

- создания удлинённого пути токов КЗ через сеть 110–220 кВ и др.

Перенос поперечных связей между генераторами на более высокое напряжение также приводит к снижению токов КЗ. При тех же условиях на напряжении 6 кВ поперечные связи неосуществимы.

Установка секционных реакторов на стороне низшего напряжения на ПС малоэффективна. Типовым является применение раздельной работы секций на среднем и низшем напряжениях и введение на низшем напряжении дополнительных сопротивлений в цепь тока КЗ, последовательно с обмотками трансформаторов (реакторов, линейных регулировочных трансформаторов). Для схем ПС характерно совпадение путей токов КЗ и токов нормальных режимов. Это послужило причиной широкого использования сдвоенных реакторов в цепях трансформаторов, имеющих в нормальном режиме сниженные потери напряжения в сравнении с одинарными реакторами.

### ***Задания:***

#### ***Задание №1***

Определить напряжение (в процентах от номинального напряжения реактора) на выводах разомкнутой ветви сдвоенного реактора, когда по другой ветви протекает:

- а) ток, равный длительному номинальному току реактора при  $\cos\varphi = 0,8$ ;
- б) ток короткого замыкания (при повреждении непосредственно за реактором).

Тип реактора РБАС-10-2х600-6, коэффициент связи 0,5, напряжение на шинах питания принять неизменным и равным 10,5 кВ.

#### ***Задание №2***

Определить, при каком значении коэффициента связи напряжение на разомкнутой ветви сдвоенного реактора при коротком замыкании на выводах другой ветви не превосходит допустимой величины, равной 1,5 от номинального напряжения реактора. Напряжение на шинах питания принять неизменным и равным 1,05 от номинального напряжения реактора.

#### ***Задание №3***

При неизменной токовой паузе в плече 2 сдвоенного реактора, равной номинальной при  $\cos\varphi = 0,8$ , определить потери напряжения в обеих ветвях для следующих вариантов

б)  $I_I = 0,5 \cdot I_n$  при  $\cos \varphi = 0,9$ ;

в)  $I_I = 0$ ;

коэффициент связи равен 0,6.

Нарисовать графики  $\Delta U1 \% = f(I_I / I_n)$  и  $\Delta U2 \% = f(I_I / I_n)$  и пояснить характер их изменения.

#### **Задание №4**

Дан реактор типа РБАС-6-2х1000-8. Расшифровать марку реактора и вычислить его сопротивление (в процентах) в режимах сквозной, одноцепной и продольной токовых нагрузок. Коэффициент связи равен 0,46.

#### **Задание №5**

Ток короткого замыкания у потребителя предполагается ограничить с помощью линейных групповых сдвоенных реакторов типа РБАС-10 до величины 13,5 кА. Определить параметры реактора при максимально возможном числе линии, подключаемых к его сборкам, исходя из того, что потеря напряжения в реакторе в форсированном режиме не должна превышать 4 %.

Напряжение источника питания считать неизменным и равным 1,05 от номинального напряжения реактора, сопротивлением питающих кабелей пренебречь. Коэффициент мощности – 0,85, рабочий ток форсированного режима линии – 250 А. Коэффициент связи сдвоенного реактора принять 0,5.

#### **Задание №6**

Выявить целесообразность установки секционного реактора (СР) LR1 в ГРУ 10 кВ ТЭЦ с генераторами типа ТВФ-63-2ЕУЗ (рисунок 9.1).

Исходные данные:

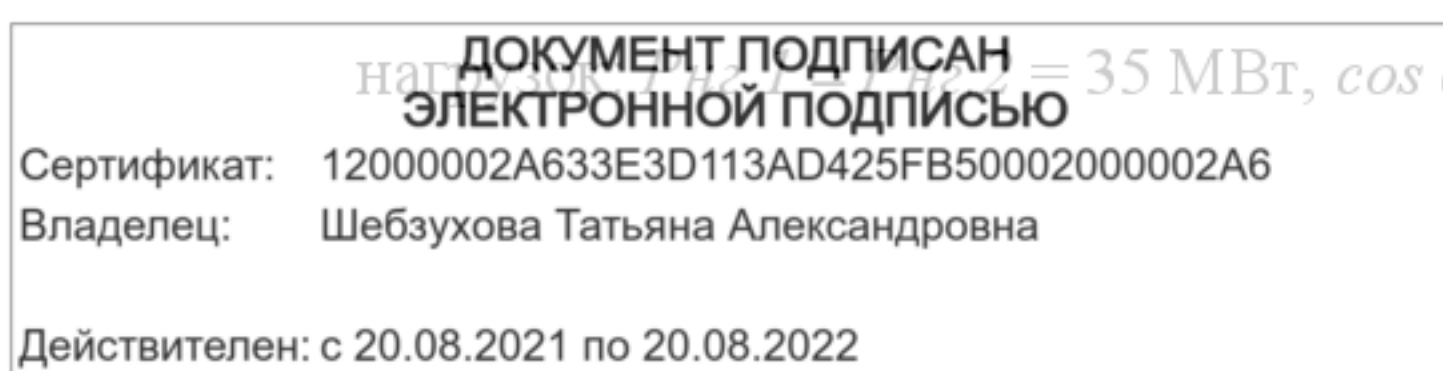
Генераторов:  $P_{ном.} = 63$  МВт;  $U_{ном.} = 10,5$  кВ;  $\cos \varphi = 0,8$ ;  $T_a = 0,247$  с;  $X_{d.ном.} = 0,136$ .

трансформаторов связи:

$S_{ном.} = 32$  МВ·А,  $n = 115/11$  кВ,  $U_k = 10,5$  %.

системы:  $S_k = 5000$  МВА; линий:  $l = 30$  км,  $X_{уд.} = 0,4$  Ом/км;

нагрузки:  $P_{наг.} = 35$  МВт,  $\cos \varphi_{наг.} = 0,87$ .



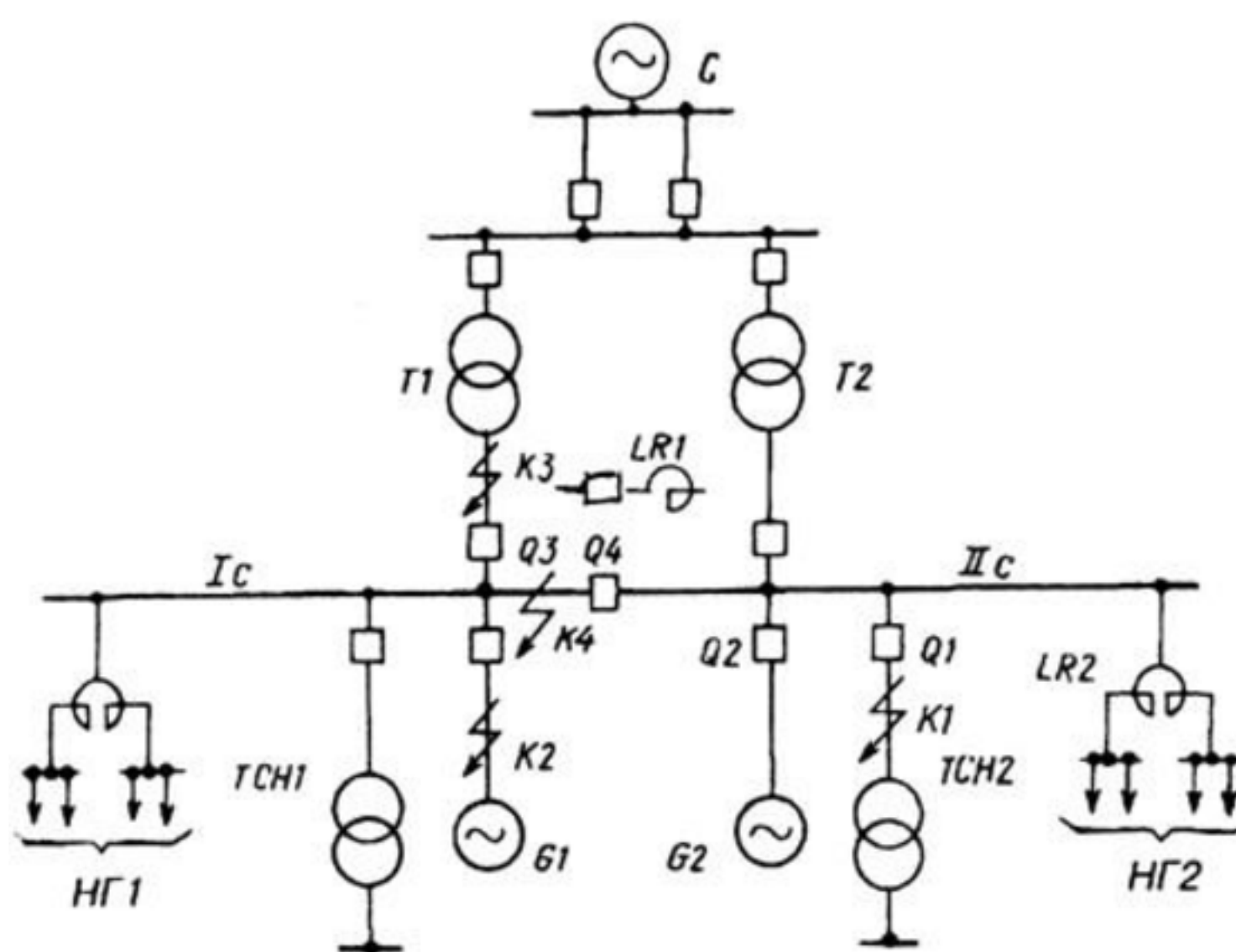


Рисунок 9.1 – Принципиальная схема ТЭЦ

Суточные графики нагрузки приведены на рисунке 9.2

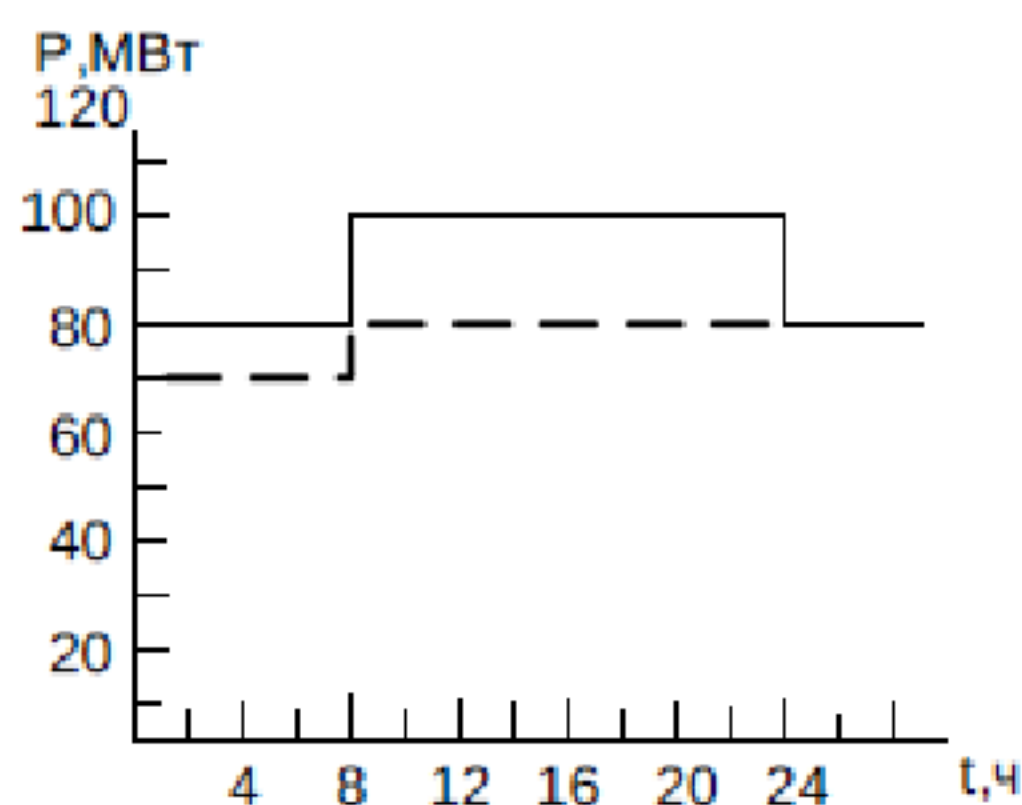


Рисунок 9.2 – Суточные графики выработки генераторами

Каждый способ ограничения токов КЗ наиболее эффективен для определенного уровня мощностей, распределяемых в узле данного напряжения. Рассмотрим вариант с установкой в ГРУ 10 кВ ТЭЦ секционного реактора.

### Задание №7

Выявить эффективность и целесообразность установки СР LR1 в ГРУ 10 кВ ТЭЦ с агрегатами 2x110 МВт (см. рисунок 9.1). Исходные данные: генераторов типа ТВФ-110-2ЕУЗ:  $P_{ном.} = 110$  МВт,  $U_{ном.} = 10,5$  кВ,  $I_{ном.} = 7,56$  кА,  $\cos \varphi_{ном.} = 0,8$ ,  $x''d. (ном.) = 0,189$ ,  $Ta.. = 0,41$  с. Трансформаторы типа ТРДН-80000/110:  $S_{ном.} = 80$  МВА,  $n = 115/10,5$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
кВ,  $U_{к.} = 5000$  МВА; линий:  $l = 60$  км,  $X_{уд.} = 0,4$  Ом/км; нагрузок 10  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

кВ:  $P_{нг1} = P_{нг2} = 35$  МВт,  $\cos \varphi_{н.г.} = 0,87$ . Суточные графики нагрузки приведены на рисунке 9.3.

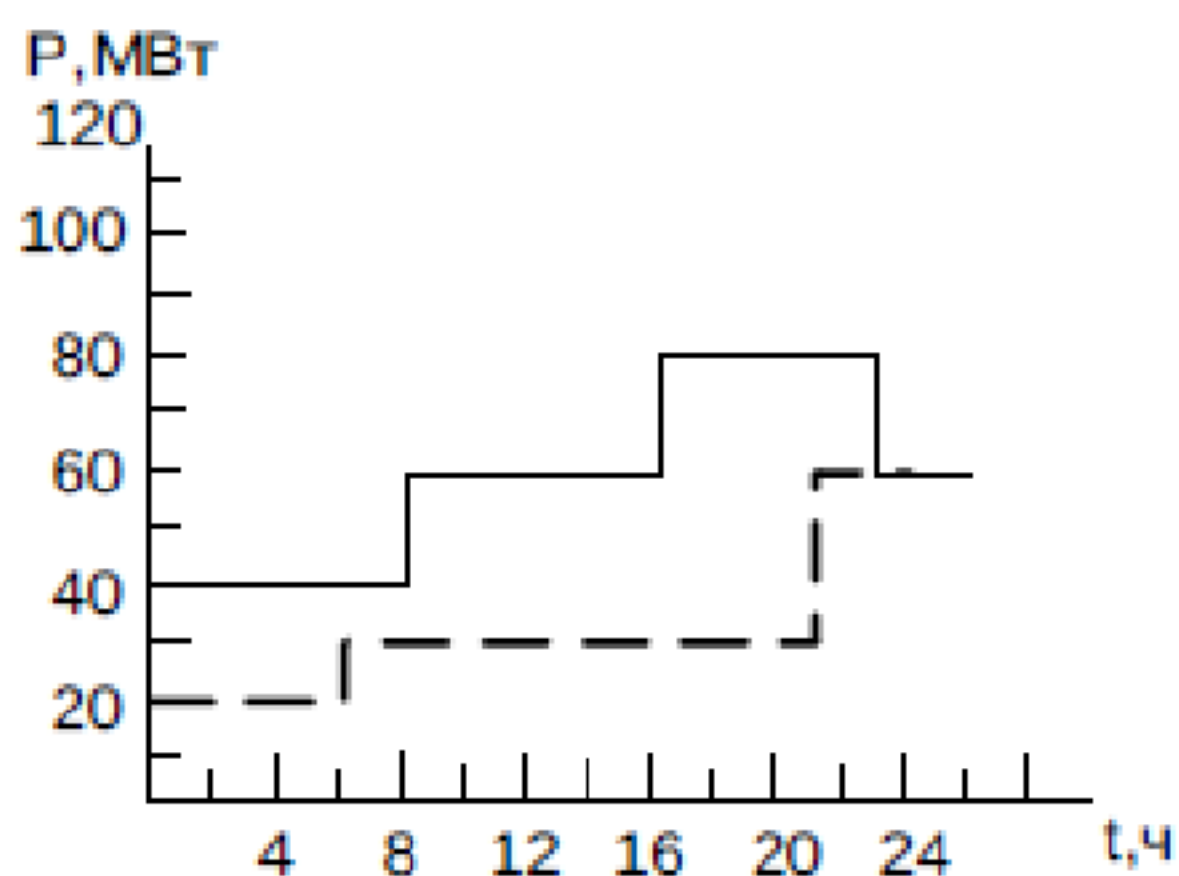


Рисунок 9.3 – Суточные графики нагрузки сети 10 кВ, включая собственные нужды ТЭЦ

### Задание №8

Для условий задачи 1 при наличии СР выбрать линейные реакторы (ЛР) на отходящих кабельных линиях 10 кВ местной нагрузки.

Исходные данные для кабельной сети:

- число распределительных пунктов (РП) 16;
- категория потребителей I и II;
- все линии резервированы;
- длина линий от ГРУ 10 кВ до РП 2 км;
- в линии проложены кабели с алюминиевыми жилами сечением  $s = 150 \text{ мм}^2$ ;
- максимальная нагрузка каждой подстанции  $P_{max} = 5000$  кВт при  $\cos \varphi = 0,87$ ,  $T_{max} = 5600$  ч;
- минимальное сечение кабелей, отходящих от РП, составляет  $70 \text{ мм}^2$  (алюминиевые жилы), на линиях установлены выключатели типа ВМП-10-20/630УЗ ( $I_{откл. ном.} = 20 \text{ кА}$ );
- начальное значение периодической составляющей начального тока КЗ
- на сборных шинах 10 кВ ТЭЦ (см. задачу 1)  $I_{но} = 64,01 \text{ кА}$ ;

начальное значение апериодической составляющей начального тока КЗ выключателями, установленными на РП,  $I + t_{в. откл.} = 0,6 \text{ с}$ ;

|                                          |                                        |
|------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН                        |                                        |
| ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ                     |                                        |
| Сертификат:                              | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022 |                                        |

- выключателями отходящих от ТЭЦ кабельных линий  

$$t_{откл.} = t_{защ.2} + t_{в. откл.} = t_{защ.1} + \Delta t + t_{в. откл.} = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ с.}$$
- Выбрать ЛР на отходящих от ТЭЦ кабельных линиях.
- Чтобы обеспечить надежную работу кабельной сети в условиях КЗ на кабельных линиях, отходящих от ГРУ 10 кВ ТЭЦ, устанавливаются ЛР. Для этого необходимо выполнение условий:
  - Ток КЗ должен быть меньше номинального тока отключения выключателей кабельной сети, установленных на головном участке кабельных линий и у потребителей.
  - Ток КЗ должен быть меньше тока термической стойкости кабелей, отходящих от ГРУ 10 кВ ТЭЦ, и кабелей, отходящих от сборных шин РП потребителя.
  - Уровень токов КЗ на сборных шинах ГРУ 10 кВ ТЭЦ, сниженный за счет установки секционного реактора, определяет значение сопротивления линейных реакторов. Следовательно, установка СР облегчает условия КЗ для кабельной сети.

***Контрольные вопросы:***

1. В чем заключается физическая суть методов ограничения токов КЗ?
2. Какие устройства обеспечивают меньшие потери напряжения в нормальном режиме?
3. В каких случаях удастся создать дополнительное сопротивление в цепи тока КЗ?
4. Почему установка секционных реакторов на стороне низшего напряжения ПС малоэффективна?
5. Влияние секционных реакторов на ограничение токов КЗ. Выявление области целесообразного применения секционных реакторов.
6. Определение целесообразности установки секционного реактора по минимуму затрат.
7. Влияние линейных реакторов на ограничение токов КЗ.
8. Оценка достоинств и определение области применения блочной схемы ТЭЦ как средства ограничения токов КЗ.
9. Ограничение токов КЗ на ПС.

## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **5.1.2 Перечень основной литературы:**

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316>

2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции : учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 61-63 - ISBN 978-5-7410-1542-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847>

#### **5.1.3 Перечень дополнительной литературы:**

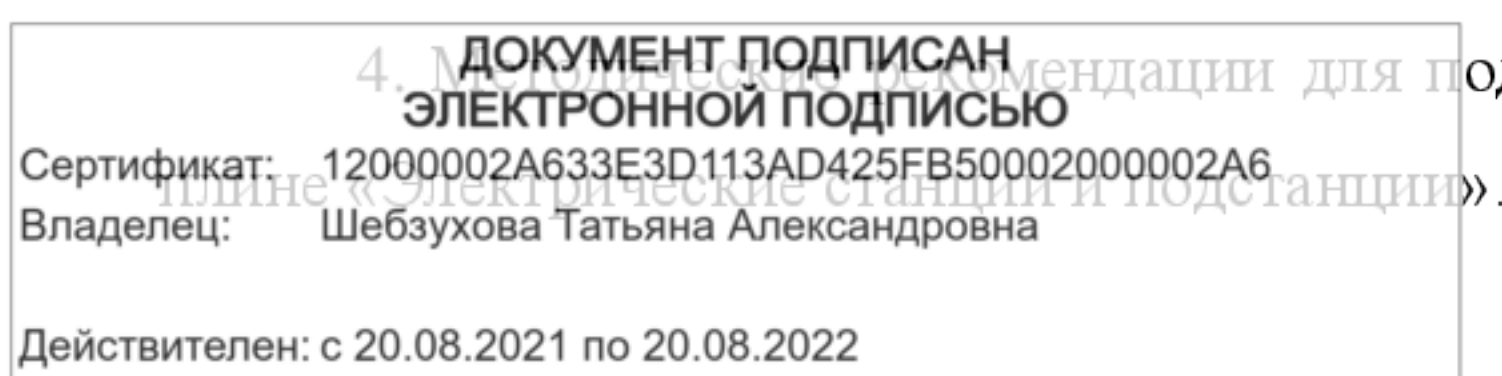
1. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - 2-е изд. доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. - 149 с. : ил. - Библиогр.: с. 114 - ISBN 978-5-9729-0207-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493858>

### **5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

3. Методические рекомендации для выполнения курсового проекта по дисциплине «Электрические станции и подстанции».



***5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет,  
необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## **Методические указания**

по выполнению курсового проекта  
по дисциплине

«Электрические станции и подстанции»  
направления подготовки

13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск

2022

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

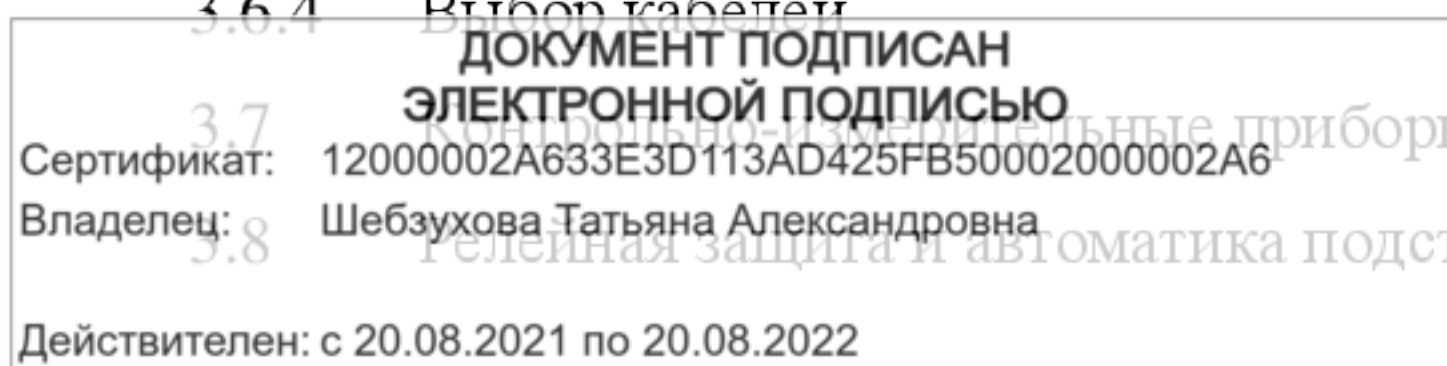
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

| №<br>п/п |  | Стр. |
|----------|--|------|
|----------|--|------|

|       |                                                                                                 |  |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|       | Введение                                                                                        |  |
| 1.    | Цель, задачи и реализуемые компетенции                                                          |  |
| 2.    | Задание на курсовое проектирование                                                              |  |
| 3.    | Структура выполнения курсового проекта                                                          |  |
| 3.1   | Характеристика проектируемой подстанции и определение структурной схемы подстанции              |  |
| 3.1.1 | Общие положения                                                                                 |  |
| 3.1.2 | Разработка структурных схем подстанций и расчет нагрузки                                        |  |
| 3.1.3 | Выбор мощности силовых трансформаторов                                                          |  |
| 3.2   | Выбор главной схемы электрических соединений                                                    |  |
| 3.2.1 | Общие положения                                                                                 |  |
| 3.2.2 | Выбор схем распределительных устройств                                                          |  |
| 3.2.3 | Собственные нужды подстанций                                                                    |  |
| 3.3   | Выбор сечений проводников воздушных линии                                                       |  |
| 3.1   | Проверка по условиям короны                                                                     |  |
| 3.2   | Проверка проводов по падению напряжения                                                         |  |
| 3.4   | Расчет токов короткого замыкания                                                                |  |
| 3.4.1 | Назначение и порядок выполнения расчетов токов короткого замыкания                              |  |
| 3.4.2 | Расчет токов КЗ для выбора электрических аппаратов                                              |  |
| 3.4.3 | Выбор токоограничивающих реакторов                                                              |  |
| 3.5   | Выбор электрических аппаратов                                                                   |  |
| 3.5.1 | Общие положения по выбору аппаратов                                                             |  |
| 3.5.2 | Выбор коммутационных аппаратов                                                                  |  |
| 3.5.3 | Выбор измерительных трансформаторов                                                             |  |
| 3.6   | Выбор токоведущих частей распределительных устройств                                            |  |
| 3.6.1 | Общие положения                                                                                 |  |
| 3.6.2 | Выбор жестких шин                                                                               |  |
| 3.6.3 | Выбор гибких шин, токопроводов и комплектных экранированных токопроводов для мощных генераторов |  |
| 3.6.4 | Выбор кабелей                                                                                   |  |
| 3.7   | Выбор измерительных приборов на электростанциях и подстанциях                                   |  |
| 3.8   | Релейная защита и автоматика подстанции                                                         |  |



- 3.9 Мероприятия по охране труда и противопожарной безопасности
- 3.9.1 Электробезопасность
- 3.9.2 Общие требования электробезопасности
- 3.9.3 Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения
- 3.9.4 Меры безопасности при проведении отдельных работ
- 3.9.5 Воздушные линии электропередачи
- 3.9.6 Средства связи, диспетчерского и технологического управления
- 3.9.7 Охрана труда
- 3.10 Техничко-экономические показатели подстанции
- 3.11 Разработка чертежа главной схемы электрических соединений подстанции
- 3.12 Компоновка и конструктивное выполнение распределительных устройств
  - 3.12.1 Классификация РУ, общие требования, порядок проектирования РУ
- 4 Общие требования к написанию и оформлению работы.
- 5 Последовательность выполнения задания
- 6 Критерии оценивания работы
- 7 Порядок защиты работы
- Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
- Приложения

## Введение

Курсовое проектирование является одним из важных и перспективных видов учебного процесса, позволяя проявить индивидуальный творческий подход к решению поставленной задачи. В методическом указании рассмотрено проектирование распределительной понизительной подстанции

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Электрические станции и подстанции» и предназначены для студентов направления подготовки бакалавриата 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

В методическом указании даны общие сведения из теории, требования к оформлению и содержанию проекта, задание на проектирование, необходимые методические указания к расчету, приводятся электрические схемы и справочный материал, представлен список рекомендуемой литературы.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Цель, задачи и реализуемые компетенции

Целью работы является закрепление и углубление теоретических знаний, полученных в результате изучения дисциплины «Электрические станции и подстанции» и смежных с ней, а также получение навыков технико-экономических расчетов.

Основными задачами данного курсового проекта является закрепление и углубление знаний, полученных по дисциплине «Электрические станции и подстанции» и смежных с ней, получение навыков инженерных и технико-экономических расчетов.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

| Код, формулировка компетенции                                      | Код, формулировка индикатора                                                                   | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем электроснабжения | Знает схемо-техническое исполнение электрооборудования станций и подстанций; современные аналитические методы и модели комплексного инженерного анализа.<br>Умеет обосновывать технические решения при разработке схем распределения и передачи электрической энергии; применять современные методы и средства исследования для решения конкретных задач. |
|                                                                    | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения                | Владеет навыками правильно выбирать электрические схемы станций и подстанций с учетом особенностей их работы и требований потребителей.                                                                                                                                                                                                                   |
| ПК-2 Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения  | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает параметры электрооборудования систем электроснабжения        | Знает общие закономерности производства, передачи и распределения электрической энергии; основные конструктивные и режимные особенности электрических станций (тепловых, атомных, гидравлических)                                                                                                                                                         |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

|  |                                                                         |                                                                                                                                                                                               |
|--|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                                                         | и подстанций, распределительных сетей.<br>Умеет рассчитывать основные параметры схем электрических станций и подстанций, учитывать особенности режимов работы различных станций и подстанций. |
|  | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает режимы работы систем электроснабжения | Владеет навыками расчёта параметров оборудования станций и подстанций; методами расчета токов короткого замыкания симметричного и несимметричного режимов.                                    |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Задание на курсовое проектирование

### Образец листа задания

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
физики, электротехники  
и электроэнергетики

Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ в г.Пятигорске  
Кафедра физики, электротехники и электроэнергетики  
Направление 13.03.02 Электротехника и электроэнергетика  
Направленность Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

### ЗАДАНИЕ на курсовой проект

Студента : \_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

По дисциплине «Электрические станции и подстанции»

1. Тема работы: «Проектирование распределительной понизительной подстанции»

2. Цель: Выполнить проектирование электроподстанции

3. Перечень подлежащих разработке вопросов:

- характеристика проектируемой подстанции;
- выбор типа и мощности трансформаторов на подстанции;
- расчет токов короткого замыкания;
- выбор схемы соединения РУ подстанции;
- выбор типов элементов РЗА подстанции;
- выбор оборудования и токоведущих частей;
- техника безопасности противопожарные мероприятия;
- технико-экономические показатели подстанции;
- выполнить 2 листа графической части проекта:
  - 1) однолинейная электрическая схема подстанции;
  - 2) компоновка подстанции.

4. Исходные данные:

4.1 Характеристика проектируемой подстанции:

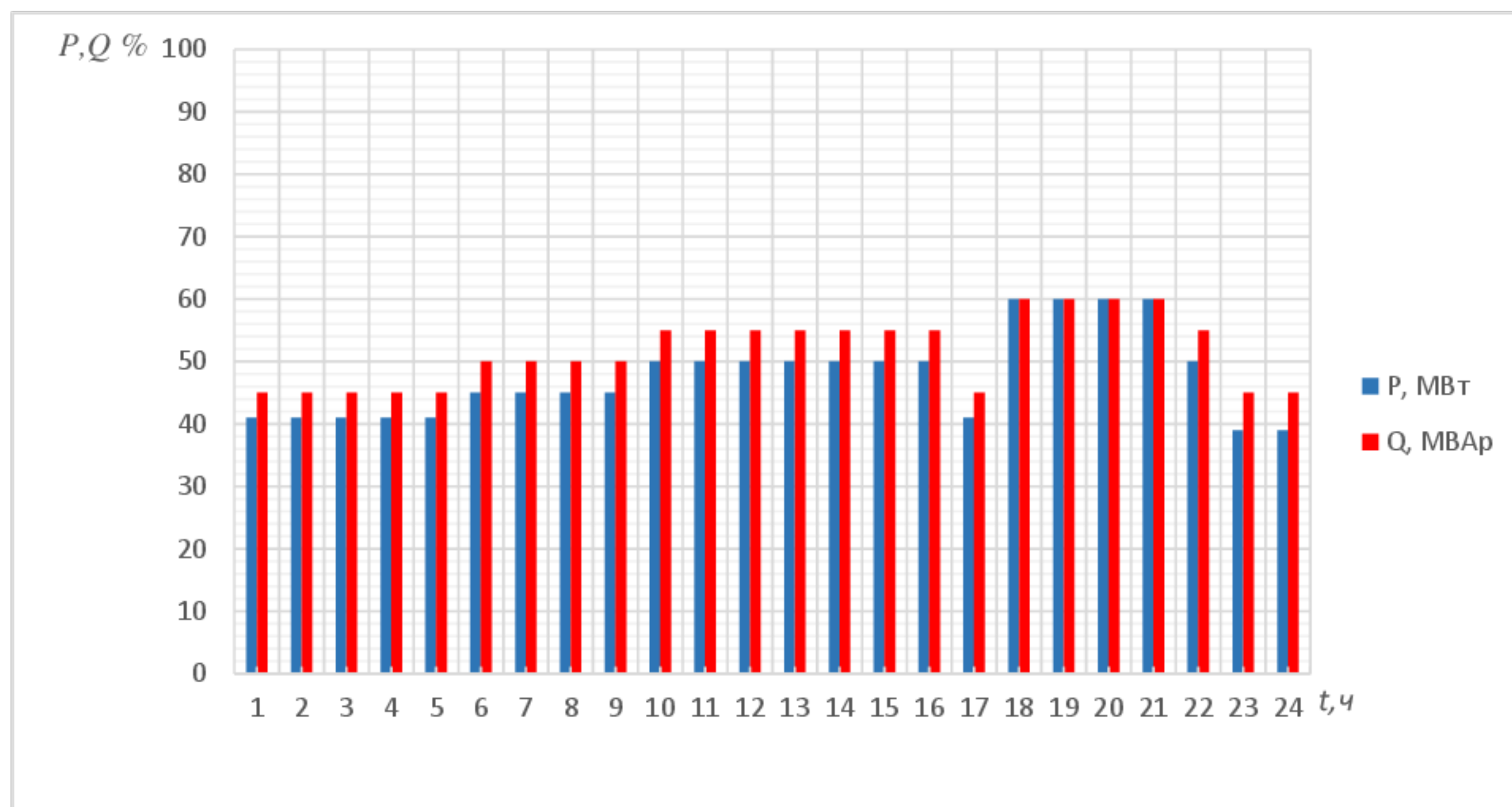
|                                                   |                                        |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br/>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</b> |                                        |
| Сертификат:                                       | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                         | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022          |                                        |

Вариант – \_\_\_\_

$P_{max} =$  \_\_\_\_\_ кВт,  $Q_{max} =$  \_\_\_\_\_ кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – \_\_\_\_; 2-ая – \_\_\_\_; 3-ая – \_\_\_\_.

#### 4.2 Суточный график нагрузки



#### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – \_\_\_\_\_,

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} =$  \_\_\_\_\_ с,

$P_{макс.(ТП,РП)} =$  \_\_\_\_\_ МВт,

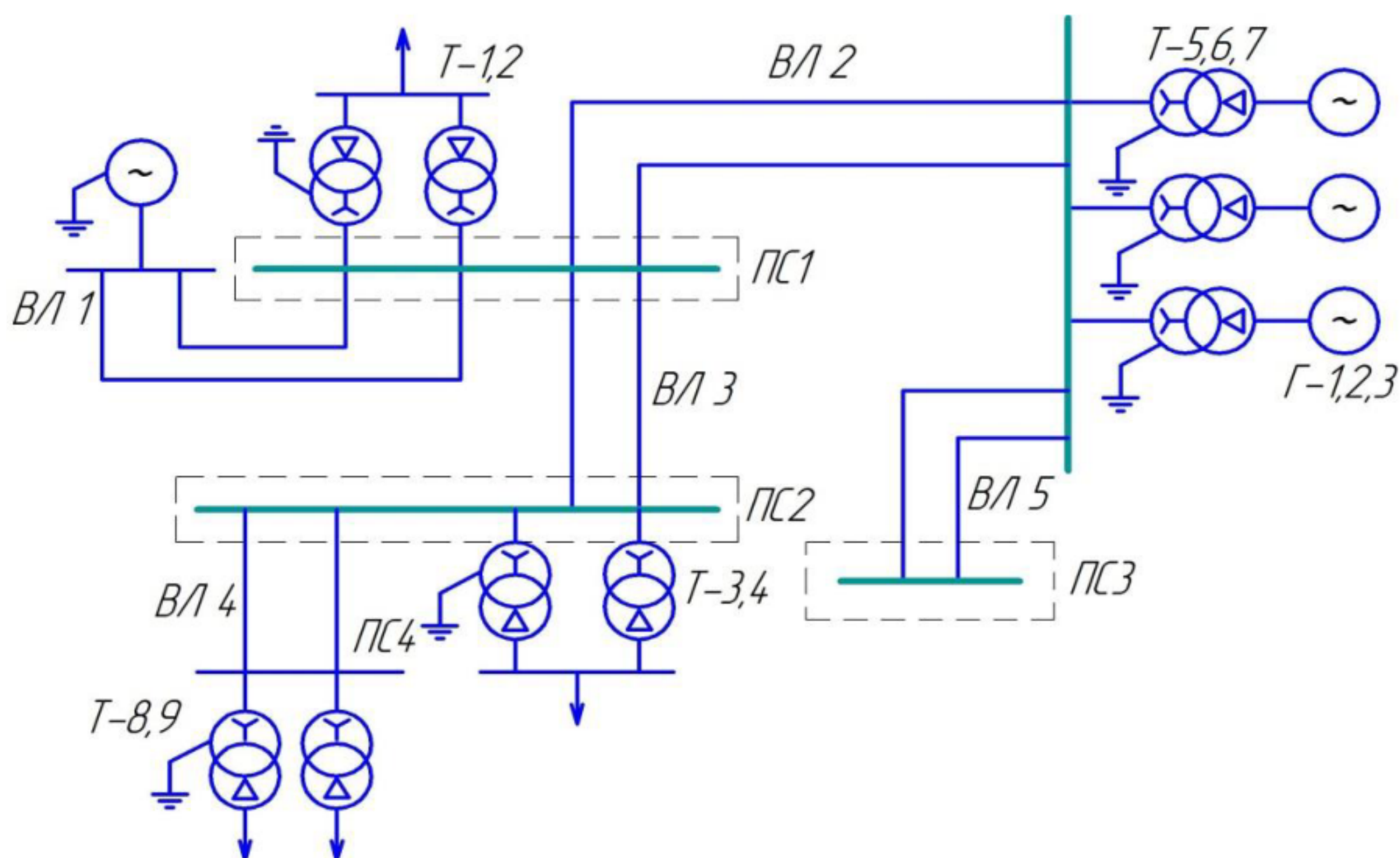
Число отходящих линий НН подстанции – \_\_\_\_.

#### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – \_\_\_\_\_,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$                                                                                                     | Линия: длина, км; $X_{уд},$ Ом/км |      |      |      |      | Генератор<br>МВт | Трансформаторы, МВА |            |            |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------------------|---------------------|------------|------------|--------------|
|                                                                                                                                             | ВЛ-1                              | ВЛ-2 | ВЛ-3 | ВЛ-4 | ВЛ-5 |                  | Г – 1,2,3           | Т -<br>1,2 | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 |
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ                                                                                                   |                                   |      |      |      |      |                  |                     |            |            |              |
| Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6<br>Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна<br>Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022 |                                   |      |      |      |      |                  |                     |            |            |              |



## 5. Перечень рекомендуемой литературы

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316>
2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции : учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 61-63 - ISBN 978-5-7410-1542-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847>
3. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - 2-е изд. доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. - 149 с. : ил. - Библиогр.: с. 114 - ISBN 978-5-9729-0207-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493858>

## 6. Контрольные сроки представления отдельных разделов курсовой работы:

|        |        |         |
|--------|--------|---------|
| 25% -  | «__»__ | 20__ г. |
| 50% -  | «__»__ | 20__ г. |
| 75% -  | «__»__ | 20__ г. |
| 100% - | «__»__ | 20__ г. |

7. Срок защиты студентом курсового проекта «\_\_\_»\_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Дата выдачи задания «\_\_\_»\_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Руководитель курсового проекта

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(учетная степень, звание)(личная подпись)(инициалы, фамилия)

Задание принял к исполнению студент \_\_\_\_\_ формы обучения \_\_\_\_\_ курса  
\_\_\_\_\_ группы \_\_\_\_\_

(личная подпись)(инициалы, фамилия)

|                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br/>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</b></p> <p>Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6</p> <p>Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна</p> <p>Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## Структура выполнения курсового проекта

Курсовой проект должен состоять из введения, теоретической части, эмпирической (практической, расчетно-графической) части, заключения, списка литературы и приложения.

Структура курсового проекта состоит из следующих обязательных элементов:

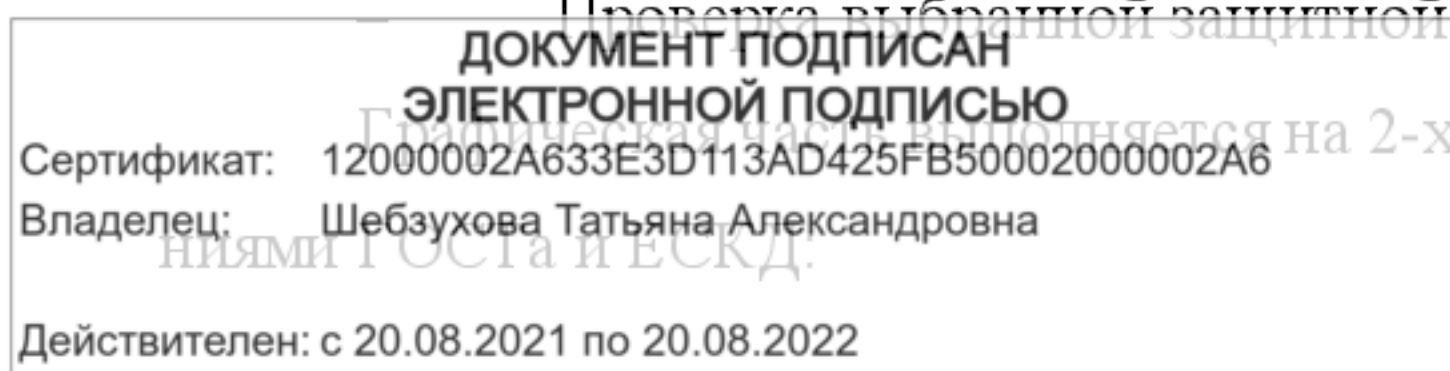
1. *Титульный лист* оформляется в соответствии с *Приложением 3*.
2. *Задание на курсовой проект* Приложение 2
3. *Содержание*
4. *Введение*
5. *Часть 1* – Теоретическая

Теоретическая часть должна содержать анализ состояния изучаемой проблемы на основе обзора научной, научно-информационной, справочной литературы. Представленный материал должен быть логически связан с целью исследования. В параграфах теоретической части необходимо отражать отдельные компоненты проблемы и завершать их выводами.

