
7. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Норматика, 2019 г. – 462 с.
8. СанПин 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к искусственному освещению помещений жилых и общественных зданий»
9. СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций».
10. СП 31-110-2003 «Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий».
11. СП42.13330.2011 «Свод Правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»
12. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»

13. Шеховцов В.П. Аппараты защиты в электрических сетях низкого напряжения : Учебное пособие. –2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 415 с.
14. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : Учебное пособие. –3-е изд., испр. – Москва : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. – 214 с.
15. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : Учебное пособие. –3-е изд. –Москва, ИНФРА-М, 2020. – 136с.
16. Experimental investigations on mixing of two biodiesels blended with diesel as alternative fuel for diesel engines, 2017, K. Srithar, K. Arun Balasubramanian, V. Pavendan, B. Ashok Kumar, 7 p.
17. Joffe E.B., Lock K.-S. Grounds for Grounding: A Circuit to System Handbook, New York: Wiley-IEEE Press, 2010. –1064 p.
18. Kusko A., Thompson M. Power Quality in Electrical Systems, The McGraw-Hill Companies, 2007, DOI: 10.1036/0071470751, 241 p.
19. Macangus-Gerrard G. Offshore Electrical Engineering Manual, 2-nd Edition. –Gulf Professional Publishing, 2018. –517 p.
20. Morrison R. Grounding and Shielding. Circuits and Interference, 5-th Edition, Wiley + IEEE Press, 2007, 193 p.

Приложение А
Осветительная нагрузка по зданию

Таблица А.1 – Осветительная нагрузка

Номера помещений	Площадь S, м ²	Нормативная освещенность E, лк	Используемый светильник	Удельная мощность P, Вт	Количество светильников n, шт	Установленная мощность P _y . Вт	Фаза
001	1,6	150	ARCTIC 2x18	36	1	36	В
002	66	150	ARCTIC 2x18	36	13	468	В
003	37,9	75	ARCTIC 2x36	72	3	216	В
004	26,7	300	ARCTIC 2x36	72	6	432	А
005	10	300	ARCTIC 2x36	72	2	144	А
006	11,9	100	ARCTIC 2x36	72	1	72	А
007	11,9	300	ARCTIC 2x36	72	3	216	С
008	12,9	150	ARCTIC 2x36	72	2	144	С
009	2,3	100	ARCTIC 2x18	36	1	36	С
010	6	100	ARCTIC 2x18	36	2	72	С
011	1,7	100	ARCTIC 2x18	36	1	36	С
012	1,7	100	ARCTIC 2x18	36	1	36	С
013	3,6	150	ARCTIC 2x18	36	1	36	С
014	3,6	150	ARCTIC 2x18	36	1	36	С
015	10,7	150	ARCTIC 2x36	72	2	144	С

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

016	4,7	150	ARCTIC 2x18	36	1	36	С
017	6,9	150	ARCTIC 2x18	36	1	36	В
018	2,6	150	ARCTIC 2x18	36	1	36	В
101	4	150	OPL/R-4x18	72	1	72	С
102	34,7	150	OPL/R-4x18	72	6	432	В
103	6,2	200	OPL/R-4x18	72	1	72	С
104	4,3	100	ALD 2x18	36	2	72	С
105	11,8	200	OPL/R-4x18	72	4	288	С
106	48,4	500	OWS/K-2x55	110	9	990	В
107	46,5	500	OWS/K-2x55	110	8	880	А
108	7,5	150	OPL/R-4x18	72	2	144	А
109	1,8	100	ALD 2x18	36	1	36	А
110	2,4	100	ALD 2x18	36	1	36	А
111	2,3	150	ALD 2x18	36	1	36	А
112	7,5	150	OPL/R-4x18	72	2	144	С
113	1,7	100	ALD 2x18	36	1	36	С
114	1,4	100	ALD 2x18	36	1	36	С
115	8,6	400	OPL/R-4x18	72	3	216	С
116	7,6	400	OPL/R-4x18	72	3	216	С
117	10,8	150	OPL/R-4x18	72	2	144	С
ИТОГО:						6082	ABC

Продолжение Приложения А

Таблица А.2 – Осветительная нагрузка аварийного освещения подвала

Номера помещений	Площадь S, м ²	Нормативная освещенность E, лк	Используемый светильник	Удельная мощность P, Вт	Количество светильников n, шт	Установленная мощность P _у . Вт	Фаза
002	66	300	ARCTIC 2x18	72	4	72	А
004	11,9	100	ARCTIC 2x36	72	1	72	А
005	11,9	300	ARCTIC 2x36	72	1	72	А
008	12,9	150	ARCTIC 2x36	72	1	72	А

Таблица А.3 – Осветительная нагрузка аварийного освещения первого этажа.

