

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение  
(направленность (профиль))

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение учреждения системы здравоохранения»

Студент(ка)

В.Н. Балесный

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

О.В. Самолина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

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

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Тольятти 2016

## Аннотация

В ходе выполнения работы выполнен расчёт электрических нагрузок по учреждению. Произведён расчёт силовой электрической сети, который заключался: в выборе трансформаторов с учётом их перегрузочной способности; расчёте сечения кабельных линий электропередач и выборе кабелей с учётом длительно допустимого тока и допустимой потере напряжения; выборе электрических аппаратов по номинальному току и номинальному напряжению.

Рассчитаны токи короткого замыкания с целью проверки, а в случае необходимости и корректировки выбора электрических аппаратов и кабелей. Рассчитаны установки релейной защиты на ТП.

Пояснительная записка состоит из 50 листов основного текста и содержит 7 рисунков, 10 таблиц.

## Содержание

Введение.....	5
1 Анализ существующего учреждения системы здравоохранения.....	6
2 Расчет основных электрических нагрузок до 1 кВ учреждения.....	10
3 Светотехнический расчет учреждения.....	16
4 Выбор мощности и типа ТП.....	20
5 Предварительный выбор электрооборудования и проводников.....	28
6 Расчет токов короткого замыкания.....	35
7 Проверка электрооборудования по условиям КЗ.....	44
8 Релейная защита и автоматика ТП.....	49
9 Расчет заземления ТП 10 / 0,4 кВ .....	51
Заключение.....	54
Список используемых источников.....	55

## **Введение**

В наше время в городах и селах ведется грандиозная программа жилищного строительства. Это говорит о расширении электрических сетей, предназначенных для электроснабжения их потребителей.

Электрическая сеть Шенталинской районной больницы и эксплуатируемое электрооборудование за время существования и работы учреждения совершенствовались недостаточно эффективно.

К настоящему времени часть электрооборудования, установленного в учреждении, уже израсходовало свой ресурс эксплуатации и морально устарело. В связи с этим необходимо усовершенствовать и заменить некоторые части системы электроснабжения на новые, в соответствии с требованиями, предъявляемыми условиями эксплуатации настоящего времени.

Цель работы – повышение эффективности системы электроснабжения больницы с требованиями и условиями работы учреждения.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- анализ существующей системы электроснабжения РБ;
- расчет электрических нагрузок РБ для установления используемых мощностей;
- разработка схемы электроснабжения и выбор силового электрооборудования к ней.

## **1 Анализ существующего учреждения системы здравоохранения**

Объектом было выбрано муниципальное учреждение здравоохранения Шенталинская районная больница (МУЗ Шенталинская РБ).

Больница расположена в Шенталинском районе села Шентала Самарской области.

В состав больницы входят:

- а) 1 больничное учреждение на 125 коек;
- б) 1 амбулаторно - поликлиническое учреждение общей мощностью 300 посещений в смену;
- в) 1 дневной стационар при амбулаторно-поликлиническом учреждении с общим количеством 15 мест, а также ряд других помещений и корпусов которые необходимы для нормальной работы больницы.

План расположения корпусов РБ приведен на рисунке 1.1.

Система электрохозяйства поселка состоит из двух уровней согласно классам напряжения:

1 уровень напряжения - 10кВ;

2 уровень напряжения - 0,4кВ.

Источником основного электроснабжения является ПС «Шентала» 110/35/10кВ с трансформаторной мощностью 16000 кВА. Точкой подключения является опора 230/2 ВЛ-10 кВ фидера 2. ЛЭП-10кВ до ТП-10/0,4 кВ выполняется воздушной линией длиной 4 км проводом АС-50. Табельный номер ТП Ш231/250,

где Ш - источник электропитания ПС Шентала;

2 - фидер, к которому подключен потребитель по 10 кВ;

31 - табельный номер ТП у транспортирующей компании;

250 - мощность ТП, кВА.

В связи с тем, что в селе Шентала ПС «Шентала» является единственным источником электроснабжения поселка, потребители комплекса РБ по степени надежности электроснабжения отнесены к

потребителям 3 категории, так как при существующей схеме электроснабжения села по стороне 35/10 кВ нет возможности обеспечения более высокой категории.

Электроприемники операционных, родильных блоков, интенсивной терапии и реанимации, эвакуационное освещение, помещения выездных бригад и аптечной комнаты, станции скорой и неотложной медицинской помощи относятся к потребителям 1 категории, которые запитываются через щиты гарантированного питания (ЩГП).

При исчезновении рабочего напряжения, щиты ЩГП питаются от дизельной электростанции, которая включается автоматически.

В существующей КТП установлен один трансформатор марки ТМГ-250/10кВ с естественным масляным охлаждением.

Учет электроэнергии осуществляется при помощи счетчика ПСЧ-4ТМ. На базе данного электросчетчика организована работа АСКУЭ по каналам GSM связи.

Резервным источником является дизель-генератор мощностью 200 кВт который находится неподалеку от ТП в специальном пристроенном помещении.

Магистральные электрические сети к корпусам и распределительным пунктам выполнены кабелем марки АПВ, прокладываемым под землей.

Все электроприемники учреждения относятся ко 2-му уровню системы электроснабжения – питание 0,4 кВ от ТП.

Питающая трансформаторная подстанция находится на балансе в филиале ЗАО «Самарская сетевая компания» (ССК).

Схема внешнего электроснабжения учреждения изображена на рисунке 1.2.

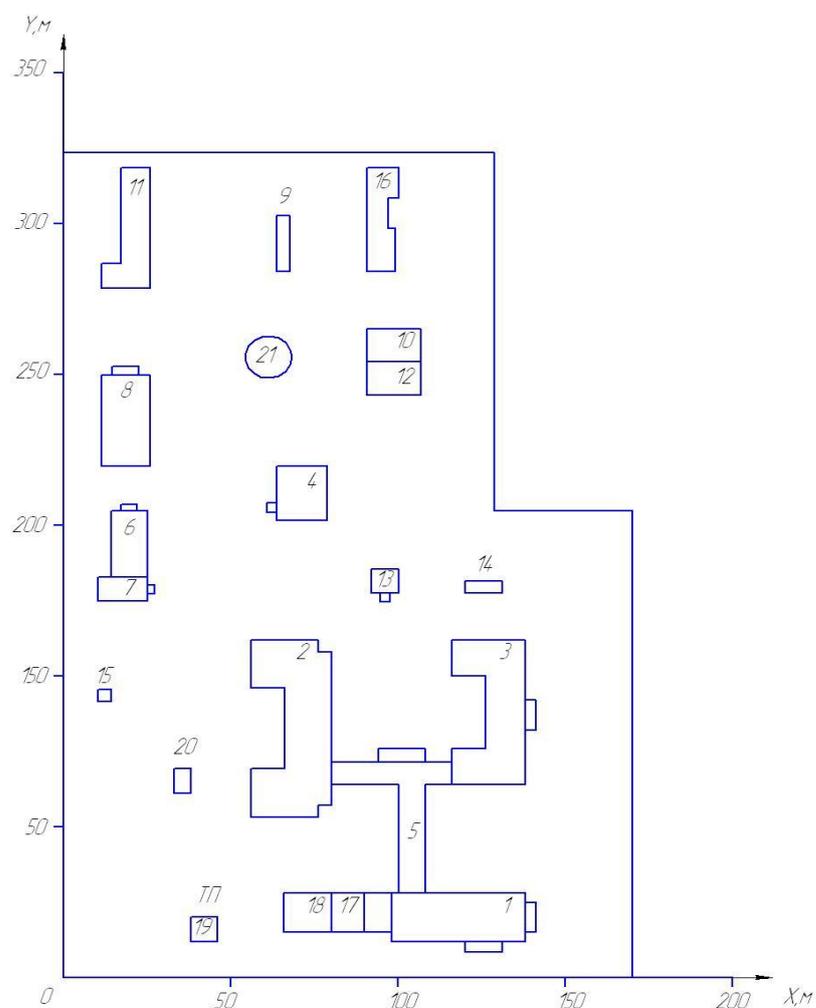


Рисунок 1.1 – План расположения корпусов РБ

- |                          |                                   |
|--------------------------|-----------------------------------|
| 1 - Поликлиника;         | 12 - Автоклав;                    |
| 2 - Лечебный корпус №1;  | 13 - Склад №1;                    |
| 3 - Лечебный корпус №2;  | 14 - Склад №2;                    |
| 4 - Инфекционный корпус; | 15 - Пропускной пункт;            |
| 5 - Лаборатория;         | 16 - Гараж;                       |
| 6 - Пищеблок;            | 17 - Дизельная;                   |
| 7 - Столовая;            | 18 - Заправочная;                 |
| 8 - Молочная кухня;      | 19 - Трансформаторная подстанция; |
| 9 - Овощехранилище;      | 20 - Хозсарай;                    |
| 10 - Прачечная;          | 21- Пожарный резервуар.           |
| 11 - Котельная;          |                                   |