6. *Часть 2* – Проектная

- Определение электрических нагрузок цеха
- Светотехнический расчет цеха
- Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов
- Расчет компенсации реактивной мощности
- Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок цех
- Выбор конструктивного исполнения трансформаторной подстанции и схема ее присоединения
- Расчет цеховой и питающей сети
- Выбор шин на стороне 0,4 кВ
- Выбор распределительных шин и силовых распределительных шкафов
- Выбор и проверка предохранителей
- Выбор и проверка разъединителей
- Расчет токов короткого замыкания
- Выбор защитной аппаратуры в питающих и цеховых сетях

Проверка выбранной защитной аппаратуры на селективность срабатывания



листах формата А1 в соответствии с требова-

- Однолинейная электрическая схема подстанции;
- Компоновка подстанции.

### ***Список использованных источников и литературы***

Список использованных источников и литературы должен быть составлен в соответствии с требованиями ГОСТа к оформлению библиографии

### ***Приложения***

Приложение содержит весь фактический материал экспериментальных исследований (схемы, чертежи).

Каждое приложение надо начинать с новой страницы. Приложения имеют общую с остальной частью работы сквозную нумерацию страниц.

Заголовок «Приложение» пишется в верхнем правом углу. Все приложения нумеруются, например: Приложение 2. Если приложение одно, то его не нумеруют.

Если Приложение имеет заголовок, который пишется посередине с прописной буквы отдельной строкой.

# ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТИРУЕМОЙ ПОДСТАНЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПОДСТАНЦИИ

## Общие положения

При проектировании электрической подстанции первоначально составляются структурные схемы, в которых определяется состав основного оборудования (силовые трансформаторы) и связи между ним и распределительными (РУ) разных напряжений. Одновременно с выбором основного оборудования определяются и схемы, в которых оно будет работать.

## Разработка структурных схем подстанций и расчет нагрузки

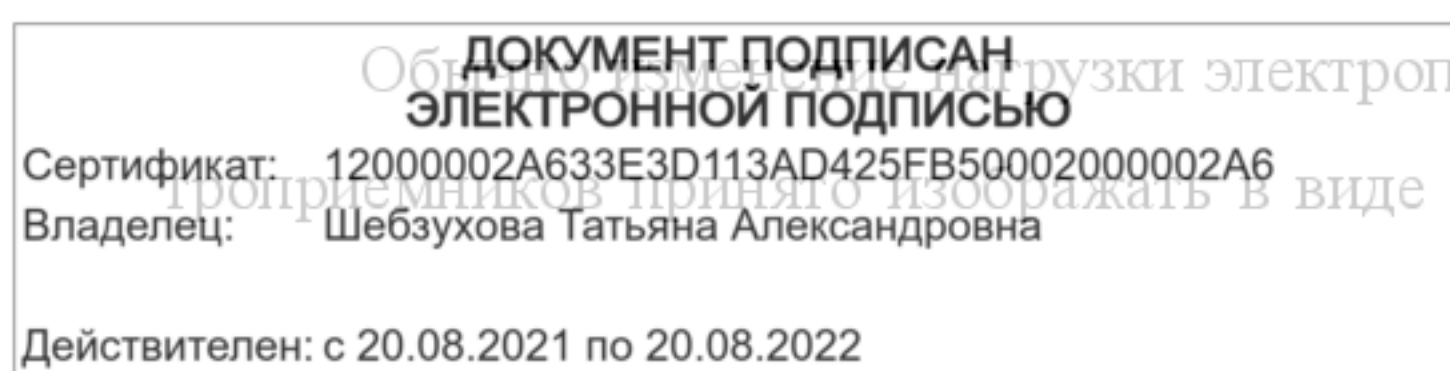
Подстанции по способу подключения делят на тупиковые, ответвительные, проходные и узловые. На рис.1. приведены структурные схемы понизительных подстанций. Электроэнергия от энергосистемы поступает в РУ высокого напряжения (ВН) подстанции, затем трансформируется и распределяется между потребителями в РУ низкого напряжения (НН) (рис.1, а).

Узловые подстанции не только осуществляют питание потребителей, но и связывают отдельные части энергосистемы. В этом случае на подстанции, кроме РУ низкого напряжения сооружаются РУ высокого и среднего напряжения (СН) и устанавливаются автотрансформаторы (рис.1, б) или трехобмоточные трансформаторы (рис. 1, в).

Число трансформаторов на подстанциях выбирается в зависимости от ответственности потребителей, а также наличия резервных источников питания в сетях среднего и низких напряжений.

Так как большей частью от подстанций питаются потребители всех трех категорий и питание от системы подводится лишь со стороны ВН, то по условию надежности требуется установка не менее двух трансформаторов.

Нагрузка подстанции определяется мощностью, потребляемой всеми присоединенными к ней электроприемниками и потерями в электросети. Режим работы электроприемников, зависящий от их назначения и степени использования, не остается постоянным и изменяется в различные часы суток и месяцы года, изменяется и потребляемая ими электрическая мощность.



электроприемника (например, цеха) или группы электроприемников принято изображать в виде суточного графика нагрузок [ $P$  и  $Q = f(t)$ ].

Суточный график нагрузок может быть построен экспериментально, например, по часовым показаниям счетчиков активной и полной энергии, или задан.

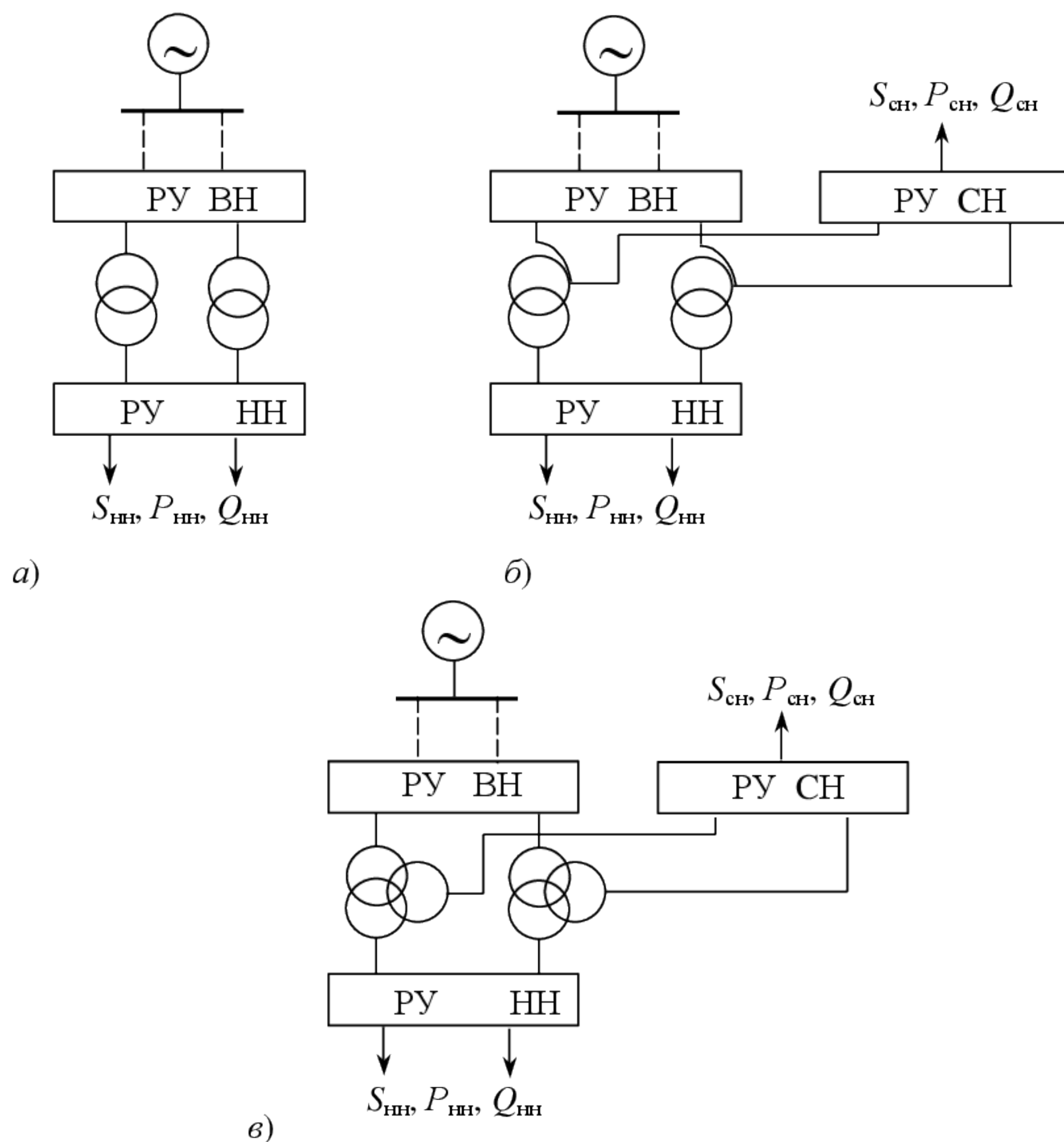


Рисунок 1 – Структурные схемы подстанций

По графику нагрузок определяют максимальную активную и реактивную мощности:

$$P_{\max} = \frac{W_a}{T},$$

где:  $W_a$  - показания счетчика активной энергии за время наибольшей потребляемой мощности  $T$ .

Максимальная полная мощность:

$$S_{\max} = \frac{W_{\Pi}}{T},$$

где:  $W_{\Pi}$  - показания счетчика полной энергии за то же время  $T$ .

Максимальная реактивная мощность:

$$Q_{\max} = S_{\max} \cdot \sin \varphi,$$

где:  $\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$ , а  $\cos \varphi = \frac{W_{a \max}}{W_{\Pi \max}}$ .

В курсовом проекте суточный график активной и реактивной нагрузок подстанции строится по заданию и значениям максимальной активной и реактивной мощности за 1 час. Пример график суточной активной и реактивной нагрузок подстанции представлен на рисунке 2.

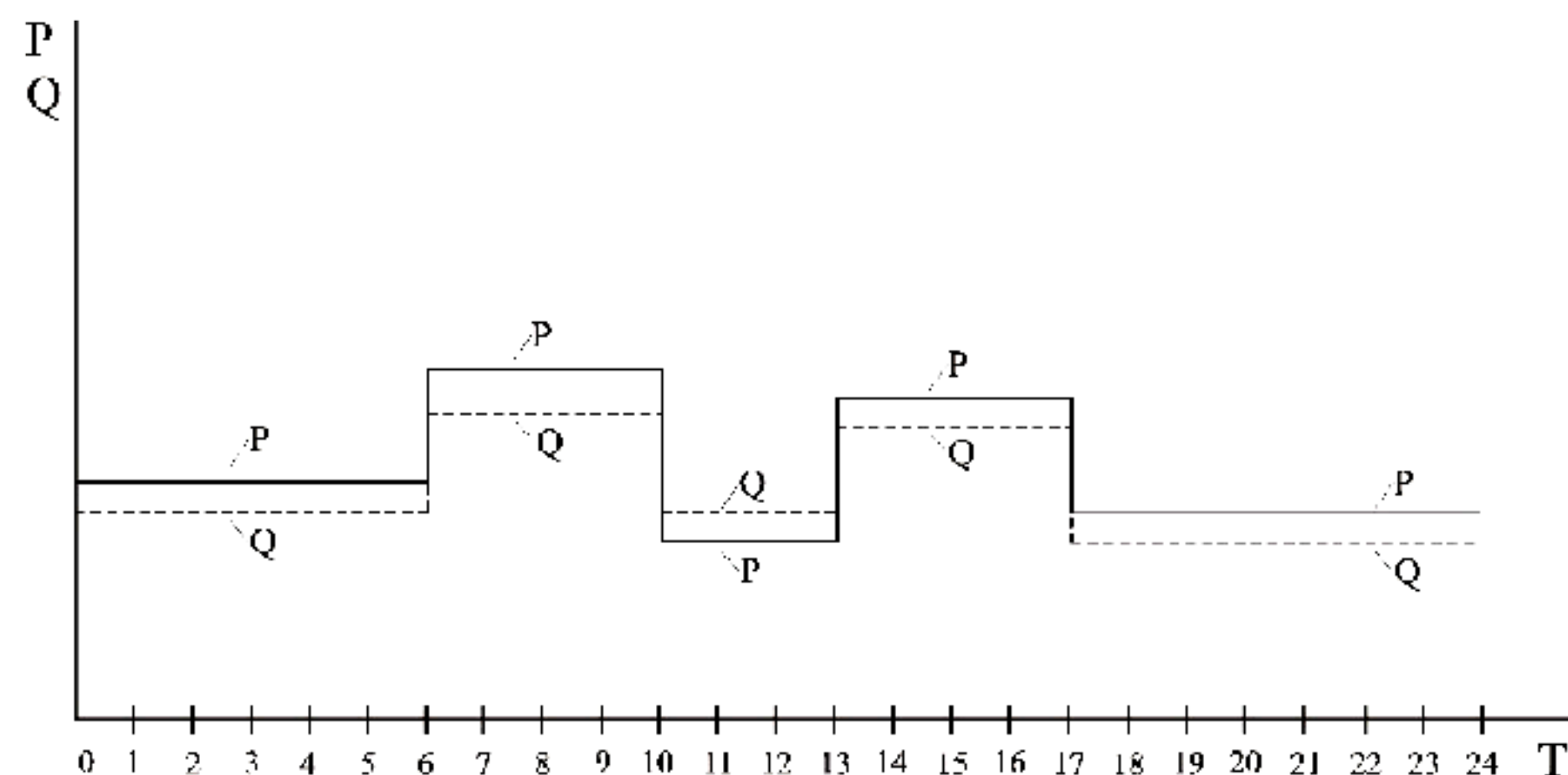


Рисунок 2 – Пример графика суточной активной и реактивной нагрузок подстанции

Если график нагрузок  $P$  и  $Q = f(T)$  задан, то расход активной энергии за сутки определяется по площади графика активной энергии за сутки

$$W_{a \text{ сут}} = \sum P_i \cdot T_i \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}.$$

Средняя активная мощность за сутки

|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------|
| <p align="center"><b>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br/>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</b></p> <p>Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6</p> <p>Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна</p> <p align="center">Коэффициент заполнения графика</p> <p>Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022</p> |  | $P_{cp} = \frac{W_{a \text{ сут}}}{24}.$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------|

$$K_{з.а} = \frac{P_{cp}}{P_{max}} < 1.$$

Коэффициент заполнения графика по активной мощности  $K_{з.а}$  показывает во сколько раз средняя активная мощность (или потребленное количество активной энергии) меньше максимальной мощности или меньше того количества электроэнергии, которое было бы потреблено за то же время, если бы нагрузка подстанции все время была максимальной.

По результатам построения суточного графика активной и реактивной нагрузок строится годовой график по продолжительности нагрузок. Его применяют в расчётах технико - экономических показателей электроустановок, расчётах потерь электроэнергии, при оценке использования оборудования в течение года.

Построение годового графика по продолжительности нагрузок производится на основании двух известных суточных графиков – зимнего и летнего.

Для средней полосы России режим работы подстанции по зимнему графику 212 дней, а по-летнему – 153 дня. В задании курсового проекта нет деления на зимний и летний суточный график нагрузки, поэтому используем полные 365 дней.

Исходные данные для построения годового графика по продолжительности заносим в типовую таблицу 1.

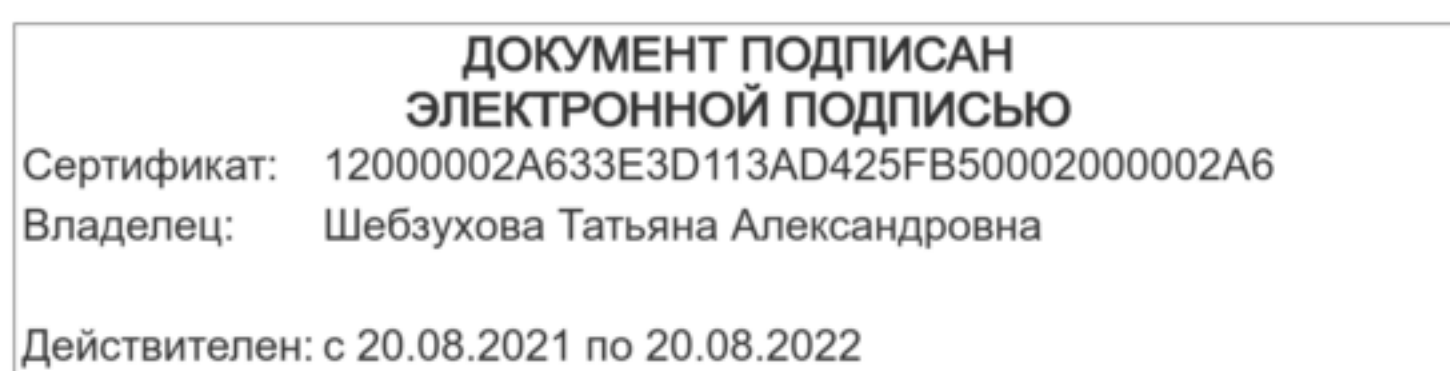


Таблица 1 – Данные годового графика

| $P_{iM}, \text{МВт}$ | Дни(в году) | Время, ч<br>(по сут.<br>графику) | Часов в год | Полная энергия, МВт·ч |
|----------------------|-------------|----------------------------------|-------------|-----------------------|
|                      |             |                                  |             |                       |
| Итого                | 365         | 24                               | 8760        |                       |

Пример годового графика нагрузки представлен на рисунке 3.

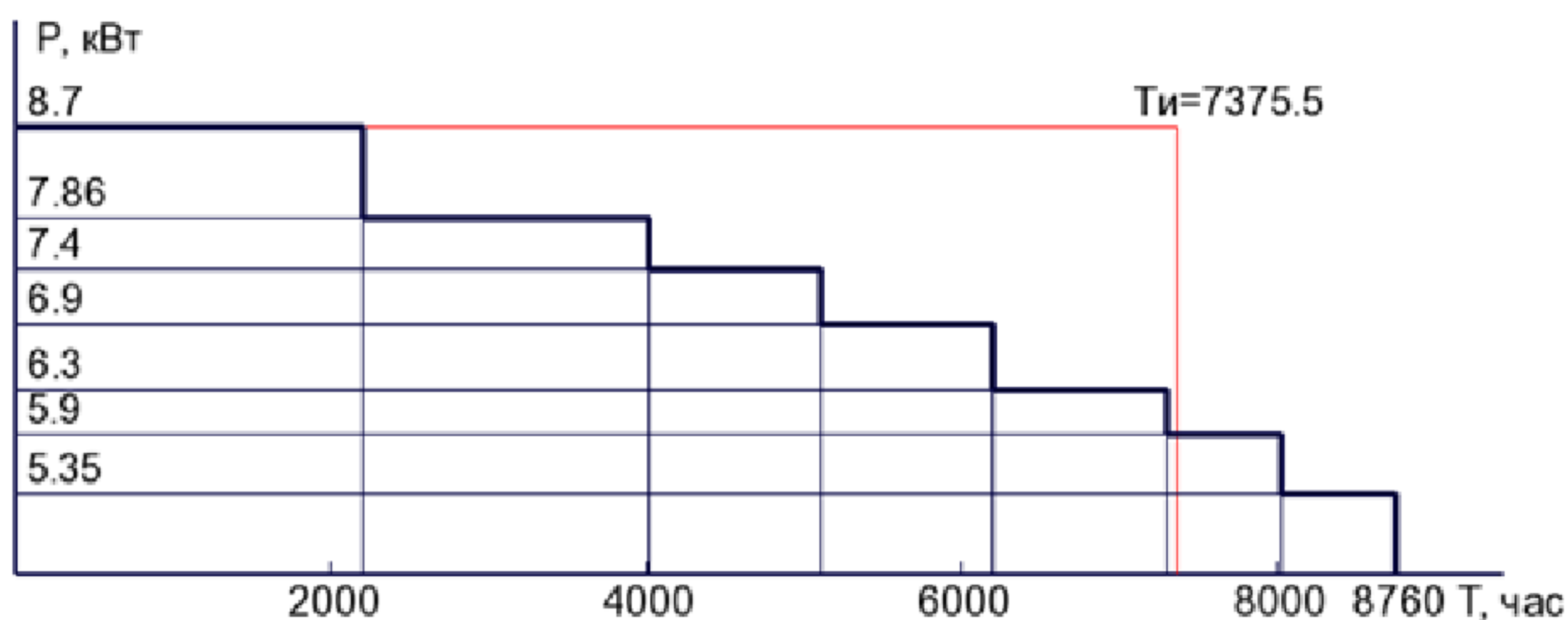


Рисунок 3 – Годовой график по продолжительности

По данным годового графика определим среднюю нагрузку подстанции:

$$P_{cp} = W_{год} / 8760 ,$$

где  $W_{год}$  – полная потребляемая энергия за год, МВ·А·ч.

$W_{год}$  определяется как :

$$W_{год} = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot T_i)$$

где  $P_i$  и  $T_i$ , соответственно мощность и время  $i$ -ой ступени годового графика.

Время использования максимальной активной нагрузки за год:

$$T_{max,a} = W_{a,год} / P_{max}$$

Время максимальных потерь определяется по формуле:

$$\tau_{нб} = (0.124 + T_{max,a} / 10000)^2 \cdot 8760$$

### Выбор мощности силовых трансформаторов

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Номинальную мощность трансформаторов определяют по условию

$$S_{\text{ном тр}} \geq \frac{S_{\text{MAX}}}{n \cdot k_3},$$

где  $n$  – количество трансформаторов;

$k_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов. Для двух трансформаторной подстанции  $k_3 = 0,65 - 0,8$ .

При установке на подстанции более одного трансформатора ( $n$ ) расчетным является случай отказа одного из трансформаторов, когда оставшиеся в работе трансформаторы с учетом их аварийной перегрузки должны передать всю необходимую мощность:

$$S_{\text{MAX}} \leq S_{\text{ном тр}} \cdot k_{\text{пав}},$$

где  $k_{\text{пав}} = 1,4$  – коэффициент аварийной перегрузки трансформаторов. Такая перегрузка допускается в течение 5 суток при условии, что коэффициент предшествующей нагрузки  $k_3$  не более 0,93 и длительность перегрузки не более 6 ч.

Расчет перегрузочной способности выбранного трансформатора необходимо провести в соответствии с ГОСТ 14209-85.

Для ограничения токов короткого замыкания на низком напряжении целесообразно применять трансформаторы с большими значениями напряжения короткого замыкания  $U_K$ . При мощностях 40 и более МВ·А для ограничения токов КЗ целесообразно применение трансформаторов с расщепленной обмоткой низкого напряжения.

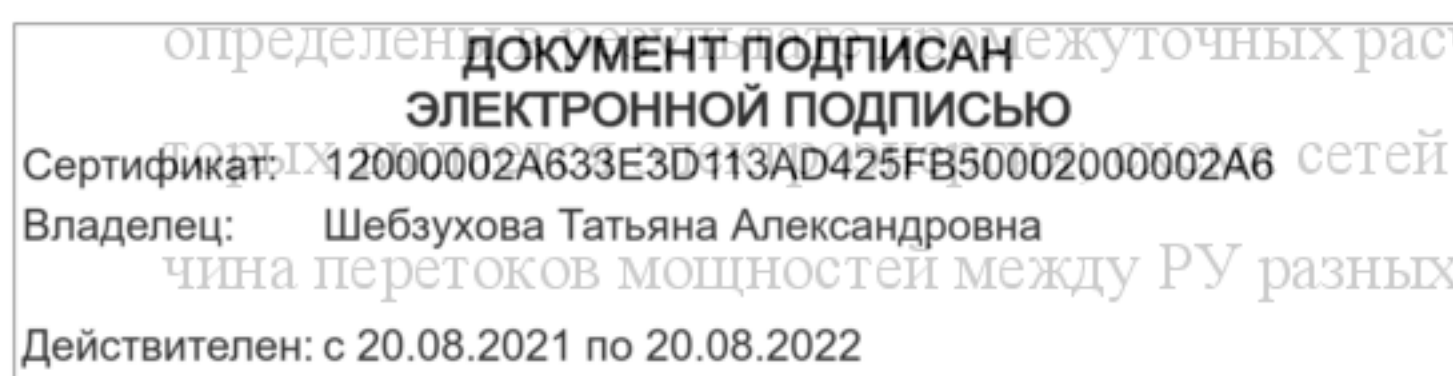
Для ограничения токов короткого замыкания (в случае необходимости) со стороны обмотки низкого напряжения трансформатора может устанавливаться одинарный или двойной реакторы. Методика выбора токоограничивающего реактора изложена в п. 7.

## ВЫБОР ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

### Общие положения

Выбор главной схемы является определяющим при проектировании электрической части подстанции, так как она определяет полный состав элементов (трансформаторов, линий, коммутационной и другой первичной аппаратуры) и связей между ними.

Для выбора главной схемы электрических соединений должны быть заданы (или



определены проектом промежуточных расчетов) следующие данные: напряжения, на которых работают электрические сети и число линий на каждом напряжении; величина перетоков мощностей между РУ разных напряжений.

На предварительном этапе разработке главной схемы электрических соединений (разработка структурной схемы) определяется число и мощность трансформаторов, связь между РУ разных напряжений.

В зависимости от конкретных условий намечается 2-3 близких варианта схемы. Для каждого из них определяются:

- методы ограничения токов короткого замыкания;
- схемы РУ на всех напряжениях;
- основное и резервное питание собственных нужд.

### Выбор схем распределительных устройств

На выбор электрической схемы РУ влияет множество факторов, из которых основные: номинальное напряжение; число присоединений; их мощность; схема сети, к которой присоединяется данное РУ; очередность сооружения и перспектива дальнейшего расширения.

При выборе схем руководствуются рекомендациями, которые даются в Нормах технологического проектирования (НТП). В соответствии с рекомендациями подбирают конкурентоспособные варианты схем РУ (табл. 3) и в результате технико-экономического сравнения принимают наиболее подходящие схемы.

Количество отходящих линий определяется исходя из дальности передачи и экономически целесообразных величин передаваемых мощностей:

$$n_{\text{ЛЭП}} \geq \frac{P_{\text{ру}}}{P_{\text{л}}},$$

где  $P_{\text{ру}}$  – величина активной мощности на  $i$ -ой стороне распределителя устройства;

$P_{\text{л}}$  – предел передаваемой активной мощности по одноцепной линии.

В таблице 2 даны пределы передаваемой мощности ( $P_{\text{л}}$ ) и длины ЛЭП различного класса напряжений.

В зависимости от числа присоединений и номинального напряжения принимаются возможные схемы РУ.

Таблица 2

| Напряжение линии, кВ |  | 6–10  | 35    | 110    | 220     |
|----------------------|--|-------|-------|--------|---------|
| Наибольшая длина, км |  | 10–15 | 50–60 | 50–150 | 150–250 |

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

|                                                    |     |       |       |         |
|----------------------------------------------------|-----|-------|-------|---------|
| Наибольшая передаваемая мощность на одну цепь, МВт | 3–5 | 10–20 | 25–50 | 110–200 |
|----------------------------------------------------|-----|-------|-------|---------|

Распределительные устройства 6–10 кВ входят в состав подстанций как главные рас­предустройства. От РУ отходит значительное число линий (фидеров) к местным потреби­телям. В РУ 6–10 кВ подстанций применяется одиночная секционированная система шин. Типовые схемы электрических соединений РУ низшего напряжения приведены на рис. 3.

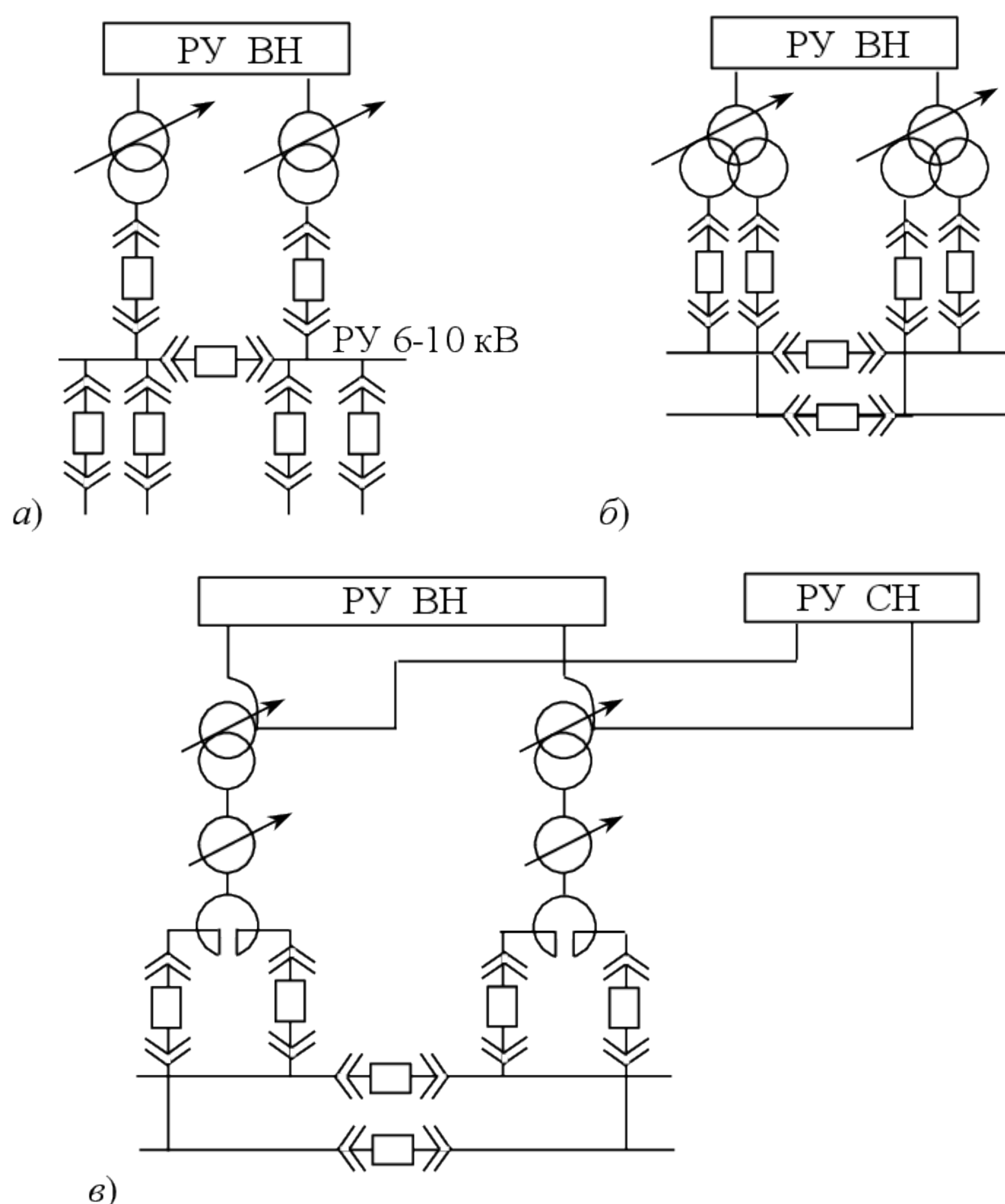
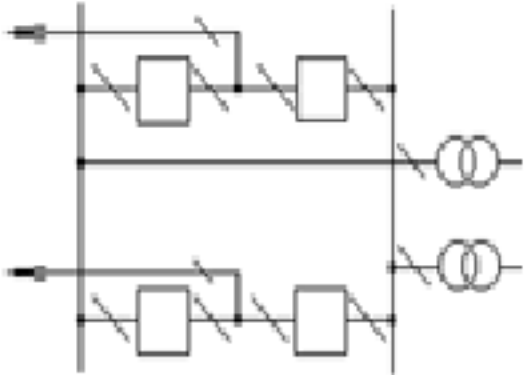
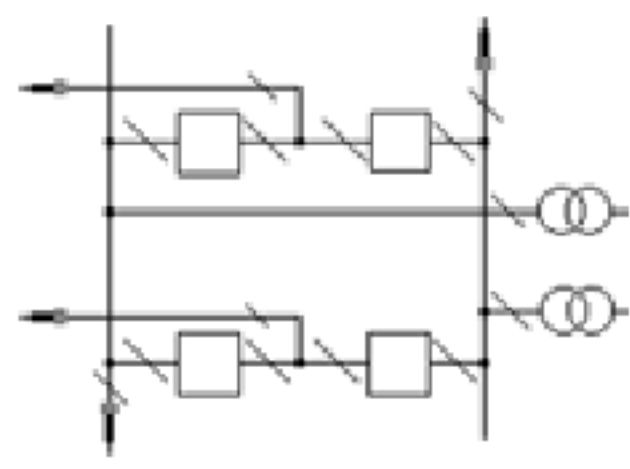


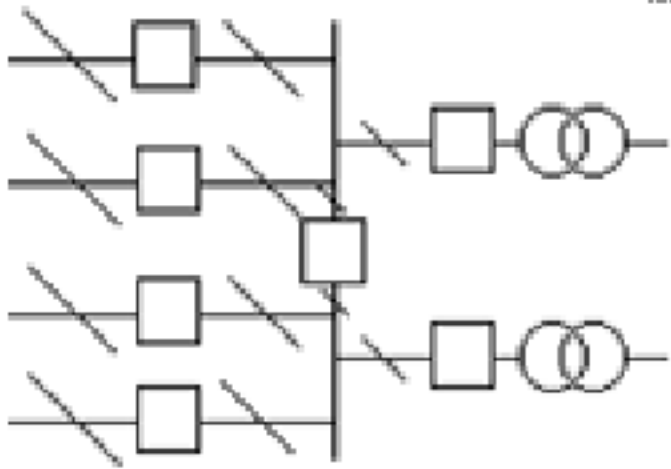
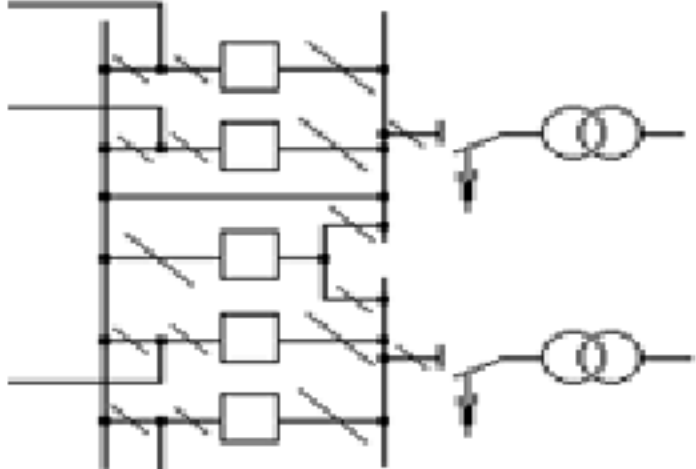
Рисунок 3 – Схемы электрических соединений РУ низкого напряжения

В курсовом проекте рассматриваются возможные варианты схем РУ и в результате технико-экономического сравнения принимают наиболее рациональную схему. При прочих равных условиях предпочтение отдается схеме, в которой отключение цепей осуществ-

Таблица 3

| Варианты схем распределительных устройств                                             |                                  |                     |                       |                                      |                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Электрические<br>схемы РУ                                                             | Наименование<br>схемы            | Область применения  |                       |                                      | Дополнительные условия<br>применения                                                                   |
|                                                                                       |                                  | Напряже-<br>ние, кВ | Сторона<br>подстанции | Количество присо-<br>единяемых линий |                                                                                                        |
|  | Четырёхугольник                  | 220-750             | ВН                    | 2                                    | На напряжении 220 кВ – при невыполнении условий для применения схем 1 и 2                              |
|  | Расширенный че-<br>тырёхугольник | 220-330             | ВН                    | 4                                    | 1. Отсутствие перспективы увеличения количества ли-<br>ний<br>2. Наличие двух ВЛ, не име-<br>ющих ОАПВ |
| 1                                                                                     |                                  |                     |                       |                                      |                                                                                                        |
| 2                                                                                     |                                  |                     |                       |                                      |                                                                                                        |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
 ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
 Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
 Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

| Варианты схем распределительных устройств                                             |                                  |                     |                       |                                      |                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Электрические<br>схемы РУ                                                             | Наименование<br>схемы            | Область применения  |                       |                                      | Дополнительные условия<br>применения                                                                                                                                                         |
|                                                                                       |                                  | Напряже-<br>ние, кВ | Сторона<br>подстанции | Количество присо-<br>единяемых линий |                                                                                                                                                                                              |
|   | Одна секционная<br>система шин   | 35                  | ВН, СН, НН            | 8                                    | -----                                                                                                                                                                                        |
|  | Расширенный че-<br>тырёхугольник | 110                 | ВН                    | До 4                                 | 1. Количество радиальных<br>ВЛ не более одной на сек-<br>цию<br>2. Возможность деления РУ<br>на время ремонта любого<br>выключателя<br>3. Отсутствие перспективы<br>увеличения количества ВЛ |
| 4                                                                                     |                                  |                     |                       |                                      |                                                                                                                                                                                              |

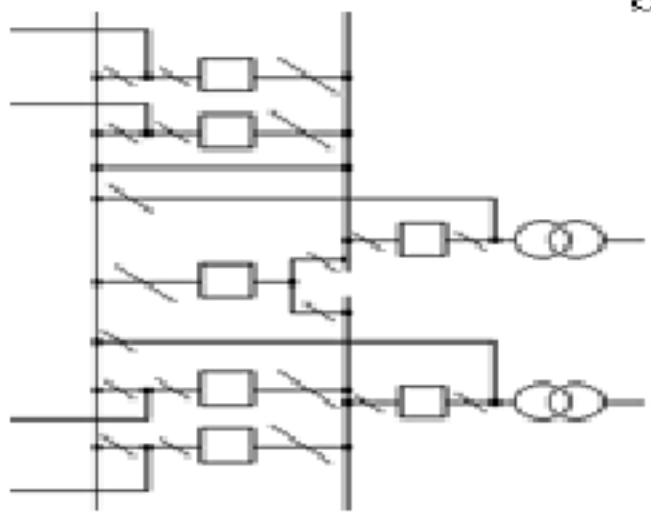
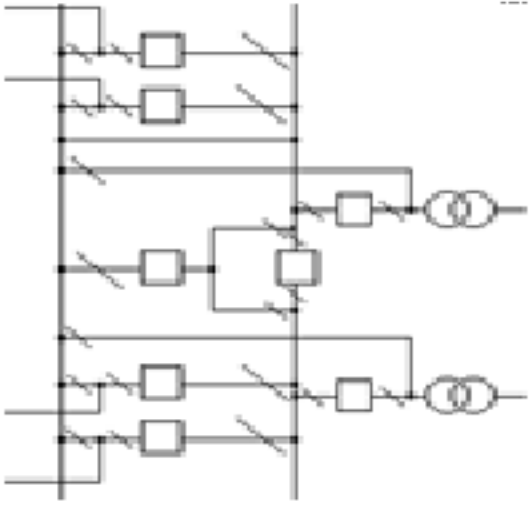
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

3

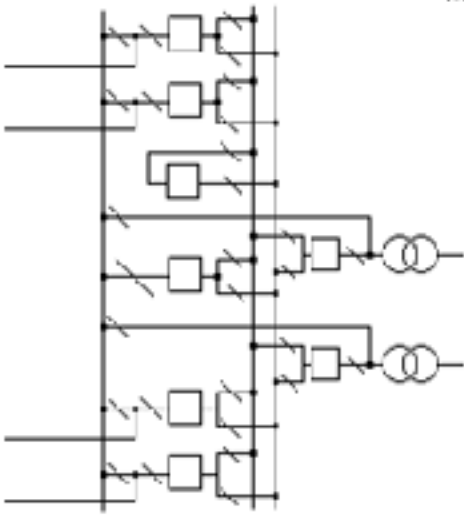
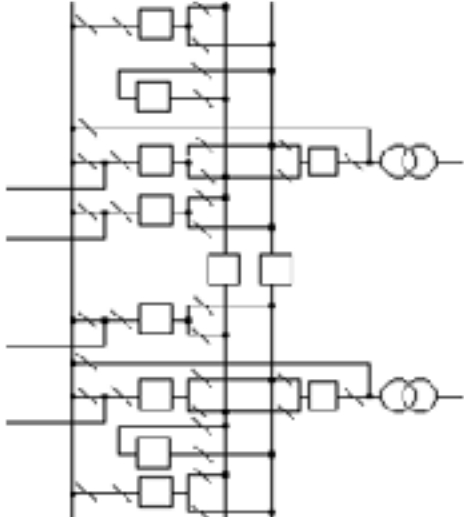
| Варианты схем распределительных устройств                                             |                                                                                                                              |                     |                       |                                      |                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Электрические<br>схемы РУ                                                             | Наименование<br>схемы                                                                                                        | Область применения  |                       |                                      | Дополнительные условия<br>применения                                                                                                |
|                                                                                       |                                                                                                                              | Напряже-<br>ние, кВ | Сторона<br>подстанции | Количество присо-<br>единяемых линий |                                                                                                                                     |
|  | Одна секциониро-<br>ванная система<br>шин с обходной с<br>совместным секци-<br>онным и обходным<br>выключателями             | 110-220             | ВН, СН                | До 4                                 | 1. Количество радиальных<br>ВЛ не более одной на сек-<br>цию<br>2. Возможность деления РУ<br>на время ремонта любого<br>выключателя |
|  | Одна секциониро-<br>ванная система<br>шин с обходной с<br>от-делительными<br>секционным и об-<br>ходным выключаче-<br>телями | 110-220             | ВН, СН                | 5-13                                 | Количество радиальных ВЛ<br>не более одной на секцию                                                                                |

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

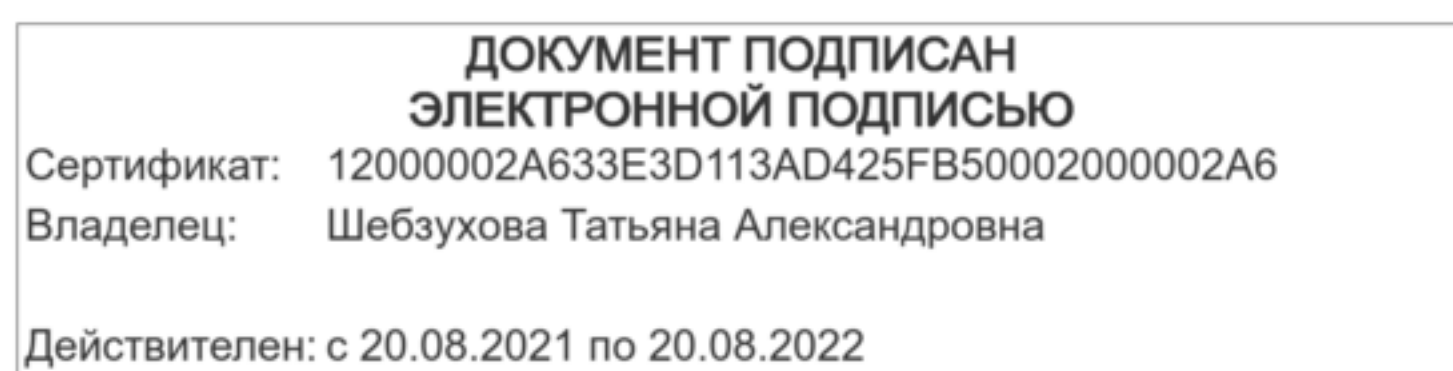
| Варианты схем распределительных устройств                                             |                                                       |                     |                       |                                      |                                                   |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|--|
| Электрические<br>схемы РУ                                                             | Наименование<br>схемы                                 | Область применения  |                       |                                      | Дополнительные условия<br>применения              |  |
|                                                                                       |                                                       | Напряже-<br>ние, кВ | Сторона<br>подстанции | Количество присо-<br>единяемых линий |                                                   |  |
|  | Две несекциониро-<br>ванные системы<br>шин с обходной | 110-220             | ВН, СН                | 5-13                                 | При выполнении условий<br>для применения схемы 10 |  |
|  | Две секциониро-<br>ванные системы<br>шин с обходной   | 110-220             | СН                    | Более 13                             | -----                                             |  |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**  
 Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
 Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

В курсовом проекте рассматриваются возможные варианты схем РУ и в результате технико-экономического сравнения принимают наиболее рациональную схему. При прочих равных условиях предпочтение отдается схеме, в которой отключение цепей осуществляется меньшим числом выключателей.