Номера помещений	Площадь S, м ²	Нормативная освещенность E, лк	Используемый светильник	Удельная мощность P, Вт	Количество светильников n, шт	Установленная мощность P _у . Вт	Фаза
102	34,7	1	ARCTIC 2x18	36	2	72	В
106	48,4	5	OWS/K-2x55	110	1	110	В
107	46,5	5	OWS/K-2x55	110	1	110	В

Приложение Б
Электрические нагрузки силовой цепи

Таблица Б.1 – Электрические нагрузки силовой цепи подвала

	Наименование электроприемников	Установленная мощность электроприемников Р, кВт	Коэффициенты			Расчетная мощность			Расчетный ток I _p , А	Рабочее напряжение, В	Фазы
			K _c	cosφ	tgφ	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА			
ЩО-1	Сеть освещения помещений 001-018	2,3	1	0,92	0,43	2,30	0,99	2,50	3,80	380	ABC
ЩАО-2	Сеть аварийного освещения помещений 002, 004, 005, 008	0,29	1	0,92	0,43	0,29	0,12	0,32	1,37	230	В
ЩР-3	Многофункциональная консоль для 2 аппаратов	5	1	0,86	0,59	5,00	2,95	5,81	25,28	230	А
	Розеточная сеть 220В для компьютеров	3	1	0,85	0,62	3,00	1,86	3,53	15,35	230	В
	Розеточная сеть для комнаты дезинфекции	5	1	0,85	0,62	5,00	3,1	5,88	25,58	230	С
	Электросушитель	4,4	1	1	0	4,40	0	4,4	19,13	230	В
	Итого по ЩР-3:						17,40	7,91	19,11	31,14	380
ЩР-4	Нагревательный бак ЭВН	5	1	1,00	0,00	5,00	0,00	5,00	7,61	380	ABC
	Аппарат Granumix1	1	1	0,80	0,75	1,00	0,75	1,25	5,43	230	А
	Аппарат Granumix2	1	1	0,80	0,75	1,00	0,75	1,25	5,43	230	В
	Аппарат CDS80	0,5	1	0,85	0,62	0,50	0,31	0,59	2,56	230	С
	Циркуляционный насос Н1	1,5	1	0,85	0,62	1,50	0,93	1,76	2,68	380	ABC

Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

ЩР-4	Блок обратного осмоса	7	1	0,80	0,75	7,00	5,25	8,75	13,31	380	ABC
	Фильтр железо удаляющий/ионообменный	0,1	1	0,80	0,75	0,10	0,08	0,13	0,54	230	С
	Эл/маг клапан наполнения бака	0,1	1	0,80	0,75	0,10	0,08	0,13	0,54	230	С
	Угольный фильтр	0,1	1	0,80	0,75	0,10	0,08	0,13	0,54	230	С
	Циркуляционный насос Н2	2,5	1	0,85	0,62	2,50	1,55	2,94	4,47	380	ABC
	Итого по ЩР-4:						18,8	9,77	21,18	35,75	380
ЩВ-5	Вентсистема	0,7	1	0,90	0,48	0,70	0,34	0,78	3,38	230	А
	Вентсистема	0,7	1	0,90	0,48	0,70	0,34	0,78	3,38	230	В
	Кондиционер	1,85	1	0,70	1,02	1,85	1,89	2,64	11,49	230	С
	Приточная система	1,5	1	0,90	0,48	1,50	0,72	1,66	2,54	380	ABC
	Итого по ЩВ-5						4,75	3,28	5,77	9,03	380
ШУ-ПГ	Шкаф управления пожарным гидрантом	12	1	0,85	0,62	12,00	7,44	14,12	21,47	380	ABC
	Итого по ШУ-ПГ:						12	7,44	14,12	21,47	380

Продолжение Приложения Б

Таблица Б.2 – Электрические нагрузки силовой цепи 1 этажа

	Наименование ЭП	Установленная активная мощность P_y , кВт	Коэффициенты			Расчетная мощность			Расчетный ток I_p , А	Напряжение U , В	Фазы
			K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА			
ЩО-1.1	Сеть освещения помещений 101-117	3,85	1	0,92	0,43	3,85	1,66	4,19	44,75В	380	ABC
ЩАО-1.2	Сеть аварийного освещения помещений 102, 106, 107	0,29	1	0,92	0,43	0,29	0,12	0,32	1,37	230	А
ЩД-1.3	Многофункциональная консоль для 2 диализных аппаратов	5	1	0,86	0,59	5,00	2,95	5,81	25,28	230	А
	Многофункциональная консоль для 2 диализных аппаратов 2 шт	10	1	0,86	0,59	10,00	5,90	11,61	50,56	230	В
	Многофункциональная консоль для 1 диализного аппарата	2,5	1	0,86	0,59	2,50	1,48	2,90	12,64	230	С
	Многофункциональная консоль для 1 диализного аппарата	2,5	1	0,86	0,59	2,50	1,48	2,90	12,64	230	А
	Многофункциональная консоль для 2 диализных аппаратов	5	1	0,86	0,59	5,00	2,95	5,81	25,28	230	С
	Итого по ЩД-1.3:						25,00	14,75	29,03	44,22	380
ЩК-1.4	Розеточная сеть 220В для компьютеров	4	1	0,85	0,62	4,00	2,48	4,71	20,46	230	А
	Розеточная сеть 220В	4,2	1	0,85	0,62	4,20	2,60	4,94	21,48	230	В
	Электросушители 2шт	4,4	1	1	0	4,40	0,00	4,40	19,13	230	С
	Итого по ЩК-1.4:						12,60	5,084	13,59	21,30	380
ЩВ-1.5	Вентсистема	1	1	0,9	0,48	1,00	0,48	1,11	1,69	380	ABC

Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы Б.2

	Кондиционер	2	1	0,7	1,02	2,00	2,04	2,86	12,42	230	A
	Кондиционер	1,75	1	0,7	1,02	1,75	1,79	2,50	10,87	230	C
	Кондиционер	1,75	1	0,7	1,02	1,75	1,79	2,50	10,87	230	B
	Итого по ЩВ-1.5:					6,5	6,09	8,91	12,36	380	ABC