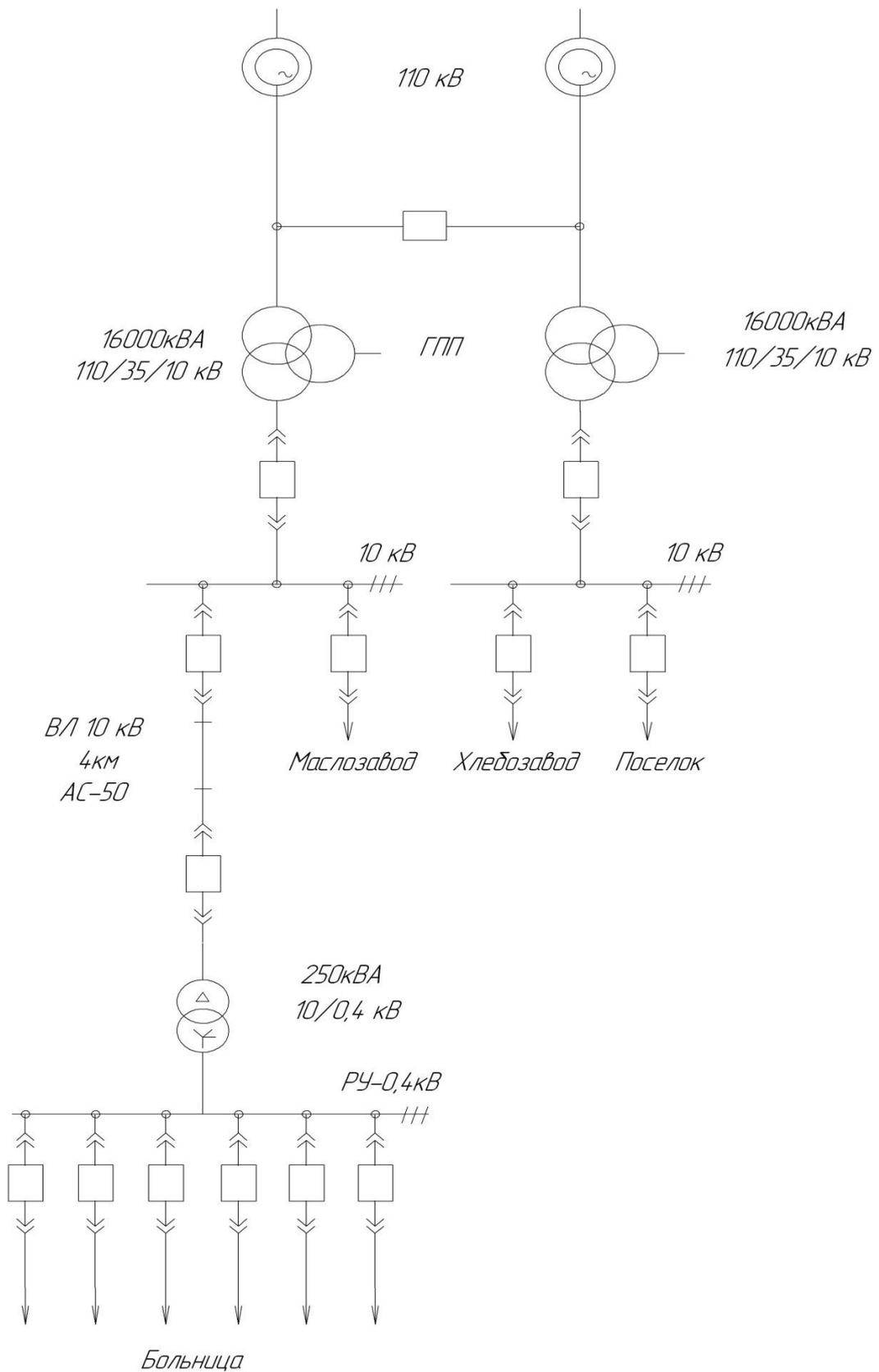


Рисунок 1.2 - Схема внешнего электроснабжения

## 2 Расчет основных электрических нагрузок до 1 кВ учреждения

Расчет электрических нагрузок учреждения выполнен по методу упорядоченных диаграмм. Суть данного метода состоит в следующем:

а) Все потребители разбиваются на характерные группы с однородным режимом работы и объединяются по месту подключения.

б) Для каждой характерной группы определяют:

1) среднюю активную мощность за наиболее загруженную смену группы электроприемников одинакового режима работы:

$$P_{cpi} = K_u \cdot \sum P_{номi} \quad (2.1)$$

где  $P_{номi}$  – номинальная мощность рабочих электроприемников;

$K_u$  – групповой коэффициент использования.

2) среднюю реактивную мощность за наиболее нагруженную смену для группы электроприемников одинакового режима работы:

$$Q_{cpi} = \sum P_{cpi} \cdot tg \varphi, \quad (2.2)$$

где  $tg \varphi$  – соответствует групповому коэффициенту мощности.

в) Находят суммарную среднюю нагрузку по месту подключения электроприемников:

$$P_{\Sigma} = \sum_k P_{\Sigma i} \quad (2.3)$$

$$Q_{cpi\Sigma} = \sum_k Q_{cpi}, \quad (2.4)$$

г) Определяют средневзвешанный коэффициент использования для рассматриваемой группы электроприемников:

$$K_{иср} = \frac{P_{cpi\Sigma}}{\sum P_{ном}}, \quad (2.5)$$

д) Определяется эффективное или приведенное число электроприемников в группе  $n_э$ . Если в результате расчета получили, что  $n_э > n$ , то  $n_э = n$ .

е) По упорядоченным диаграммам определяют коэффициент максимума:

$$K_m = f(K_{иср}, n_э), \quad (2.6)$$

ж) Определяется расчетная нагрузка:

$$P_p = K_m \cdot P_{cp\Sigma}, \quad (2.7)$$

$$Q_p = K'_m \cdot Q_{cp\Sigma}, \quad (2.8)$$

где  $K'_m = 1.1$ , если  $n_3 \leq 10$ ;

$K'_m = 1$ , если  $n_3 > 10$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.9)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (2.10)$$

### **3 Светотехнический расчет учреждения**

В настоящее время отмечаются значительные достижения в области светотехники.

Во-первых, появились новые источники света, которые существенно повысили энергосбережение и снизили материалоемкость осветительных приборов. Миниатюризация разрядных ламп путем создания компактных люминесцентных ламп с электронным пускорегулирующим устройством привела к сокращению размеров осветительных приборов и сокращению расхода материалов. Потребление электроэнергии таких ламп в 3 - 4 раза ниже, чем у ламп накаливания той же мощности. Световая отдача таких ламп в пределе достигает 130 лм/Вт, срок службы – до 60 тыс.ч.

Во-вторых, компьютеризация в области светотехники приобрела большой размах. Применение информационных технологий для вероятностного проектирования осветительных установок, моделирования осветительных приборов и управления работой светильников. Применение компьютерной графики позволило визуализировать расчеты световых полей освещаемых помещений.

О масштабах современной светотехники можно судить по следующему: на освещение ежегодно расходуется примерно 13 % вырабатываемой электроэнергии, примерно 220 млрд.кВт·ч.

Без искусственного освещения не может обойтись современный город, невозможна работа предприятий, учреждений.

### 3.1 Расчет уличного освещения территории

Для освещения территории принимаем стандартные световые опоры с высотой подвеса 6 м, расстояние между опорами принимаем равным 30м, тогда:

$$N = \frac{L}{\Delta l_{опор}} = \frac{920}{30} = 30,6 \approx 30 \text{ шт.}, \quad (3.1)$$

где  $L$  – суммарная длина дорог и периметра двора, м;

$\Delta l_{опор}$  – расстояние между опорами, м;

$N$  – количество опор, принимаем равным 30 шт;

Мощность лампы равна:

$$P_{ул.} = \frac{P_{осв. ул.}}{N} = \frac{3800}{30} = 126,6 \text{ Вт}, \quad (3.2)$$

Мощность лампы округляем до стандартного значения и принимаем светильники ЖКУ 25-150-001 с лампами типа ДнаЗ "REFLUX"-125 Вт с  $P_{лампы} = 125 \text{ Вт}$ , КПД-90%,  $\cos \varphi = 0,65$

С учетом этого мощность уличного освещения будет равна:

$$P_{осв ул.} = P_{лампы} \cdot N \cdot K_{пра.} = 0,126 \cdot 1,15 \cdot 30 = 4,3125 \text{ кВт} \quad (3.3)$$

где  $K_{пра.}$  – коэффициент пускорегулирующей аппаратуры;

$P_{лампы}$  – мощность лампы кВт.

Для освещения площадей светильник устанавливается на Г- образных кронштейнах опор под углом от 0 до 20 градусов к горизонту.

Питание уличного освещения принято от панели уличного освещения, устанавливаемой в подстанции. Управление уличным освещением - автоматическое с помощью фотореле.

### 3.2 Расчет освещения помещений на примере поликлиники РБ

Расчет освещения производится методом коэффициента использования светового потока.

При расчете осветительной нагрузки методом коэффициента использования световой поток ламп в каждом светильнике, необходимый для создания заданной минимальной освещенности  $E_H$ , определяется по формуле

$$\Phi = \frac{E_H \cdot K_{зан.} \cdot F \cdot z}{N \eta}, \quad (3.4)$$

Коэффициент использования светового потока  $\eta$  является функцией индекса помещения  $i$ , который определяется по выражению:

$$i = \frac{L_{Ц} B_{Ц}}{h (L_{Ц} + B_{Ц})}, \quad (3.5)$$

Мощность освещения определяется следующим образом:

$$P_{ОСВ} = K_H N P_{СВ}. \quad (3.6)$$

Расчетная нагрузка осветительных электроприемников по удельной осветительной нагрузке на единицу производственной поверхности пола определяется с учетом коэффициента спроса:

$$P_{ОСВ} = K_C P_{УО} F_n, \quad (3.7)$$

Информация о типах ламп и светильников, коэффициентах использования светового потока  $\eta$ , удельной осветительной нагрузке  $P_{УО}$ , коэффициентах спроса  $K_C$  приводится в справочниках.