### **Собственные нужды подстанций**

Мощность потребителей СН подстанций невелика, поэтому они питаются от сети 380/220 В, которая получает питание от понижающих трансформаторов. На двухтрансформаторных подстанциях 35–220 кВ устанавливаются два ТСН, мощность которых выбирают в соответствии с нагрузками, с учетом допустимой перегрузки ( $k_n = 1,3$ ) при выполнении ремонтных работ и отказах одного из трансформаторов. Предельная мощность ТСН – 630, 1000 кВ·А. Присоединение ТСН к сети зависит от системы оперативного тока. Постоянный оперативный ток используют на всех подстанциях 330–750 кВ и выше и на подстанциях с РУ 110-220 кВ со сборными шинами. Переменный или выпрямленный – на подстанциях с РУ 35–220 кВ без выключателей высокого напряжения. На подстанциях 110 кВ и выше с переменным и выпрямленным оперативным током ТСН присоединяются к выводам 6–10 кВ главных трансформаторов до их выключателей через предохранители; на подстанциях 35 кВ – к питающей линии через предохранители. На подстанциях с постоянным оперативным током ТСН подключаются через предохранители или выключатели к шинам РУ 6–35 кВ или к обмотке 6–35 кВ трансформаторов.



## ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИИ

Выбор сечения проводников воздушных линий (ВЛ) производится по экономической плотности тока.

Сечение проводника определяется по формуле

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{раб}}}{j_{\text{э}}},$$

где  $I_{\text{раб}}$  – длительный рабочий ток нормального режима (без перегрузок), А;

$j_{\text{э}}$  – нормированная экономическая плотность тока,  $\text{А/мм}^2$  [4, с. 267].

Сечение, найденное по формуле 4., округляется. При этом принимается ближайшее меньшее сечение, если оно не отличается от расчетного значения больше чем на 15 %.

Выбранные по экономической плотности тока проводники проверяются:

– по длительно допустимому току из условий нагрева

$$I_{\text{раб.мах}} \leq I_{\text{дл.доп.}},$$

где  $I_{\text{раб.мах}}$  – максимальный рабочий ток;

$I_{\text{дл.доп}}$  – длительно допустимый ток выбранного проводника;

– по короне;

– по потере напряжения.

### Проверка по условиям короны

Эта проверка необходима для гибких проводников при напряжении 35кВ и выше. Разряд в виде короны возникает вокруг провода при высоких напряженностях электрического поля  $E$  и сопровождается свечением и потрескиванием. Процессы ионизации воздуха приводят к дополнительным потерям энергии, возникновению радиопомех и образованию озона, вредно влияющего на поверхности контактных соединений. Правильный выбор проводников должен обеспечить уменьшение действия короны до допустимых значений. Рассмотрим порядок расчета для выбора сечения проводников по условиям короны.

Разряд возникает при максимальном значении начальной критической напряженности электрического поля  $E_0$ ,  $\text{кВ/см}$ :

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$E_0 = 30,3m \left( 1 + \frac{0,3}{\sqrt{r_0}} \right),$$

где  $m$  - коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности провода (для многопроволочных проводов  $m = 0,82$ );

$r_0$  – радиус провода, см.

Действительная напряженность электрического поля около поверхности нерасщепленного провода

$$E = \frac{0,34 \cdot U}{r_0 \lg \frac{D_{cp}}{r_0}}, \text{ кВ / см}$$

где  $U$  - линейное напряжение, кВ;

$D_{cp}$  – среднее расстояние между проводами фаз, см.

При горизонтальном расположении фаз  $D_{cp} = 1,26 D$ , где  $D$  – расстояние между соседними фазами, см.

В случае, если  $E \geq E_0$  (при напряжении  $U = 220 \text{ кВ}$  и выше) каждая фаза для уменьшения коронирования выполняется двумя, тремя или четырьмя проводами, т.е. применяются расщепленные провода. Тогда действительная напряженность

$$E = \frac{0,354 \cdot U}{n \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_0}}, \text{ кВ / см},$$

где  $U$  – линейное напряжение, кВ;

$D_{cp}$  – среднее расстояние между проводами фаз, см.

При горизонтальном расположении фаз  $D_{cp} = 1,26 D$ , где  $D$  – расстояние между соседними фазами, см. В случае, если  $E \geq E_0$  (при напряжении  $U = 220 \text{ кВ}$  и выше) каждая фаза для уменьшения коронирования выполняется двумя, тремя или четырьмя проводами, т.е. применяются расщепленные провода.

Напряженность электрического поля вокруг расщепленных проводов:

$$E = k \frac{0,354U}{n \cdot r_0 \lg \frac{D_{cp}}{r_{экв}}}; \text{ кВ / см},$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий число проводов  $n$  в фазе;

$r_{экв}$  – эквивалентный радиус расщепленных проводов (табл. 4).

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Таблица 4 – Значения  $k$  и  $r_{э\kappa\theta}$

| Параметр                                        | Число проводов в фазе, $n$  |                                            |                                            |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                                 | 2                           | 3                                          | 4                                          |
| Коэффициент, $k$                                | $1 + 2 \cdot \frac{r_0}{a}$ | $1 + 2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{r_0}{a}$ | $1 + 3 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{r_0}{a}$ |
| Эквивалентный радиус, $r_{э\kappa\theta}$ , см. | $\sqrt{r_0 \cdot a}$        | $\sqrt[3]{r_0 \cdot a^2}$                  | $\sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot r_0 \cdot a^3}$   |

Расстояние  $a$  в расщепленной фазе принимается при  $U = 220 \text{ кВ}$  равным 20 - 30 см, а в установках 330 - 750 кВ - 40 см.

Провода не будут коронировать, если  $E \leq 0,9 E_0$  при объемном расположении проводов, а при горизонтальном расположении проводов  $1,07 E \leq 0,9 E_0$ .

### Проверка проводов по падению напряжения

Падение напряжения в линии (ЛЭП) не должно превышать 5%. Фактическое падение напряжения рассчитывается по формуле:

$$\Delta U_{\text{расч.}} = \frac{\sqrt{3} I_p}{U_n} \cdot 100\% (R_n \cdot \cos \varphi + X_n \cdot \sin \varphi),$$

где  $R_n$  – активное сопротивление ЛЭП;

$X_n$  – индуктивное сопротивление ЛЭП.

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{ср}}}{S_{\text{ср}}},$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi},$$

$$R_n = r_0 \cdot \ell_{\text{л1}},$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление линии;

$x_0$  – удельное реактивное сопротивление линии;

$\ell_{\text{л1}}$  – длина линии ВЛ.

Значение удельных сопротивлений линии приведены в табл. 4.3

|                                                   |                                        |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br/>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</b> |                                        |
| Сертификат:                                       | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                         | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022          |                                        |

Таблица 5 – Значения удельных сопротивлений линий

| Привод  | $r_0, \text{ Ом/км}$ | $x_0, \text{ Ом/км}$ |
|---------|----------------------|----------------------|
| АС-70   | 0,46                 | 0,444                |
| АС-95   | 0,33                 | 0,429                |
| АС-120  | 0,27                 | 0,427                |
| АС-185  | 0,17                 | 0,413                |
| АСО-240 | 0,13                 | 0,405                |

## РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

### Назначение и порядок выполнения расчетов токов короткого замыкания (КЗ)

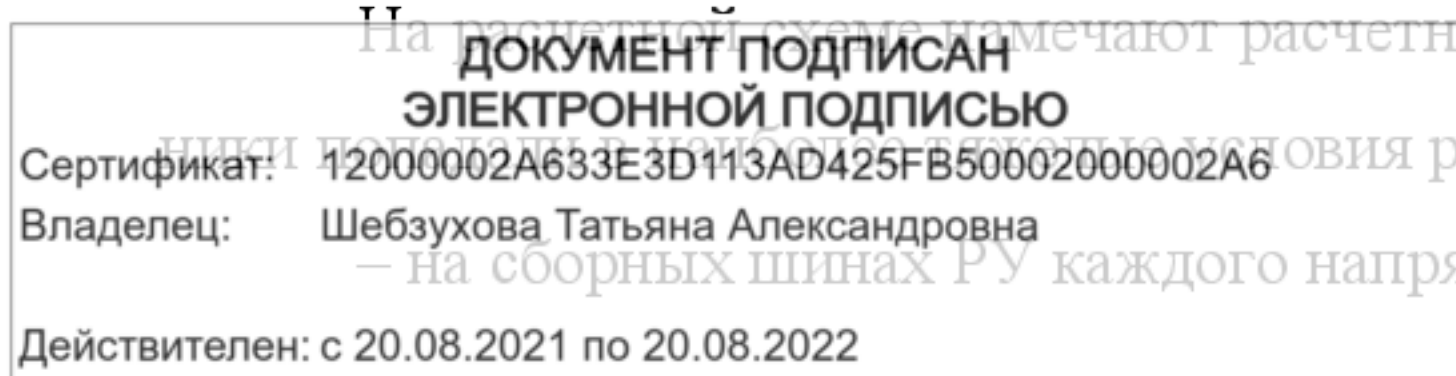
Для выбора электрооборудования, аппаратов, шин, кабелей токоограничивающих реакторов необходимо знать токи короткого замыкания. При этом обычно достаточно определить ток трехфазного короткого замыкания в месте повреждения, в некоторых случаях – распределении токов в ветвях схемы, непосредственно примыкающих к этому месту. Для большинства практических задач расчет ведут с рядом упрощений.

Расчет токов при трехфазном КЗ выполняют следующим образом:

1. Для рассматриваемой установки составляют расчетную схему.
2. По расчетной схеме составляют электрическую схему замещения.
3. Путем последовательного преобразования приводят схему замещения к простейшему виду так, чтобы каждый источник питания или группа источников с результирующей ЭДС были связаны с точкой КЗ одним сопротивлением  $X_{рез}$ .
4. Определяют значение периодической составляющей тока КЗ ( $I_{п}$ ), затем ударный ток КЗ ( $i_y$ ) и при необходимости – периодическую ( $I_{п0}$ ) и апериодическую ( $I_{па}$ ) составляющие тока КЗ для заданного момента времени  $t$  ( $I_{пт}$ ).

Расчетная схема – это однолинейная схема электроустановки с указанием тех элементов и их параметров, которые влияют на значение тока КЗ и должны учитываться при выполнении расчетов.

На расчетной схеме намечают расчетные точки КЗ – так, чтобы аппараты и провод-



работы:

– на сборных шинах РУ каждого напряжения;

– за трансформаторами собственных нужд.

### Расчет токов КЗ для выбора электрических аппаратов

Расчет токов КЗ может выполняться двумя методами: именованных единиц или относительных единиц. Для обоих методов расчета токов КЗ требуется исходную схему замещения преобразовать к простейшему виду, когда источник питания или группа источников связаны с точкой КЗ одним сопротивлением  $X_{рез}$ . Для сетей свыше 1000 В рекомендуется выполнять расчет в относительных единицах.

Для всех расчетных точек определяются следующие величины: начальное значение периодической составляющей тока КЗ ( $I_{п0}$ ), ударный ток КЗ ( $i_y$ ) и ток в момент  $t$  расхождения контактов выключателя ( $I_{пт}$ ). Результаты расчетов токов КЗ для каждой точки сводят в табл. 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов КЗ

| Точка КЗ | $S_H$ , МВ·А | $I_{п0}$ , кА |               | Ударный ток<br>3 <sup>х</sup> -ф. КЗ $i_y$ , кА |
|----------|--------------|---------------|---------------|-------------------------------------------------|
|          |              | Трехфазное КЗ | Однофазное КЗ |                                                 |
|          |              |               |               |                                                 |

Перечисленные величины определяются для всех точек. Последовательность расчета принимается такой, чтобы при вычислении токов в каждой следующей точке КЗ использовались результаты преобразования в предыдущей точке КЗ.

Общий способ расчета токов трехфазного КЗ для двухтрансформаторной электроподстанции (рисунок 4) представлен ниже.

Под расчетной схемой понимают упрощенную однолинейную схему электроустановки с указанием всех элементов и их параметров, которые влияют на ток КЗ и поэтому должны быть учтены при выполнении расчетов.

Расчетная схема изображена на рисунок 4. Параметры отходящих линий определены ранее. Эквивалентная схема замещения представлена на рисунке 5.

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ |                                        |
| Сертификат:                               | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                 | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022  |                                        |

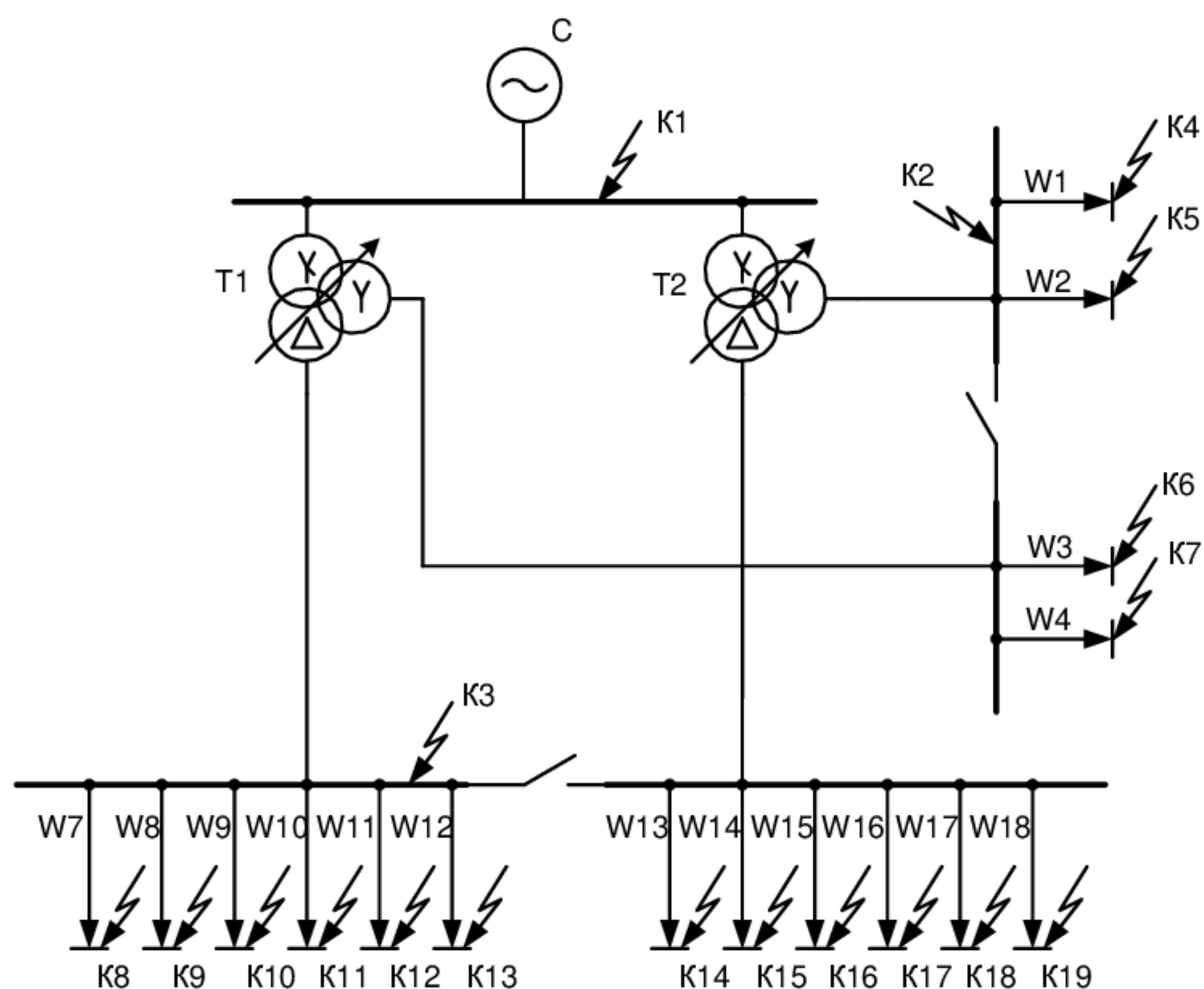


Рисунок 4 – Расчетная схема

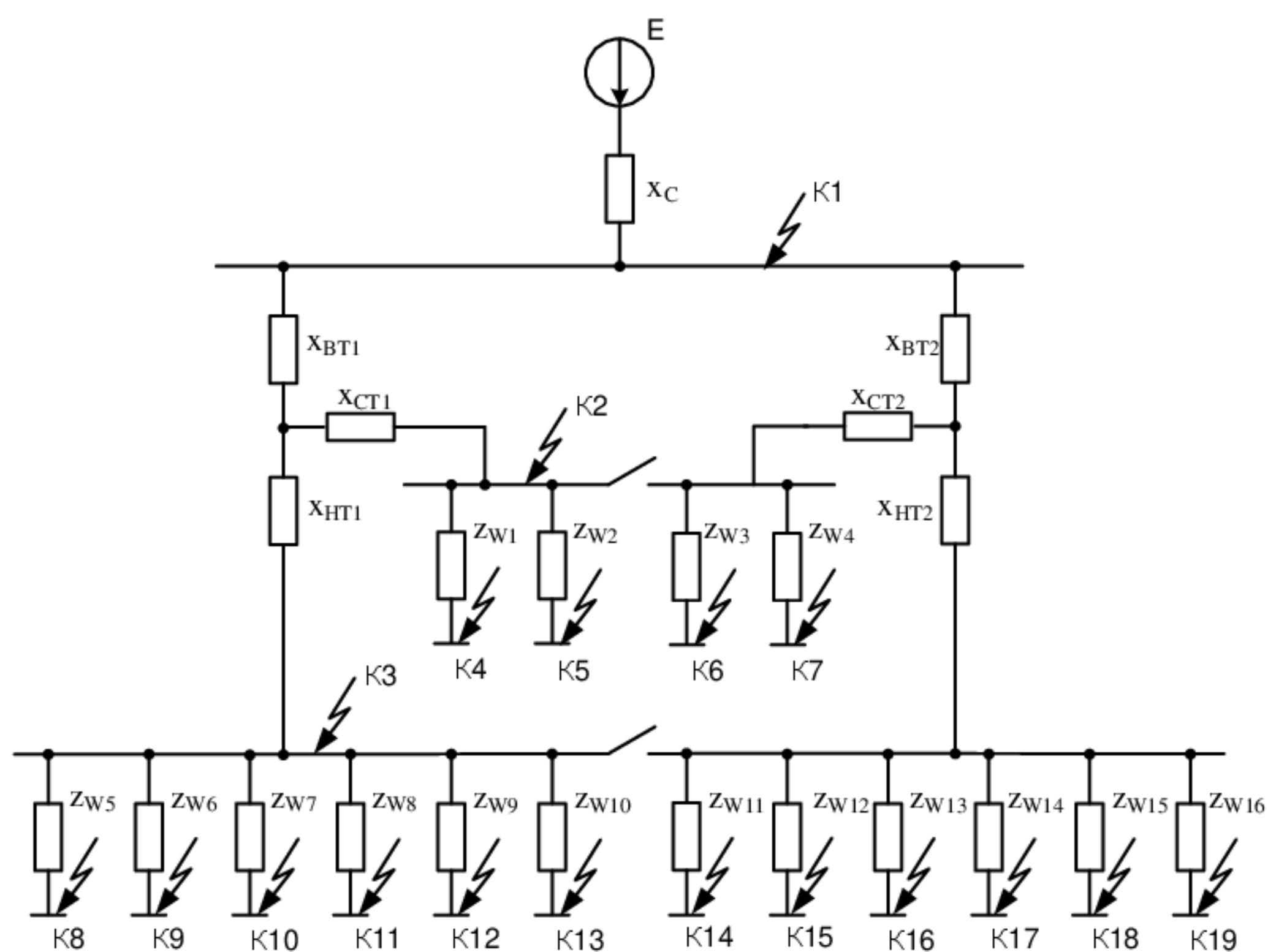


Рисунок 5 – Эквивалентная схема замещения

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Расчет ведется методом именованных единиц.

За базисную мощность принимают мощность, кратную 10 (10;100;1000 и т.д.).

Определим базисные напряжения и токи всех уровней напряжений по формуле:

$$I_{\bar{6},i} = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{6},i}}$$

ЭДС системы в относительных единицах:

$$E_1 = E_c = \frac{U_{cp}}{U_{\bar{6},I}};$$

Сопротивление системы:

$$x_1 = x_c = \left( \frac{U_{cp}}{U_{\bar{6}}} \right)^2 \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_c},$$

где  $x_c$  – сопротивление системы в относительных единицах;

$S_c$  – мощность короткого замыкания системы.

$$S_c = \sqrt{3} \cdot U_{\phi} \cdot I_k^{(3)},$$

где  $I_k^{(3)}$  – ток на короткого замыкания на шинах ВН со стороны энергосистемы (см п.

1.1).

$I_{k,max}^{(3)}$  – ток КЗ в режиме максимума;

$I_{k,min}^{(3)}$  – ток КЗ в режиме минимума.

Определим сопротивление линии W1:

$$x_{w1} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2};$$

$$r_{w1} = r_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2};$$

$$z_{w1} = \sqrt{x^2 + r^2},$$

где  $x_{уд}$  – удельное индуктивное сопротивление линии,

$r_{уд}$  – удельное активное сопротивление линии,

$l$  – длина линии, км.

Т.к. активное сопротивление трансформаторов меньше индуктивного, пренебрегаем

активным сопротивлением трансформаторов в относительных единицах:

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН**

**ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$x_B = \frac{1}{200} \cdot (U_{K,B-C} + U_{K,B-H} - U_{K,C-H}) \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{\text{НОМ}}} \cdot \left( \frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\bar{6},i}} \right)^2;$$

$$x_C = \frac{1}{200} \cdot (U_{K,B-C} + U_{K,C-H} - U_{K,B-H}) \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{\text{НОМ}}} \cdot \left( \frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\bar{6},i}} \right)^2;$$

$$x_H = \frac{1}{200} \cdot (U_{K,B-H} + U_{K,C-H} - U_{K,B-C}) \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{\text{НОМ}}} \cdot \left( \frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\bar{6},i}} \right)^2.$$

где  $U_K$  – напряжение короткого замыкания обмоток трансформатора, %;

$U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение обмоток трансформатора, кВ;

$U_{\bar{6},i}$  – базисное напряжение, к которому приводится сопротивление обмоток высокого, среднего и низшего напряжения, кВ.

Расчет тока КЗ проводится для двух режимов: максимальный и минимальный.

В минимальном режиме учтем режим минимума энергосистемы и положение секционных выключателей – отключено.

В максимальном режиме учтем режим максимума энергосистемы и положение секционных выключателей – включено.

Расчет проводим по принципу упрощения схемы до точки короткого замыкания. Периодическая составляющая тока КЗ находится по формуле.

$$I_K^{(3)} = \frac{E}{x_{\Sigma}};$$

где  $E$  – суммарная ЭДС

$x_{\Sigma}$  – суммарное сопротивление до точки КЗ.

Значение тока короткого замыкания в именованных единицах:

$$I_{K, \text{им}}^{(3)} = I_{K, \text{отн}}^{(3)} \cdot I_{\bar{6}};$$

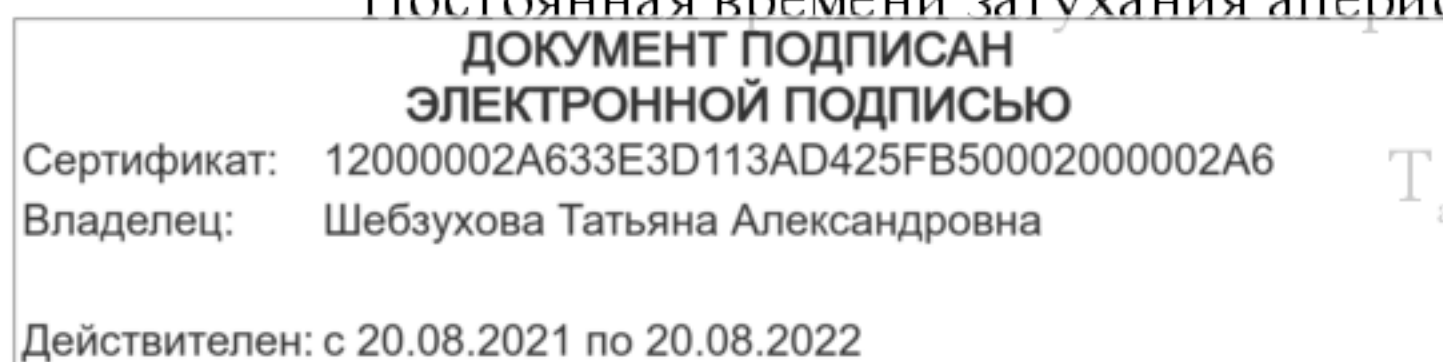
где  $I_{\bar{6}}$  – базисный ток ступени напряжения, на которой происходит КЗ.

Далее находим значение ударного тока короткого замыкания для максимального режима по формуле:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_K^{(3)};$$

где  $K_y$  – ударный коэффициент.

Постоянная времени затухания аperiodической составляющей



$$T_{\text{ап}} = \frac{x_{\Sigma}}{\omega R_{\Sigma}},$$

где  $\omega$ -угловая частота сети, равная  $\omega = 2\pi f = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ .

Ударный коэффициент, показывающий во сколько раз амплитуда ударного тока КЗ больше установившегося тока КЗ, определенного по формуле:

$$K_{\text{уд1}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{\text{ал}}}}$$

Для минимального режима ударный ток не рассчитываем.

Определяется ток двухфазного короткого замыкания в минимальном режиме для оценки чувствительности релейной защиты по формуле:

$$I_{\text{к}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{к}}^{(3)};$$

Приведем расчет тока короткого замыкания в точках К1 и К2, (см. рис. 5).

Точка К1 - максимальный режим:

Схема замещения приведена на рисунке 6

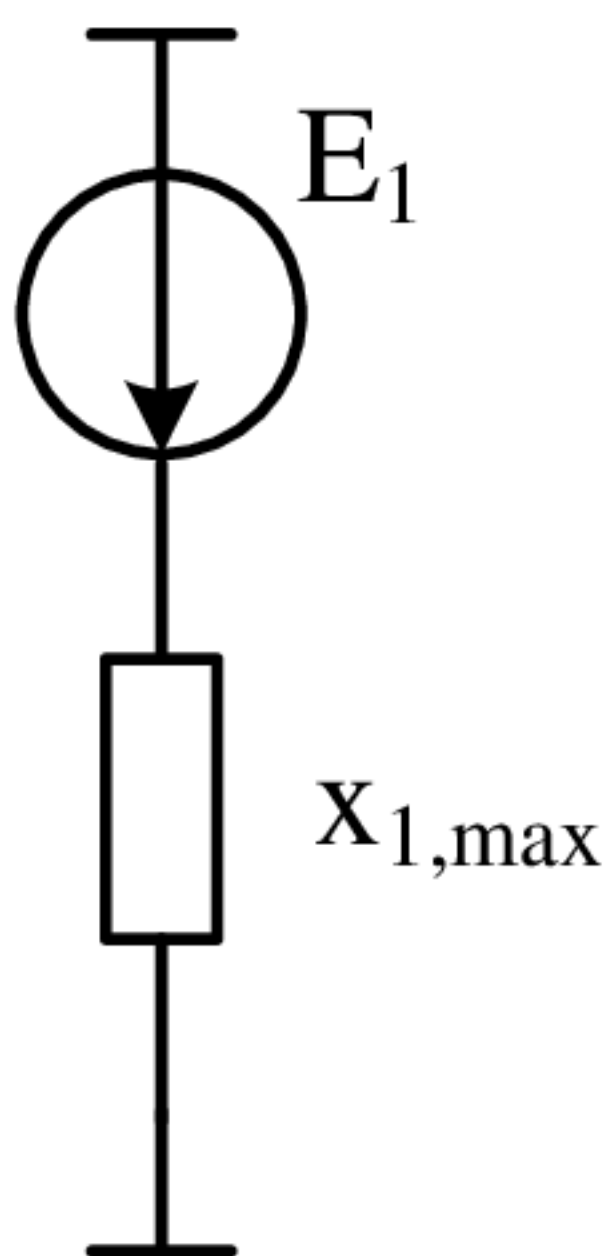
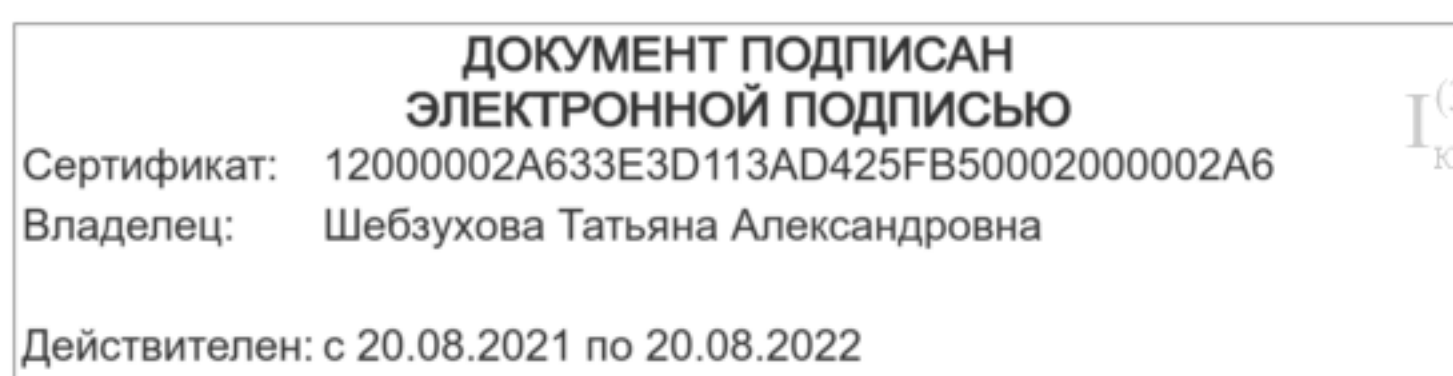


Рисунок 6 – Схема замещения для точки К1

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{E_1}{X_{1,\text{max}}}$$

Минимальный режим:

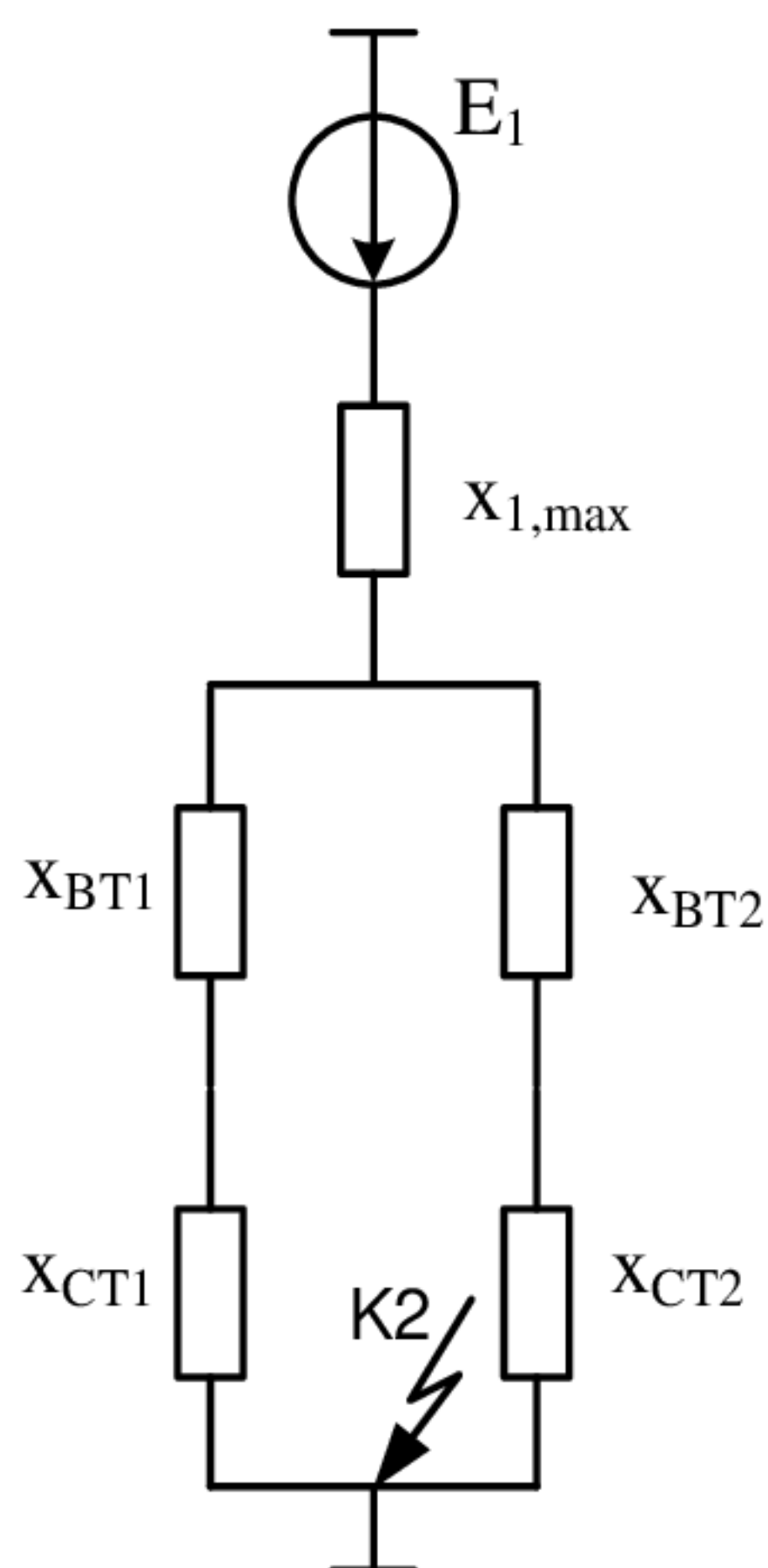
Схема замещения приведена рисунке 4.3.



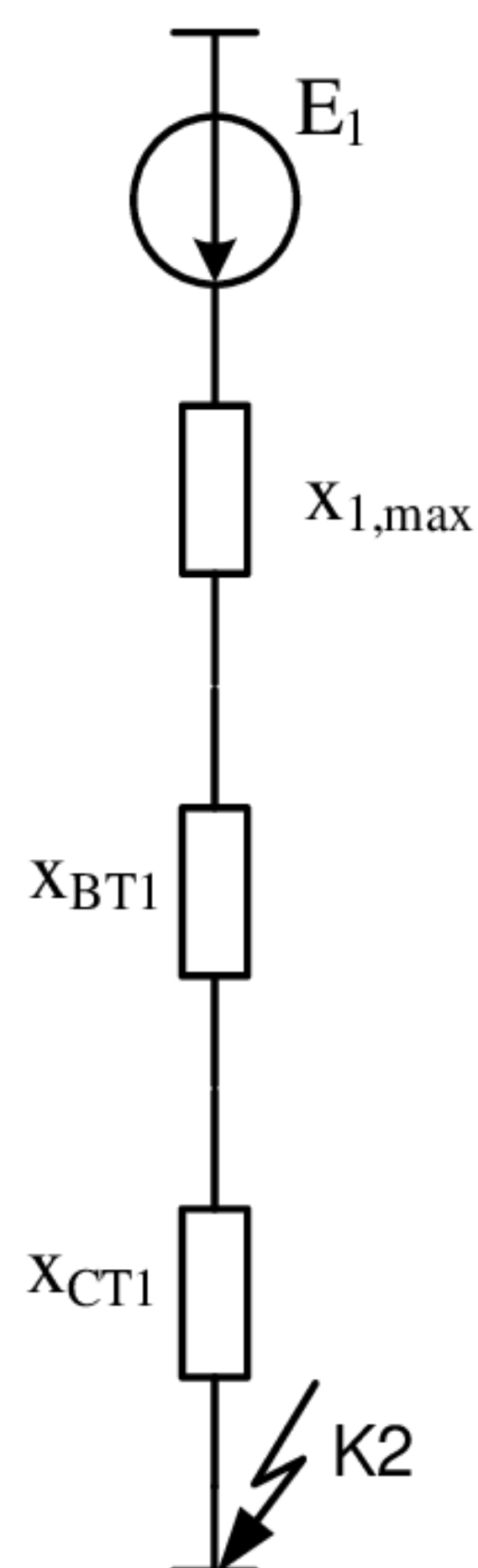
$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{E_1}{X_{1,\text{min}}}$$

Точка К2 - максимальный режим.

Схема замещения представлена на рисунке 7 а:



а) максимальный режим



б) минимальный режим

Рисунок 7 – Схема замещения для точки К2

$$X_{\Sigma} = X_{1,\max} + \frac{(X_{BT1} + X_{CT1}) \cdot (X_{BT2} + X_{CT2})}{(X_{BT1} + X_{CT1}) + (X_{BT2} + X_{CT2})};$$

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_1}{X_{\Sigma}};$$

Ток короткого замыкания в именованных единицах:

Минимальный режим:

Схема замещения представлена на рисунке 7 б.

$$X_{\Sigma} = X_{1,\min} + X_{BT1} + X_{CT1};$$

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_1}{X_{\Sigma}}$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Ток короткого замыкания в именованных единицах:

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Выбор токоограничивающих реакторов

Реакторы служат для ограничения токов КЗ в мощных электроустановках, что позволяет применять более легкие и дешевые выключатели и уменьшать площадь сечения кабелей, а, следовательно, удешевлять РУ и распределительные сети. Основная область применения реакторов – электрические сети напряжением 6–10 кВ.

Для ограничения тока КЗ в РУ 6–10 кВ электрических подстанций применяют линейные реакторы.

Линейные реакторы включаются последовательно в цепь отходящей линии (линий), они предназначены для ограничения тока КЗ в распределительной сети. При выборе линейных реакторов предпочтение отдается групповым сдвоенным реакторам, т. к. они экономичнее индивидуальных. Номинальный ток реактора определяют исходя из наибольшего тока групп линий, присоединенных к шинным сборкам группового реактора. Рекомендуется, чтобы число линий, присоединенных к групповой сборке, не превышало трех-четырех.

Сопротивление линейных реакторов  $X_p$  определяется из условия ограничения тока КЗ до тока отключающей способности выключателя  $I_{\text{ном.откл}}$

При выборе реактора выполняется упрощенный расчет тока КЗ, когда вся система, включая проектируемую подстанцию, приводится к одному результирующему сопротивлению между объединенными источниками питания и точкой КЗ  $X_{\text{рез}}$ . Сверхпереходный ток в выбранной точке КЗ определяется как

$$I_{\text{п0}} = \frac{I_6}{X_{\text{рез}}},$$

где  $I_6$  – базисный ток ступени напряжения, на которой выбрана точка КЗ.

Желаемое сопротивление системы для обеспечения отключающей способности выключателя (например, ВМП-10 –  $I_{\text{ном.откл}} = 20 \text{ кА}$ ).

$$X_{\text{сист.жел}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ном.откл}}}.$$

Расчетное сопротивление системы:

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ |                                        |
| Сертификат:                               | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                 | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Разность полученных сопротивлений         |                                        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022  |                                        |

$$X_{\text{сист}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{п0}}}.$$

даёт желаемое сопротивление реактора

$X_{p.жел}:$

$$X_{p.жел} = X_{сист.жел} - X_{сист.}$$

Затем в соответствии с требуемыми значениями  $U_{ном}$  и  $I_{ном}$  выбирается реактор с сопротивлением  $X_{p.ном}$  ближайшим большим значения  $X_{p.жел}$ .

## ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

### Общие положения по выбору аппаратов

Электрические аппараты выбирают по расчетным условиям нормального режима и проверяют на работоспособность в условиях аномальных режимов (термическая и динамическая стойкость при коротких замыканиях, коммутационная способность и т. д.).

Факторы, учитываемые при выборе аппаратов, указаны в табл. 7.

Таблица 7 – Выбор электрических аппаратов

| Тип электрического аппарата | Номинальное напряжение | Номинальный ток | Динамическая стойкость | Термическая стойкость | Коммутационная способность | Нагрузка вторичных цепей |
|-----------------------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|
| Выключатель                 | +                      | +               | +                      | +                     | +                          | —                        |
| Разъединитель               | +                      | +               | +                      | +                     | (+)                        | —                        |
| Короткозамыкатель           | +                      | —               | +                      | +                     | —                          | —                        |
| Отделитель                  | +                      | +               | +                      | +                     | (+)                        | —                        |
| Трансформатор тока          | +                      | +               | +                      | +                     | —                          | +                        |
| Трансформатор напряжения    | +                      | —               | —                      | —                     | —                          | +                        |

Примечание. Учитываемые факторы обозначены знаком «+», не учитываемые — «—», а отмеченные знаком (+) учитываются в частных случаях. Условия выбора и проверки аппара-

ратов изло...