Расчёт количества светильников методом коэффициента использования.

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_L}, \quad (3.8)$$

где  $N$  – количество светильников;

$E$  – требуемая освещённость помещения, в люксах (Лк);

$S$  – площадь цеха ( $m^2$ );

$K_3$  – коэффициент запаса;

$\eta$  – коэффициент использования;

$\Phi_l$  – световой поток одной лампы, в люменах (Лм);

$n$  – количество ламп в светильнике.

Расчёт освещения поликлиники производим при помощи ЭВМ с установленным программным продуктом DIALux4.7 Light. Для освещения помещений учреждения выбираем светильники компании «Световые технологии», которые устанавливаются в зависимости от класса помещений. Светильники общего освещения, размещаемые на потолках, должны иметь степень защиты по ГОСТ 13828-74 не менее IP20.

Общее освещение помещений следует выполнять люминесцентными лампами. Взамен ламп накаливания предполагается установка энергосберегающих ламп для местного освещения помещений.

Результаты расчетов сведены в Приложении А.

## 4 Выбор мощности и типа ТП

Количество трансформаторов подстанции зависит от категории электроприемников по надежности электроснабжения.

Однотрансформаторные подстанции применяют для питания потребителей 3-й и иногда 2-й и при наличии небольших до (15...20%) нагрузок 1-й категории при условии резервирования их питания по связям на вторичном напряжении между соседними подстанциями.

При преобладании нагрузок 2-й категории и наличии нагрузок 1-й категории и взаимном резервировании по связям вторичного напряжения коэффициент загрузки  $K_3 = 0,7 \dots 0,8$ .

Первую категорию надежности обеспечивает резервный источник на базе генераторной установки.

### 4.1 Выбор числа, мощности трансформаторных подстанций учреждения с учетом компенсации реактивной мощности в сети РБ

Исходными данными являются:

$$P = 435,8 \text{ кВт}; \quad Q_{p\Sigma} = 176,4 \text{ кВт}; \quad S_{p\Sigma} = 472,2 \text{ кВт};$$

Мощность трансформаторов подстанции:

$$S_{p.T} = \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot N_T} = \frac{435,8}{0,7 \cdot 2} = 311,3 \text{ кВА} \quad (4.1)$$

где  $P_{p\Sigma}$  - общая активная нагрузка, кВт;

$K_3$  - коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме работы;

$N_T$  - число трансформаторов на подстанции.

Выбираем ТП с трансформаторами ТМГ - 400/10/0,4:

$$P_{xx} = 0,9 \text{ кВт}; P_{кз} = 5,5 \text{ кВт}; K_3 = 0,7; U_{кз} = 4,5\%; S_H = 400 \text{ кВА}; i_O = 1,7\%;$$

Расчёт потерь в трансформаторе:

$$\Delta P_T = N_T \cdot \left( P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз} \right) = 2 \cdot \left( 0,9 \cdot 0,7^2 \cdot 5,5 \right) = 7,19 \text{ кВт}; \quad (4.2)$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot \left( i_o + K_3^2 \cdot U_{кз} \right) \cdot \frac{S_H}{100} = 2 \cdot \left( 1,7 \cdot 0,7^2 \cdot 4,5 \right) \cdot \frac{400}{100} = 31,24 \text{квар}, \quad (4.3)$$

Расчетная нагрузка корпуса с учетом потерь в трансформаторах:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T = 435,8 + 7,19 = 442,9 \text{кВт}; \quad (4.4)$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T = 176,4 + 31,24 = 207,64 \text{квар}. \quad (4.5)$$

Реактивная мощность в часы минимума нагрузки:

$$Q_{\min} = 50\% \cdot Q_p = 103,8 \text{квар}. \quad (4.6)$$

1. Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы:

$$Q'_{\text{э}1} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{сд} = 207,64 \text{квар}, \quad (4.7)$$

$$Q''_{\text{э}1} = \alpha \cdot P_p = 0,28 \cdot 442,9 = 124,1 \text{квар}, \quad (4.8)$$

где  $\alpha = 0,28$ ;  $Q_{сд} = 0$ .

2. Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q'_{\text{э}2} = Q_{\min} + Q_{\kappa} = 103,8 \text{квар}; \quad (4.9)$$

где  $Q_{\kappa} = 0$ ;

$$Q''_{\text{э}2} = Q_{\min} - Q_{КД} = Q_{\min} - (Q_p - Q'_{\text{э}1}) = 103,8 - (207,64 - 124,1) = 20,28 \text{квар}, \quad (4.10)$$

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot Q_p - Q'_{\text{э}1} = 1,1 \cdot 207,64 - 124,1 = 352,5 \text{квар}, \quad (4.11)$$

$$Q_{\text{ку. min}} = Q_{\min} - Q'_{\text{э}2} = 103,8 - 103,8 = 0. \quad (4.12)$$

Произведем выбор числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности.

## Вариант А

Рассмотрим вариант с трансформаторами типа **ТМГ-400/10/0,4 кВА**.

Число трансформаторов:

$$N_T = \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot S_{ном}} = \frac{435,8}{0,7 \cdot 400} = 1,6 \approx 2шт. \quad (4.13)$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{\text{эН}} = Q_{\text{эл}} - (Q_p - Q_{p\Sigma}) = 124,1 - (207,64 - 176,4) = 92,86 \text{квар}. \quad (4.14)$$

Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_{н.Т})^2 - P_{p\Sigma}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 435,8^2} = 351,67 \text{квар}. \quad (4.15)$$

Определяем расчетную мощность КУ на стороне до 1кВ

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_m \cdot (tg\alpha - tg\varphi_k) = 0,9 \cdot 435,8 \cdot (0,48 - 0,33) = 58,8 \text{квар}. \quad (4.16)$$

где  $\alpha$  - коэффициент, учитывающий повышение  $\cos\varphi$  естественным способом, принимается равным 0,9;

$tg\alpha$  и  $tg\varphi_k$  - коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

Установка БК на стороне до 1кВ целесообразна.

Принимаем две установки. Мощность БК, которые могут быть установлены на стороне 10 кВ:

$$Q_{КУ.в} = Q_{КУ.маx} - Q_{КУ.н} = 352,5 - 0 = 352,5 \text{квар}. \quad (4.17)$$

Так как  $Q_{КУ.в} < 800 \text{квар}$ , то установка БК на стороне 10кВ нецелесообразна.

На стороне до 1 кВ устанавливаем 2 конденсаторные установки КРМ 0,4 – 30 квар.

Затраты на КТП и конденсаторные установки:

$$Z_{общие} = E \cdot (K_{ТП} + K_{КУ}) + C \cdot \Delta P_T; \quad (4.18)$$

где  $K_{ТП} = N \cdot K_T = 2 \cdot 217,590 = 435,180 \text{тыс.руб}$ ;

$K_{ку} = N \cdot K_k = 2 \cdot 20,945 = 41,890 \text{тыс.руб}$ ;

$$C = \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau = 1595,76 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}; \quad (4.19)$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} = 8,65 \text{ тыс.руб}; \quad (4.20)$$

$$C_0 = \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_p = 4843,67 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}; \quad (4.21)$$

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot T_p = 2,886 \cdot 10^3 \text{ ч}; \quad (4.22)$$

$$\alpha = 3797 \text{ руб/кВт}, \beta = 1898 \text{ руб/кВт} T_M = 2000 \text{ ч}; T_p = 8760 \text{ ч}; \Delta P_{xx} = 0,9 \text{ кВт} \Delta P_{кз} = 5,5 \text{ кВт}$$

$$Z_{общие} = E \cdot (K_{ТП} + K_{КУ}) + C \cdot \Delta P_T = 0,223 \cdot (435,180 + 41,890) + 8,65 = 115 \text{ тыс.руб};$$

### Вариант Б

Рассмотрим вариант с трансформатором типа **ТМГ-630/10/0,4 кВА.**

Число трансформаторов:

$$N_T = \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot S_{НОМ}} = \frac{435,8}{0,7 \cdot 630} = 0,98 \approx 1 \text{ шт.} \quad (4.13)$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{ЭН} = Q_{Э1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}) = 124,1 - (207,64 - 176,4) = 92,86 \text{ квар.} \quad (4.14)$$

Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_{н.Т})^2 - P_{p\Sigma}^2} = \sqrt{(1 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 435,8^2} = 67,52 \text{ квар.} \quad (4.15)$$

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1 кВ:

$$Q_{КУ.н} = Q_{Э1} - Q_T = 176,4 - 67,52 = 108,88 \text{ квар}, \quad (4.16)$$

Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10 кВ:

$$Q_{КУ.в} = Q_{Э1} - Q_T = 352,5 - 108,88 = 243,62 \text{ квар.} \quad (4.17)$$

Так как  $Q_{КУ.в} < 800 \text{ квар}$ , то установка БК на стороне 10кВ нецелесообразна.

На стороне до 1кВ устанавливаем конденсаторную установку КРМ 0,4-108 квар.