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Выбор коммутационных аппаратов

Выбор выключателей производим по следующим параметрам:

– по напряжению электроустановки:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

– по длительному рабочему току с учетом возможных длительных перегрузок основного оборудования:

$$k \cdot I_{\text{раб.ном}} \leq I_{\text{ном}},$$

где  $U_{\text{ном}}$ ,  $I_{\text{ном}}$  – паспортные (каталожные) параметры выключателя;

$k$  – коэффициент, зависящий от допускаемых длительных повышений номинального тока (для трансформаторов, не работающих в блоке с генератором  $k = 1,4$ ).

Проверку выключателей производим по следующим формулам:

– на электродинамическую стойкость выполняем по условиям:

$$I_{\text{п0}} \leq I_{\text{дин}};$$

$$i_y \leq I_{\text{а.дин}},$$

где  $I_{\text{п0}}$ ,  $i_y$  – расчетные значения периодической составляющей тока КЗ (при  $t = 0$ ) и ударного тока (при  $t = 0,01$  с) в цепи, для которой выбирается выключатель;

$I_{\text{дин}}$ ,  $I_{\text{а.дин}}$  – действующее и амплитудное значение предельного и сквозного тока КЗ (каталожные параметры выключателя).

Выбрав выключатель по рассмотренным параметрам, зная по каталогу собственное время отключения выключателя  $t_{\text{с.в}}$ , находят время от начала КЗ до расхождения контактов выключателей:

$$t = t_{\text{з.мин}} + t_{\text{с.в}},$$

где  $t_{\text{з.мин}}$  – минимальное время действия релейной защиты принимаем равным 0,01с, и для этого времени определяют периодическую  $I_{\text{пт}}$  и апериодическую  $\beta$  составляющие тока КЗ;

$t$  – полное время отключения выключателя (приводится в технических характеристиках выключателя).

ОЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Стойкость выключателя проверяется по следующим условиям:

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Проводится проверка на симметричный ток отключения по условию

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{ном.откл}},$$

где  $I_{\text{ном.откл}}$  – номинальный ток отключения по каталогу.

2. Проверяется возможность отключения апериодической составляющей тока КЗ  $i_{at}$

. Определяют процентное содержание  $i_{at}$  в токе и проверяют выполнение условия:

$$\beta \leq \beta_{\text{ном}}.$$

Величину  $\beta$  находят по выражению

$$\beta = \frac{i_{at}}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}}} \cdot 100\% ;$$

$$i_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}} \cdot (1 + e^{-\frac{t}{T_a}}),$$

где  $T_a$  – постоянная времени затухания. Величину  $T_a$  и значение ударного коэффициента можно определить по (5.14) и (5.15)

На термическую стойкость выключатель проверяют по расчетному импульсу квадратичного тока КЗ  $B_K$  и найденным в каталоге предельному гарантированному заводом-изготовителем току термической устойчивости аппарата  $I_T$  и времени его протекания  $t_T$ :

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$$

Параметр  $B_K$  определяется следующим образом:

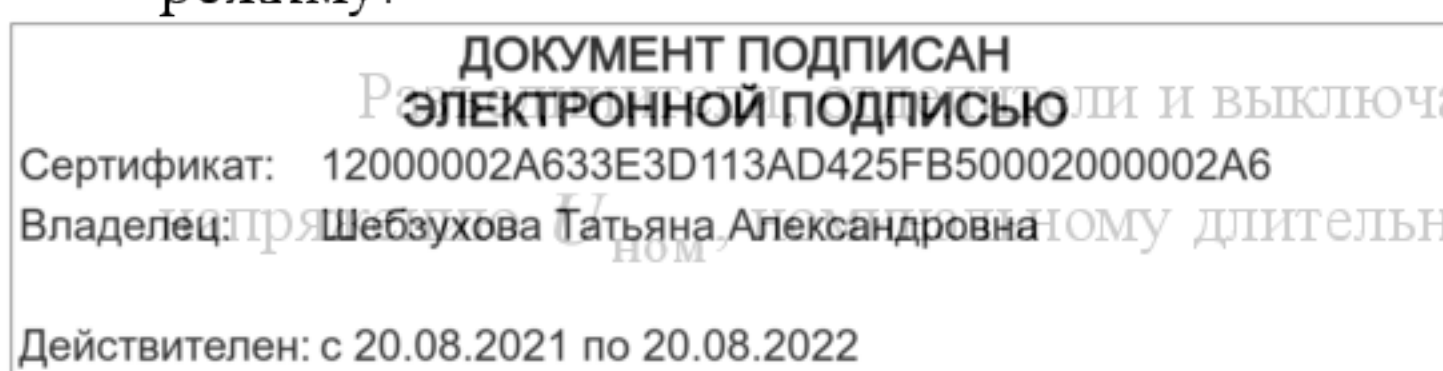
$$B_K = I_{\text{п0}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a),$$

где  $t_{\text{откл}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{в}}$ ,

$t_{\text{рз}}$  – время действия релейной защиты;

$t_{\text{в}}$  – полное время отключения выключателя (приводится в технических характеристиках выключателя).

Необходимо отметить, что расчетным видом КЗ для проверки на электродинамическую термическую стойкость является трехфазное КЗ. Если же в сетях с эффективно-заземленной нейтралью ( $U = 110$  кВ и выше) оказывается, что ток однофазного КЗ больше тока трехфазного КЗ, то проверку на отключающую способность ведут по более тяжелому режиму.



Реле, предохранители и выключатели нагрузки выбираются по номинальному току  $I_{\text{ном}}$ , а в режиме КЗ проверяют на

термическую и электродинамическую стойкость. Для короткозамыкателей выбор по номинальному току не требуется.

Выключатели нагрузки проверяют дополнительно по току отключения:

$$k \cdot I_{\text{раб.ном}} \leq I_{\text{ном.откл.}}$$

Выбор предохранителей производится по параметрам  $U_{\text{ном}}$ ,  $I_{\text{ном}}$  с проверкой выполнения условия  $I_{\text{п0}} \leq I_{\text{ном.откл.}}$ .

Расчетные величины для выбора перечисленных аппаратов те же, что и для выключателей.

Выбор рассмотренных и других типов электрических аппаратов рекомендуется производить в табличной форме. Так, например, табл. 8 соответствует условиям выбора выключателя.

Таблица 8 – Выбор выключателей

| Расчетные параметры цепи                                             | Каталожные данные выключателя | Условия выбора                                   |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|
| $U_{\text{уст}}$                                                     | $U_{\text{ном}}$              | $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$             |
| $k \cdot I_{\text{раб.ном}}$                                         | $I_{\text{ном}}$              | $k \cdot I_{\text{раб.ном}} \leq I_{\text{ном}}$ |
| $I_{\text{пт}}$                                                      | $I_{\text{ном.откл}}$         | $I_{\text{пт}} \leq I_{\text{ном.откл}}$         |
| $\beta = \frac{i_{a\tau}}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}}} \cdot 100\%$ | $\beta_{\text{ном}}$          | $\beta = \beta_{\text{ном}}$                     |
| $I_{\text{по}}$                                                      | $I_{\text{дин}}$              | $I_{\text{по}} \leq I_{\text{дин}}$              |
| $i_y$                                                                | $I_{\text{а.дин}}$            | $i_y \leq I_{\text{а.дин}}$                      |
| $B_k$                                                                | $I_T; t_T$                    | $B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$                       |

### Выбор измерительных трансформаторов

Трансформаторы тока (ТА) выбираются:

– по напряжению установки  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$ ;

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
– ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

– по номинальному току  $I_{\text{ном}}$  (номинальный ток должен быть как можно ближе к рабочему току установки, так как перегрузка первичной обмотки приводит

к увеличению погрешности;

- по конструкции и классу точности;
- по электродинамической стойкости:

$$i_y = k_{\text{дин}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1\text{ном}},$$

где  $k_{\text{дин}}$  – кратность электродинамической стойкости по каталогу;

- по термической стойкости:

$$B_k \leq (k_T \cdot I_{1\text{ном}})^2 \cdot t_T,$$

где  $k_T$  – кратность термической стойкости по каталогу;

- по вторичной нагрузке:

$$z_2 \leq z_{2\text{ном}},$$

где  $z_2$  – вторичная нагрузка трансформатора тока;

$z_{2\text{ном}}$  – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

Рассмотрим порядок расчета нагрузки  $z_2$ . Индуктивное сопротивление токовых цепей невелико, поэтому  $z_2 \approx r_2$ . Вторичная нагрузка состоит из сопротивления приборов  $r_{\text{приб}}$ , соединительных проводов  $r_{\text{пров}}$  и переходного сопротивления контактов  $r_{\text{конт}}$ :

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{конт}}.$$

Сопротивление приборов

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{2\text{ном}}^2},$$

где  $S_{\text{приб}}$  – мощность, потребляемая приборами;

$I_{2\text{ном}}$  – номинальный вторичный ток ТА, равный 1 А для мощных РУ 220–330 кВ и выше, в остальных случаях  $I_{2\text{ном}} = 5$  А.

Трансформаторы тока установлены во всех цепях. Сопротивление контактов  $r_{\text{конт}}$  принимают равным 0,05 Ом при двух-трех и 0,1 Ом – при большем числе приборов.

Зная  $z_{2\text{ном}}$ , определим допустимое сопротивление и площадь сечения провода:

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала провода;

$$S = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пров}}},$$

$l_{\text{расч}}$  – расчетная длина, зависящая от схемы соединения трансформатора тока и расстояния от трансформаторов тока до приборов: при включении в неполную звезду  $l_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot l$ ; при включении в звезду  $l_{\text{расч}} = l$ ; при включении в одну фазу  $l_{\text{расч}} = 2 \cdot l$ .

Здесь следует отметить, что провода с медными жилами ( $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ) применяются на подстанциях с высшим напряжением 220 кВ и выше. В остальных случаях во вторичных цепях применяются провода с алюминиевыми жилами ( $\rho = 0,0283 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ).

Длину соединительных проводов от трансформаторов тока до приборов (в один конец) можно принять для разных присоединений приблизительно равной, м:

Таблица 9 –

| Наименование и напряжение установки | Длина, м    |
|-------------------------------------|-------------|
| Линии 6–10 кВ к потребителям        | 4 ... 6     |
| Все цепи РУ 35 кВ                   | 60 ... 75   |
| Все цепи РУ 110 кВ                  | 75 ... 100  |
| Все цепи РУ 220 кВ                  | 100 ... 150 |

Для подстанций указанные длины снижают на 15 ... 20 %. Полученная площадь сечения не должна быть меньше  $4 \text{ мм}^2$  для проводов с алюминиевыми жилами и  $2,5 \text{ мм}^2$  для проводов с медными жилами – по условию механической прочности. Провода с площадью сечения больше  $6 \text{ мм}^2$  обычно не применяются.

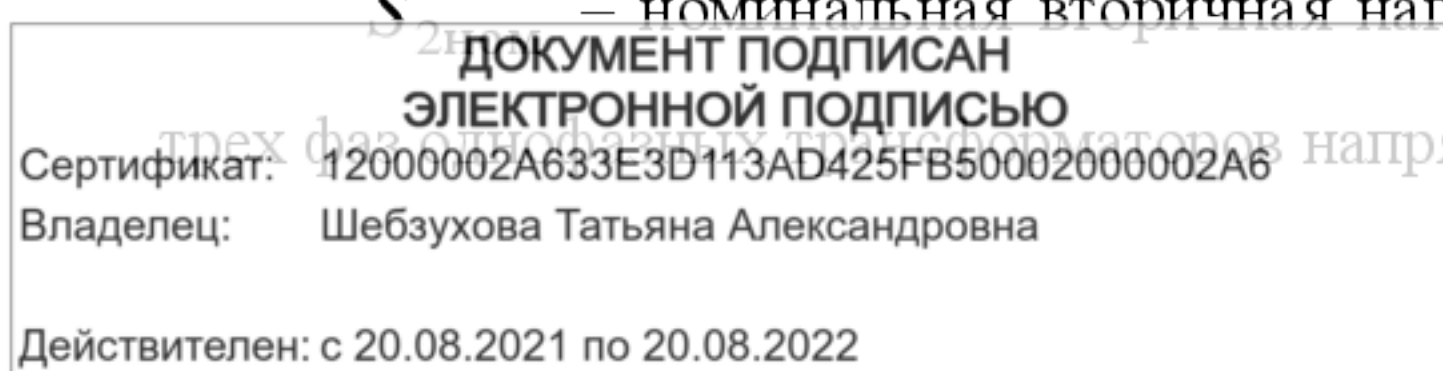
Трансформаторы напряжения выбирают по условиям:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{1\text{ном}}, S_2 \leq S_{2\text{ном}} \text{ в намеченном классе точности,}$$

где  $U_{1\text{ном}}$  – номинальное первичное напряжение;

$S_2$  – мощность внешней вторичной цепи (вторичная нагрузка);

$S_{2\text{ном}}$  – номинальная вторичная нагрузка. За  $S_{2\text{ном}}$  принимают мощность всех



трех фаз обмотки трансформаторов напряжения, соединенных по схеме звезды и удво-

енную мощность однофазного трансформатора, включенного по схеме неполного треугольника.

Для упрощения расчетную нагрузку приборов не разделяют по фазам. При определении вторичной нагрузки сопротивление соединительных проводов не учитывают, так как оно мало.

## ВЫБОР ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

### Общие положения

Основное электрическое оборудование электростанций и подстанций и аппараты в этих цепях соединяются между собой проводниками разного типа, которые образуют токоведущие части электрической установки.

При выборе токоведущих частей необходимо обеспечить выполнение ряда требований, вытекающих из условий работы. Проводники должны:

- 1) длительно проводить рабочие токи без чрезмерного повышения температуры;
- 2) противостоять кратковременному электродинамическому и тепловому действию токов КЗ;
- 3) выдерживать механические нагрузки, создаваемые собственной массой и массой связанных с ними аппаратов, а также усилия, возникающие в результате атмосферных воздействий;
- 4) удовлетворять требованиям экономичности электроустановки.

Рассмотрим типы проводников, применяемых на подстанциях:

1. На подстанциях в открытой части могут применяться провода АС или жесткая ошиновка алюминиевыми трубами. Соединение трансформатора с закрытым РУ 6–10 кВ или с КРУ 6–10 кВ осуществляется гибким подвесным токопроводом, шинным мостом или закрытым комплектным токопроводом. В РУ 6–10 кВ применяется жесткая ошиновка.

2. В цепях линий 6–10 кВ вся ошиновка до реактора и за ним, а также в шкафах КРУ выполнена прямоугольными алюминиевыми шинами. Непосредственно к потребителю отходят кабельные линии.

3. Документ подписан собственными  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

нужд. От стены ЗРУ до выводов ТСН, устанавливается жесткими алюминиевыми шинами. Если

ТСН устанавливается на удалении от ЗРУ, то участок между ними выполняется гибким токопроводом. От трансформатора до РУ собственных нужд применяется кабельное соединение.

### Выбор жестких шин

В закрытых РУ 6–10 кВ и в ряде случаев в открытых РУ напряжением 35 кВ и выше ошиновка (присоединения к сборным шинам) и сборные шины выполняются жесткими алюминиевыми шинами. Медные шины из-за высокой их стоимости не применяются даже при больших токовых нагрузках. При токах до 300 А применяются одно- и двухполосные шины. При больших токах рекомендуются шины коробчатого сечения, т. к. они обеспечивают меньшие потери от эффекта близости и поверхностного эффекта, а также лучшие условия охлаждения.

Выбор сечения ошиновки производится по экономической плотности тока [4, с. 265]:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{раб.ном}}}{j_{\text{эк}}},$$

где  $j_{\text{эк}}$  – экономическая плотность тока, зависящая от величины  $T_{\text{м}}$ .

Для алюминиевых и сталеалюминевых проводников

при  $T_{\text{м}} = 1000 \dots 3000$  часов –  $j_{\text{эк}} = 1,3 \text{ А/мм}^2$ ,

при  $T_{\text{м}} = 3000 \dots 5000$  часов –  $j_{\text{эк}} = 1,1 \text{ А/мм}^2$ ,

свыше 5000 часов –  $j_{\text{эк}} = 1,0 \text{ А/мм}^2$ .

Найденное сечение округляется. При этом принимается ближайшее меньшее стандартное сечение, если оно не отличается от экономического больше, чем на 15 %. В противном случае, принимается ближайшее большее стандартное сечение.

Следует учесть, что по экономической плотности тока не выбираются:

- сборные шины всех напряжений, т. к. нагрузка по длине неравномерна и на многих ее участках меньше рабочего тока;
- ошиновка и кабели резервных линий и резервных трансформаторов СН, т. к. они включаются эпизодически.

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ |                                        |
| Сертификат:                               | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                 | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022  |                                        |

Выбор жестких шин проверяется:

– по допустимому току из условий нагрева;

– на термическую стойкость при воздействии токов КЗ;

– на динамическую стойкость при КЗ (механический расчет).

Проверка шин по допустимому току осуществляется по условию их нагрева током утяжеленного режима  $k \cdot I_{\text{раб.ном}} \leq I'_{\text{доп}}$ , где  $I'_{\text{доп}}$  – допустимый ток на шины выбранного сечения с учетом температуры охлаждающей среды, отличной от принятой в таблицах [4, с. 267] при определении допустимого тока  $I_{\text{доп}}$ .

Величину  $I'_{\text{доп}}$  можно определить из приближенного равенства:

$$I'_{\text{доп}} = I_{\text{доп}} \cdot \sqrt{\frac{Q_{\text{ном}} - Q_{\text{в}}}{Q_{\text{ном}} - Q_{\text{в.н}}}},$$

где  $Q_{\text{ном}}$  – допустимая температура нагрева шины;

$Q_{\text{в}}$  – температура окружающей среды (воздуха);

$Q_{\text{в.н}}$  – нормированная температура воздуха.

Проверка термической устойчивости шин сводится к определению допустимого по условиям нагрева токами КЗ сечения и сопротивления его с выбранным  $F_{\text{расч}}$  по условиям рабочего режима:

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} \leq F_{\text{расч}},$$

где значение коэффициента  $C$  следует брать по табл. 10

Таблица 10

| Вид и материал проводника             | Коэффициент $c$ |
|---------------------------------------|-----------------|
| Медные шины                           | 170             |
| Алюминиевые шины                      | 90              |
| Кабели до 10 кВ с медными жилами      | 160             |
| Кабели до 10 кВ с алюминиевыми жилами | 110             |

Проверка шин на электродинамическую стойкость сводится к механическому расчету шинной конструкции при КЗ. Электродинамические силы, возникающие при КЗ, носят колебательный характер. Эти силы приводят шины и изоляторы, представляющие собой динамическую систему в колебательное движение. Для обеспечения механической прочности шин при токах КЗ расчетное напряжение в материале не должно превосходить  $\delta_{\text{доп}} = 70 \text{ МПа}$  для алюминия и  $\delta_{\text{доп}} = 140 \text{ МПа}$  для меди.

Условие проверки:

$$\delta_{\text{расч}} \leq \delta_{\text{доп}}.$$

Для однополосных шин (или труб) максимальное расчетное напряжение в шине определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{f \cdot l_{\text{пр}}^2}{10 \cdot W},$$

где  $f$  – максимальное усилие, приходящееся на 1 м длины, от взаимодействия между токами фаз, Н/м;

$l_{\text{пр}}$  – расстояние (пролет) между осями изоляторов вдоль фазы, м;

$W$  – момент сопротивления шины относительно оси, перпендикулярной направлению действия усилия,  $\text{м}^3$ .

Формулы для подсчета момента сопротивления:

– для прямоугольных шин  $W = \frac{b \cdot h^2}{6}$  или  $W = \frac{b^2 \cdot h}{6}$  в зависимости от их взаим-

ного расположения, где  $b$  – толщина шины, м,  $h$  – ее высота, м;

– для труб  $W = \frac{0,1 \cdot (D^4 - d^4)}{D}$ , где  $D$  и  $d$  – соответственно внешний и внутренний

диаметр трубы;

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН**  
**ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

коробчатых шин.

шин в одной плоскости:

$$f = 1,76 \cdot \frac{i_y^2}{a} \cdot 10^{-7},$$

где  $a$  – расстояние между осями смежных фаз, м.

Максимальное расчетное напряжение в многополосных шинах, когда в пакет входят две или три полосы, находится по выражению  $\sigma_{\text{расч}} = \sigma_{\text{ф}} + \sigma_{\text{п}}$ ,

где  $\sigma_{\text{ф}}$  – напряжение от взаимодействия фаз, определяемое также как и для однополосных шин;  $\sigma_{\text{п}}$  – напряжение от взаимодействия полос пакета одной фазы.

Величина  $\sigma_{\text{п}}$  определяется как

$$\sigma_{\text{п}} = \frac{f_{\text{п}} \cdot l_{\text{п}}^2}{2 \cdot b^2 \cdot h},$$

где  $f_{\text{п}}$  – усилие, приходящееся на 1 м длины полосы от взаимодействия между токами полос пакета, Н/м;

$l_{\text{п}}$  – расстояние между прокладками пакета, м.

При этом сила взаимодействия между полосами в двухполосных шинах и сила, действующая на крайние полосы в трехполосных шинах (как наиболее деформируемые) составляет в Н/м соответственно:

$$f_{\text{п}} = 0,25 \cdot k_{\text{ф}} \cdot \frac{i_y^2}{b} \cdot 10^{-7};$$

$$f_{\text{п}} = 0,16 \cdot k_{\text{ф}} \cdot \frac{i_y^2}{b} \cdot 10^{-7},$$

где  $k_{\text{ф}}$  – коэффициент формы шин, учитывающий влияние поперечных размеров проводника на силы взаимодействия.

Сборные шины РУ выбираются по допустимому рабочему току. Расчетные рабочие токи сборных шин зависят от рабочих токов присоединений, их взаимного расположения в РУ, а также от вида сборных шин и режима установки.

Для выбора площади сечения сборных шин по утяжеленному режиму следует выявить ожидаемые рабочие токи на отдельных участках РУ при наиболее неблагоприятных условиях.

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ |                                        |
| Сертификат:                               | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                 | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022  |                                        |

Если рабочие токи на этих участках резко различны, шины могут быть выбраны «ступенчатыми» – с площадью сечения, соответствующей рабочим токам участков. Площадь сечения шин должна быть достаточной для передачи рабочего тока наиболее мощного агрегата.

Сборные шины проверяются на тех же условиях, рассматриваемых выше. Кроме того, РУ 35 кВ и выше выбранное сечение жестких шин проверяется на корону

Следует подчеркнуть важность момента выбора формы сечения шин. В закрытом РУ до 20 кВ включительно шины выполняют из полос прямоугольного сечения, т. к. проводники с прямоугольным сечением более экономичны, чем с круглым. В РУ 35 кВ и выше по условиям короны применяются шины только круглого сечения.

### Выбор гибких шин и токопроводов

В РУ 35 кВ и выше применяются гибкие шины, выполненные проводами АС. Они выбираются по тем же условиям, что и жесткие шины. Добавляется лишь проверка выбранного сечения шин на исключение возможности схлестывания шин или опасного их сближения в результате динамического действия токов КЗ (вместо проверки на электродинамическую стойкость)

Гибкие токопроводы для соединения трансформаторов с РУ 6–10 кВ выполняются пучком проводов, закрепленных по окружности в кольцах – обоймах. Два провода из пучка – сталеалюминевые – несут в основном механическую нагрузку от собственного веса, гололеда, ветра. Остальные провода – алюминиевые – являются только токоведущими.

Расчет гибкого токопровода заключается в определении числа и сечения проводников.

Исходя из общего сечения пучка  $F_{\text{эк}}$  проводов выбираются несущие провода.

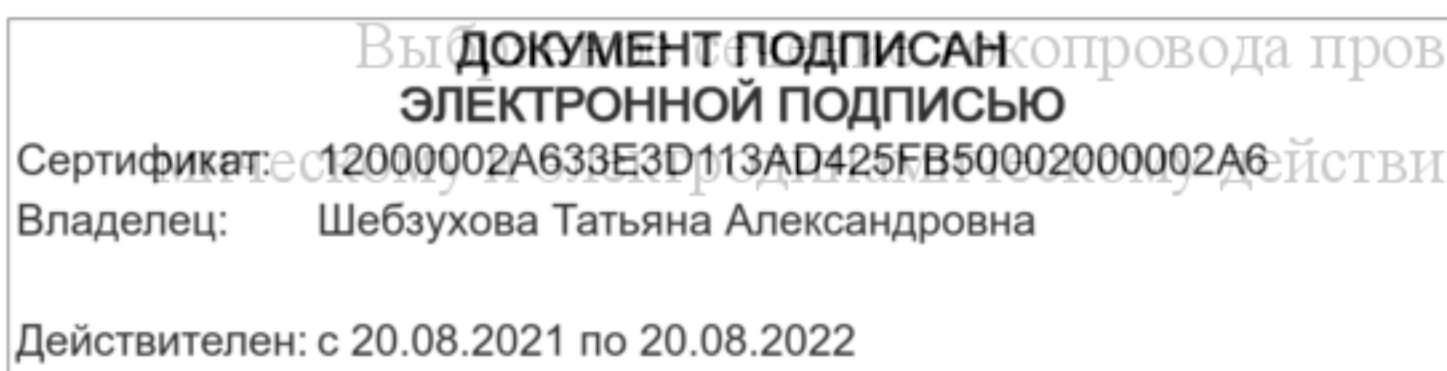
Сечение несущего провода принимается равным  $F_{\text{нес}} = 0,15 \cdot F_{\text{эк}}$ .

Число и сечение токоведущих проводов выбирается по следующим условиям:

$$S \cdot n + 2 \cdot S_{\text{нес}} = S_{\text{эк}}.$$

Сечение несущего провода рекомендуется брать на ступень больше токоведущего.

Выбор сечения токопровода проверяется по длительно допустимому току, термическому и динамическому действию тока КЗ.



## Выбор кабелей

Кабели выбираются по напряжению установки и экономической плотности тока.

Проверка нагрева кабелей при аварийных перегрузках производится по условию<sup>^</sup>

$$k \cdot I_{\text{раб.ном}} \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{\text{доп}},$$

где  $I_{\text{доп}}$  – длительно допустимый ток на одиночный кабель, проложенный в земле при температуре почвы  $15^\circ\text{C}$  или на воздухе при температуре  $25^\circ\text{C}$ ;

$k_1, k_2, k_3$  – поправочные коэффициенты соответственно на температуру почвы, воздуха и на число кабелей в траншее, определяемые по [9].

Выбранные сечения кабеля проверяются на термическую устойчивость.

## КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЯХ

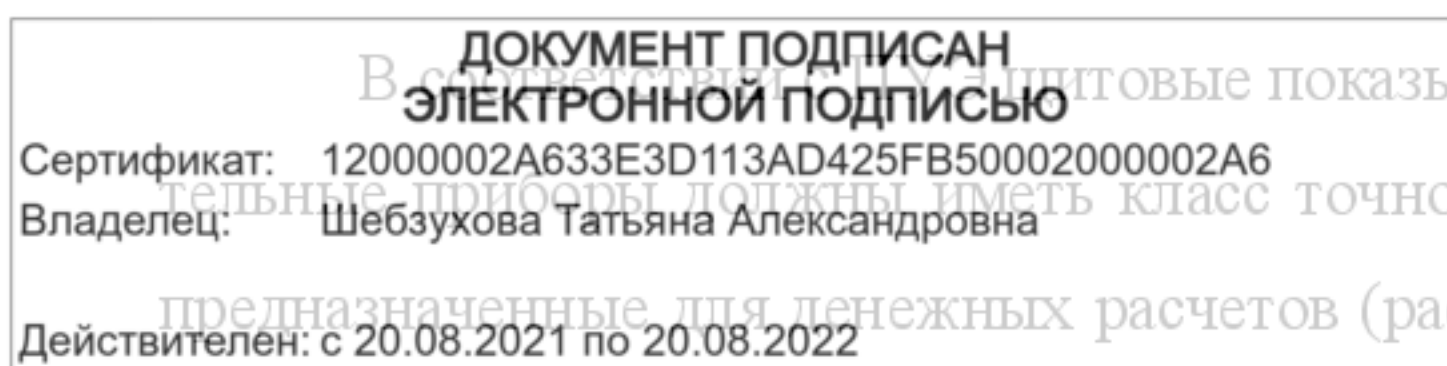
Контроль за режимом работы основного и вспомогательного оборудования на электростанциях и подстанциях осуществляется с помощью контрольно-измерительных приборов.

Измерениями должны быть охвачены все параметры основного и вспомогательного оборудования, которые определяют режим управляемого объекта – электрической подстанции.

Структурная схема системы измерения в общем случае включает в себя: первичный измерительный прибор, преобразователи, канал связи и вторичный измерительный прибор.

На электрических подстанциях используются измерительные приборы четырех типов:

- 1) показывающие аналоговые и цифровые приборы – для визуального наблюдения за параметрами режима;
- 2) регистрирующие (самопишущие) приборы – для непрерывной графической или цифровой записи параметров в нормальном режиме;
- 3) интегрирующие приборы (счетчики) – для суммирования показаний во времени;
- 4) фиксирующие приборы (самопишущие приборы с ускоренной записью, осциллографы, специальные регистраторы событий и др.) для графической записи параметров в аварийных условиях.



В соответствии с требованиями к классу точности показывающие или регистрирующие электроизмерительные приборы должны иметь класс точности не ниже 2,5; счетчики активной энергии, предназначенные для денежных расчетов (расчетные счетчики) – не ниже 2,0, а для линий

межсистемных связей напряжением 110 кВ – 1,0, 220 кВ и выше – 0,5. Класс точности счетчиков реактивной энергии выбирают на одну ступень ниже класса точности соответствующих счетчиков активной энергии. Для фиксирующих приборов допускается класс 3,0. Амперметры подстанций, РУ могут иметь класс точности 4,0.

Состав измерительных приборов, которые должны быть установлены для контроля за режимом работы основного электрооборудования подстанции/

Контроль за работой двухобмоточного трансформатора осуществляется с помощью комплекта приборов, устанавливаемых на стороне низшего напряжения и включающих в себя амперметр, ваттметр и варметр. Вместо ваттметра и варметра практикуют использование одного комбинированного прибора с переключением в цепях напряжения. При необходимости учета энергии, протекающей через трансформатор на нем, устанавливают счетчики активной и реактивной энергии. Если возможен реверсивный режим работы трансформатора, то устанавливают ваттметр и варметр с двухсторонней шкалой и два комплекта счетчиков со стопорами. У трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов на сторонах низшего и среднего напряжения устанавливают те же приборы, что и у двухобмоточного трансформатора. Контроль за током осуществляют на всех обмотках.

На сборных шинах повышенного напряжения предусматривают по одному указывающему вольтметру на каждой системе или секции шин, аварийные осциллографы.

На линиях 6–35 кВ, которые обычно идут непосредственно к потребителям, устанавливают амперметр и счетчик активной энергии. Счетчик реактивной энергии требуется при расчете с потребителями с учетом коэффициента мощности.

Линии напряжением 110 кВ и выше сетей районного значения нуждаются в контроле за током и мощностью, осуществляемом одним или тремя амперметрами (при пофазном управлении), ваттметром и варметром. Учет активной энергии должен быть обеспечен лишь на линиях межсистемных связей, проводимый на каждом конце счетчиками активной энергии со стопорными механизмами.

На сборных шинах понижающих подстанций устанавливают указывающий вольтметр на каждой системе и секции сборных шин всех напряжений. На шинах 6–35 кВ – комплект приборов контроля изоляции. Для выявления картины того или иного аварийного режима на подстанциях устанавливают осциллографы, записывающие режимные параметры, подлежащие контролю.

Питание приборов осуществляется от измерительных трансформаторов.

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ |                                        |
| Сертификат:                               | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                 | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022  |                                        |

РЕЖИМНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ПОДСТАНЦИИ

Релейной защитой называется комплекс специальных устройств, состоящее из реле и других аппаратов, которые обеспечивают автоматическое отключение поврежденного элемента электрической цепи, если данное повреждение представляет собой непосредственную опасность для этой цепи, или приводить в действие сигнальные устройства. Релейная защита должна удовлетворять следующим требованиям:

- релейная защита должна быть селективной, т.е. отключать только поврежденный участок электрической цепи,
- релейная защита должна иметь минимально возможное время срабатывания,
- релейная защита должна быть достаточно чувствительной ко всем видам повреждений ненормальным режимам работы на защищаемом участке электрической цепи,
- релейная защита должна быть надежной.

К повреждениям трансформатора относятся:

1. Междофазное короткое замыкание на выводах и в обмотке (последние возникают гораздо реже, чем первые).
2. Однофазные короткие замыкания (на землю и между витками обмотки т.е. межвитковые замыкания).
3. «Пожар стали сердечника».

К ненормальным режимам работы относятся:

1. Перегрузки, вызванные отключением, например, одного из работающих трансформаторов.
2. Возникновение токов при внешних коротких замыканиях, представляющих опасность из-за их теплового действия на обмотки трансформатора.
3. Недопустимое понижение уровня масла, вызываемое значительным понижением температуры и другими причинами.

При выполнении защит трансформатора необходимо учитывать некоторые особенности их ненормальной работы:

- броски тока намагничивания при включении трансформатора под напряжение,
- влияние коэффициента трансформации и схем соединения обмоток трансформатора.

Для выбора защит силового трансформатора, питающих линий, распределительных шин подстанции необходимо руководствоваться указаниями ПУЭ.

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ПРОТИВОПОЖАРНОЙ

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ |                                        |
| Сертификат:                               | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                 | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022  |                                        |

БЕЗОПАСНОСТИ

Электробезопасность

## Общие требования электробезопасности

1. Требования к персоналу.
2. Оперативное обслуживание. Осмотр электроустановок.
3. Порядок и условия производства работ.
4. Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ.
5. Ответственные за безопасность проведения работ, их права и обязанности.
6. Организация работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации согласно перечню.
7. Надзор за при проведении работ.
8. Окончание работы, сдача-приемка рабочего места.
9. Включение электроустановок после полного окончания работ.

## Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения

1. Отключения.
2. Вывешивание запрещающих плакатов.
3. Проверка отсутствия напряжения.
4. Установка заземления.
5. Установка заземления в распределительных установках.
6. Установка заземления на ВЛ.
7. Ограждение рабочего места.

## Меры безопасности при проведении отдельных работ

1. Работы в зоне влияния электрического и магнитного полей.
2. Генераторы и синхронные компенсаторы.
3. Электролизные установки.
4. Электродвигатели.
5. Коммутационные аппараты.
6. Комплексные распределительные устройства.
7. ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
8. Силовые трансформаторы, масляные шунтирующие и дугогасящие реакторы.
9. Измерительные трансформаторы тока.

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

10. Электрофильтры.
11. Аккумуляторные батареи.
12. Конденсаторные установки.
13. Кабельные линии.

### **Воздушные линии электропередачи**

1. Работы без снятия напряжения.
2. Работы в пролетах пересечения с действующими ВЛ.
3. Пофазный ремонт ВЛ.
4. Работы на пересечениях и сближениях ВЛ с дорогами.
5. Обслуживание сетей уличного освещения.

### **Средства связи, диспетчерского и технологического управления**

1. Кабельные линии связи.
2. Аппаратура необслуживаемых усилительных пунктов.
3. Воздушные линии связи.
4. Радио и радиорелейные линии.
5. Высокочастотная связь по ВЛ и молниезащитным тросам.
6. Временная высокочастотная связь.
7. Аппаратные СДТУ.

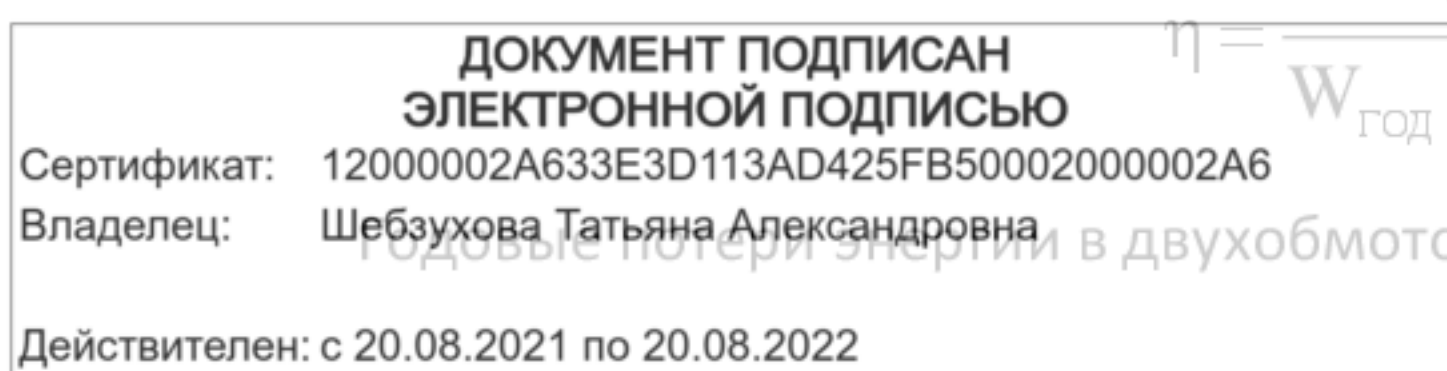
### **Охрана труда**

1. Требования к территории проектируемого объекта.
2. Противопожарные мероприятия, средства оповещения и тушения пожаров.
3. Защита от атмосферного электричества.

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОДСТАНЦИИ**

КПД электроподстанции определяется по формуле

$$\eta = \frac{W_{\text{год}}}{W_{\text{год}} + \Delta W_{\text{пот}}} \cdot 100\%.$$



Годовые потери энергии в двухобмоточном трансформаторе определяются:

$$\Delta W_{\text{пот}} = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} \cdot 8760 + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left( \frac{S_p}{S_{\text{ном тр}}} \right)^2 \cdot \tau,$$

где  $\Delta P_{\text{xx}}$  – потери холостого хода, кВт;

$\Delta P_{\text{кз}}$  – потери короткого замыкания, кВт;

$\tau$  – время максимальных потерь; значение  $\tau$  может быть определено по формуле

$$\tau = (0,124 + T_m \cdot 10^{-4}) \cdot 8760,$$

где  $T_m$  – продолжительность использования максимальной нагрузки.

Для трехобмоточных трансформаторов потери энергии определяются, как

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{пот}} = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} \cdot 8760 + \frac{1}{n} & \left( \Delta P_{\text{кзВ}} \left( \frac{S_{\text{pВ}}}{S_{\text{ном тр В}}} \right)^2 \cdot \tau_{\text{В}} + \right. \\ & \left. + \Delta P_{\text{кзС}} \left( \frac{S_{\text{pС}}}{S_{\text{ном тр С}}} \right)^2 \cdot \tau_{\text{С}} + \Delta P_{\text{кзН}} \left( \frac{S_{\text{pН}}}{S_{\text{ном тр Н}}} \right)^2 \cdot \tau_{\text{Н}} \right). \end{aligned}$$

Для упрощения можно принять:  $\tau_{\text{В}} = \tau_{\text{С}} = \tau_{\text{Н}}$ . Потери короткого замыкания в обмотках высшего, среднего и низшего напряжения, кВт:

$$\Delta P_{\text{кзВ}} = 0,5(\Delta P_{\text{кзВ-С}} + \Delta P_{\text{кзВ-Н}} - \Delta P_{\text{кзС-Н}});$$

$$\Delta P_{\text{кзС}} = 0,5(\Delta P_{\text{кзВ-С}} + \Delta P_{\text{кзС-Н}} - \Delta P_{\text{кзВ-Н}});$$

$$\Delta P_{\text{кзН}} = 0,5(\Delta P_{\text{кзС-Н}} + \Delta P_{\text{кзВ-Н}} - \Delta P_{\text{кзВ-С}}).$$

Если в каталогах для трехобмоточных трансформаторов приведена величина потерь короткого замыкания только для пары обмоток высшего и низшего напряжения  $\Delta P_{\text{кзВ}}$ , то при одинаковой мощности всех обмоток принимают

$$\Delta P_{\text{кзВ}} = \Delta P_{\text{кзС}} = \Delta P_{\text{кзН}} = 0,5 \Delta P_{\text{кзВ-Н}}.$$

## РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖА ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОДСТАНЦИИ

На чертеже главной схемы соединений должны быть показаны: трансформаторы – силовые измерительные и СН, отходящие линии, сборные шины РУ всех напряжений, выключатели, разъединители, отделители, короткозамыкатели, реакторы, предохранители и токо-

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

с основным оборудованием показываются все относящиеся к нему контрольно-измерительные приборы.

Главные схемы изображаются в однолинейном исполнении, при отключенном положении всех элементов установки.

Все элементы схемы и связи между ними изображаются в соответствии с ЕСКД. При необходимости допускается размеры графических обозначений пропорционально увеличивать или уменьшать по сравнению с рекомендованными ГОСТами.

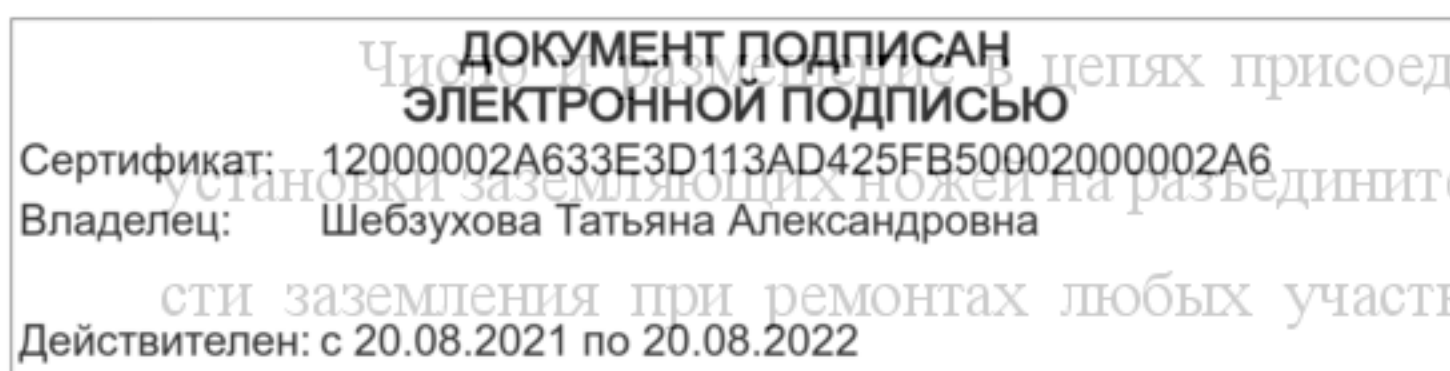
Графические изображения на чертеже должны быть наглядны, удобны для чтения, с минимально возможным числом пересечений и равномерным заполнением листа.

Силовые трансформаторы изображаются со схемами соединений их обмоток. Обычно силовые трансформаторы имеют группу соединений. Нулевые выводы силовых трансформаторов соединяются с землей по схеме, соответствующей режиму работы нейтрали сети. Нулевые точки силовых трансформаторов 110–220 кВ заземляются через разъединитель. Так как изоляция нулевых выводов указанных трансформаторов позволяет работу с изолированной нейтралью, то для снижения уровней однофазных КЗ в отдельных случаях на части трансформаторов подстанций их нейтрали разделяются. В таком режиме работы для защиты изоляции трансформатора от атмосферных перенапряжений должен быть предусмотрен ограничитель перенапряжений (ОПН), включаемый параллельно разъединителю. При выборе указанных разъединителей и ОПН их рабочее напряжение принимается на класс меньше напряжения высокой стороны трансформатора.

Присоединения к сборным шинам komponуются таким образом, чтобы исключить по шинам большие перетоки мощности. Поэтому присоединения трансформаторов должны чередоваться с отходящими линиями, а шиносоединительные и обходные выключатели располагаются в средней части шин. Здесь же устанавливают ОПН и трансформаторы напряжения, без выведения для них отдельных ячеек. При секционированных системах шин присоединения размещаются так, чтобы нагрузка по секциям была одинаковой.

При большом количестве однотипных присоединений на каждой секции сборных шин или групповой сборке линейных реакторов разрешается показывать только 2–3 присоединения, изобразив при этом на шинах место разрыва, а действительное число присоединений указывается надписью.

Для обеспечения безопасности людей при проведении ремонтных работ на оборудовании электрических подстанций необходимо ремонтируемую цепь отключить, создать видимый разрыв и заземлить. Это производится при помощи выключателей и разъединителей с заземляющими ножами.



Места присоединений определяется их назначением. Места установки заземляющих ножей на разъединителях намечаются исходя из условий возможности заземления при ремонтах любых участков подстанции. Обычно заземляющие ножи

предусматриваются с двух сторон на линейных разъединителях, шинных разъединителях трансформаторов напряжения и разъединителях секционных выключателей. На шинных разъединителях других присоединений – заземляющие ножи устанавливаются только со стороны выключателя.

Измерительные трансформаторы тока (ТА) в сетях с заземленной нейтралью устанавливаются в трех фазах каждой цепи схемы. В установках с изолированной нейтралью ТА могут предусматриваться в двух фазах, если применяемые виды релейных защит не требуют питание от трех фаз.

Каждый ТА напряжением 6–20 кВ выполняется с двумя вторичными обмотками, 35–110 кВ – с тремя, 220 кВ – четырьмя.

Количество ТА в каждой цепи определяется по [5, с. 295] и зависит от назначения цепи, видов защит и других факторов.

На подстанциях обычно используются встроенные в аппараты ТА. Они имеются в нулевых выводах трансформаторов и автотрансформаторов (типа ТВТ). Кроме того, встроенные ТА предусматриваются для установки на вводах 35 кВ и выше масляных баковых выключателей (типа ТВ, ТВС, ТВД и ТВУ) и силовых трансформаторов и автотрансформаторов (ТВТ).

Трансформаторы тока, встроенные в выключатель, показываются на схеме с двух сторон условного изображения выключателя (по два ТА с каждой стороны).

Недостающие ТА устанавливаются отдельностоящими. При этом их место размещения выбирается таким образом, чтобы их вывод в ремонт производился совместно с выключателями цепей (до выключателя со стороны трансформатора или линии).

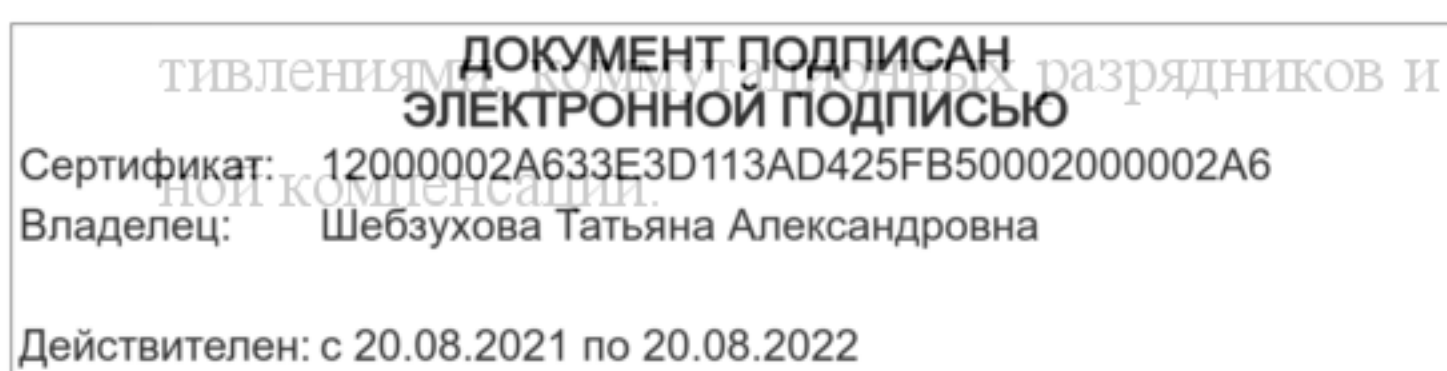
Трансформаторы напряжения (ТВ) обычно устанавливаются:

- на секциях сборных шин всех напряжений – один пятистержневой типа НТМИ, НАМИТ или комплект однофазных типа ЗНОЛ;
- на каждой сборке групповых линейных реакторов – два однофазных ТВ, включенных по схеме неполного треугольника (для питания счетчиков линии).

В главной схеме необходимо предусмотреть защиту изоляции от атмосферных и коммутационных перенапряжений.

Коммутационные перенапряжения в РУ 330 кВ и ниже ограничиваются до допустимых величин выбором рационального способа заземления нейтрали трансформаторов в РУ более высокого напряжения — путем применения выключателей с шунтирующими сопро-

тивлениям, коммутационных реакторов и искрового присоединения реакторов попереч-



В РУ напряжением до 330 кВ ОПН размещаются на сборных шинах и присоединяются к ним совместно с TV через обычный разъединитель. Кроме того, ОПН устанавливаются на выводах высшего и среднего напряжения трансформаторов (автотрансформаторов), удаленных от РУ на расстояние более 16 метров.

На отходящих линиях электропередач 35 кВ и выше показываются аппараты высокочастотной обработки (конденсаторы связи, фильтры присоединения и заградители) отдельных фаз для образования каналов связи по проводам ЛЭП.

Конденсатор связи создает путь для токов высокой частоты от приемо-передатчика в линию и одновременно отделяет приемопередатчик от высокого напряжения промышленной частоты линии. Одним из типов конденсаторов связи являются бумажно-масляные конденсаторы типа СМР–55/3-0,044. На линиях 110 кВ устанавливаются два таких элемента, соединяемых последовательно, на линиях 220 кВ – четыре.

Фильтр присоединения согласовывает входное сопротивление высокочастотного кабеля с входным сопротивлением линии, соединяет конденсатор связи с землей, образуя таким образом замкнутый контур для токов высокой частоты. Фильтр присоединения ОФП-4, выпускаемый промышленностью, выполняется на три диапазона, охватывающие частоты 50 ... 300 кГц.

Заградитель преграждает выход токов высокой частоты за пределы линии. Выпускаемые отечественной промышленностью заградители

КЗ-500 рассчитаны на рабочий ток 700 А с пределами настройки 50 ... 300 кГц.

Высокочастотную обработку всех трех фаз выполняют на ЛЭП 330 кВ и выше. При меньших напряжениях обработка выполняется на двух, реже – на одной фазе.

В принятую в начале проектирования схему вносятся все изменения и уточнения, которые были выявлены в результате выполнения по следующим разделов проекта.

На чертеже главной схемы рядом с условными обозначениями аппаратов, слева и сверху от них, приводятся номенклатурные обозначения типов, номинальные параметры и другие их характеристики. Все надписи рекомендуется выносить «в рамочках», как это принято в проектных организациях, чтобы они не затемняли схему. Надписи выполняются для одного присоединения каждого типа.

У сборных шин указывается номинальное напряжение, материал и их сечение. На токопроводах – тип, материал и сечение токоведущей части.

|                                          |                                         |                                                       |
|------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ   |                                         | СТРУКТУРНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ<br>РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ |
| Сертификат:                              | 12000002A633E3D113AD425FB500020000002A6 |                                                       |
| Владелец:                                | Шебзухова Татьяна Александровна         |                                                       |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022 |                                         |                                                       |

## Классификация РУ, общие требования, порядок проектирования РУ

Классификация РУ. Существуют два основных вида РУ: закрытые (ЗРУ) и открытые (ОРУ), оборудование которых расположено соответственно в зданиях и на открытом воздухе. ЗРУ в основном применяются на напряжениях 3–20 кВ. В установках больших напряжений (35–220 кВ) ЗРУ применяются только при ограниченности площади для РУ при избыточной загрязненности атмосферы. Применяются ОРУ на напряжениях 35–1150 кВ, т. к. при этих напряжениях ОРУ обладают существенными преимуществами по сравнению с ЗРУ: меньший объем строительных работ, существенная экономия строительных материалов; меньшие капитальные затраты, сроки сооружения и т. д. ОРУ имеет и ряд недостатков по сравнению с ЗРУ: менее удобное обслуживание, большая занимаемая площадь; подверженность аппаратов атмосферным воздействиям.

Классификация РУ может быть продолжена по другим признакам, например, по методам сооружения: сборные РУ, в которых большая часть электромонтажных работ производится на месте установки и комплектные РУ заводского изготовления с минимальным объемом электромонтажных работ на месте установки.

Сборные РУ собирают из отдельных элементов и узлов (шкафы, ячейки, панели и др.), изготовленных и укомплектованных на заводах или в специализированных мастерских. Чем крупнее конструктивные узлы заводского изготовления, тем проще проектирование и тем полнее степень индустриализации сооружения таких РУ.

Комплектные РУ состоят (компенсируются) из полностью или частично закрытых шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, поставляемых в собранном виде или в полностью подготовленном для сборки виде и готовых после установки к включению под напряжение. Комплектные РУ выпускаются как для внутренней (КРУ), так и для наружной (КРУН) установки. Комплектные РУ становятся самой распространенной формой исполнения РУ.

Вместе с тем, широко применяются также РУ смешанного типа, выполняемые частично как сборные и частично как комплектные.

В настоящее время выпускаются комплектные РУ лишь на напряжение 6–35 кВ и для схемы с одной системой сборных шин. Сборные РУ могут быть выполнены при любой схеме электрических соединений.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

менты стандартизированы и размеры здания

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

выполняют из сборных железобетонных конструкций, конструкций ОРУ из сборного железобетона или металла. Железобетонные элементы согласуют с размерами железобетонных

конструкций: ширина здания может быть только кратной трем (6, 9, 12 или 15 м), строительный шаг по длине равен только 6 и 12 м, по высоте обычно 4,8 – 6 м. Применение сборного железобетона позволяет ускорить и осуществить строительство.

Основные требования, предъявляемые к РУ любого вида, заключаются в их безопасности для людей, надежности и экономичности

К проектированию конструкций РУ приступают после того, как разработана главная схема электрических соединений, выбраны электрические аппараты и токоведущие части.

Основой для проектирования конструкции РУ при проектировании конкретной подстанции служат типовые конструктивные решения, разработанные ведущими проектными организациями.

По РУ в пояснительной записке должно быть дано обоснование принимаемой конструкции и краткое описание.

При выполнении чертежей должны соблюдаться следующие требования:

1. Схема разработанного РУ должна соответствовать главной электрической схеме.
2. Размеры и внешний вид электрических аппаратов, изоляторов и шин должны быть вычерчены в соответствии с требованиями ЕСКД.
3. На конструктивном чертеже должны быть указаны размеры строительных конструкций и все электрические расстояния, нормируемые ПУЭ, а также приведена спецификация электрических аппаратов, изоляторов и шин.

## Общие требования к написанию и оформлению работы.

Курсовой проект рекомендуется представлять в объеме 30-40 листов. Текст работы должен быть напечатан через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги (А-4). Текст и другие отпечатанные элементы работы должны быть черными, контуры букв и знаков четкими, без ореола и затенения. Шрифт Times New Roman, кегель 14. Названия глав и параграфов выделяются полужирным шрифтом. Лист с текстом должен иметь поля: слева - 30 мм, справа - 10 мм, сверху - 20 мм, снизу 20 мм.

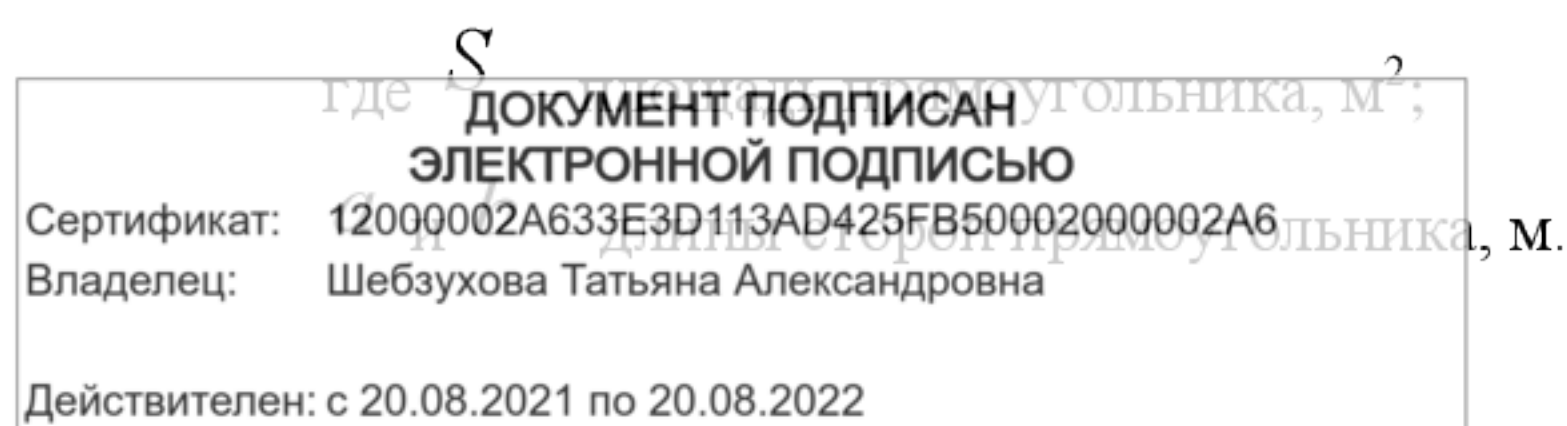
Нумерация страниц текста делается в правом нижнем углу листа. Проставлять номер страницы необходимо со страницы, где печатается «Введение», на которой ставится цифра «4». После этого нумеруются все страницы, включая приложения.

Между названием главы и названием параграфа этой главы ставится пробел равный двум интервалам, а название параграфа не должно отделяться от текста этого параграфа пробелом. Названия параграфов отделяются от текста предыдущего параграфа пробелом, равным двум интервалам. Каждая глава, а также введение, выводы, приложения и список использованной литературы начинаются с новой страницы. Главы имеют порядковые номера в пределах всей работы, обозначаемые арабскими цифрами (например: 1, 2, 3), после которых ставится точка. Слово «параграф» или значок параграфа в названии не ставятся. Параграфы имеют порядковые номера в пределах глав, обозначаемые арабскими цифрами (например: 1.1. и 1.2.). Заголовки глав и параграфов в тексте работы должны располагаться по центру, точку в конце названия главы и параграфа не ставят. Не допускается переносить часть слова в заголовке.

Нумерация таблиц и рисунков может быть сквозной или соотноситься с номером главы и параграфа. Например, если таблица или рисунок включены в текст первого параграфа второй главы, нумерация следующая: Таблица 2.1.1., рис. 2.1.1. Последняя цифра означает порядковый номер таблицы (или рисунка) в данном параграфе. Таблица помещается в качестве следующей страницы после первого упоминания о ней в тексте (см. рис. 2.1.1).

### Образец оформления формулы и уравнения

$$S = ab, \quad (2.1.1)$$



### Образец оформления таблиц

Таблица 2.1.1

#### Историко-культурные объекты региона

| Вид памятника   | Федерального значения | Местного значения | Вновь выявлено | Всего |
|-----------------|-----------------------|-------------------|----------------|-------|
| Архитектурные   | 15                    | 328               | 812            | 1155  |
| Археологии      | 3                     | 144               | 183            | 330   |
| Истории         | 9                     | 220               | 66             | 295   |
| Искусства       | 1                     | 49                | 6              | 66    |
| Садово-парковые | -                     | 17                | -              | 17    |
| Итого           | 28                    | 758               | 1067           | 1853  |

При переносе таблицы на другую страницу ее графы должны быть выделены отдельной строкой и пронумерованы. Над продолжением пишут «Продолжение таблицы ...», «Окончание таблицы ...». Нижнюю горизонтальную черту, ограничивающую первую часть таблицы, не проводят.

Например:

Таблица 2.1.1

#### Количество туристов проживающих в гостинице «Нева» в мае

|     |  |     |  |  |
|-----|--|-----|--|--|
|     |  |     |  |  |
|     |  |     |  |  |
| 456 |  | 566 |  |  |
| 567 |  | 678 |  |  |

Окончание таблицы 2.1.1

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Образец оформления рисунков

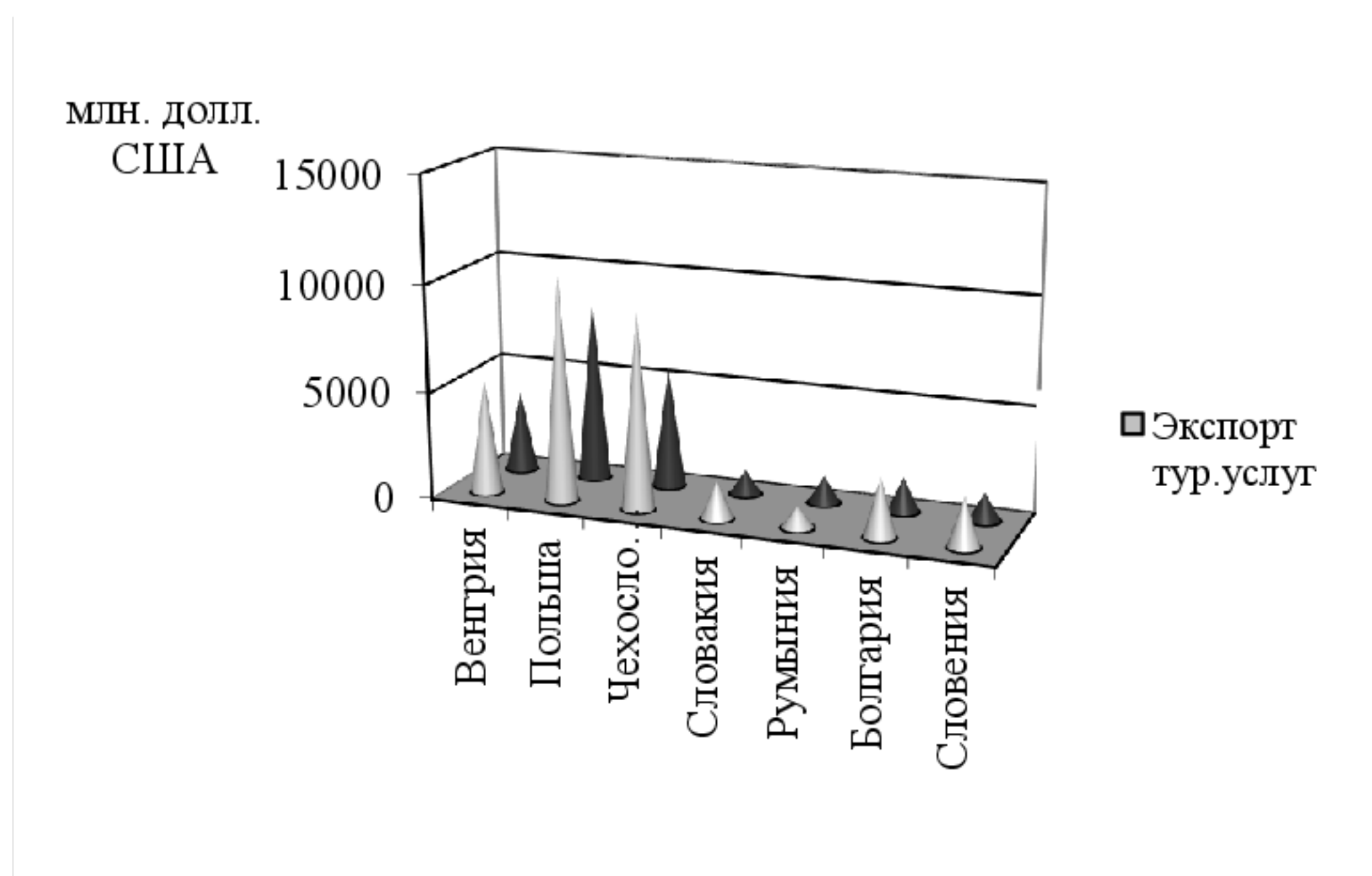


Рис. 2.1.1 Экспорт и импорт туристических услуг в 2014, млн.руб.

### Оформление ссылок

При ссылке в тексте на источники нужно писать порядковый номер источника в списке использованных источников. Порядковый номер источника заключается в квадратную скобку. Если ссылаетесь на конкретную страницу данного источника, то эта страница тоже указывается. Например: [9], [9, с. 123].

Сноски оформляются внизу страницы, на которой расположен текст примечания. Для этого в конце текста примечания ставится звездочка (\*) или цифра (<sup>1</sup>), которая обозначает порядковый номер примечания. Например:

---

<sup>1</sup>Федоров Г.М. Социально-экономическое развитие Калининградской области: учебное пособие. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2016. С. 25.

Если на одной и той же странице цитируется одна и та же книга, во второй сноске можно не повторять полностью ее название;

---

<sup>1</sup> Там же. С. 34.

Если та же книга цитируется на других страницах курсовой работы, то указывается ее автор, а вместо названия пишется «Указ. соч.». Например:

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ |                                        |
| Сертификат:                               | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                 | Шебзухова Татьяна Александровна С. 5.  |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022  |                                        |

Графическая часть проекта выполняется на компьютере на стандартном листе чертежной бумага формата А1 и должна содержать:

- принципиальная электрическая схема проектируемой сети (А1);
- промежуточная одноцепная опора (А1);

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

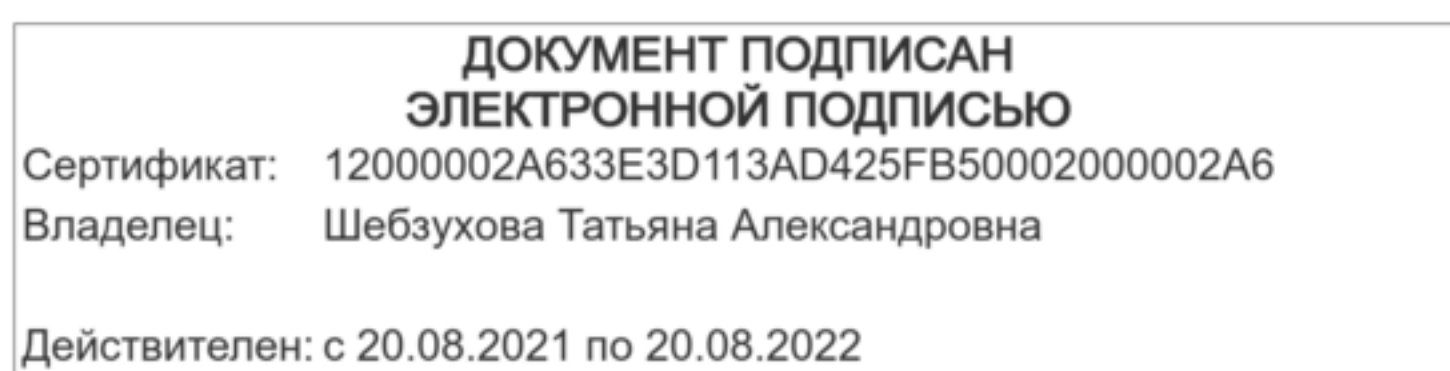
## Последовательность выполнения задания

Руководство курсовыми проектами начинается с выдачи задания студентам. В этот период необходимым условием, обеспечивающим эффективность дальнейшего руководства, является индивидуальная беседа руководителя со студентом по заданию. В ходе беседы руководитель должен выяснить степень подготовленности студента к выполнению данного задания, рекомендовать необходимую литературу и информировать о порядке выполнения задания.

Одной из важных форм руководства является предварительный просмотр выполненного курсового проекта. После проверки руководителем выполнения одного этапа работы студенту (в случае положительного заключения) разрешается перейти к следующему этапу.

В целом последовательность выполнения курсового проекта можно представить в виде следующих этапов работы:

- первый этап (1-2 неделя) - составление плана работы и календарного плана работы на весь период;
- второй этап (3-4 неделя) - систематическая работа над литературой: сбор и анализ материала по рассматриваемой теме;
- на третьем этапе (5-16 недели) – работа над основной частью курсового проекта, которая содержит теоретическую и проектную части;
- на четвертом этапе (17-18 недели) – оформление и предоставление проекта на кафедру.



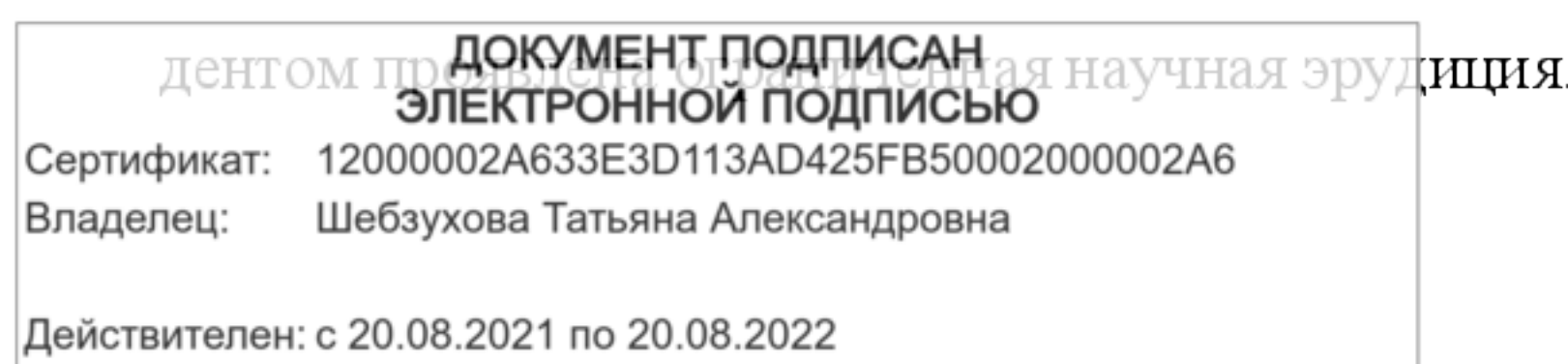
## Критерии оценивания работы

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он показал глубокое и хорошо аргументированное обоснование проектных решений; четкую формулировку и понимание изучаемой проблемы; широкое и правильное использование относящейся к теме литературы и примененных аналитических методов; проявлено умение делать обобщения на основе отдельных деталей. Содержание проекта и ход защиты указывают на наличие навыков работы студента в данной области. Оформление курсового проекта и графического материала соответствует предъявляемым требованиям с наличием необходимой библиографии. Защита курсового проекта показала повышенную подготовленность студента и его склонность к аналитической и проектной работе.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если присутствует аргументированное обоснование проектных решений; четкая формулировка и понимание изучаемой проблемы; использование ограниченного числа литературных источников, но достаточного для проведения проектирования. Работа основана на среднем по глубине анализе изучаемой проблемы и при этом сделано незначительное число обобщений. Содержание проекта и ход защиты указывают на наличие практических навыков работы студента в данной области. Оформление курсового проекта и графического материала соответствует предъявляемым требованиям с наличием необходимой библиографии. Ход защиты курсового проекта показал достаточную теоретическую и практическую подготовку студента.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если присутствует достаточное обоснование проектных решений, но отсутствует глубокое понимание рассматриваемой проблемы. В библиографии даны в основном ссылки на стандартные литературные источники. Труды, необходимые для всестороннего изучения проблемы, использованы в ограниченном объеме. Заметна нехватка компетентности студента в данной области знаний. Оформление курсового проекта и графического материала с элементами небрежности. Защита курсового проекта показала удовлетворительную теоретическую и практическую подготовку студента, ограниченную склонность к научной работе.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если проектные решения ошибочны. суждения по исследуемой проблеме не всегда компетентны. Неточности и неверные выводы по изучаемой литературе. Курсовой проект и графический материал оформлен с элементами заметных отступлений от принятых требований. Во время защиты сту-



## Порядок защиты работы

Защита состоит в коротком докладе студента по выполненной работе и в ответах на вопросы присутствующих на защите. Научный руководитель характеризует работу студента над курсовым проектом.

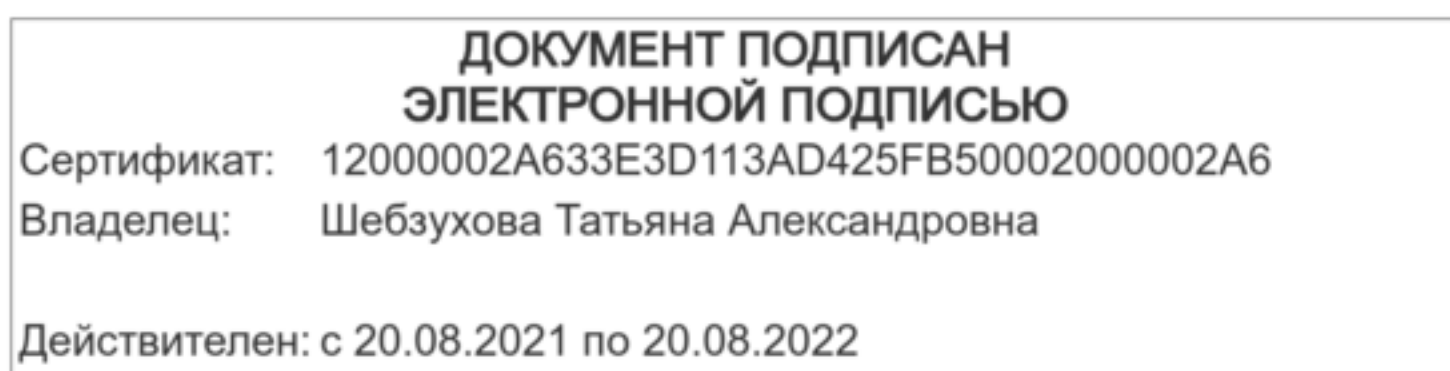
Результаты защиты курсового проекта, согласно действующему Положению о текущем контроле и промежуточной аттестации в СКФУ, оцениваются дифференцированной отметкой по пятибалльной системе. Оценка курсового проекта заносится в зачетную книжку студента и зачетно-экзаменационную ведомость.

Защита курсовых проектов, предусмотренных учебным планом, проводится не позднее, чем за две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии.

Студент, не представивший в установленный срок курсовой проект или не защитивший его по неуважительной причине, считается имеющим академическую задолженность.

Курсовые проекты, представляющие теоретический и практический интерес, следует представлять на конкурс в студенческие научные общества, конференции, отмечать приказом по университету.

Выполненные работы после их защиты должны храниться на кафедре в течение 2 лет, не считая года написания; затем работы, не представляющие для кафедры интерес, уничтожаются по акту.



**Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

**Перечень основной литературы:**

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316>

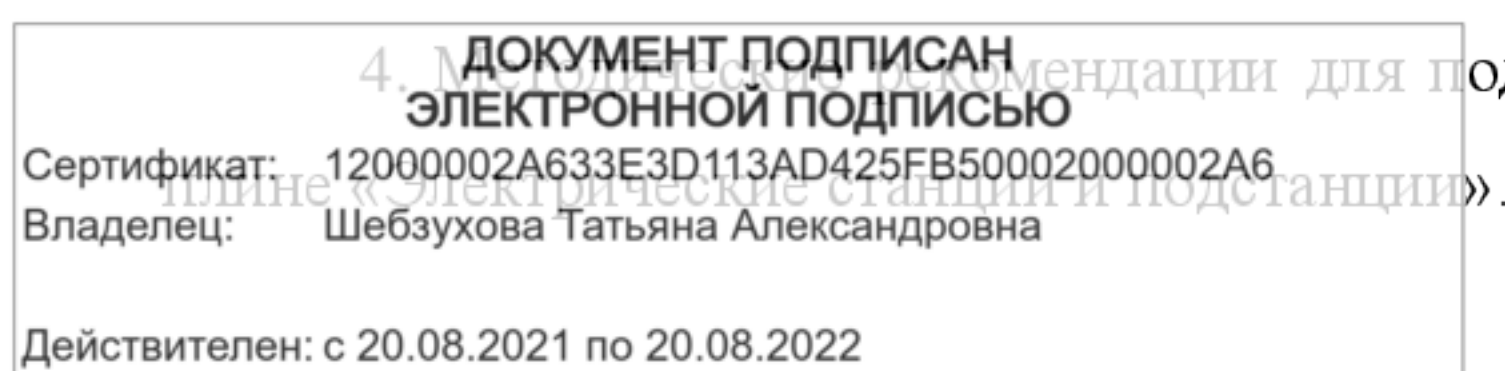
2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции : учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 61-63 - ISBN 978-5-7410-1542-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847>

**Перечень дополнительной литературы:**

1. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - 2-е изд. доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. - 149 с. : ил. - Библиогр.: с. 114 - ISBN 978-5-9729-0207-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493858>

**Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Электрические станции и подстанции».
2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электрические станции и подстанции».
3. Методические рекомендации для выполнения курсового проекта по дисциплине «Электрические станции и подстанции».



***Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

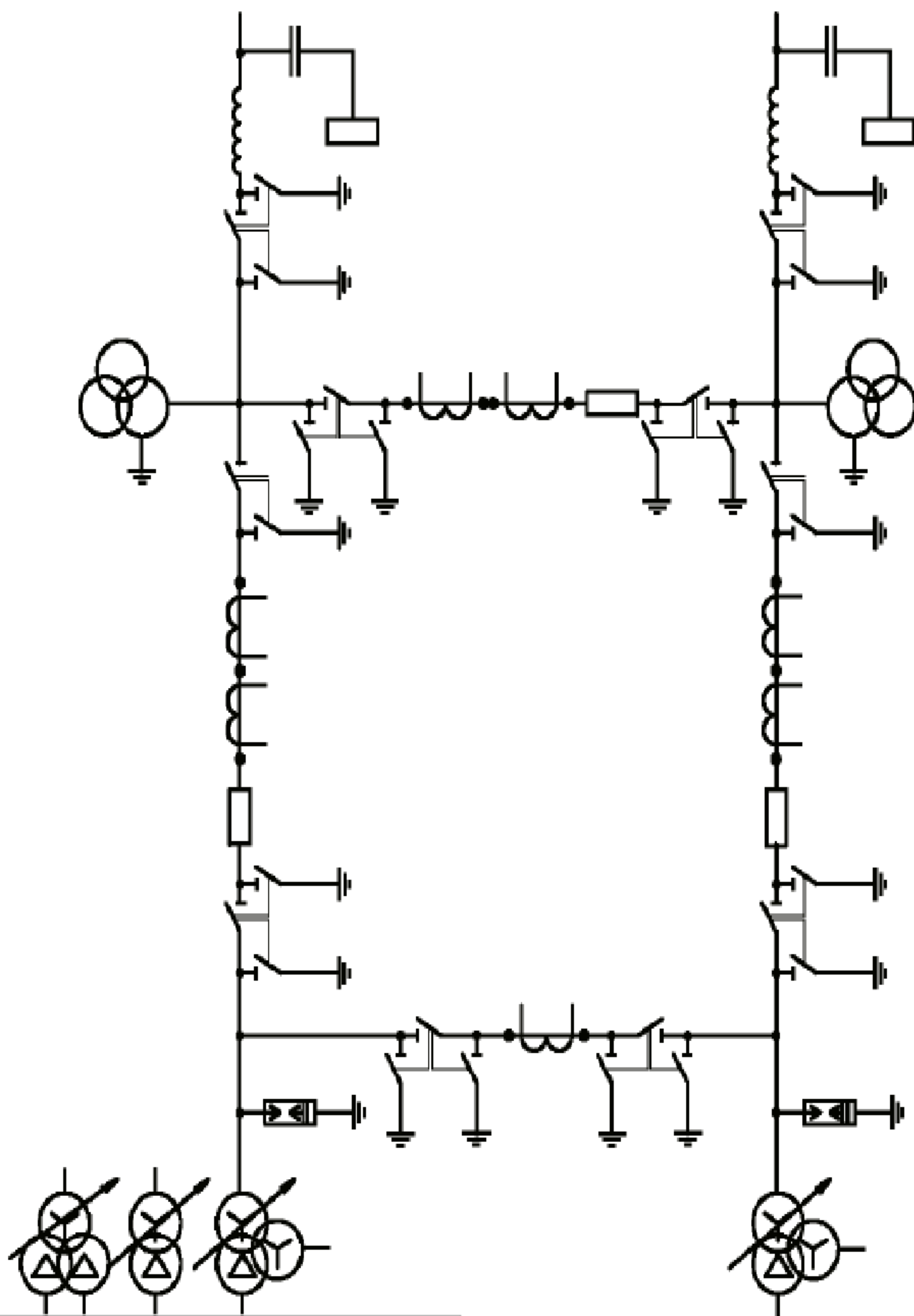
## ПРИЛОЖЕНИЯ

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок Д1.1 – Фрагмент однолинейной схемы ОРУ подстанции

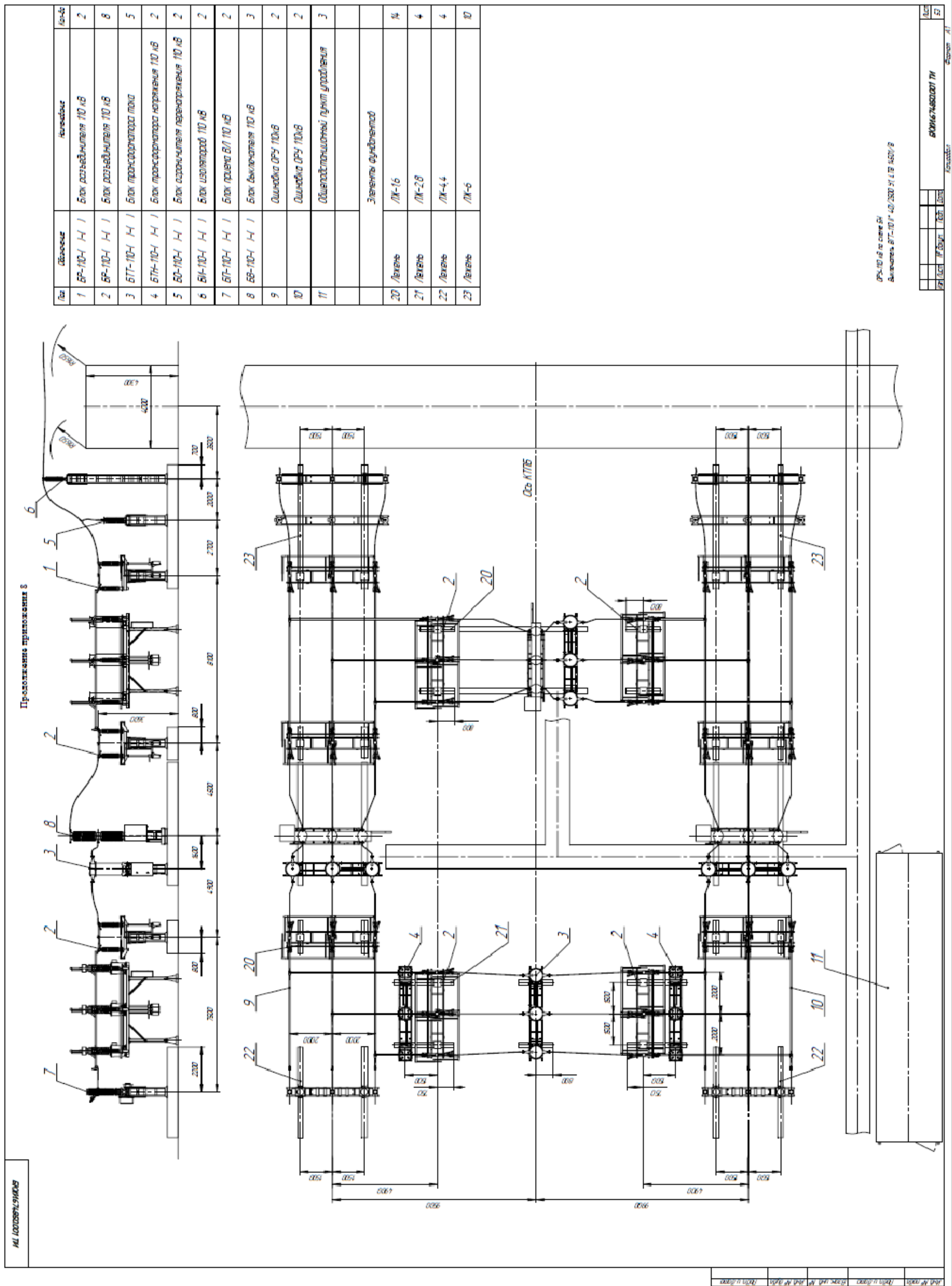


Рисунок П1.2 – Пример компоновки ОРУ подстанции

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

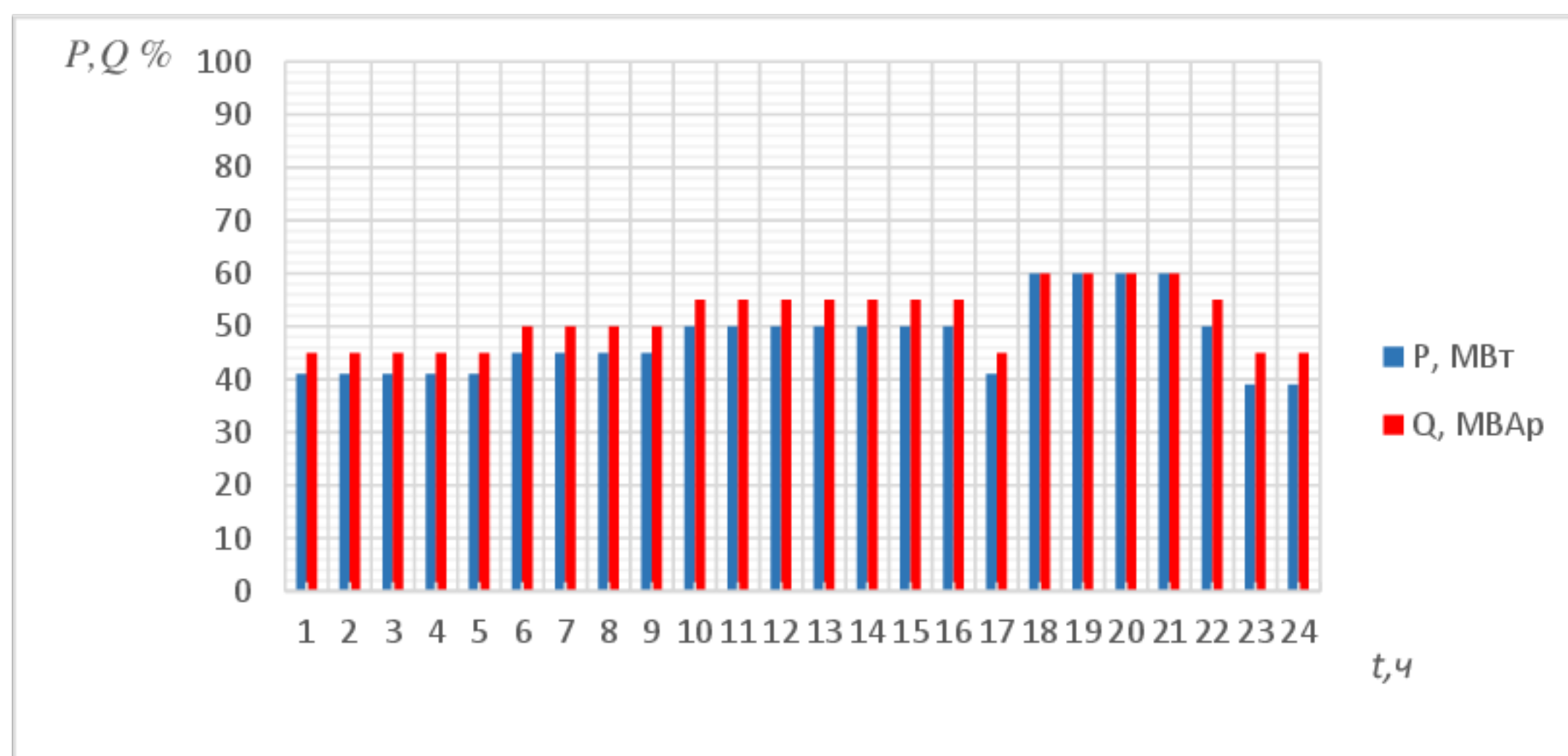
## Приложение 2

### Вариант 1

$$P_{max} = 45000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 45000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 15; 2-ая – 40; 3-ая – 45.