Затраты на КТП и конденсаторные установки:

$$Z_{общие} = E \cdot (K_{ТП} + K_{КУ} + K_{каб} + K_{раб}) + C \cdot \Delta P_T; \quad (4.18)$$

где  $K_{ТП} = N \cdot K_T = 1 \cdot 327,047 = 327,047 \text{ тыс.руб.}$ ;

$K_{ку} = N \cdot K_k = 1 \cdot 42,775 = 42,775 \text{ тыс.руб.}$ ;

$$C = \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau = 1595,76 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}; \quad (4.19)$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} = 11,9 \text{ тыс.руб.}; \quad (4.20)$$

$$C_0 = \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_p = 4843,67 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}; \quad (4.21)$$

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot T_p = 2,886 \cdot 10^3 \text{ ч}; \quad (4.22)$$

$\alpha = 3797 \text{ руб/кВт}$ ,  $\beta = 1898 \text{ руб/кВт}$   $T_M = 2000 \text{ ч}$ ;  $T_p = 8760 \text{ ч}$ ;  $\Delta P_{xx} = 1,25 \text{ кВт}$   
 $\Delta P_{кз} = 7,6 \text{ кВт}$

$$Z_{общие} = E \cdot (K_{ТП} + K_{КУ}) + C \cdot \Delta P_T = 0,223 \cdot (327,047 + 42,775) + 11,9 = 94,3 \text{ тыс.руб.}$$

Экономически – целесообразно выбрать один трансформатор марки ТМГ мощностью 630 кВА с учетом резервного питания нагрузки 1 категории учреждения по 0,4 кВ от генератора.

## 4.2 Выбор типа трансформаторной подстанции

Принимаем к установке комплектную трансформаторную подстанцию киоскового типа (КТПК) производства ЗАО ГК «Автоматика» г.Тула.

Комплектная трансформаторная подстанция киоскового типа КТПК-АТ-630/10/0,4-У1 предназначена для приема электрической энергии трех фазного переменного тока частотой 50 Гц номинальным напряжением 10 кВ, преобразования его в напряжение 0,4 кВ и распределения по потребителям.

Внешний вид подстанции представлен на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Внешний вид KTP

Технические данные KTP сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Технические данные КТПК-АТ

Параметр	Наименование параметра
Тупиковая	Тип подстанции
10	Номинальное напряжение высокой стороны, кВ
630	Мощность силового трансформатора, кВА
ВЛ КЛ	Выполнение ввода (вывода): — на стороне ВН — на стороне НН
УВН-10кВ	
ПКТ-102-10УЗ	Предохранитель, плавкая вставка
ВНА 10/630	Коммутационный аппарат
КСО 393АТ	Тип камеры КСО
20	Ток термической стойкости на стороне ВН в течении 1с, кА
51	Ток электродинамической стойкости на стороне ВН, кА
РУ-0,4кВ	
ЩО70-3АТ-03 УЗ	Тип панели РУ
ВА-TS800	Тип коммутирующего защитного аппарата
T-0,66	Трансформатор тока
ПСЧ-4ТМ	Учет электроэнергии
50	Ток термической стойкости на стороне НН в течении 1с, кА
50	Ток электродинамической стойкости на стороне НН, кА
фотореле	Блок управления уличным освещением

Данные по типу автоматического выключателя и току расцепления на вводе 0,4кВ от мощности силового трансформатора в типовом варианте представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Технические данные выключателя ВА-TS800

Мощность силового трансформатора, кВА	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А	Тип выключателя	$I_{ном}$ , А
630	472,2	681,3	ВА-TS800	800

Выключатель ВА-TS800 с регулируемой уставкой по току с селективной защитой, с защитой от перегрузки и короткого замыкания, контактом аварийного отключения и дополнительными блок-контактами.

Выключатели представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Типы выключателей

№ Гр.	Наименование потребителя.	$S_p$ , кВА.	$I_p$ , А	Тип выключателя	$I_{ном}$ , А
1	Поликлиника	174,3	249,8	ВА-TS400	300
2	Молочная кухня и др.	152,8	221,4	ВА-TS250	250
3	Лечебный корпус №2 и др.	56,12	81,2	ВА-TS160	100
4	Лечебный корпус №1	73,9	107,1	ВА-TS160	125
5	Лаборатория	10,76	15,6	ВА-TD100	25
6	Освещение территории	4,3	6,2	ВА-TD100	16

## 5 Предварительный выбор электрооборудования и проводников

### 5.1 Выбор электрооборудования здания поликлиники

#### 5.1.1 Выбор вводно-распределительного устройства

Электропитание подводится к зданию поликлиники двумя кабелями 0,4кВ от КТП и ДГУ. Кабель 0,4кВ заводится по опорным конструкциям в цокольный этаж здания в электротехническое помещение.

В электрощитовой цокольного этажа здания устанавливаем вводно-распределительное устройство серии ВРУ-1АТ.

Используя расчётный ток (таблица 2.1) здания поликлиники  $I_p = 249,8$  А, выбираем ВРУ-1АТ-12-10УХЛ4 с устройством АВР на номинальный ток  $I_n = 250$  А

Внешний вид ВРУ представлен на рисунке 5.1.

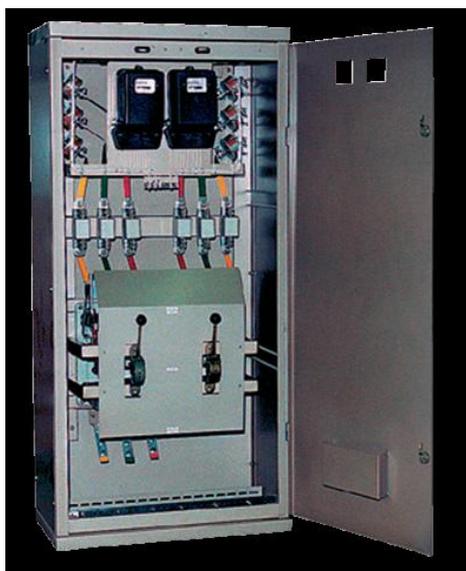


Рисунок 5.1 - Внешний вид ВРУ

Область применения ВРУ-1АТ: жилые, общественные здания и сооружения; административные и бытовые здания.

Технические характеристики ВРУ приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Технические характеристики ВРУ

№	Наименование параметра	Параметр
1	Номинальное напряжение, В	380
2	Номинальная частота, Гц	50
3	Номинальное напряжение изоляции, В	660
4	Номинальный ток устройства, А:	100; 250; 400
6	Номинальные токи вводных аппаратов, А	до 400
7	Номинальные токи вводных аппаратов ВРУ с АВР, А	100; 250
8	Номинальный кратковременно выдерживаемый ток короткого замыкания для блока ввода и сборных шин ВРУ, кА	< 20
9	Климатическое исполнение по ГОСТ 15150	УХЛ4
10	Степень защиты по ГОСТ 14254	IP31
11	Вид системы заземления	TN-C (TN-S; TN-C-S)

### 5.1.2 Выбор распределительных щитов здания

Для распределения электричества по этажам поликлиники на каждом этаже устанавливаем по щиту освещения (ЩО) и щиту силовому (ЩС).

Выбираем панель распределительного щита марки ЩР-АТ, внешний вид ЩР-АТ представлен на рисунке 5.2.



Рисунок 5.2 - Внешний вид ЩР-АТ

Щитки распределительные применяются в осветительных и силовых установках производственных, общественных, административных и других подобных зданиях для приема и распределения электрической энергии напряжением 380 В трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, нечастого включения и отключения линий групповых цепей, а также для их защиты при перегрузках и коротких замыканиях.

Технические характеристики ЩР-АТ приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Технические характеристики ЩР-АТ

№	Наименование параметра	Параметр
1	Номинальное напряжение, В	380
2	Номинальная частота, Гц	50
3	Номинальные токи вводных аппаратов, А	до 250
4	Номинальные токи защитных и/или коммутационных защитных аппаратов распределительных цепей, А	до 250
5	Номинальные токи защитных и/или коммутационных защитных аппаратов групповых цепей освещения, А	10;16;20;63

№	Наименование параметра	Параметр
6	Степень защиты по ГОСТ 14254	IP31
7	Вид системы заземления	TN-C (TN-S; TN-C-S)

Для подключения потребителей электрической энергии первой группы, согласно требованиям ГОСТ 50571.28 к сети напряжением 220В 50Гц в физиотерапевтических кабинетах, родильных отделениях, процедурных, рентгеноскопических, терапевтических, травматологических кабинетах и иных помещениях применяется электрощит ЭЩР-Ф-6Т.

Внешний вид ЭЩР-Ф-6Т изображен на рисунке 5.3.



Рисунок 5.3 - Внешний вид ЭЩР-Ф-6Т

ЭЩР-Ф-3 обеспечивает защиту человека от поражения электрическим током, а также защиту электрических сетей и электрооборудования от перегрузок и токов короткого замыкания (сверхтоков).

Технические характеристики ЭЩР-Ф-3 приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Технические характеристики ЭЩР-Ф-3

№	Наименование параметра	Параметр
1	Номинальное напряжение, В	380
2	Номинальная частота, Гц	50
3	Номинальные токи защитных и/или коммутационных защитных аппаратов распределительных цепей, А	до 250

№	Наименование параметра	Параметр
4	Номинальные токи вводных аппаратов, А	до 250
5	Степень защиты по ГОСТ 14254	IP54
6	Вид системы заземления	TN-C-S

## 5.2 Расчет сечения питающих линий комплекса РБ

В данном проекте выбрана радиально-магистральная схема, она используется для передачи и распределения электроэнергии с возможностью прикрепления к ним электроприемников в системах с глухо заземленной нейтралью при напряжении 380/220 В.