#### 4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распреде-  
лительная  
сеть низкого  
напряжения  
проектируе-  
мой подстан-  
ции

Схема

подключения

питаемых ТП (РП) – секционированная

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,5}$  с,

$$P_{\text{МАКС.}(ТП,РП)} = \underline{3,2} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 25.

#### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПСЗ,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |        | Генератор<br>МВт | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|--------|------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5   |                  | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 1760;3                                  | 30;0,39                                   | 21;0,38 | 14;0,38 | 23;0,41 | 19;0,4 | 63               | 40                  | 16         | 80           | 6,3        |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

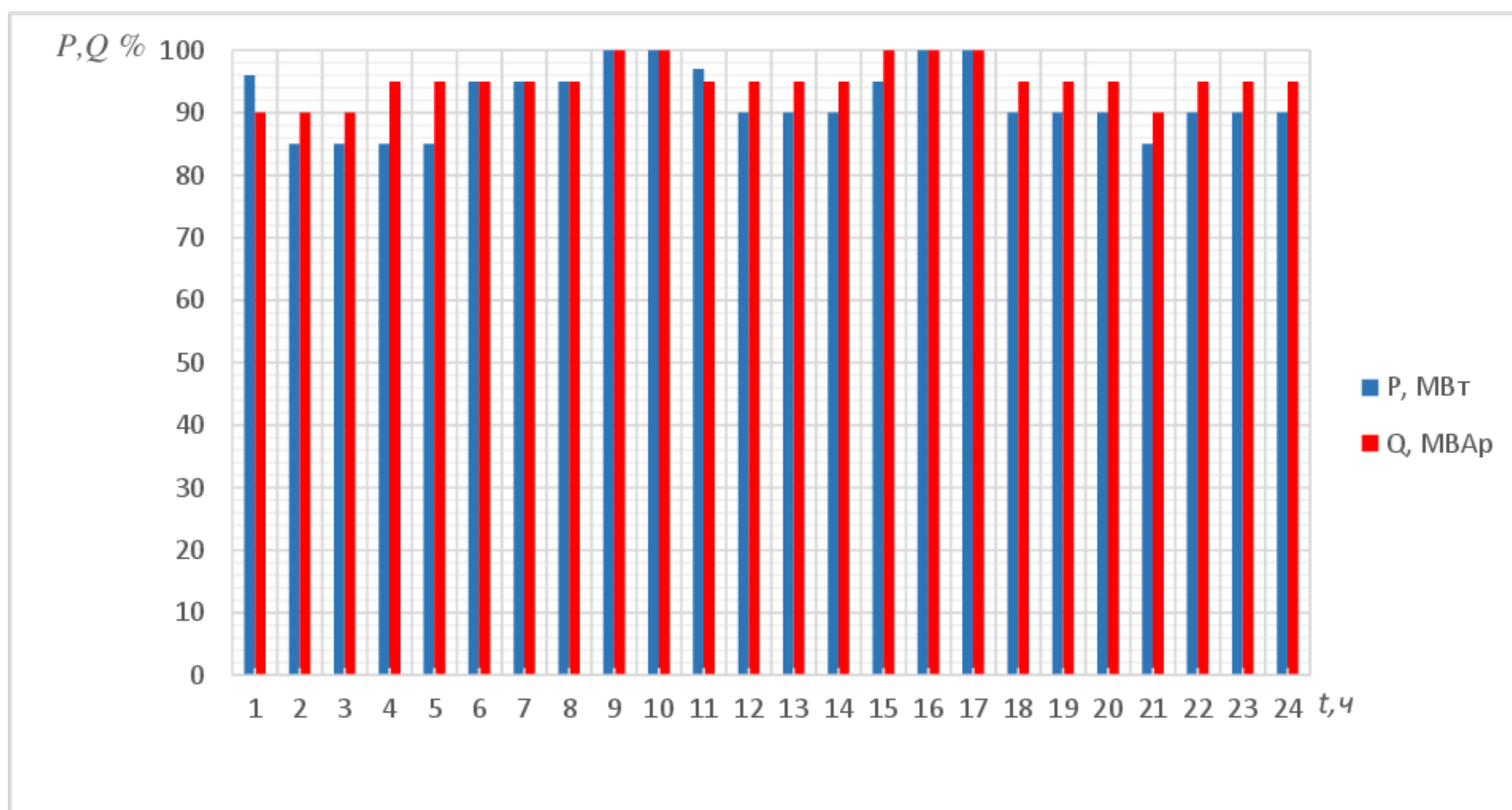
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 2

$$P_{max} = 40000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 40000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 10; 2-ая – 30; 3-ая – 60.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,4}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{2,5} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 44.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПСЗ,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |        |         | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|--------|---------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4   | ВЛ-5    |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 1800;3                                  | 32;0,42                                   | 22;0,39 | 12;0,42 | 24;0,4 | 20;0,41 | 63                                   | 25                  | 16         | 80           | 6,3        |

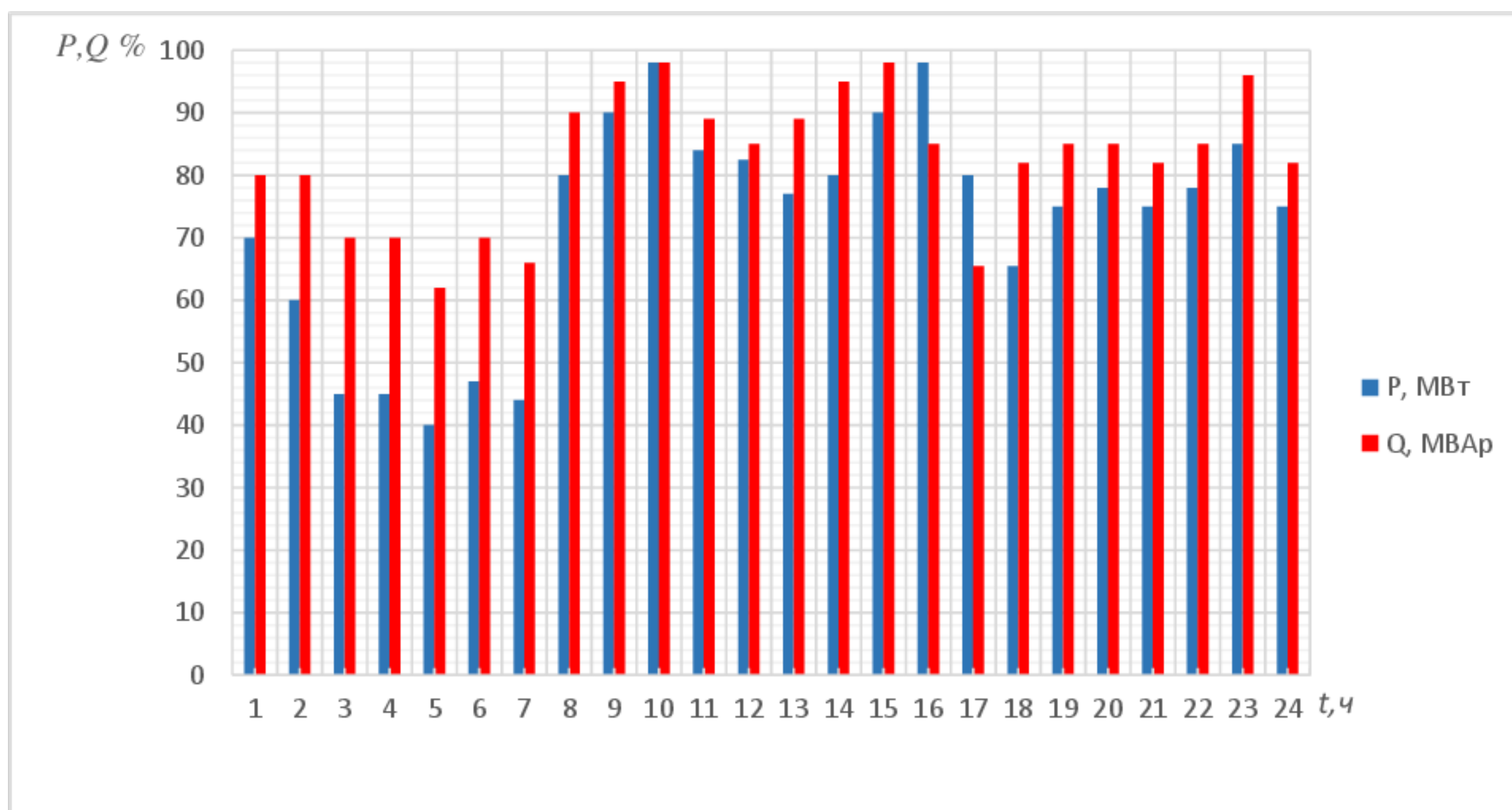
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### Вариант 3

$$P_{max} = 70000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 65000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 25; 2-ая – 35; 3-ая – 40.

#### 4.2 Суточный график нагрузки



#### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,5}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{4} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 38.

#### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |         | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5    |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 1900;3                                  | 28;0,38                                   | 20;0,30 | 14;0,42 | 22;0,41 | 21;0,42 | 100                                  | 40                  | 10         | 125          | 10         |

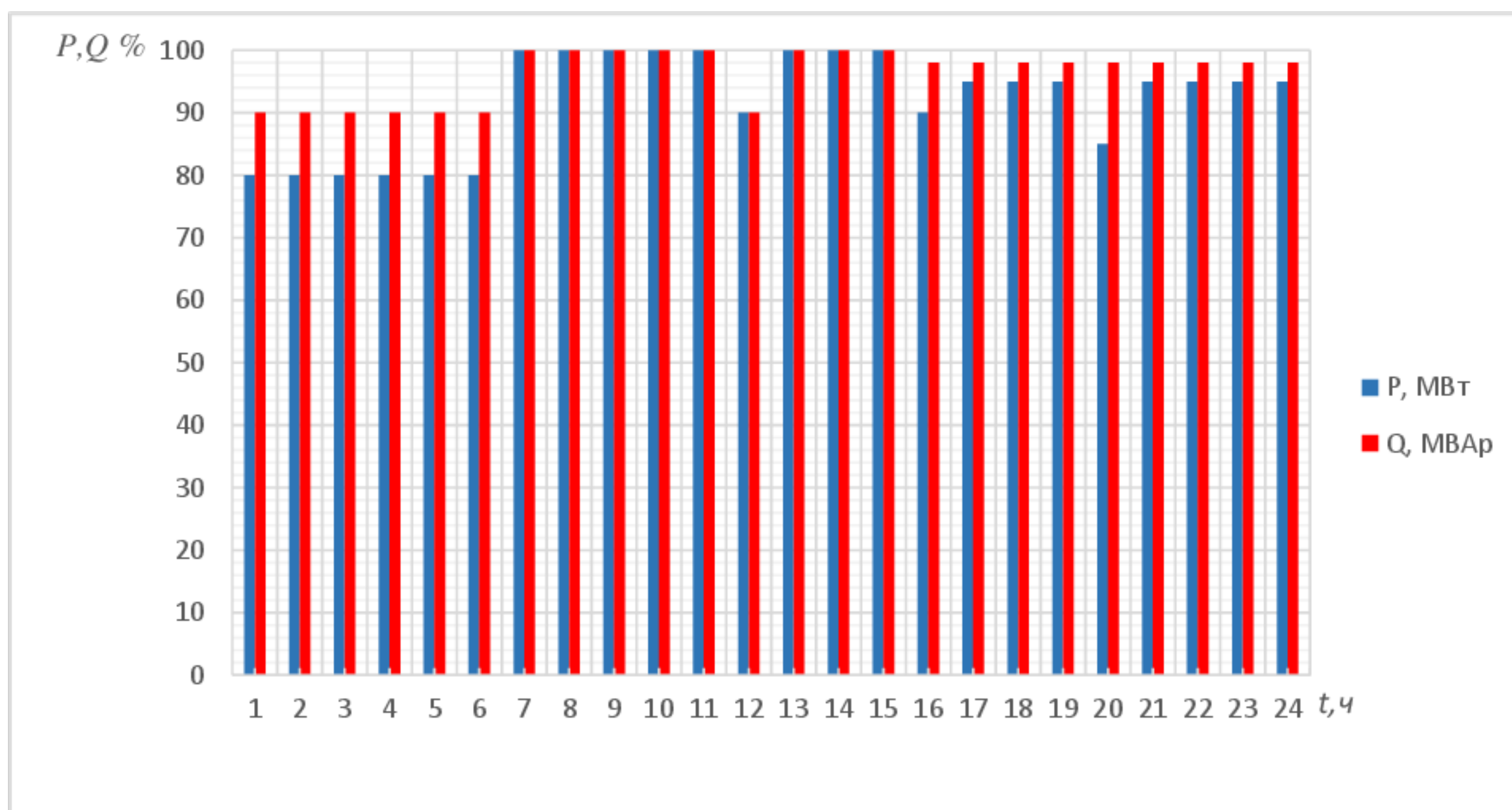
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 4

$$P_{max} = 72000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 72000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 9; 2-ая – 31; 3-ая – 60.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,55}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{5} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 30.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПСЗ,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд},$ Ом/км |        |         |         |         | Генератор<br>МВт<br>Г – 1,2,3 | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|--------|---------|---------|---------|-------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                              | ВЛ-2   | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5    |                               | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2000;2,9                                | 22;0,38                           | 19;0,4 | 16;0,42 | 24;0,42 | 22;0,39 | 100                           | 25                  | 16         | 125          | 10         |

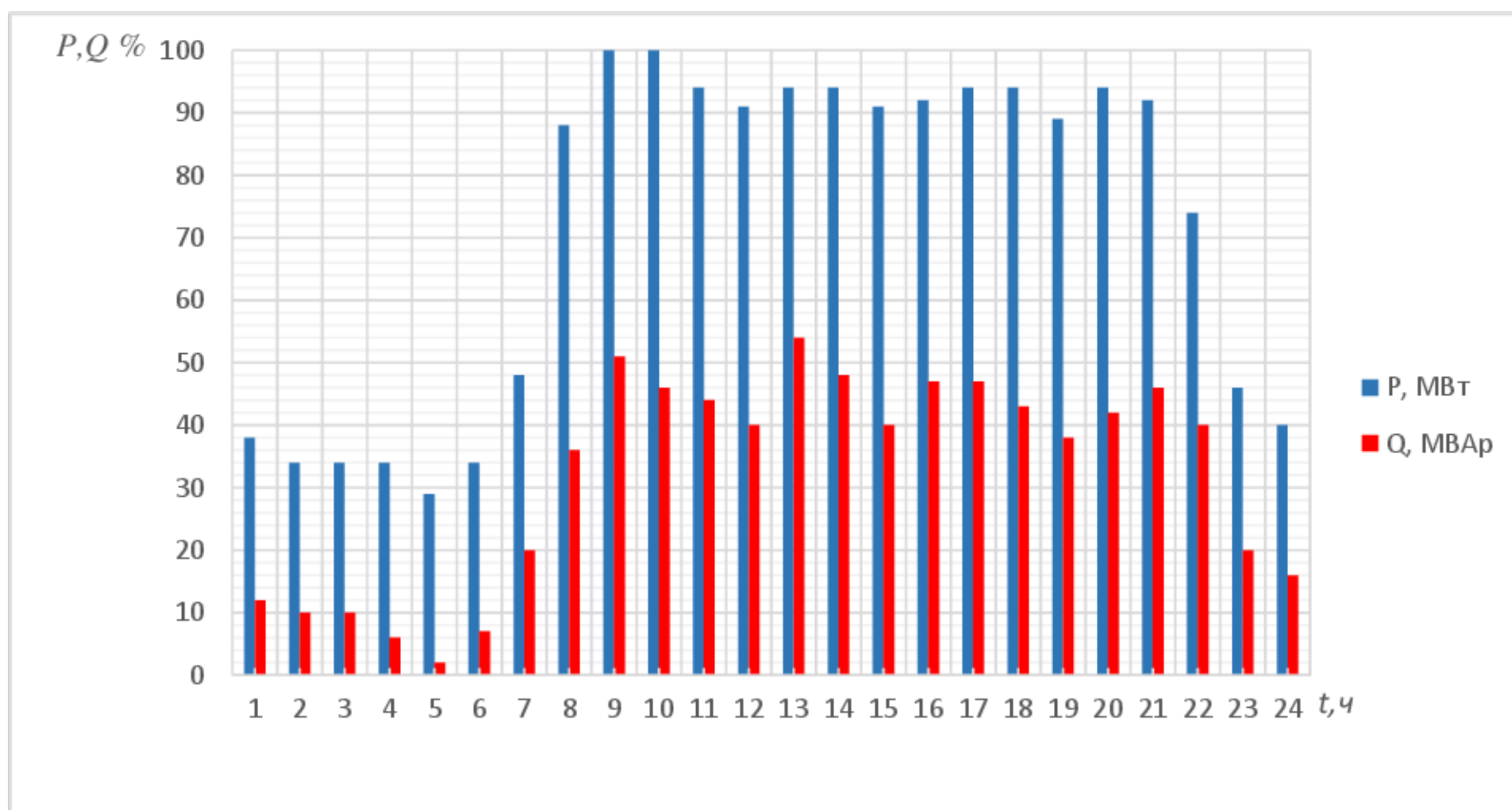
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 5

$$P_{max} = 60000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 30000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 18; 2-ая – 25; 3-ая – 57.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{\text{рз.выкл.присоед}} = \underline{0,5}$  с,

$$P_{\text{макс.}(ТП,РП)} = \underline{3} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 22.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |        |         |         |      | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|--------|---------|---------|------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2   | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5 |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2100;3                                  | 27;0,38                                   | 18;0,4 | 15;0,42 | 25;0,39 | -    | 32                                   | 40                  | -          | 40           | 6,3        |

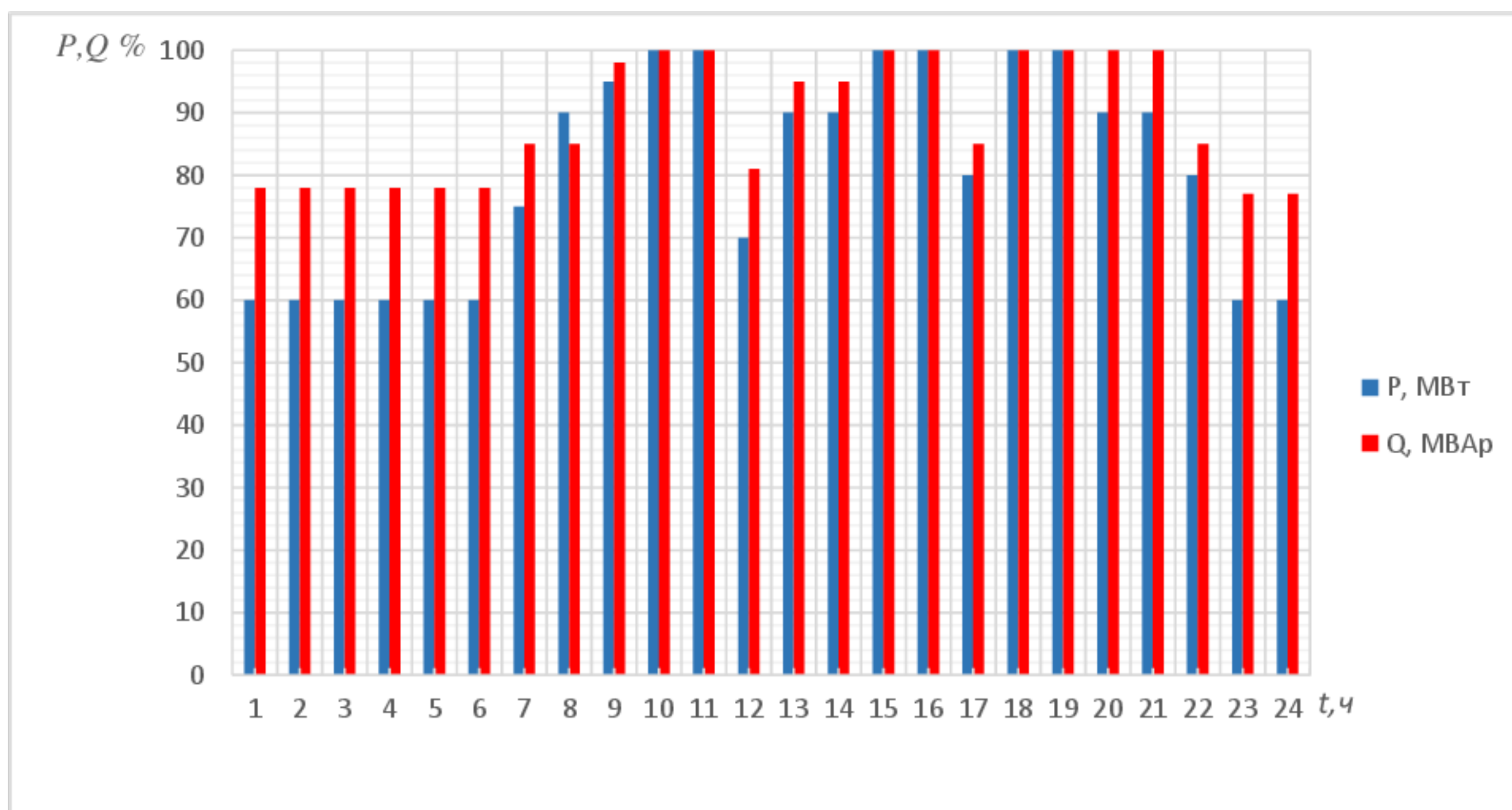
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 6

$$P_{max} = 25000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 25000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 22; 2-ая – 35; 3-ая – 43.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,45}$  с,

$$P_{\text{макс.}(ТП,РП)} = \underline{2} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 18.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |      | Генератор<br>МВт<br>Г – 1,2,3 | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|------|-------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5 |                               | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2200;3                                  | 26;0,38                                   | 17;0,42 | 14;0,42 | 26;0,41 | -    | 32                            | 25                  | -          | 40           | 6,3        |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

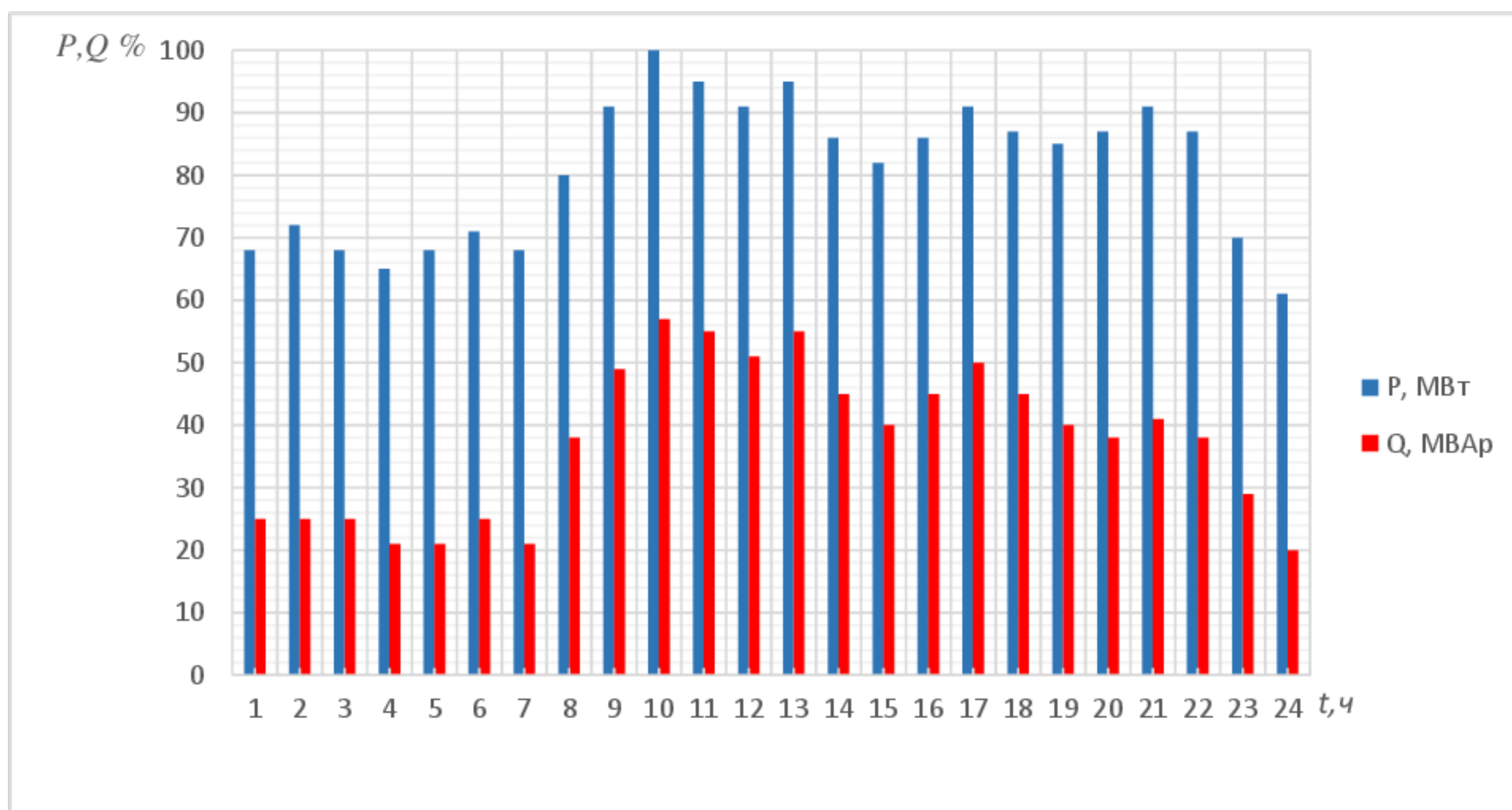
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 7

$$P_{max} = 62000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 38000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 22; 2-ая – 18; 3-ая – 60.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{\text{рз.выкл.присоед}} = \underline{0,6}$  с,

$$P_{\text{макс.}(ТП,РП)} = \underline{3,5} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 29.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПСЗ,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |        |        |         | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|--------|--------|---------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3   | ВЛ-4   | ВЛ-5    |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2300;3                                  | 18;0,38                                   | 16;0,39 | 11;0,4 | 32;0,4 | 31;0,41 | 63                                   | 40                  | 10         | 80           | 10         |

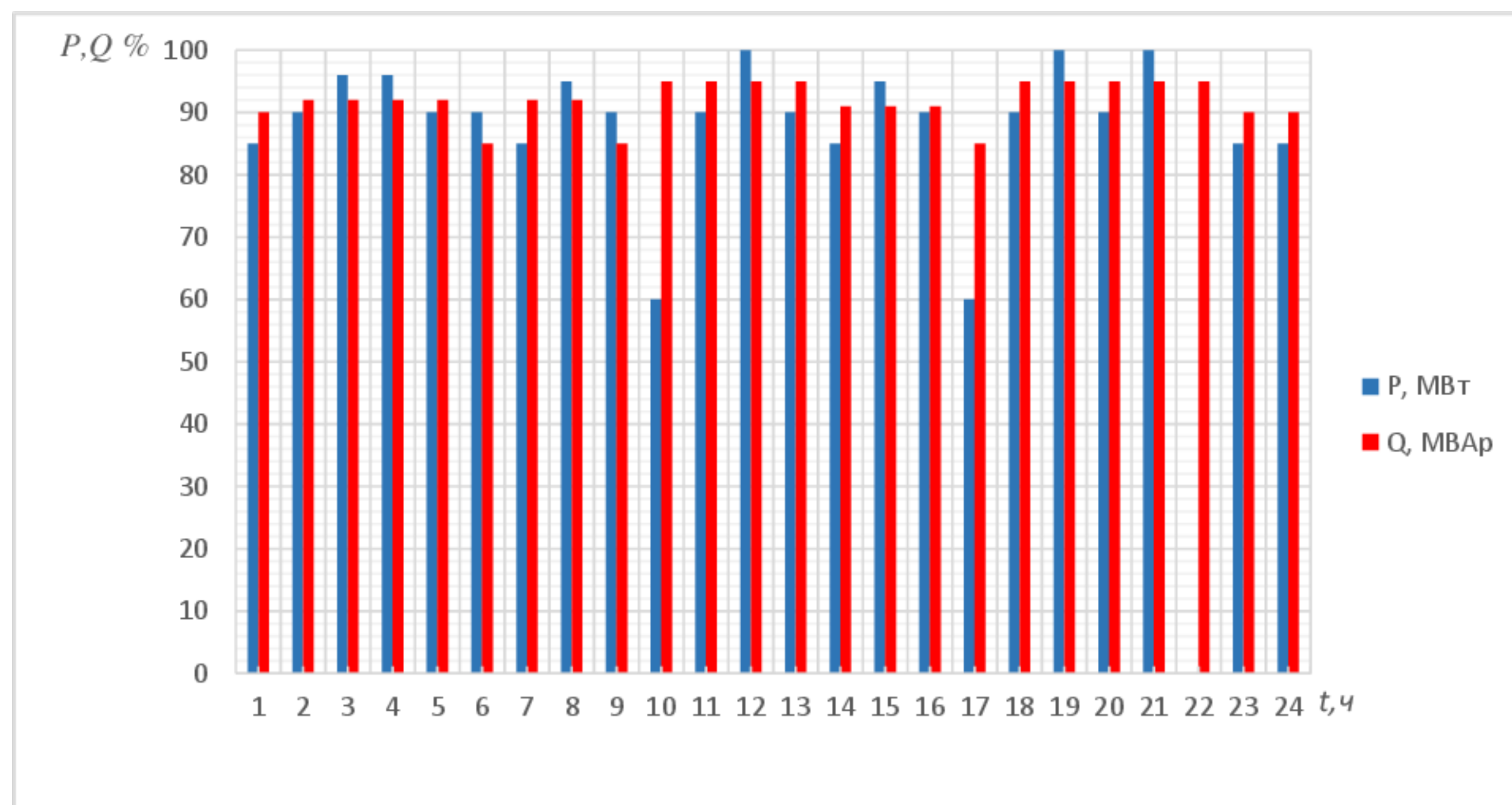
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 8

$$P_{max} = 70000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 65000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 25; 2-ая – 40; 3-ая – 35.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,5}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{3,8} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 35.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПСЗ,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |         | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5    |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2950;3                                  | 10;0,38                                   | 15;0,30 | 18;0,42 | 21;0,41 | 11;0,42 | 100                                  | 25                  | 63         | 125          | 16         |

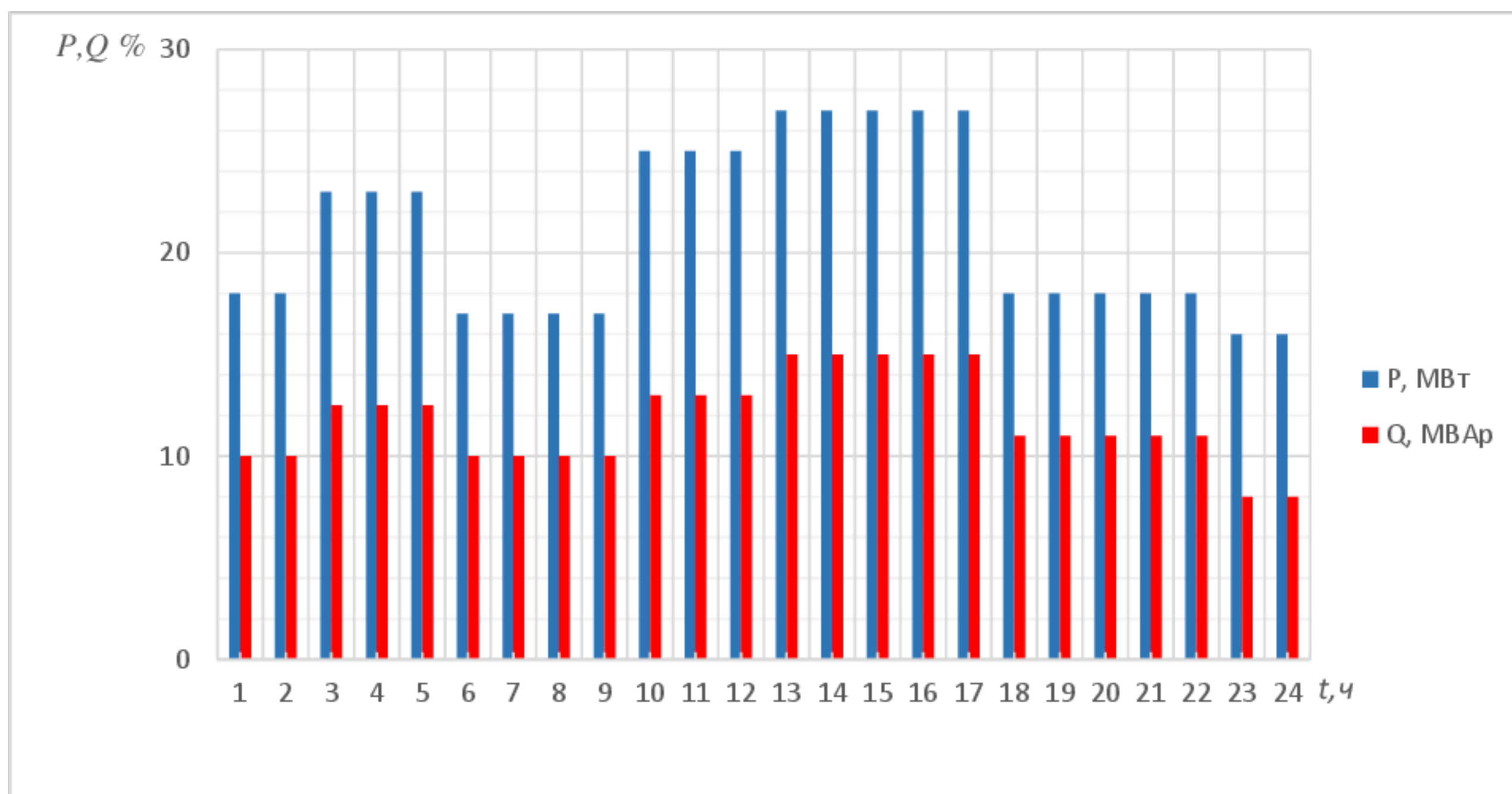
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 9

$$P_{max} = 30000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 15000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 22; 2-ая – 40; 3-ая – 38.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{\text{рз.выкл.присоед}} = \underline{0,6}$  с,

$$P_{\text{макс.}(TP, RP)} = \underline{2,2} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 31.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |        |        | Генератор<br>МВт<br>Г – 1,2,3 | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|--------|--------|-------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4   | ВЛ-5   |                               | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 3000;3                                  | 21;0,38                                   | 30;0,39 | 15;0,41 | 28;0,4 | 18;0,4 | 63                            | 40                  | 16         | 80           | 6,3        |

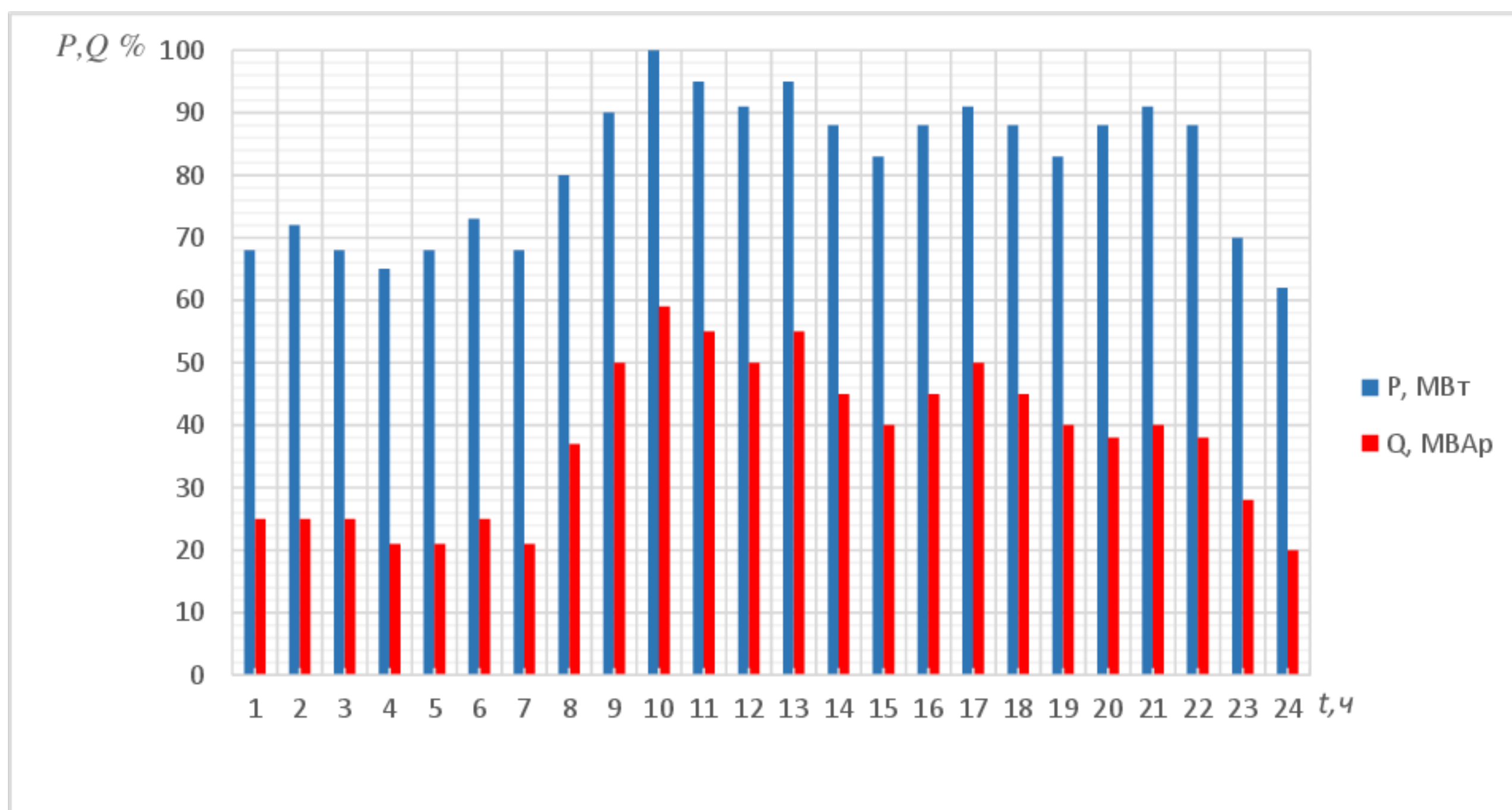
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 10

$$P_{max} = 50000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 30000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 20; 2-ая – 30; 3-ая – 50.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,4}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{2,5} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 23.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |        | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5   |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2450;3                                  | 20;0,38                                   | 22;0,39 | 16;0,39 | 19;0,42 | 21;0,4 | 63                                   | 40                  | 16         | 80           | 16         |