Выберем марку и сечение кабелей от РУ 0,4 кВ подстанции до ВРУ электроприемника. Выбор и проверка сечений проводов и кабелей напряжением до 1кВ производится по длительно допустимому току и допустимой потере напряжения в линии.

Рассчитываем значение тока:

$$I_{P.K.} = \frac{S_{P.K.}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (5.1)$$

где  $S_{расч.}$  – мощность которая должна передаваться по кабельной линии в нормальном режиме.

$$I_{P.Kл.} = \frac{S_{P.K.}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{174,3}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 249,8 A$$

Для выбора сечений и проверки проводов и кабелей пользуются таблицами приведёнными в ПУЭ.

Необходимо выдержать соотношение:

$$I_{P.K.} \leq I_{доп} \quad (5.2)$$

По данным справочной литературы выбираем бронированный четырехжильный кабель с алюминиевыми жилами и бумажной изоляцией,

пропитанной маслосифоной и не стекающей массами, в свинцовой или алюминиевой оболочке.

$$ААБл ( 4 \times 150 ), S_{к} = 150 \text{ мм}^2, I_{доп.} = 281 \text{ А}, R_{уд.} = 0,256 \text{ Ом/км},$$

$$X_{уд.} = 0,063 \text{ Ом/км}, L_{л.} = 0,08 \text{ км}.$$

Проверка соотношения:

$$249,8 \leq 281.$$

Выбранный кабель удовлетворяет условию выбора по длительно-допустимому току.

Выбранные сечения проводов и кабелей проверяются по допустимой потере напряжения.

Условием проверки является потеря напряжения, при передаче электроэнергии, в линии не более 4 – 6 % т.е.

Потеря напряжения в сети определяется по формуле, %,

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L}{U_{л.}} \cdot (R_{уд.} \cdot \cos \varphi + X_{уд.} \cdot \sin \varphi) \cdot 100. \quad (5.3)$$

Потеря напряжения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 249,8 \cdot 0,08}{380} \cdot (0,256 \cdot 0,8 + 0,063 \cdot 0,65) \cdot 100 = 2,16\%$$

Проверка по условию:

$$2,16 \leq 4 - 6 \%$$

Условие выполняется.

Расчетные данные по сечению кабелей приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Расчетные данные по сечению кабелей

№ гр.	Наименование потребителя	$I_p$ , А	Марка провода	$S_{каб}$ , мм <sup>2</sup>	$I_{ном.}$ , А	$R_{уд.}$ , Ом	$X_{уд.}$ , Ом	$\Delta U_{л.}$ , %	$L_{л.}$ , км
1	Поликлиника	249,8	ААБл -10	4×150	281	0,256	0,064	2,16	0,08
2	Молочная кухня и др.	221,4	ААБл -10	4×120	245	0,477	0,061	2,12	0,25

3	Лечебный корпус № и др.	81,2	ААБл -10	4×25	102	0,278	0,06	2,28	0,24
4	Лечебный корпус №1	107,1	ААБл -10	4×35	126	1,335	0,066	1,76	0,04
5	Лаборатория	15,6	ААБл -10	4×6	45	0,952	0,064	2,76	0,06
6	Освещение территории	6,2	СиП	3×4	25	2,08	0,067	2,89	0,92

Аналогичным путем рассчитаем питающую от сети ВРУ до мощных электроприемников здания поликлиники.

Из расчетов видно, что наиболее мощным электроприемником в здании поликлиники является Рентгенодиагностический комплекс, к которому согласно ПУЭ необходимо проложить самостоятельную питающую линию от ВРУ здания до щита управления комплексом.

Расчетные данные по сечению кабеля приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Расчётные данные по сечению кабелей

Наименование потребителя	$I_p$ , А	Марка провода	$S_{\text{каб}}$ , мм <sup>2</sup>	$I_{\text{ном}}$ , А	$R_{\text{уд}}$ , Ом	$X_{\text{уд}}$ , Ом	$\Delta U_{\text{л}}$ , %	$L_{\text{л}}$ , км
Рентген диагностический	76,8	ВВГнг-LS-1	4×16	100	0,32	0,064	2,73	0,01

## 6 Расчет токов короткого замыкания

На рисунках 6.1(а) и 6.1(б) представлены расчетная схема и схема замещения.

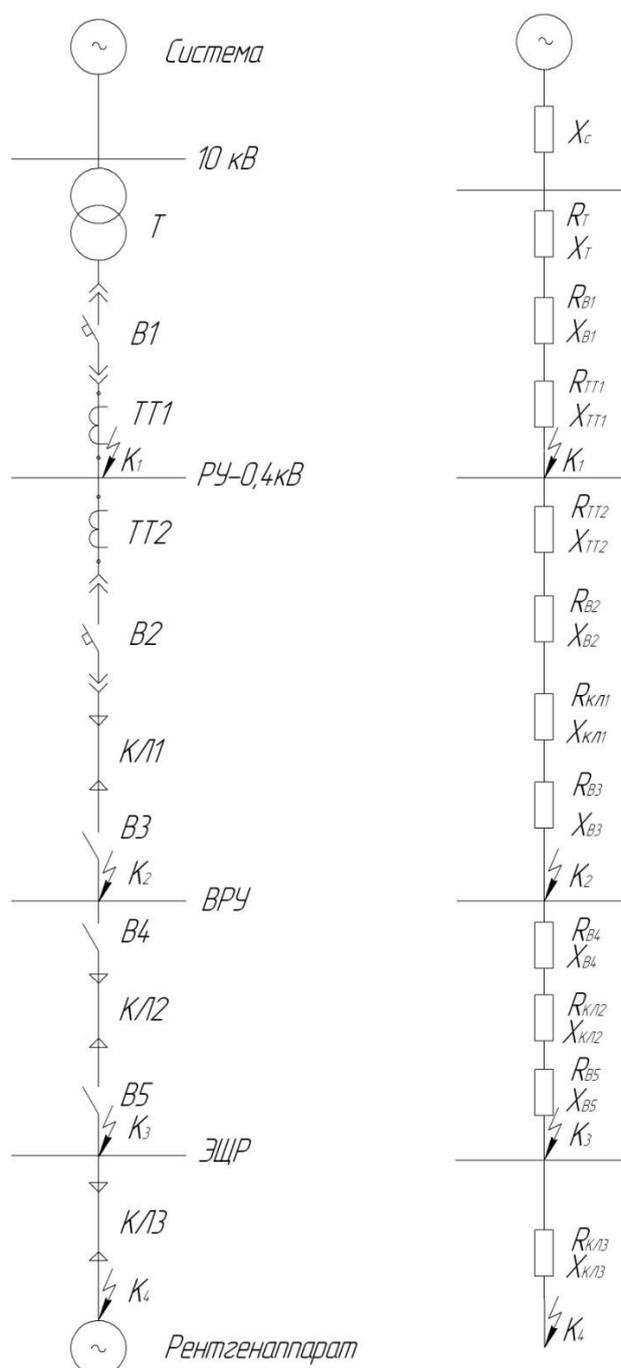


Рисунок 6.1 - Расчетная схема (а) и схема замещения (б)

Параметры расчетной схемы:

Система:

$$S_K = 100 \text{ мВА},$$

$$U_{HВН} = 10 \text{ кВ};$$

Трансформатор Т:

ТМГ-630/10/0,4; схема соединения обмоток  $\Delta/Y_0$

$$S_H = 630 \text{ кВА},$$

$$U_{HВН} = 10 \text{ кВ}, U_{HНН} = 0,4 \text{ кВ},$$

$$U_K = 5,5 \%,$$

$$R_T = 1,9 \text{ мОм},$$

$$X_T = 12,65 \text{ мОм}.$$

Выключатель ВА-1:

$$I_H = 800 \text{ А}.$$

$$R_{KB} = 0,14 \text{ мОм},$$

$$X_{KB} = 0,08 \text{ мОм}.$$

Трансформатор тока ТТ1:

$$K_{TT} = 1000/5,$$

$$R_{TT} = 0,33 \text{ мОм},$$

$$X_{TT} = 0,3 \text{ мОм}.$$

Трансформатор тока ТТ2:

$$K_{TT} = 400/5,$$

$$R_{TT} = 0,33 \text{ мОм},$$

$$X_{TT} = 0,3 \text{ мОм}.$$

Выключатель ВА-2:

$$I_H = 400 \text{ А}.$$

$$R_{KB} = 0,14 \text{ мОм},$$

$$X_{KB} = 0,08 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1:

ААБЛ-10 ( $4 \times 150 \text{ мм}^2$ ),

$$l = 80 \text{ м}.$$

$$R_{уд} = 0,256 \text{ мОм/м},$$

$$X_{уд} = 0,063 \text{ мОм/м}.$$

Автоматический выключатель ВА-3:

$$I_H = 250 \text{ A.}$$

$$R_{KB} = 0,14 \text{ мОм,}$$

$$X_{KB} = 0,08 \text{ мОм.}$$

Автоматический выключатель ВА-4:

$$I_H = 80 \text{ A.}$$

$$R_{KB} = 0,65 \text{ мОм,}$$

$$X_{KB} = 0,17 \text{ мОм.}$$

Кабельная линия КЛ2:

$$\text{ВВГнг-LS-1}(4 \times 16 \text{ мм}^2),$$

$$l = 10 \text{ м.}$$

$$R_{уд} = 0,32 \text{ мОм/м,}$$

$$X_{уд} = 0,064 \text{ мОм/м.}$$

Автоматический выключатель ВА-5:

$$I_H = 80 \text{ A.}$$

$$R_{KB} = 0,65 \text{ мОм,}$$

$$X_{KB} = 0,17 \text{ мОм.}$$

Кабельная линия КЛ3:

$$\text{ВВГнг-LS-1}(4 \times 16 \text{ мм}^2),$$

$$l = 5 \text{ м.}$$

$$R_{уд} = 0,32 \text{ мОм/м,}$$

$$X_{уд} = 0,064 \text{ мОм/м.}$$

### Расчет токов короткого замыкания для точки К1

Ток металлического трехфазного КЗ  $I_{KM}^3$  определяется по формуле:

$$I_{KM}^3 = \frac{U_{H \text{ нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}^3} = \frac{U_{H \text{ нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}}. \quad (6.1)$$

По схеме замещения прямой последовательности суммарные сопротивления  $R_{1\Sigma}$  и  $X_{1\Sigma}$  определяем арифметическим суммированием сопротивлений до точки КЗ:

$$R_{1\Sigma} = R_T + R_{B1} + R_{TT1} = 1,9 + 0,14 + 0,33 = 2,37 \text{ мОм}; \quad (6.2)$$

$$X_{1\Sigma} = X_C + X_T + X_{B1} + X_{TT1} = 1,6 + 12,65 + 0,08 + 0,3 = 14,63 \text{ мОм}. \quad (6.3)$$

Полное суммарное сопротивление до точки К<sub>1</sub>.

$$Z_{\Sigma}^{(3)} = \sqrt{2,37^2 + 14,63^2} = 14,8 \text{ мОм} \quad (6.4)$$

Ток трехфазного металлического КЗ (6.1):

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 14,8} = 15,5 \text{ кА}.$$

### Расчет токов короткого замыкания для точки К2

По схеме замещения прямой последовательности суммарные сопротивления  $R_{2\Sigma}$  и  $X_{2\Sigma}$  определяем арифметическим суммированием сопротивлений до точки КЗ, (6.2), (6.3):

$$R_{2\Sigma} = R_T + R_{B1} + R_{TT1} + R_{B2} + R_{TT2} + R_{KЛ1} + R_{B3} = 1,9 + 0,14 + 0,33 + 0,14 + 0,33 + (0,256 \cdot 65) + 0,14 = 19,6 \text{ мОм};$$

$$X_{2\Sigma} = X_C + X_T + X_{B1} + X_{TT1} + X_{B2} + X_{TT2} + X_{KЛ1} + X_{B3} = 1,6 + 12,65 + 0,08 + 0,3 + 0,08 + 0,3 + (0,063 \cdot 65) + 0,08 = 19,1 \text{ мОм}.$$

Полное суммарное сопротивление до точки К<sub>2</sub> (6.4).

$$Z_{\Sigma}^{(3)} = \sqrt{19,6^2 + 19,1^2} = 27,4 \text{ мОм},$$

Ток трехфазного металлического КЗ (6.1):

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 27,4} = 8,4 \text{ кА};$$

### Расчет токов короткого замыкания для точки К3

По схеме замещения прямой последовательности суммарные сопротивления  $R_{3\Sigma}$  и  $X_{3\Sigma}$  определяем арифметическим суммированием сопротивлений до точки КЗ:

$$R_{3\Sigma} = R_T + R_{B1} + R_{TT1} + R_{B2} + R_{TT2} + R_{KЛ1} + R_{B3} + R_{B4} + R_{KЛ2} + R_{B5} = 1,9 + 0,14 + 0,33 + 0,14 + 0,33 + (0,256 \cdot 65) + 0,65 + (0,32 \cdot 30) + 0,65 = 30 \text{ мОм};$$

$$X_{3\Sigma} = X_C + X_T + X_{B1} + X_{TT1} + X_{B2} + X_{TT2} + X_{KЛ2} + X_{B3} + X_{B4} + X_{KЛ2} + X_{B5} = 1,6 +$$

$$+12,65+0,08+0,3+0,08+0,3+(0,063 \cdot 65)+0,08+0,17+(0,064 \cdot 30)+0,17=$$

$$21,3 \text{ мОм.}$$

Полное суммарное сопротивление до точки К<sub>3</sub> (6.4).

$$Z_{\Sigma}^{(3)} = \sqrt{30^2 + 21,3^2} = 37,2 \text{ мОм,}$$

Ток трехфазного металлического КЗ (6.1):

$$I_{\text{км}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 37,2} = 6,2 \text{ кА;}$$

#### Расчет токов короткого замыкания для точки К4

По схеме замещения прямой последовательности суммарные сопротивления  $R_{4\Sigma}$  и  $X_{4\Sigma}$  определяем арифметическим суммированием сопротивлений до точки КЗ:

$$R_{4\Sigma} = R_T + R_{B1} + R_{TT1} + R_{B2} + R_{TT2} + R_{KL1} + R_{B3} + R_{B4} + R_{KL2} + R_{B5} + R_{KL3} =$$

$$= 1,9 + 0,14 + 0,33 + 0,14 + 0,33 + (0,256 \cdot 65) + 0,65 + (0,32 \cdot 30) + 0,65 + (0,405 \cdot 20) =$$

$$= 38,6 \text{ мОм;}$$

$$X_{4\Sigma} = X_C + X_T + X_{B1} + X_{TT1} + X_{B2} + X_{TT2} + X_{KL2} + X_{B3} + X_{B4} + X_{KL2} +$$

$$X_{B5} + X_{KL3} = 1,6 +$$

$$+ 12,65 + 0,08 + 0,3 + 0,08 + 0,3 + (0,063 \cdot 65) + 0,08 + 0,17 + (0,064 \cdot 30) + 0,17 + (0,064 \cdot$$

$$\cdot 20) = 22,3 \text{ мОм.}$$

Полное суммарное сопротивление до точки К<sub>4</sub> (6.4).

$$Z_{\Sigma}^{(3)} = \sqrt{38,6^2 + 22,3^2} = 44,2 \text{ мОм.}$$

Ток трехфазного металлического КЗ (6.1):

$$I_{\text{км}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 44,2} = 5,23 \text{ кА.}$$

Ток трехфазного дугового КЗ определяем с использованием снижающего коэффициента  $K_C$ .

Расчет дугового трехфазного КЗ выполняется в следующем порядке:

1. Определяются значения снижающего коэффициента для начального момента КЗ ( $K_{C1}$ ) и для установившегося КЗ ( $K_{C2}$ ).

2. Ток трехфазного дугового КЗ определяется по формуле

$$I_{кд}^{(3)} = I_{км}^{(3)} \cdot K_C \quad (6.5)$$

Ударный ток КЗ определяем по формуле:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{км}^{(3)} \quad (6.6)$$

Ударный коэффициент  $K_y$  определяем по характеристике.

Находим соотношение:

$$\frac{X_{\Sigma}^{(3)}}{R_{\Sigma}^{(3)}}; \quad (6.7)$$

### **Расчет токов короткого замыкания для точки К1**

Определяются значения снижающего коэффициента для начального момента КЗ ( $K_{C1}$ ) и для установившегося КЗ ( $K_{C2}$ ).

При  $Z_{\Sigma}^{(3)} = 14,8 \text{ мОм}$   $K_{C1} = 0,68$ , а  $K_{C2} = 0,57$ .

Ток трехфазного дугового КЗ определяется по формуле (6.5):

$$I_{кд}^{(3)} = 15,5 \cdot 0,68 = 10,4 \text{ кА}; ; t \approx 0.$$

$$I_{км}^{(3)} = 15,5 \cdot 0,57 = 9 \text{ кА}; ; t_{КЗ} > 0,05 \text{ с}.$$

Ударный ток КЗ определяем по формуле (6.6):

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{км}^{(3)}.$$

Ударный коэффициент  $K_y$  определяем по характеристике.

$$\text{Находим соотношение } \frac{X_{\Sigma}^{(3)}}{R_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{14,63}{2,37} = 6,14.$$

Этому отношению соответствует  $K_y = 1,6$ .

$$\text{Определяем } i_{y\partial} = 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 15,5 = 35,2 \text{ кА}.$$

### **Расчет токов короткого замыкания для точки К2**

Определяются значения снижающего коэффициента для начального момента КЗ ( $K_{C1}$ ) и для установившегося КЗ ( $K_{C2}$ )

При  $Z_{\Sigma}^{(3)} = 27,4 \text{ мОм}$   $K_{C1} = 0,7$ , а  $K_{C2} = 0,6$ .