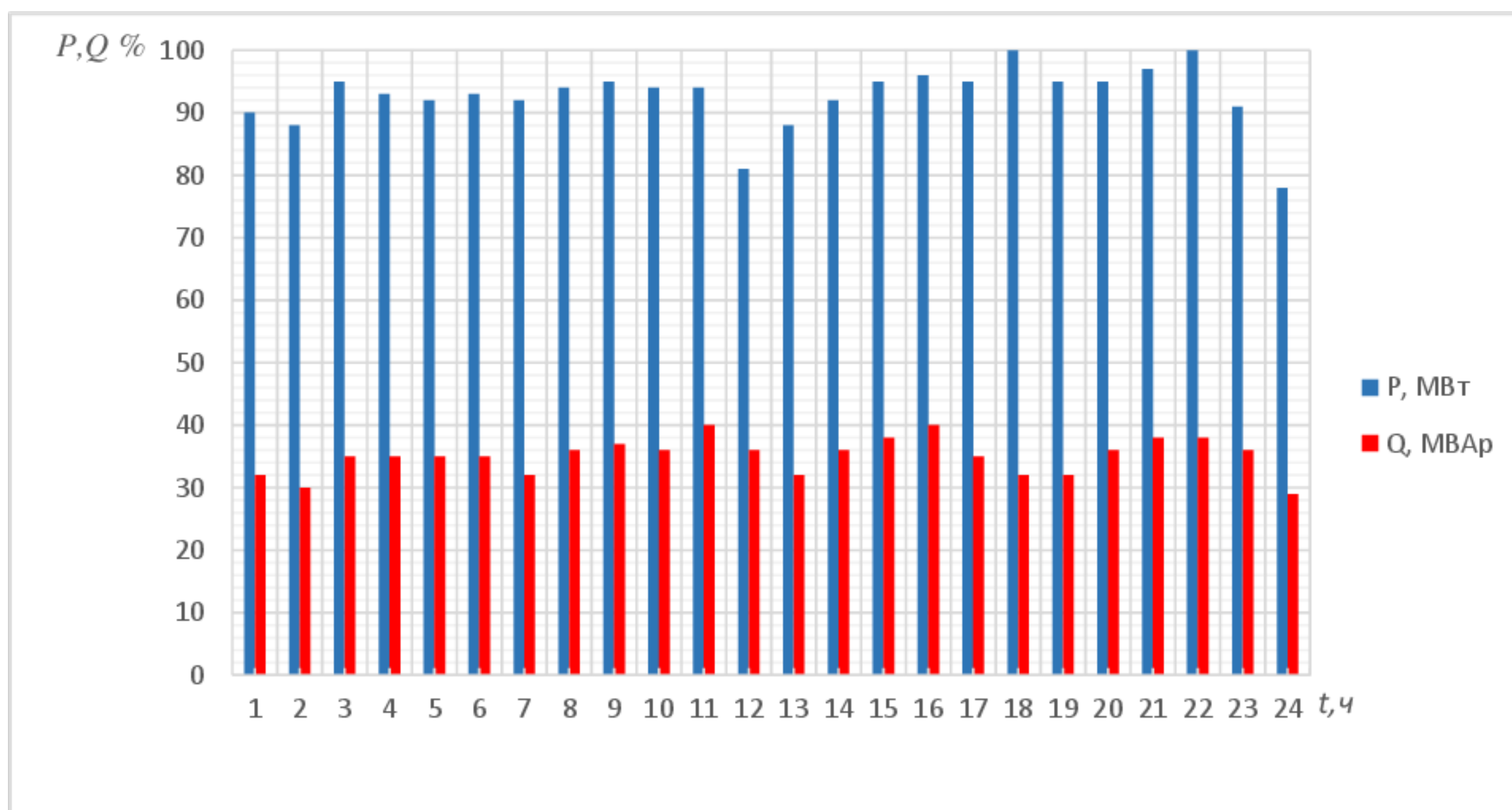
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 11

$$P_{max} = 35000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 15000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 15; 2-ая – 40; 3-ая – 45.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,55}$  с,

$$P_{\text{МАКС.}(ТП,РП)} = \underline{2} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 30.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |        |      | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|--------|------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4   | ВЛ-5 |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2500;3                                  | 25;0,41                                   | 24;0,39 | 20;0,41 | 18;0,4 | -    | 63                                   | 25                  | -          | 80           | 10         |

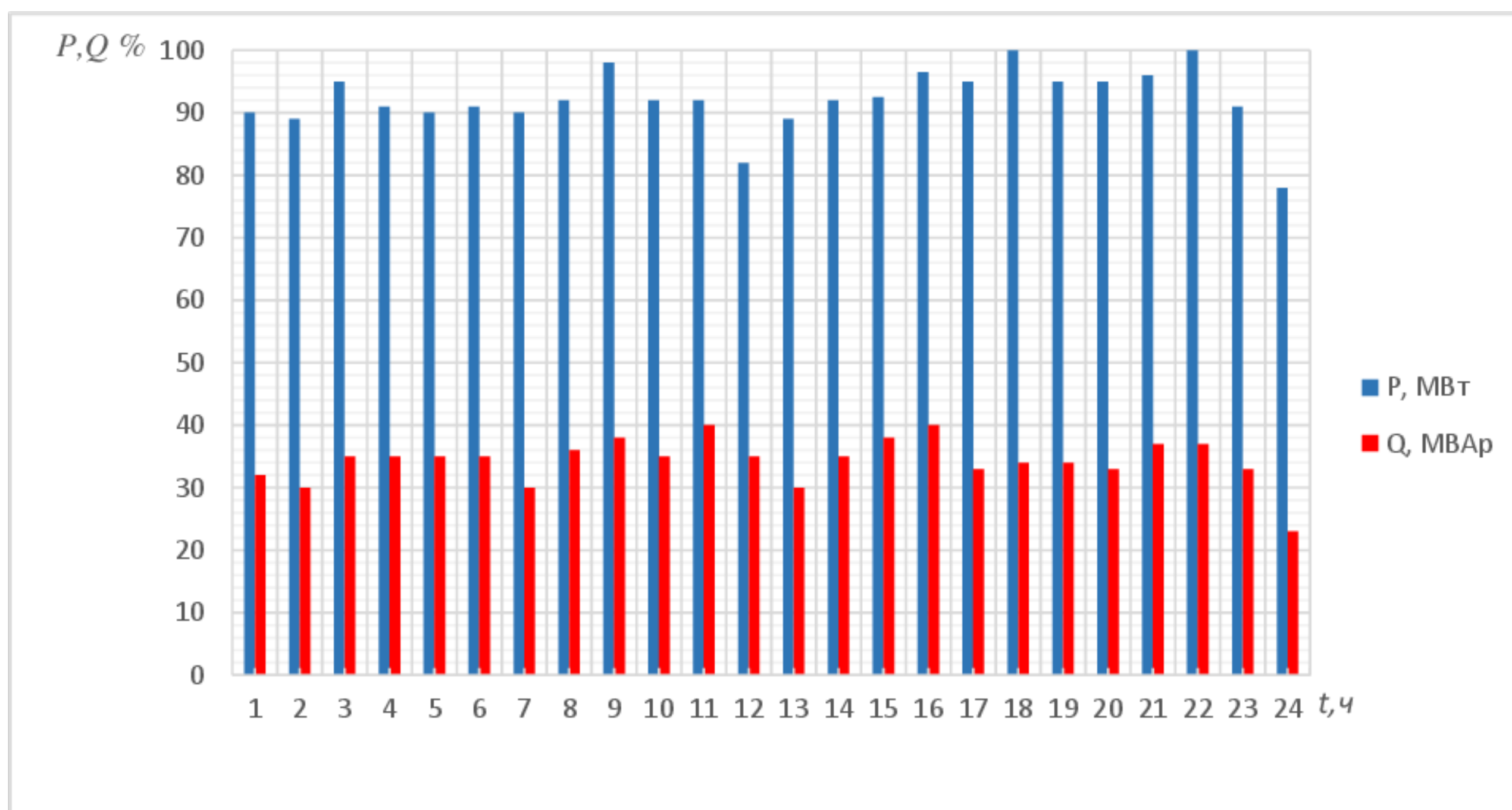
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 12

$$P_{max} = 70000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 60000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 18; 2-ая – 45; 3-ая – 37.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,35}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{1,8} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 22.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |      | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5 |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2800;3                                  | 27;0,38                                   | 26;0,39 | 17;0,38 | 20;0,41 | -    | 100                                  | 40                  | -          | 125          | 16         |

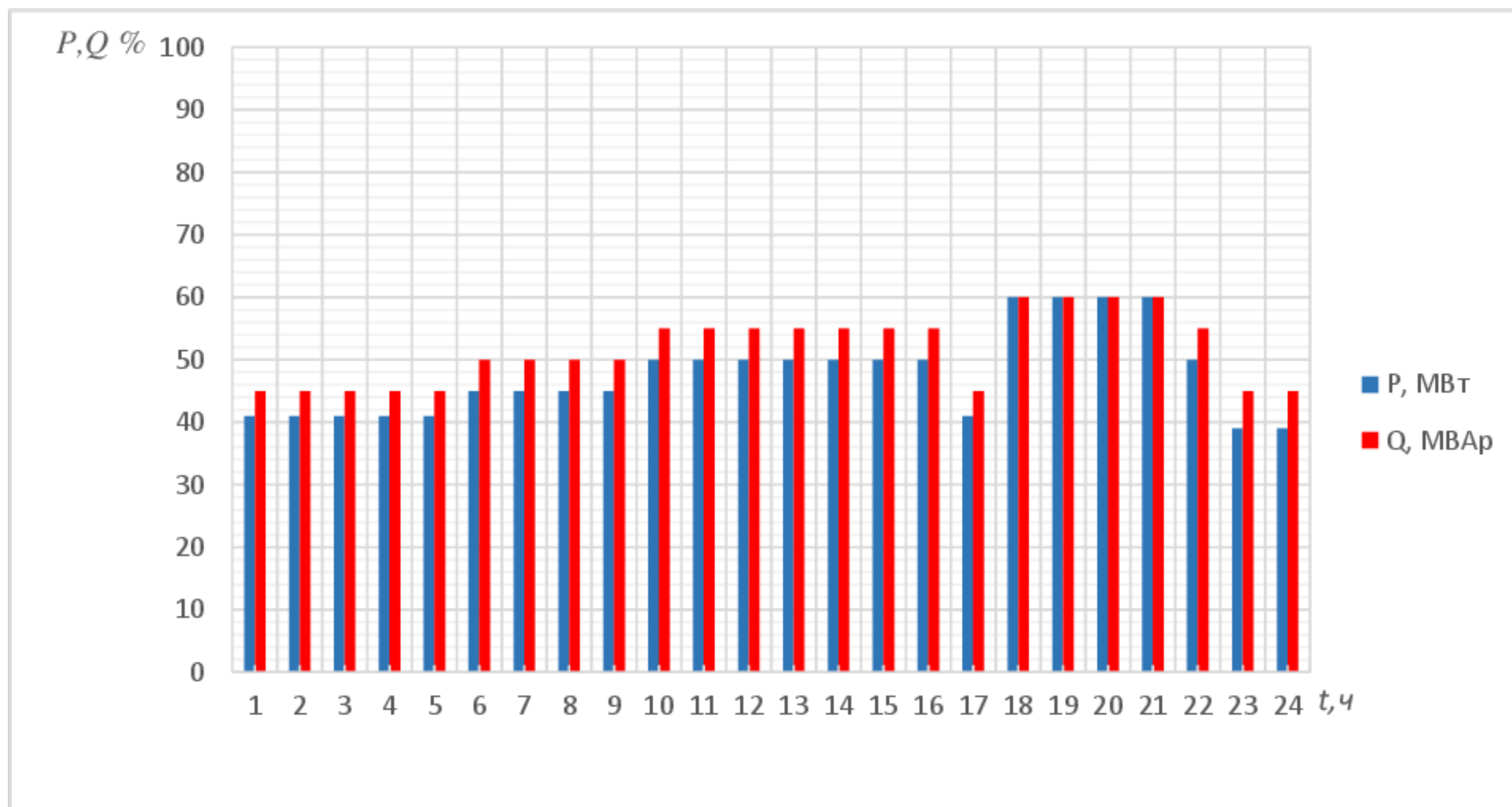
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### Вариант 13

$$P_{max} = 75000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 62000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 25; 2-ая – 40; 3-ая – 45.

#### 4.2 Суточный график нагрузки



#### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{\text{рз.выкл.присоед}} = \underline{0,2} \text{ с}$ ,

$$P_{\text{макс.}(ТП,РП)} = \underline{2,2} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 15.

#### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |        | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5   |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 1760;3                                  | 30;0,39                                   | 21;0,38 | 14;0,38 | 23;0,41 | 19;0,4 | 63                                   | 40                  | 16         | 80           | 6,3        |

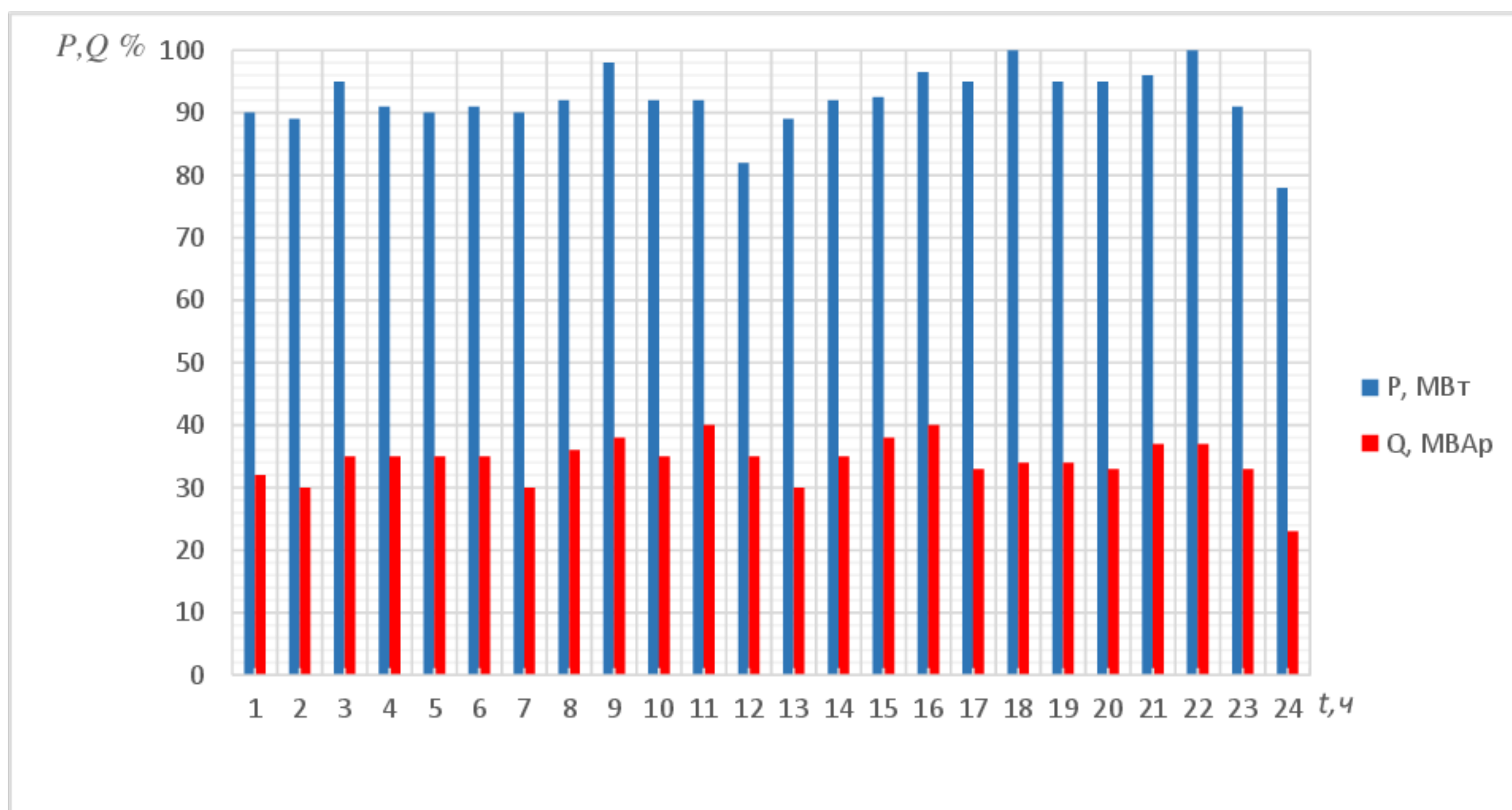
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 14

$$P_{max} = 35000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 55000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 19; 2-ая – 35; 3-ая – 39.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,25}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{4,8} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 30.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |      | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5 |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2800;3                                  | 27;0,38                                   | 26;0,39 | 17;0,38 | 20;0,41 | -    | 100                                  | 40                  | -          | 125          | 16         |

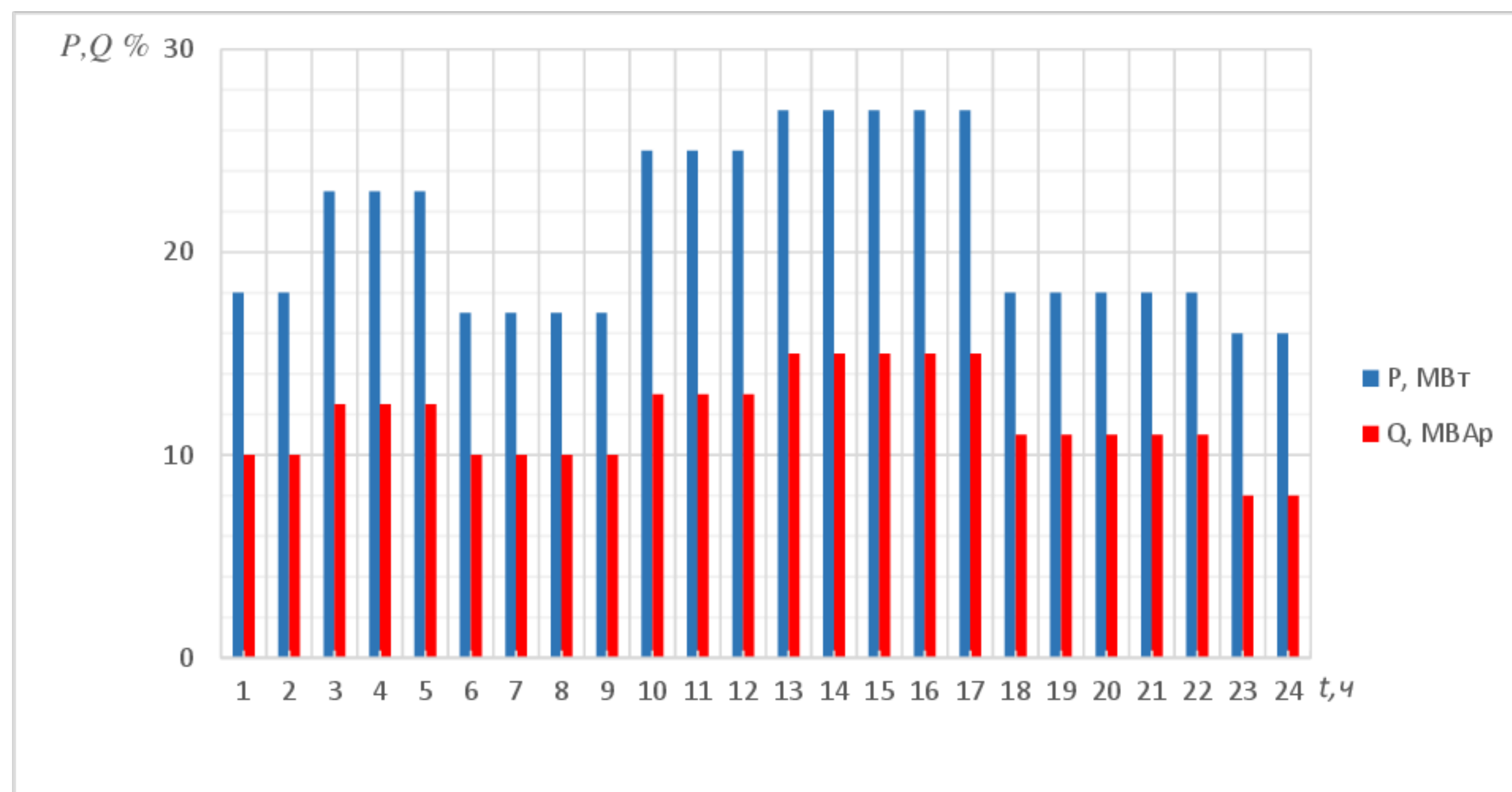
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 15

$$P_{max} = 25000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 20000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 15; 2-ая – 45; 3-ая – 27.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{\text{рз.выкл.присоед}} = \underline{0,6}$  с,

$$P_{\text{макс.}(ТП,РП)} = \underline{4,2} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 51.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |        |        | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4   | ВЛ-5   |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 3000;3                                  | 22;0,37                                   | 27;0,39 | 13;0,47 | 34;0,5 | 18;0,4 | 74                                   | 40                  | 16         | 80           | 6,3        |

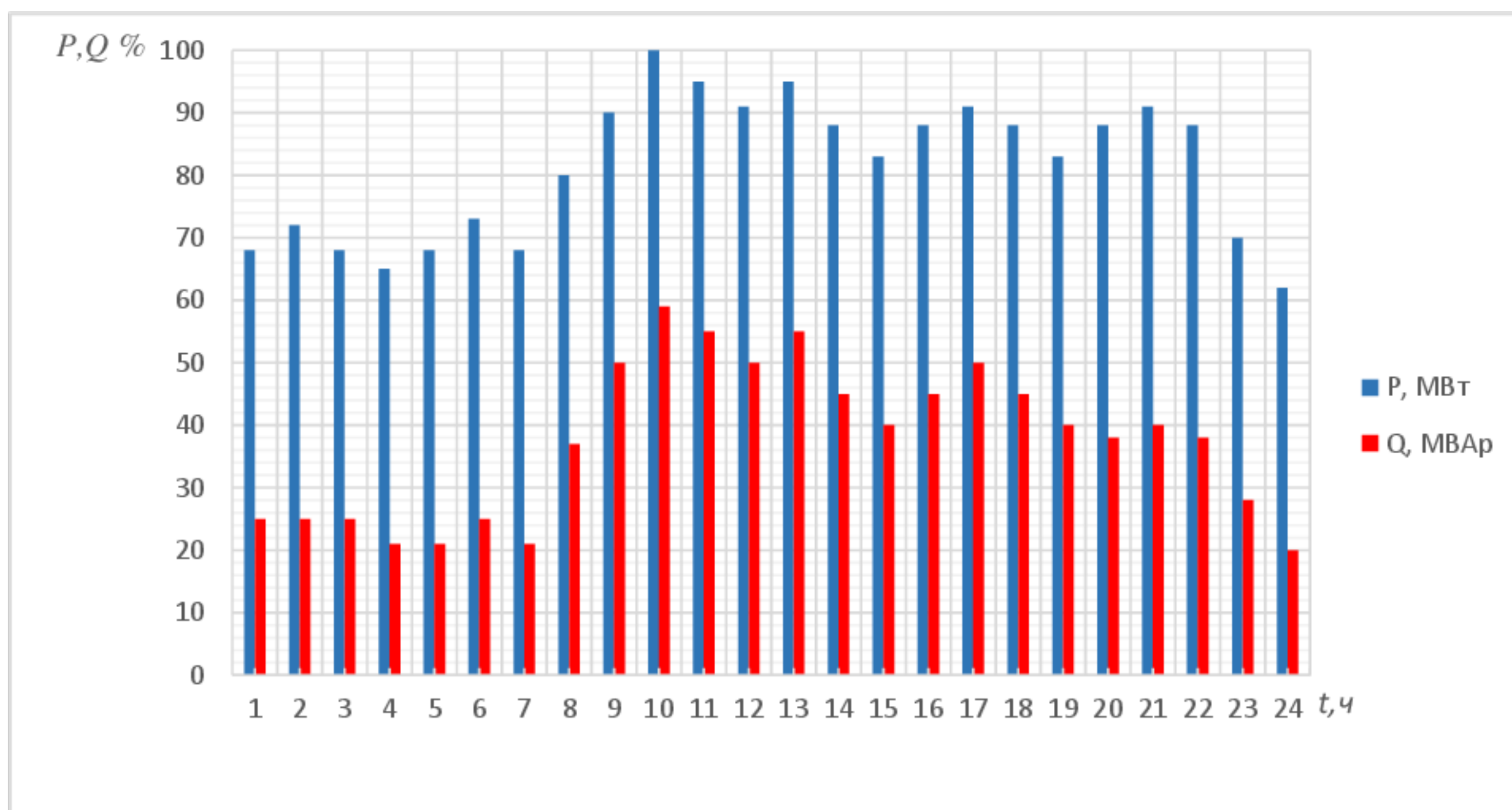
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 16

$$P_{max} = 24000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 11000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 20; 2-ая – 30; 3-ая – 50.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,26}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{1,2} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 20.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |        | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5   |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2000;3                                  | 25;0,38                                   | 13;0,30 | 18;0,39 | 19;0,36 | 24;0,4 | 90                                   | 40                  | 16         | 80           | 16         |

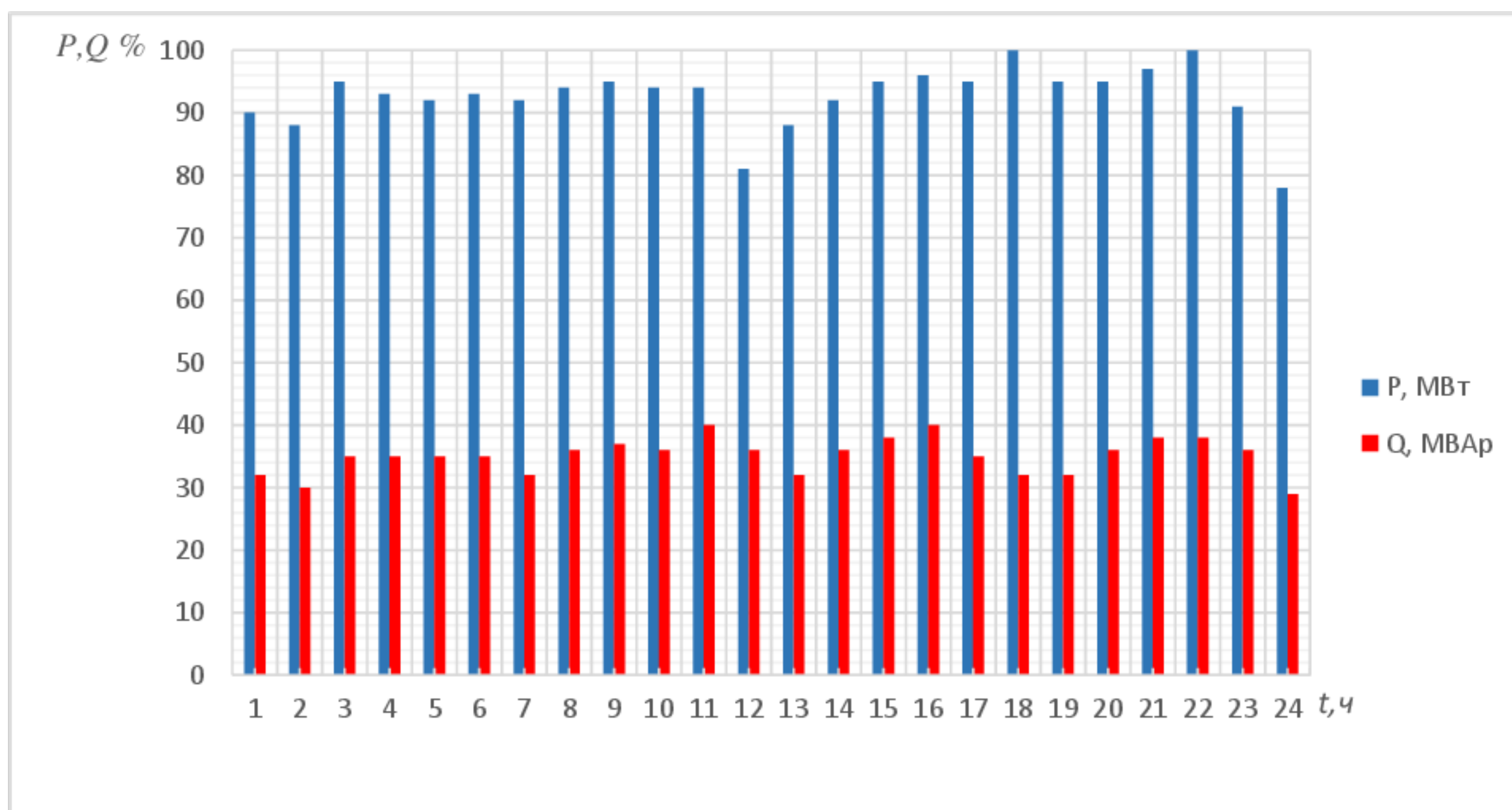
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 17

$$P_{max} = 60000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 56000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 17; 2-ая – 37; 3-ая – 46.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = 0,45 \text{ с}$ ,

$$P_{\text{макс.}(ТП,РП)} = 3,5 \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 24.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |        |      | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|--------|------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4   | ВЛ-5 |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 4000;3                                  | 27;0,39                                   | 15;0,26 | 17;0,45 | 19;0,5 | -    | 45                                   | 27                  | -          | 45           | 6          |

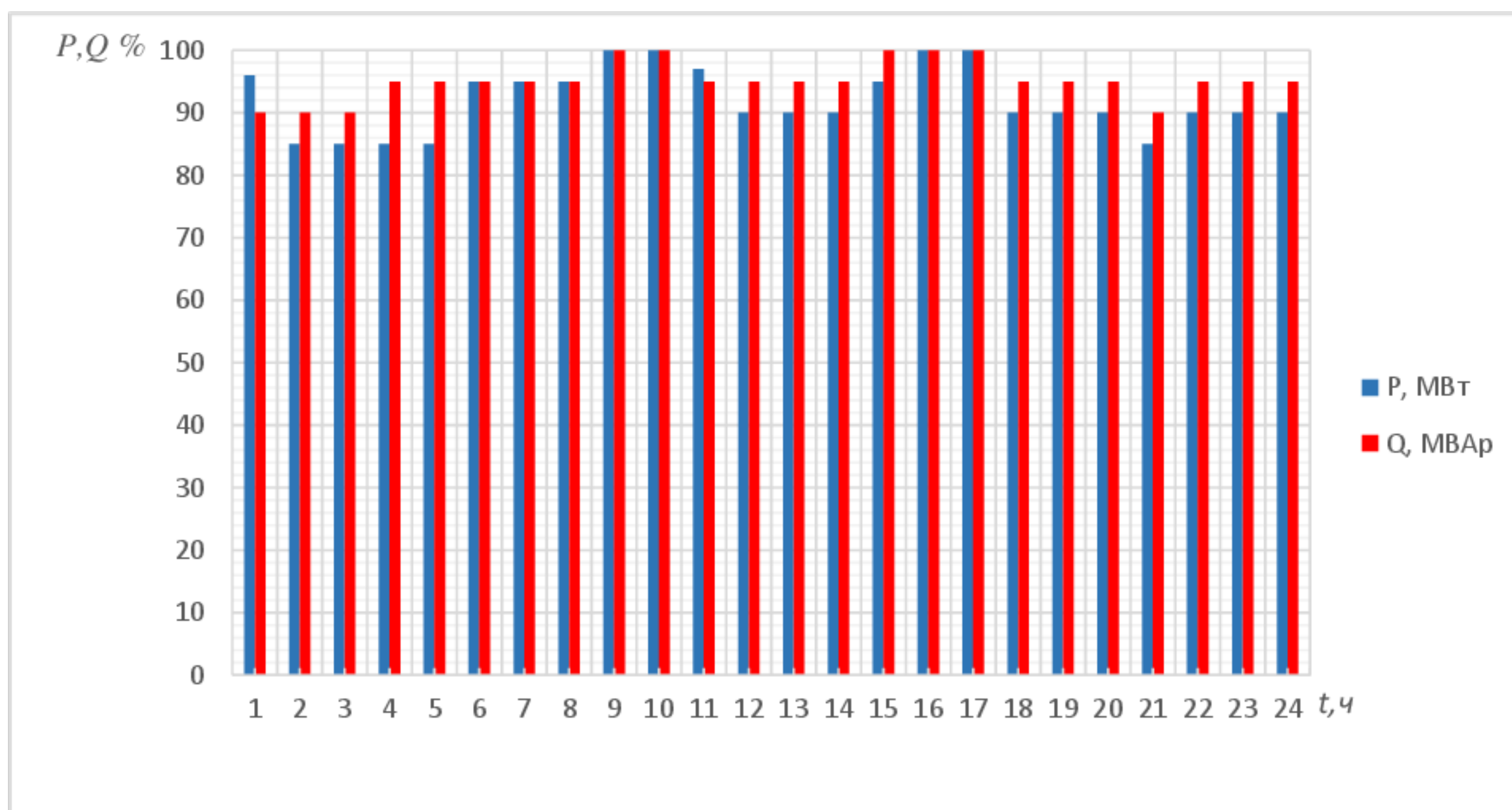
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 18

$$P_{max} = 67000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 48000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 11; 2-ая – 24; 3-ая – 57.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,15}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{3,2} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 37.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |        |         | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|--------|---------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4   | ВЛ-5    |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 1400;3                                  | 32;0,27                                   | 28;0,42 | 14;0,47 | 27;0,4 | 20;0,41 | 120                                  | 30                  | 25         | 90           | 7,5        |

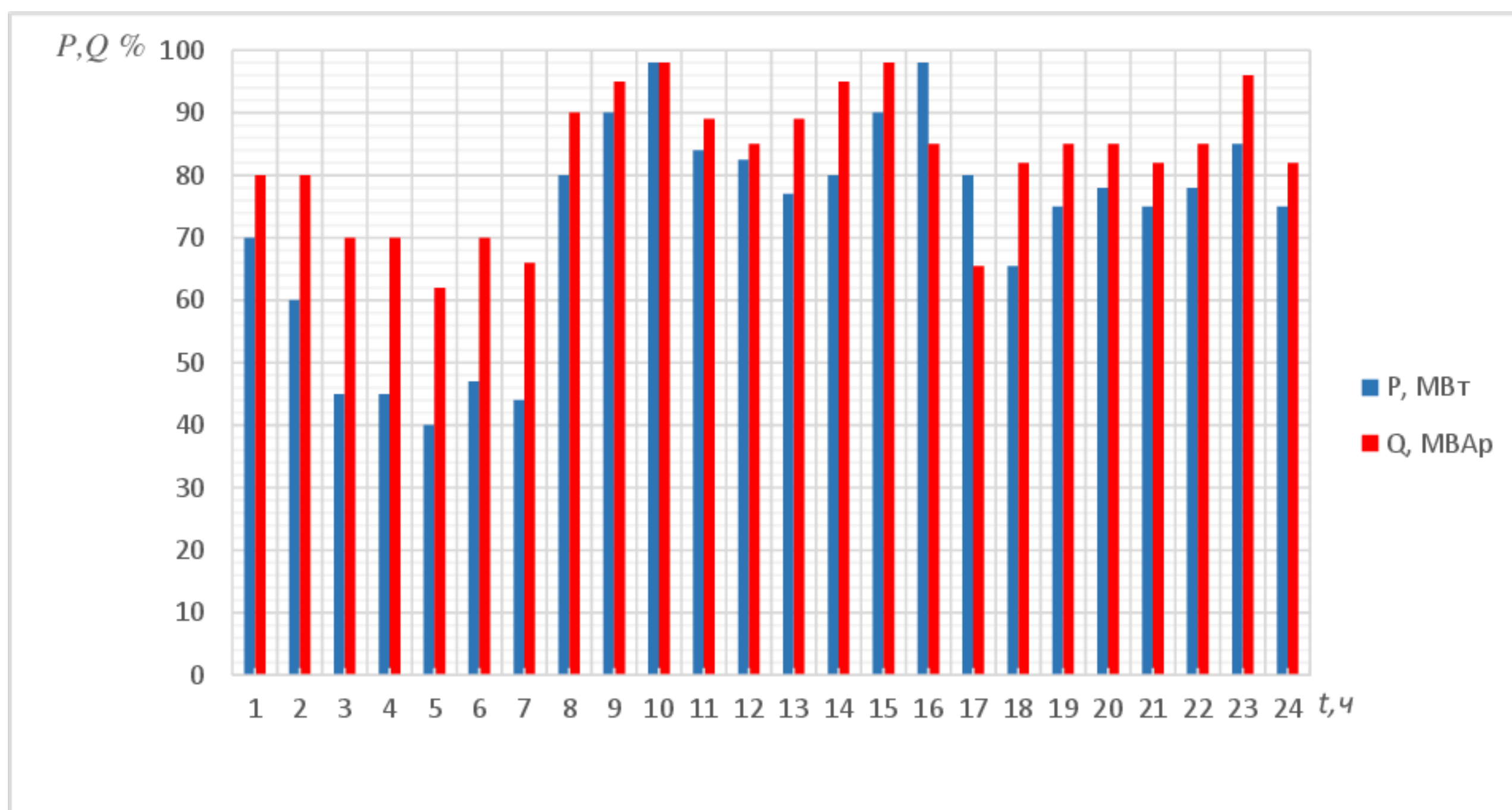
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 19

$$P_{max} = 80000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 73000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 45; 2-ая – 37; 3-ая – 41.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,27}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{5,9} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 42.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |        | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5   |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 3000;3                                  | 20;0,38                                   | 21;0,42 | 10;0,41 | 25;0,35 | 27;0,4 | 95                                   | 45                  | 15         | 125          | 10         |

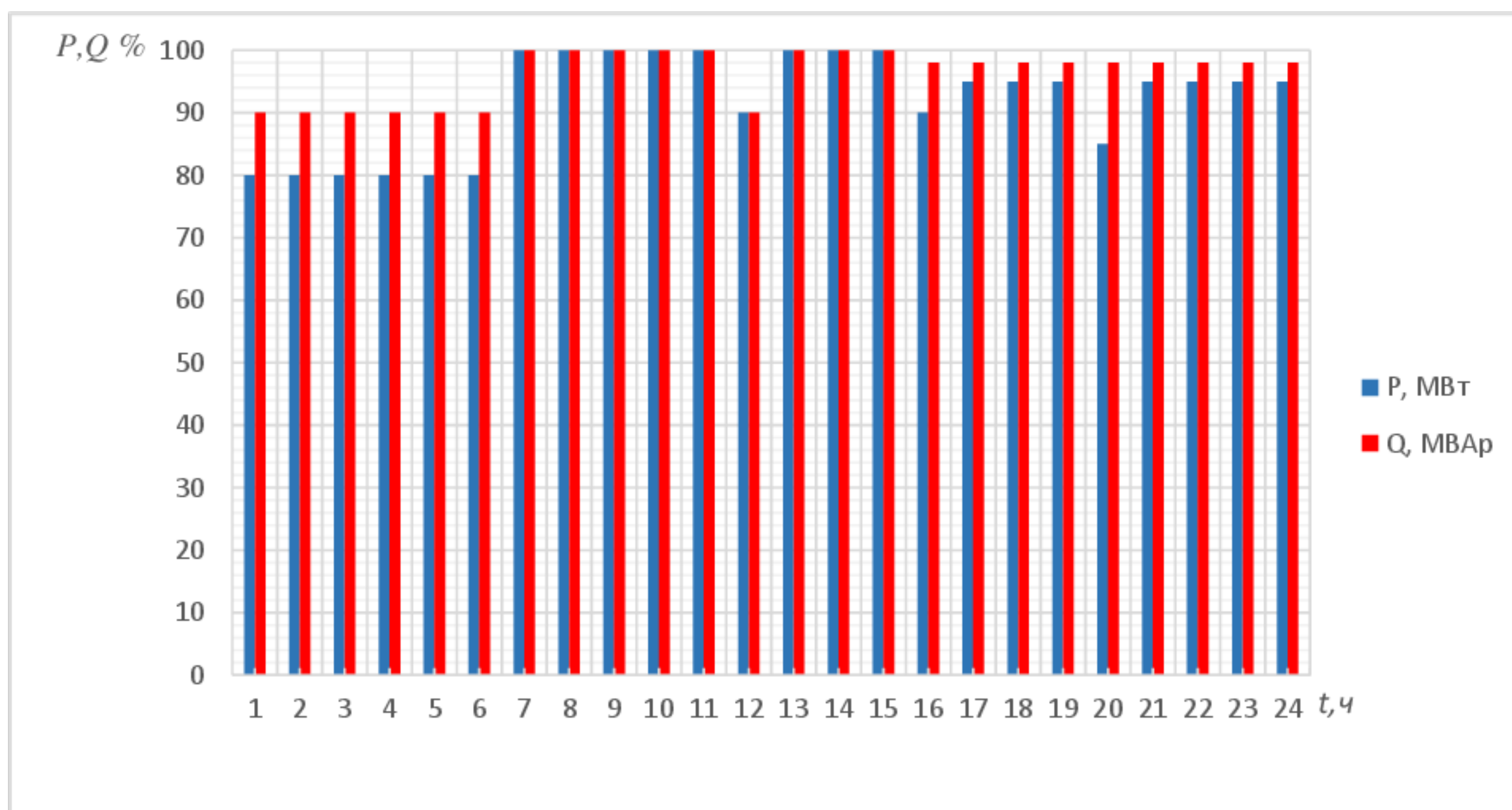
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 20

$$P_{max} = 84000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 58000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 9; 2-ая – 21; 3-ая – 58.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,15}$  с,

$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{6,7}$  МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 24.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд},$ Ом/км |        |         |         |         | Генератор<br>МВт<br>Г – 1,2,3 | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|--------|---------|---------|---------|-------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                              | ВЛ-2   | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5    |                               | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 3000;2,9                                | 42;0,24                           | 25;0,5 | 18;0,39 | 27;0,45 | 19;0,36 | 120                           | 30                  | 15         | 120          | 16         |