Ток трехфазного дугового КЗ определяется по формуле (6.5):

$$I_{кд}^{(3)} = 8,4 \cdot 0,7 = 5,9 \text{ кА}; ; t \approx 0.$$

$$I_{км}^{(3)} = 8,4 \cdot 0,6 = 5,1 \text{ кА}; ; t_{кз} > 0,05 \text{ с.}$$

Ударный ток КЗ определяем по формуле (6.6):

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{км}^3.$$

Ударный коэффициент  $K_y$  определяем по характеристике,

$$\text{Находим соотношение } \frac{X_{\Sigma}^{(3)}}{R_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{19,185}{19,62} = 0,98.$$

Этому отношению соответствует  $K_y = 1,05$ .

$$\text{Определяем } i_{yд} = 1,05 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,4 = 12,4 \text{ кА};$$

### **Расчет токов короткого замыкания для точки К3**

Определяются значения снижающего коэффициента для начального момента КЗ ( $K_{с1}$ ) и для установившегося КЗ ( $K_{с2}$ ).

При  $Z_{\Sigma}^{(3)} = 37,2 \text{ мОм}$   $K_{с1} = 0,75$ , а  $K_{с2} = 0,67$ .

Ток трехфазного дугового КЗ определяется по формуле (6.5):

$$I_{кд}^{(3)} = 6,2 \cdot 0,75 = 4,6 \text{ кА}; ; t \approx 0.$$

$$I_{км}^{(3)} = 6,2 \cdot 0,67 = 4,2 \text{ кА}; ; t_{кз} > 0,05 \text{ с.}$$

Ударный ток КЗ определяем по формуле (6.6):

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{км}^3.$$

Ударный коэффициент  $K_y$  определяем по характеристике.

$$\text{Находим соотношение } \frac{X_{\Sigma}^{(3)}}{R_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{21,45}{30,52} = 0,71.$$

Этому отношению соответствует  $K_y = 1,03$ .

$$\text{Определяем } i_{yд} = 1,03 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,2 = 9 \text{ кА}.$$

### **Расчет токов короткого замыкания для точки К4**

Определяются значения снижающего коэффициента для начального момента КЗ ( $K_{C1}$ ) и для установившегося КЗ ( $K_{C2}$ ).

При  $Z_{\Sigma}^{(3)} = 44,2i\hat{\Omega}$   $K_{C1} = 0,77$ , а  $K_{C2} = 0,69$ .

Ток трехфазного дугового КЗ определяется по формуле (6.5):

$$I_{кД}^{(3)} = 5,23 \cdot 0,77 = 4кА; ; t \approx 0.$$

$$I_{кМ}^{(3)} = 5,23 \cdot 0,69 = 3,6кА; ; t_{кЗ} > 0,05 с.$$

Ударный ток КЗ определяем по формуле (6.6):

$$i_{\nu} = K_{\nu} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{кМ}^3.$$

Ударный коэффициент  $K_{\nu}$  определяем по характеристике.

Находим соотношение  $\frac{X_{\Sigma}^{(3)}}{R_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{22,73}{38,62} = 0,59; .$

Этому отношению соответствует  $K_{\nu} = 1,01$ .

Определяем  $i_{\nu Д} = 1,01 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,23 = 7,47кА; .$

Результаты расчета токов КЗ сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 - Результаты расчета токов КЗ

№ точки КЗ	Место КЗ	Токи КЗ, кА		
		Дуговое КЗ $\Delta t > 0,05 с$	Металлическое КЗ	Ударный ток КЗ
К1	РУНН КТП	10,4	15,5	35,2
		9		
К2	ВРУ	5,9	8,4	12,4
		5,1		
К3	ЭЩР	4,6	6,2	9
		4,2		
К4	Рентгенаппарат	4	5,23	7,47
		3,6		

## 7 Проверка оборудования по токам КЗ

### 7.1 Проверка автоматических выключателей

Номинальные токи расцепителей выбирают по длительному расчетному току линии:

$$I_{н.р} \geq I_p. \quad (7.1)$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя ( $I_{ср.э}$ ) проверяется по пиковому току линии  $I_{кр}$ :

$$I_{ср.э} \geq K_n I_{кр}, \quad (7.2)$$

Проверка на динамическую устойчивость аппарата:

$$I_{дин} \geq i_{удмах} \quad (7.3)$$

Выбираем автоматические выключатели на КТП:

Проверка выключателя по номинальному току выключателя:

$$I_{НВ} \geq I_p; \quad (7.4)$$

$$800A > 681,3A$$

Проверка выключателя по номинальному току расцепителя:

$$I_{н.р} \geq I_p. \quad (7.1)$$

$$800A > 681,3A$$

Проверка выключателя по току срабатывания расцепителя:

$$I_{ср.э} \geq K_n I_{кр}, \quad (7.2)$$

$$1000A > 1,25 \cdot 681,3A$$

$$1000A > 851,6A$$

Проверка выключателя на динамическую устойчивость:

$$I_{дин} \geq i_{удмах} \quad (7.3)$$

$$50 > 35,2 \text{ кА}$$

Принимаем к установке выключатель ВА-TS800.

### 7.1.1 Проверка автоматических выключателей на отходящих линиях ТП

Результаты выбора сведены в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 - Результаты выбора выключателей

№ Гр.	Наименование потребителя.	$I_p$ , А	Тип выключателя	$I_{ном.}$ , А
1	Поликлиника	249,8	ВА-TS400	300
2	Молочная кухня и др.	221,4	ВА-TS250	250
3	Лечебный корпус №2 и др.	81,2	ВА-TS160	100
4	Лечебный корпус №1	107,1	ВА-TS160	125
5	Лаборатория	15,6	ВА-TD100	25
6	Освещение территории	6,2	ВА-TD100	16

### 7.1.2 Проверка автоматических выключателей в распределительных устройствах.

По результатам выбора автоматических выключателей показаны в таблице 7.2.

Таблица.7.2 – Выбор автоматических выключателей

Наименование распределительного устройства	$I_p$ , А	$I_{нв}$ , А	Тип автоматического выключателя
ВРУ	249,8	250	ВА- TS250

### 7.1.3 Проверка автоматических выключателей в ЩР

По результатам выбора автоматических выключателей показаны в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Выбор автоматических выключателей

Наименование щита освещения	$I_p$ , А	$I_{нв}$ , А	Тип автоматического выключателя
ЩО1	14,1	16	ВА- TD100
ЩО2	14	16	ВА- TD100
ЩС1	78,6	80	ВА- TD100
ЩС2	94,4	100	ВА- TD100

### 7.2 Проверка трансформаторов тока на КТП

Трансформатор тока (ТТ) выбирается по следующим условиям:

1) Номинальному напряжению:

$$U_{ном} \leq U_{сетном} \quad (7.5)$$

$$U_{ном} = 0,4кВ \leq U_{сетном} = 0,66кВ$$

2) Номинальному длительному (рабочему) току:

$$I_{ном} \leq I_{1ном} \quad (7.6)$$

$$I_{max} = \frac{S_{Т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 909,3А \quad (7.7)$$

$$I_{ном} = 909,3А \leq I_{1ном} = 1000 А$$

3) Электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1ном}$$

$$35,25 \leq 265 \cdot \sqrt{2} \cdot 1 \quad (7.8)$$

$$35,25кА \leq 374,8кА$$

4) Термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot t_T = I_T^2 \cdot t_T$$

$$5,3^2 \leq 20^2 \cdot 0,1 \quad (7.9)$$

$$28,3кА^2 \cdot c \leq 40кА^2 \cdot c$$

5) Вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2ном} \quad (7.10)$$

$$R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{0,7}{5^2} = 0,03 Ом \quad (7.11)$$

$$R_{пр} = Z_{2ном} - R_{приб} - R_k = 1,2 - 0,03 - 0,1 = 1,07 Ом \quad (7.12)$$

Принимаем к установке трансформатор тока Т-0,66-1000/5 УЗ

### 7.3 Проверка выбора сечения проводников по допустимому нагреву электрическим током

Величина длительно допустимого тока для проводников зависит от его материала, сечения, изоляции, условий охлаждения и т.д.

Длительно допустимый ток по нагреву при заданных температурных условиях (допустимой температуры нагрева жил и температуры окружающей среды по нормам) материала проводника и его сечения определяется из уравнения теплового баланса для проводника.

Для выбора сечения проводника по условиям нагрева тиками нагрузки сравниваются расчетный ( $I_p$ ) и допустимый ( $I_{дон}$ ) токи для проводника принятой марки и с учетом условий его прокладки. При этом должно соблюдаться соотношение:

$$I_{дон} \geq \frac{I_p}{K_{II}}, \quad (7.13)$$

Для проверки кабелей по допустимому нагреву электрическим током составлена таблица 7.4.

Таблица 7.4 - Проверка кабелей по допустимому нагреву

№ гр.	Наименование потребителя	$I_p$ , А	$I_{доп}$ , А	$I_p / K_{п}$ , А	Марка провода	Условие выбора
1	Поликлиника	249,8	281	237,9	ААБл -10	$281 > 237,9$
2	Молочная кухня и др.	221,4	245	210,8	ААБл -10	$245 > 210,8$
3	Лечебный корпус № и др.	81,2	102	77,3	ААБл -10	$102 > 77,3$
4	Лечебный корпус №1	107,1	126	102	ААБл -10	$126 > 102$
5	Лаборатория	15,6	45	14,85	ААБл -10	$45 > 14,85$
6	Освещение территории	6,2	25	5,9	СиП	$25 > 5,9$

Все выбранные кабели удовлетворяют условию выбора проводников по допустимому нагреву электрическим током.

## 8 Релейная защита и автоматика ТП

Для защиты от повреждений на выводах, а также от внутренних повреждений предусматриваем токовую отсечку без выдержки времени, устанавливаемую со стороны питания и охватывающую часть обмотки трансформатора.

Произведем расчет токов срабатывания максимальной защиты.

### 8.1 Расчет установок релейной защиты на стороне ВН

Для защиты силового трансформатора от КЗ на стороне 10 кВ, принимаем к установке максимальную токовую защиту.

Выдержка времени срабатывания защиты  $\Delta t=0,6\text{с}$ .

Определяем первичный номинальный ток, А:

$$I_i = \frac{S_i}{\sqrt{3} \cdot U_i} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,4} = 35,7 \text{ А} \quad (8.1)$$

где  $k_{пер}=1$ .

Коэффициент трансформации  $n_T=150/5=30$

$$K_{сх} = \sqrt{3}$$

Расчетный ток срабатывания защиты:

$$I_{сз} = \frac{K_n \cdot K_{пер}}{K_6} \cdot I_n = \frac{1,2 \cdot 1}{0,8} \cdot 35,7 = 53,5 \text{ А} \quad (8.2)$$

Ток уставки реле:

$$I_{ср} = \frac{K_{сх} \cdot I_{сз}}{n_m} = \frac{\sqrt{3} \cdot 53,5}{30} = 3 \text{ А} \quad (8.3)$$

Коэффициент чувствительности защиты:

$$K_\chi = \frac{0,87 \cdot I_{\kappa\text{min}}^3}{I_{сз}} = 1,7 \quad (8.4)$$

Применяем реле РТ - 40 с пределами уставки до 30А.

## 8.2 Расчет установок релейной защиты на стороне НН

Для защиты силового трансформатора от КЗ на стороне 0,4 кВ, принимаем к установке токовую отсечку без выдержки времени.

Выдержка времени срабатывания защиты  $\Delta t=0,05\text{с}$ .

$$I_k^{(2)} = 8,8 \text{ кА}$$

$$k_{\text{пер}} = 1$$

$$k_{\text{отс}} = 1,2$$

$$I_{\text{с.р}} = 0,25 \cdot k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{пер}} \cdot I_k^{(2)} = 2,6 \text{ кА}$$

## 9 Расчет заземления ТП 10 / 0,4 кВ

В электроустановках с напряжением выше 1 кВ сети с изолированной нейтралью, сопротивление заземляющего устройства при прохождении тока замыкания на землю в любое время года с учетом сопротивления естественных заземлителей должен составлять 10 Ом (или меньше). Но в связи с тем, что к заземляющему устройству подключаются потребители с напряжением до 1 кВ, сопротивление должно быть не более 4 Ом.

Определение удельных сопротивлений грунта с учетом климатической зоны ( $K_c$  - коэффициент сезонности):

1) для вертикальных стержней заземления:

$$\rho_g = \rho K_c = 65 \cdot 1,6 = 104 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (9.1)$$

2) для горизонтальных стержней заземления:

$$\rho_g = \rho K_c = 65 \cdot 2,25 = 146 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Для заземления используем стержни из уголка 60×60×6 мм, длиной 2-3 м, заглублением 0,5 м.

Сопротивление одного вертикального заземлителя (упрощенная формула):

$$R_g = 0,298 \rho_g = 0,298 \cdot 104 = 31 \text{ Ом}. \quad (9.2)$$

Число вертикальных заземлителей (расположение в контур):

$$n_g = \frac{R_g}{\eta_g R_3} = \frac{31}{0,58 \cdot 4} = 14, \quad (9.3)$$

$$\eta_g = f(a, l_g, n) \approx 0,58,$$

так как  $a=2,5 \text{ м}$ ,  $n=8 \text{ шт}$ ,  $l_g=2,5 \text{ м}$ .

При установке контурных заземлителей необходимо учитывать и сопротивление полос горизонтального заземлителя ( $R_r$ ).

Длина соединительной полосы:

$$l_r = 1,05 n_g a = 1,05 \cdot 10 \cdot 2,5 = 26,25 \text{ м}. \quad (9.4)$$

Сопротивление горизонтального заземлителя полосового сечения:

$$R_z = \frac{\rho_z}{2\pi l_z} \ln\left(\frac{2l_z^2}{bt}\right) = \frac{146}{2 \cdot 3,14 \cdot 26,25} \ln\left(\frac{2 \cdot 26,25^2}{0,05 \cdot 0,5}\right) = 9,7 \text{ Ом.} \quad (9.5)$$

Сопротивление горизонтального заземлителя полосового сечения с учетом их использования ( $\eta_z = f(l, n) \approx 0,34$ ):

$$R'_z = \frac{R_z}{\eta_z} = \frac{9,7}{0,34} = 28,4 \text{ Ом.} \quad (9.6)$$

Уточняем сопротивление вертикальных заземлителей, с учетом горизонтального заземлителя:

$$R'_6 = \frac{R'_z R_3}{R'_z - R_3} = \frac{28,4 \cdot 4}{28,4 - 4} = 4,6 \text{ Ом} \quad (9.7)$$

Количество вертикальных заземлителей :

$$n'_6 = \frac{R'_6}{R_3} n_6 = \frac{4,6}{4} 14 = 16. \quad (9.8)$$

Проверка полного сопротивления заземления:

Согласно ПУЭ сопротивление заземления  $R \leq 4 \text{ Ом}$ .

$$R = \frac{R'_6 \cdot R_z}{R'_6 + R_z} = \frac{4,6 \cdot 28,4}{4,6 + 28,4} = 3,95 \text{ Ом}$$

С учетом полного сопротивления вертикальных заземлителей уточнённое количество вертикальных заземлителей с учётом соединительной полосы определяется по формуле:

$$n = \frac{r_6}{R'_6 \cdot \eta_6} = \frac{31}{4,6 \cdot 0,58} = 12 \text{ шт} \quad (9.9)$$

В данном примере, применяется 12 вертикальных электродов из уголка  $60 \times 60 \times 6 \text{ мм}$ , устанавливаемых в контур, соединенных полосой  $60 \times 6 \text{ мм}$ , расположенной по периметру ТП и заглубленной на  $0,5 \text{ м}$ .

## **Заключение**

В ходе выполнения работы выполнено:

Выполнен расчёт электрических нагрузок по учреждению. Произведён расчёт силовой электрической сети, который заключался: в выборе трансформаторов с учётом их перегрузочной способности; расчёте сечения кабельных линий электропередач и выборе кабелей с учётом длительно допустимого тока и допустимой потере напряжения; выборе электрических аппаратов по номинальному току и номинальному напряжению.

Рассчитаны токи короткого замыкания с целью проверки, а в случае необходимости и корректировки выбора электрических аппаратов и кабелей. Рассчитаны установки релейной защиты на ТП.

Данное учреждение спроектировано по всем требованиям и условиям эксплуатации настоящего времени.

## Список использованных источников

1. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). - С.Пб.: Энергоатомиздат 2009.
2. Правила устройства электроустановок. Вопросы и ответы : учеб. пособие. – М. : Кнорус, 2011.
3. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения машиностроительных предприятий : учеб. пособие. - Тольятти: Изд-во ТГУ, 2013.
4. Кудрин, Б.И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. – М. : Изд. центр «Академия», 2012.
5. Опалева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения : справочник / Г.Н. Опалева. – М.: ИД «Форум», 2008.
6. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ: в 6 т.: учеб.- произв. изд. Т.5/ под ред. И.Т. Горюнова и др. – М.: Папирус Про, 2005.
7. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ: в 6 т.: учеб.- произв. изд. Т.6/ под ред. гл. специалистов ОАО «Мосэнерго». – М. : Изд-во «Энергия», 2008.
8. Кабельные изделия: справочник/И.И. Алиев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 2009. – 230 с.
9. Рожин, А.Н. Внутрицеховое электроснабжение: учебное пособие/ А.Н. Рожин. – М.: Академия, 2008.
10. Кузьмин, В.И. Системы заземления электронного оборудования/ В.И. Кузьмин. – М. : Изд-во МГИЭМ, 2008.
11. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники/ Л.А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 2007.
12. ГОСТ Р 50571.1-93 (МЭК 364-1-72, МЭК 364-2-70). Электроустановки зданий. Основные положения.

13. ГОСТ Р 50571.2-94 (МЭК 364-3-93). Электроустановки зданий. Ч.3. Основные характеристики.
14. ГОСТ Р 50571.3-94 (МЭК 364-4-41-92) Электроустановки зданий. Ч.4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.
15. ГОСТ Р 50571.5-94 (МЭК 364-4-43-77) Электроустановки зданий. Ч.4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока.
16. ГОСТ Р 50571.6-94 (МЭК 364-4-45-84) Электроустановки зданий. Ч.4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от понижения напряжения.
17. ГОСТ Р 50571.7-94 (МЭК 364-4-46-81) Электроустановки зданий. Ч.4. Требования по обеспечению безопасности. Отделение, отключение, управление.
18. ГОСТ Р 50571.10-96 (МЭК 364-5-54-80) Электроустановки зданий. Ч.5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники.
19. T.S. Dillon, M.A. Laughton, Y. Sekine. International Journal of Electrical Power & Energy System.
20. Branislav Todorovic, Alan Meier. International Journal Energy and Buildings.
21. Blak & Decker. Advanced Home Wiring. 2015.
22. Kimberley Keller. Electrical Safety Code Manual. 2010.
23. Paul Dummett. Energy English for the Gas and Electricity Industries Learner's. 2011.