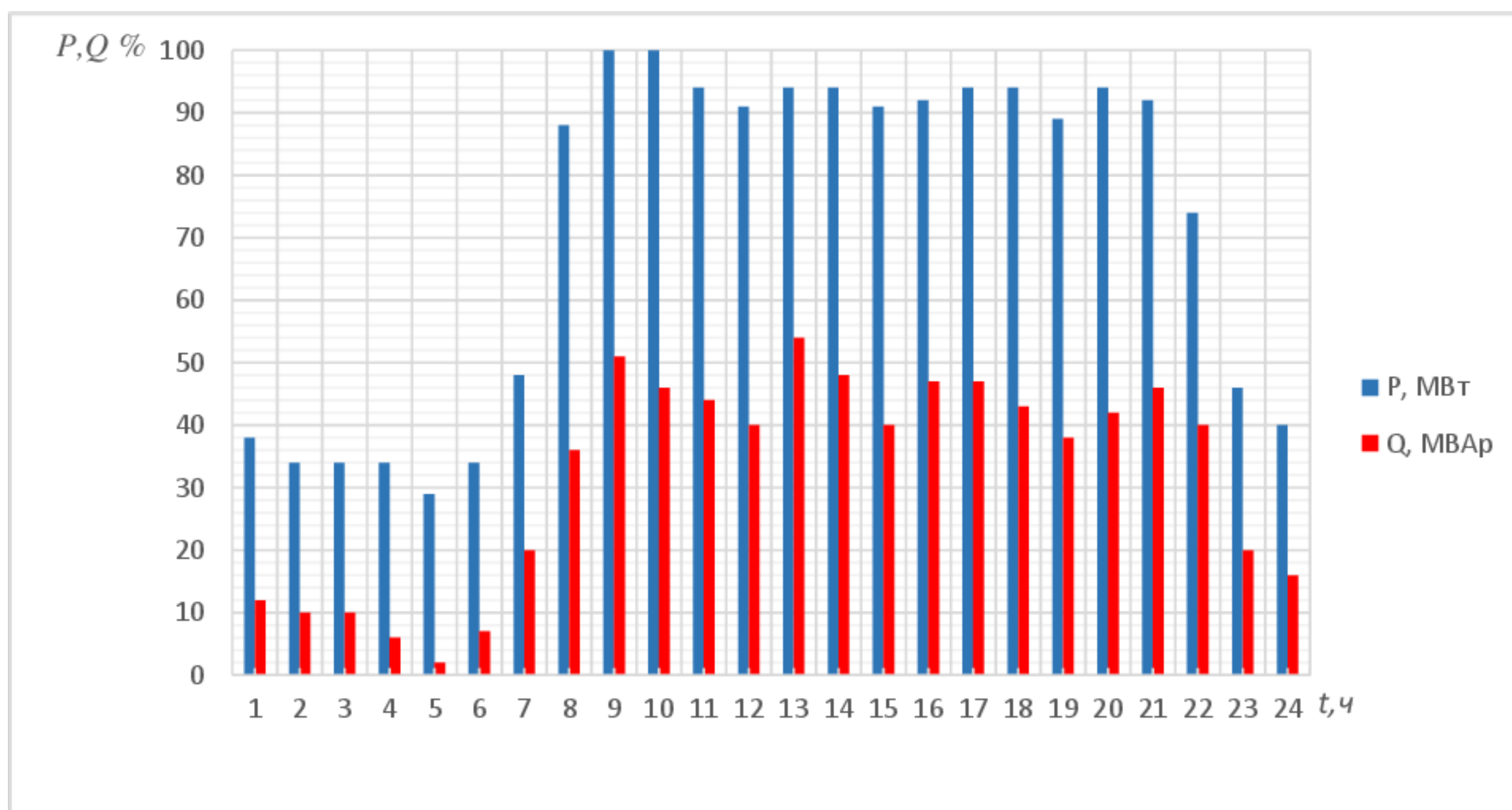
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 21

$$P_{max} = 36000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 30000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 15; 2-ая – 25; 3-ая – 37.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,26}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{2,9} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 27.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |        |         |         |      | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|--------|---------|---------|------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2   | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5 |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2250;3                                  | 54;0,38                                   | 45;0,4 | 25;0,43 | 25;0,37 | -    | 40                                   | 25                  | -          | 36           | 8,3        |

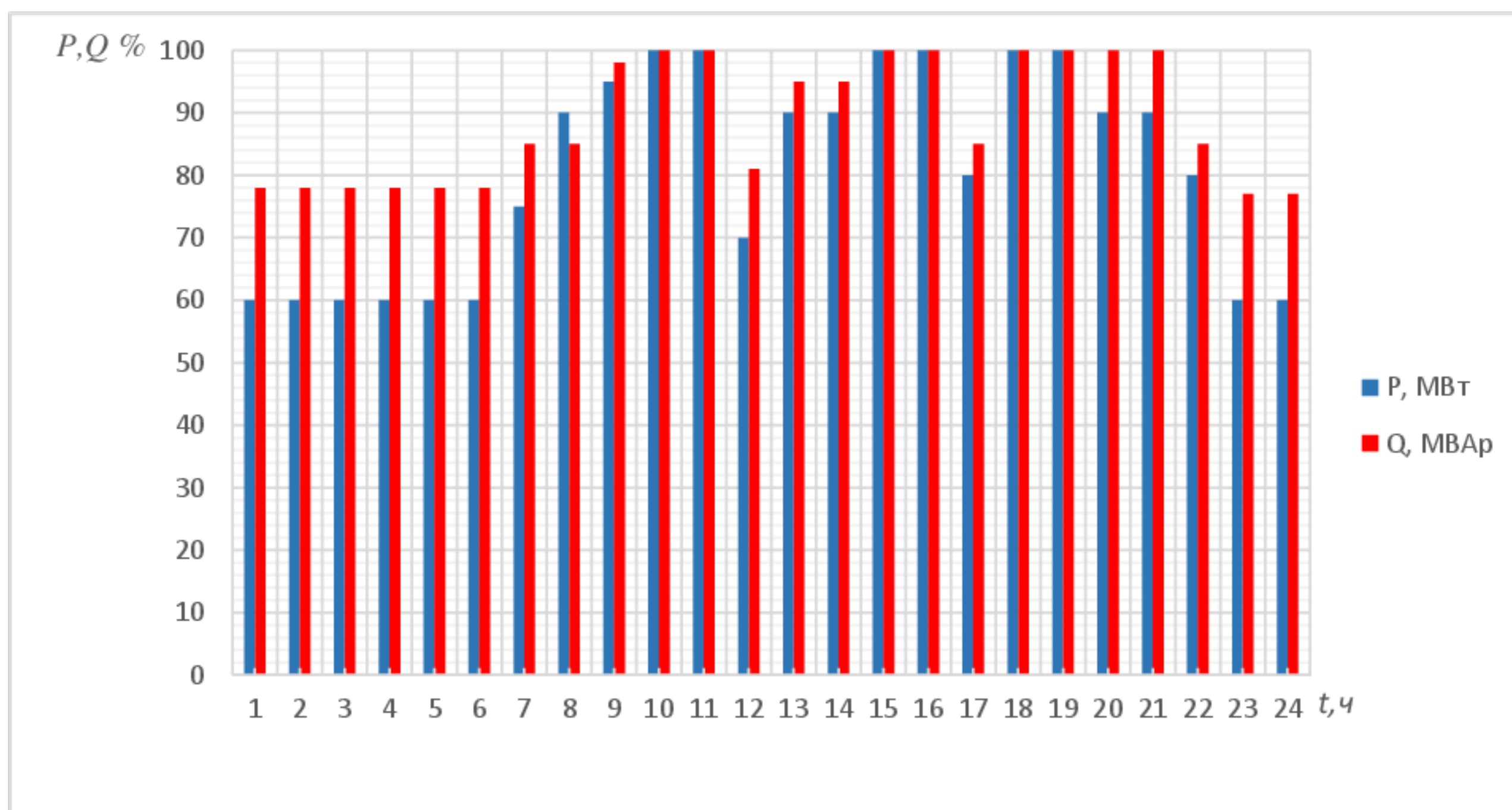
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 22

$$P_{max} = 40000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 40000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 27; 2-ая – 39; 3-ая – 50.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,55}$  с,

$$P_{\text{макс.}(ТП,РП)} = \underline{6,9} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 28.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |      | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5 |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 4000;3                                  | 25;0,38                                   | 23;0,42 | 17;0,44 | 27;0,42 | -    | 150                                  | 25                  | -          | 90           | 9,2        |

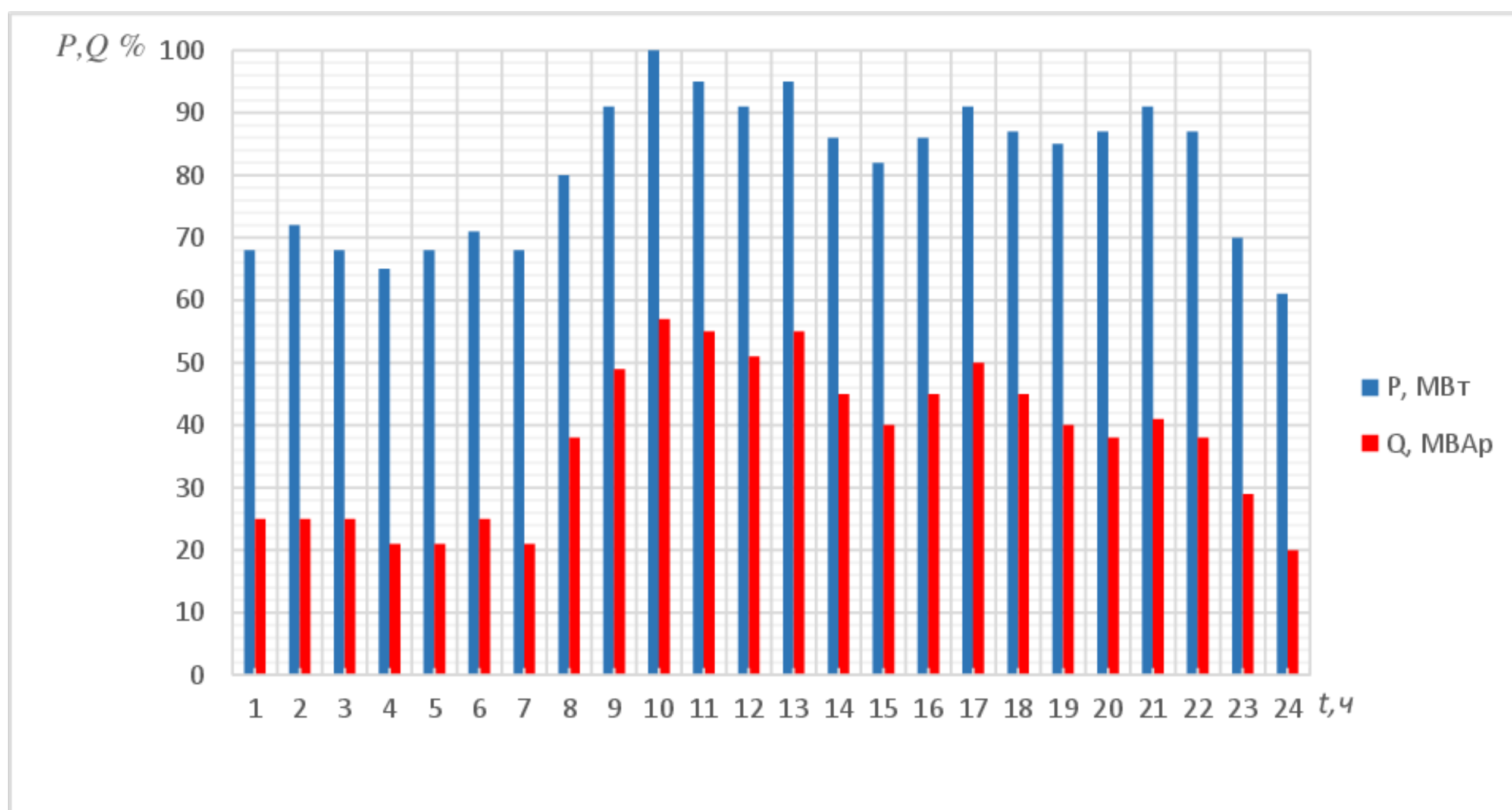
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 23

$$P_{max} = 77000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 59000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 32; 2-ая – 27; 3-ая – 45.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = 0,15 \text{ с}$ ,

$$P_{\text{макс.}(ТП,РП)} = 4,5 \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 28.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |        |        |         | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|--------|--------|---------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3   | ВЛ-4   | ВЛ-5    |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 4525;3                                  | 28;0,38                                   | 10;0,30 | 12;0,4 | 35;0,4 | 36;0,41 | 130                                  | 45                  | 45         | 95           | 25         |

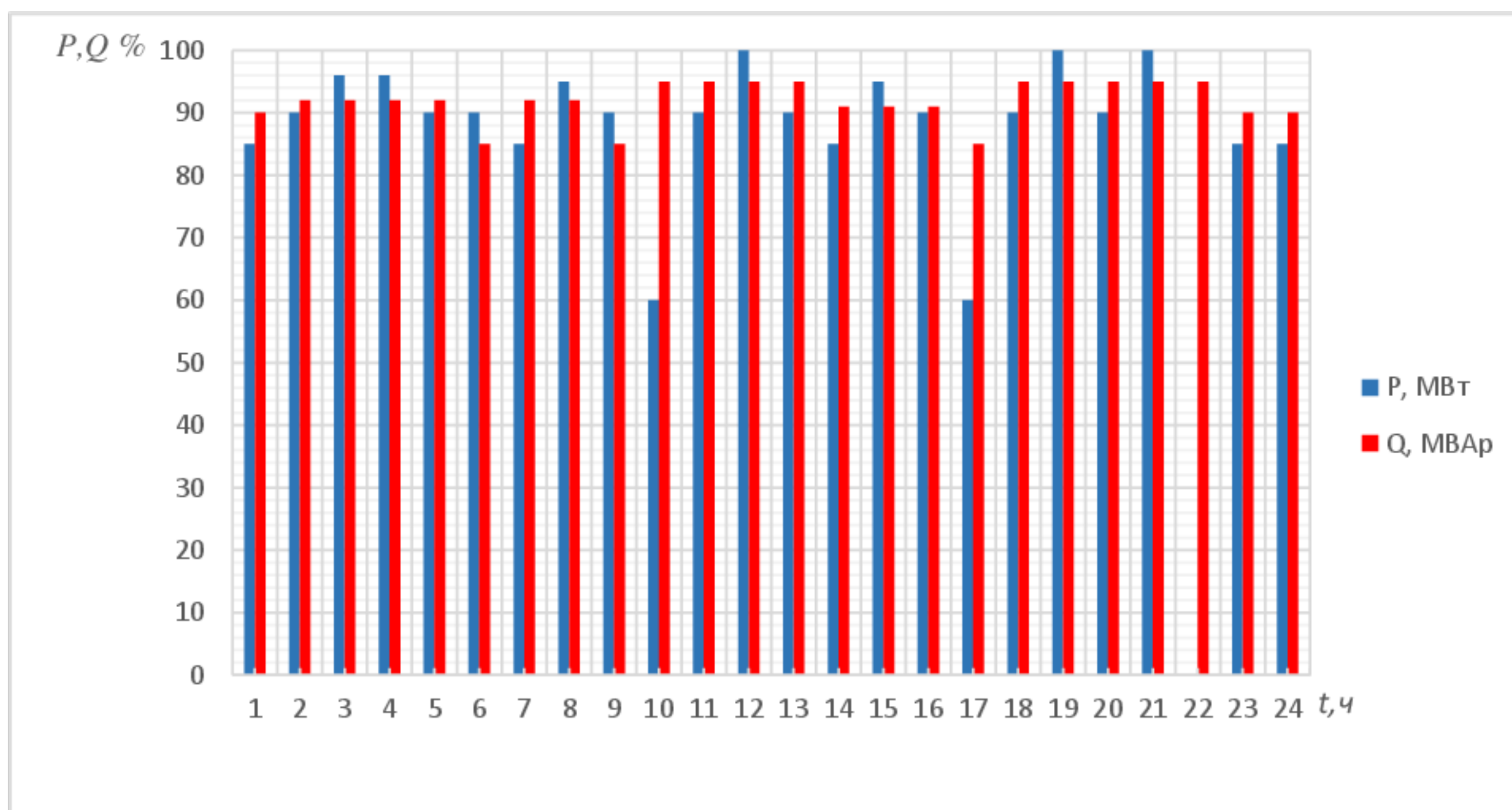
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 24

$$P_{max} = 65000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 51000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 25; 2-ая – 40; 3-ая – 35.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,32}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{2,75} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 27.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПСЗ,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |         | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5    |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2950;3                                  | 24;0,38                                   | 11;0,30 | 21;0,42 | 24;0,41 | 11;0,42 | 89                                   | 24                  | 75         | 134          | 18         |

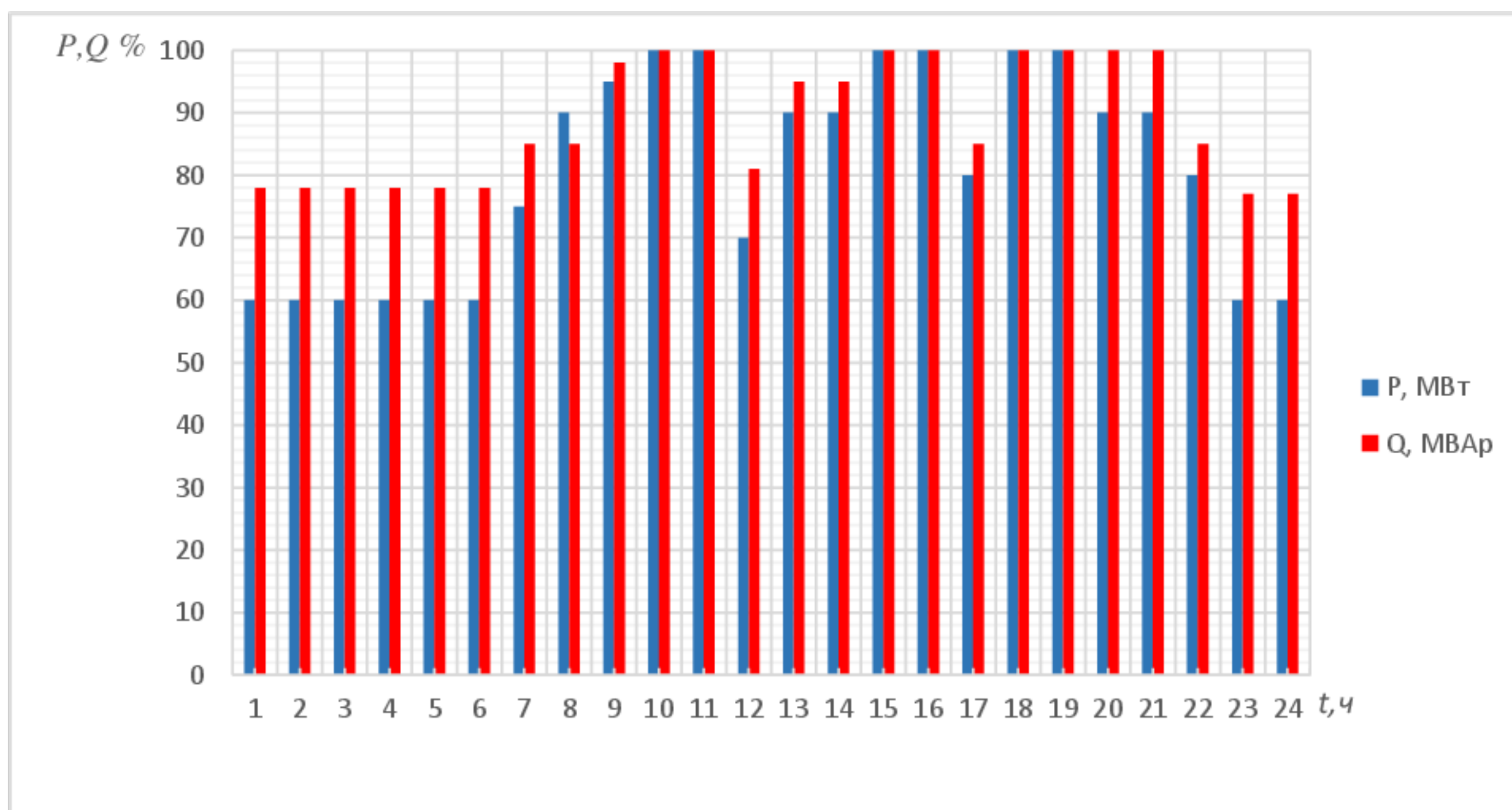
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 25

$$P_{max} = 25000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 25000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 22; 2-ая – 35; 3-ая – 43.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,45}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{2} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 18.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |      | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5 |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2200;3                                  | 26;0,38                                   | 17;0,42 | 14;0,42 | 26;0,41 | -    | 32                                   | 25                  | -          | 40           | 6,3        |

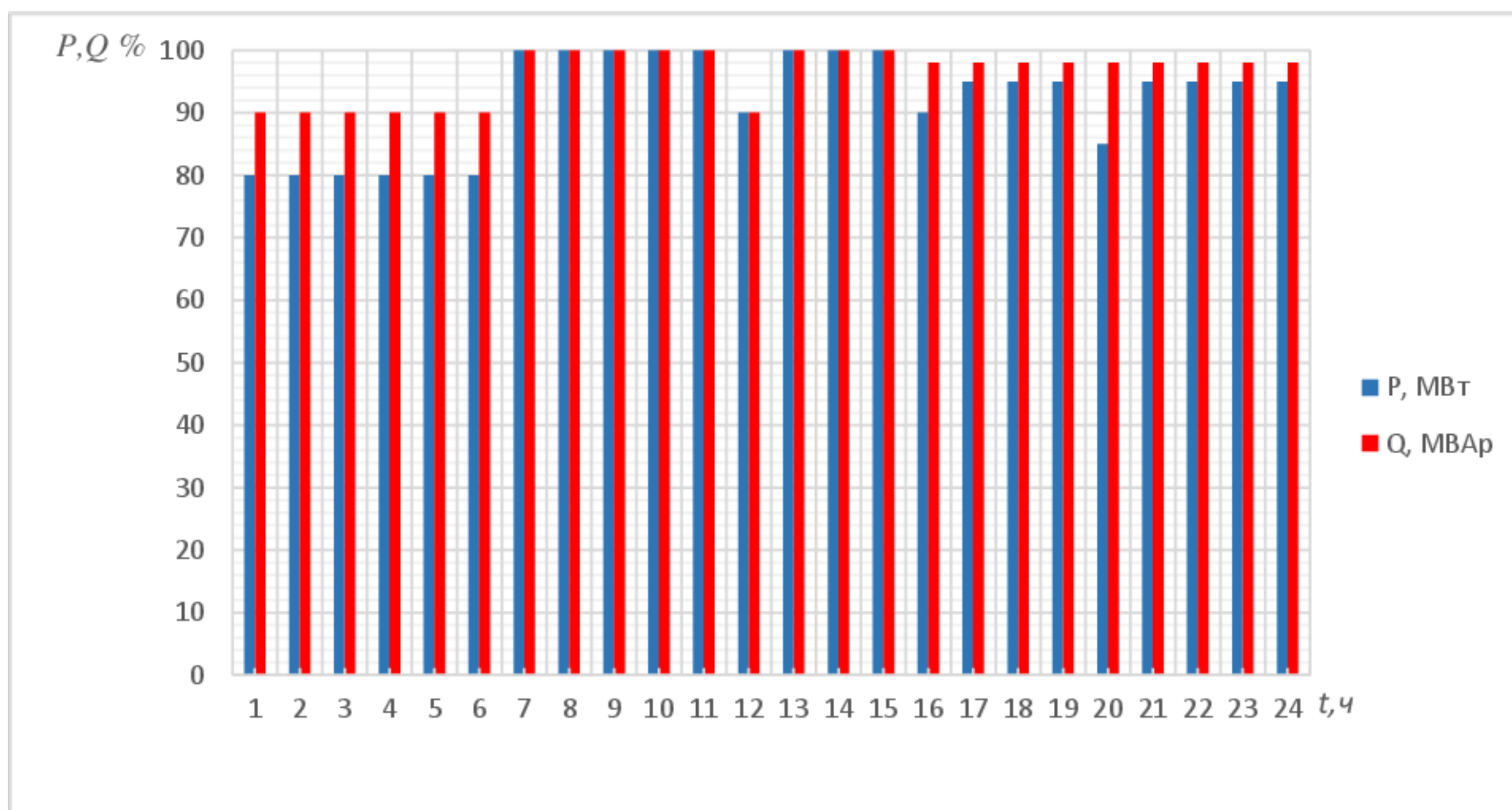
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 26

$$P_{max} = 72000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 72000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 9; 2-ая – 31; 3-ая – 60.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{\text{рз.выкл.присоед}} = \underline{0,55}$  с,

$$P_{\text{макс.}(ТП,РП)} = \underline{5} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 30.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПСЗ,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |        |         |         |         | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2   | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5    |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2000;2,9                                | 22;0,38                                   | 19;0,4 | 16;0,42 | 24;0,42 | 22;0,39 | 100                                  | 25                  | 16         | 125          | 10         |

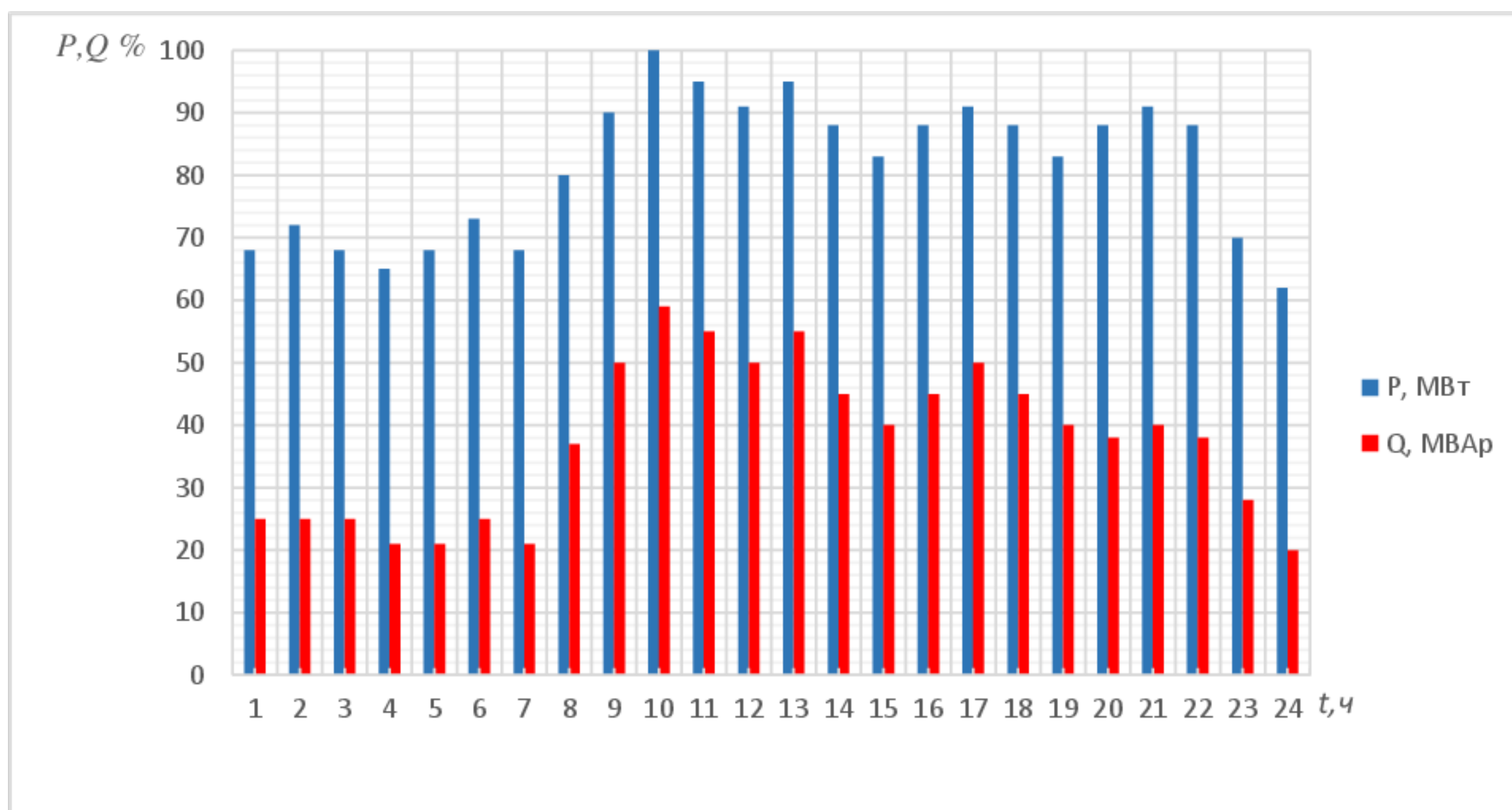
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 27

$$P_{max} = 50000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 30000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 20; 2-ая – 30; 3-ая – 50.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,4}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{2,5} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 23.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд},$ Ом/км |         |         |         |        | Генератор<br>МВт<br>Г – 1,2,3 | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|--------|-------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                              | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5   |                               | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2450;3                                  | 20;0,38                           | 22;0,39 | 16;0,39 | 19;0,42 | 21;0,4 | 63                            | 40                  | 16         | 80           | 16         |

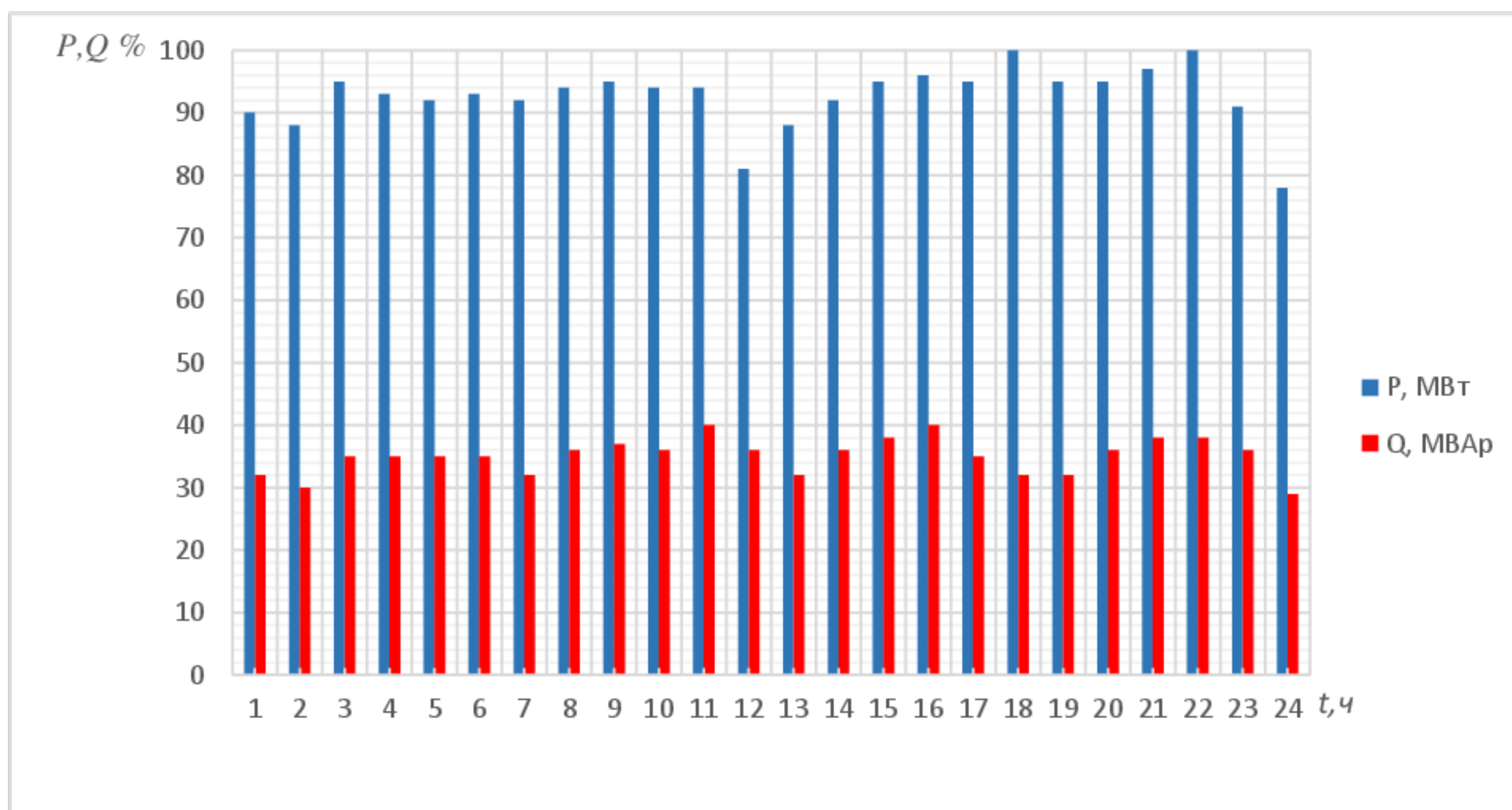
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 28

$$P_{max} = 35000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 15000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 15; 2-ая – 40; 3-ая – 45.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{\text{рз.выкл.присоед}} = \underline{0,55} \text{ с}$ ,

$$P_{\text{макс.}(ТП,РП)} = \underline{2} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 30.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |        |      | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|--------|------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4   | ВЛ-5 |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 2500;3                                  | 25;0,41                                   | 24;0,39 | 20;0,41 | 18;0,4 | -    | 63                                   | 25                  | -          | 80           | 10         |

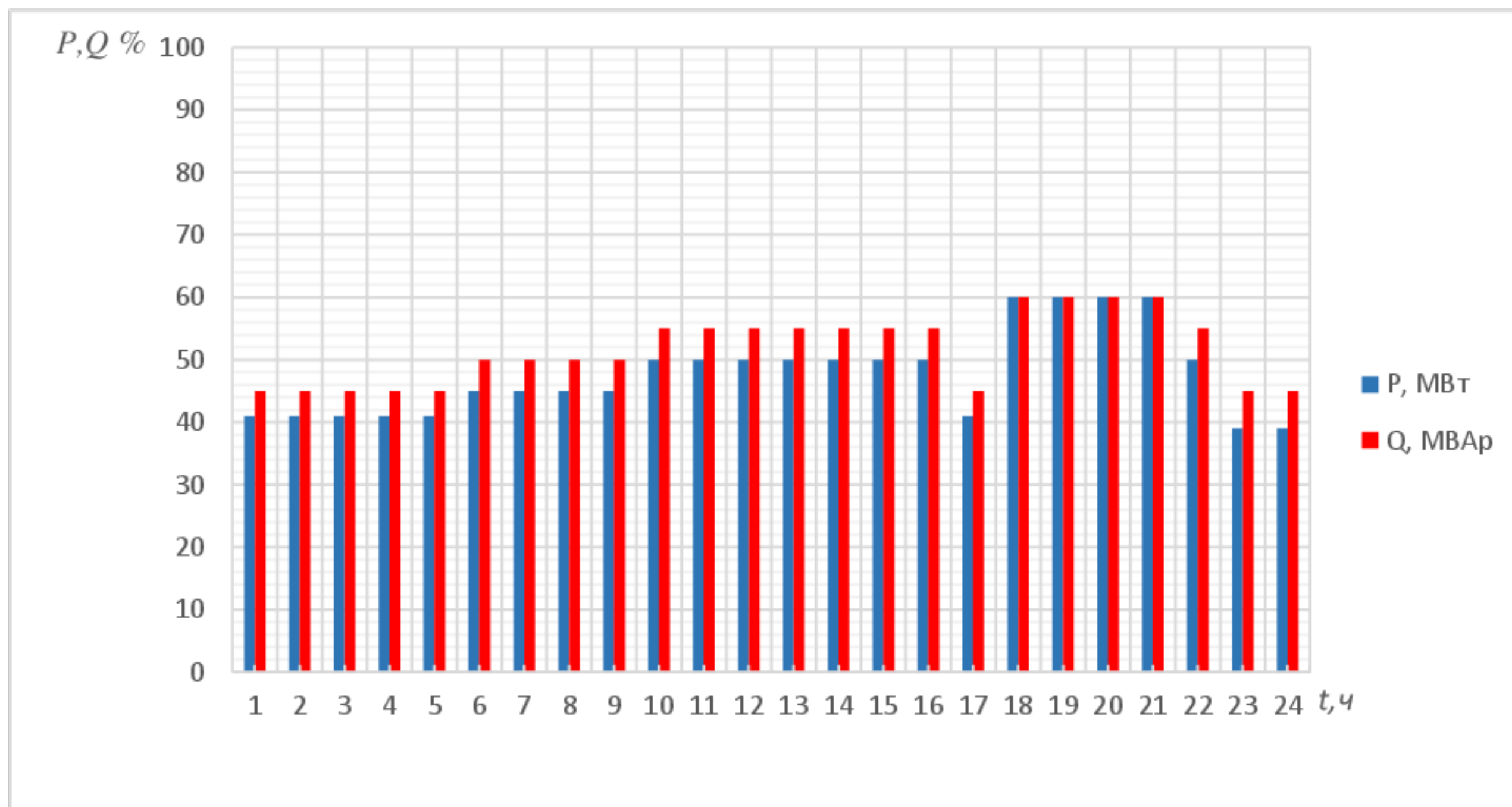
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 29

$$P_{max} = 75000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 62000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 25; 2-ая – 40; 3-ая – 45.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{\text{рз.выкл.присоед}} = \underline{0,2} \text{ с}$ ,

$P_{\text{макс.}(ТП,РП)} = \underline{2,2} \text{ МВт}$ ,

Число отходящих линий НН подстанции – 15.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |         |        | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4    | ВЛ-5   |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 1760;3                                  | 30;0,39                                   | 21;0,38 | 14;0,38 | 23;0,41 | 19;0,4 | 63                                   | 40                  | 16         | 80           | 6,3        |

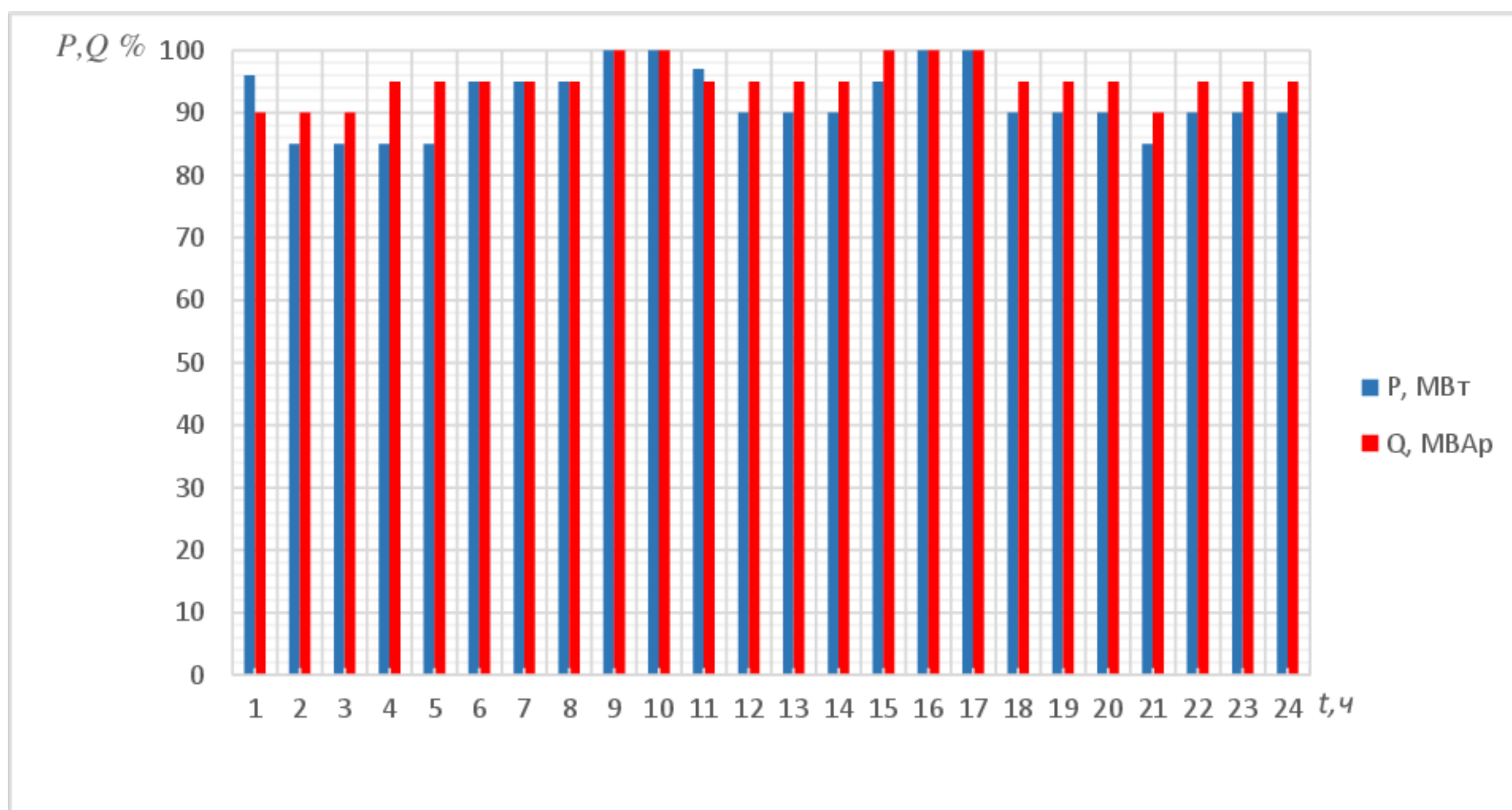
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Вариант 30

$$P_{max} = 40000 \text{ кВт}, \quad Q_{max} = 40000 \text{ кВар}$$

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 10; 2-ая – 30; 3-ая – 60.

### 4.2 Суточный график нагрузки



### 4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная.

Время отключения присоединения  $t_{рз.выкл.присоед} = \underline{0,4}$  с,

$$P_{макс.(ТП,РП)} = \underline{2,5} \text{ МВт},$$

Число отходящих линий НН подстанции – 44.

### 4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

| Система:<br>$S_{кз},$<br>МВА; $x_0/x_1$ | Линия: длина, км; $X_{уд}, \text{ Ом/км}$ |         |         |        |         | Генератор<br>МВт<br>$\Gamma - 1,2,3$ | Трансформаторы, МВА |            |              |            |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|--------|---------|--------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | ВЛ-1                                      | ВЛ-2    | ВЛ-3    | ВЛ-4   | ВЛ-5    |                                      | Т -<br>1,2          | Т -<br>3,4 | Т -<br>5,6,7 | Т -<br>8,9 |
| 1800;3                                  | 32;0,42                                   | 22;0,39 | 12;0,42 | 24;0,4 | 20;0,41 | 63                                   | 25                  | 16         | 80           | 6,3        |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### Приложение 3

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

КАФЕДРА ФИЗИКИ, ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

## КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине  
«Электрические станции и подстанции»  
на тему:  
«Проектирование распределительной понизительной подстанции  
(вариант - )»

**Выполнил:**

студент 4 курса группы

направления подготовки  
13.03.02

формы обучения

(подпись)

**Руководитель работы:**

(ФИО, должность, кафедра)

Работа допущена к защите

(подпись руководителя)

(дата)

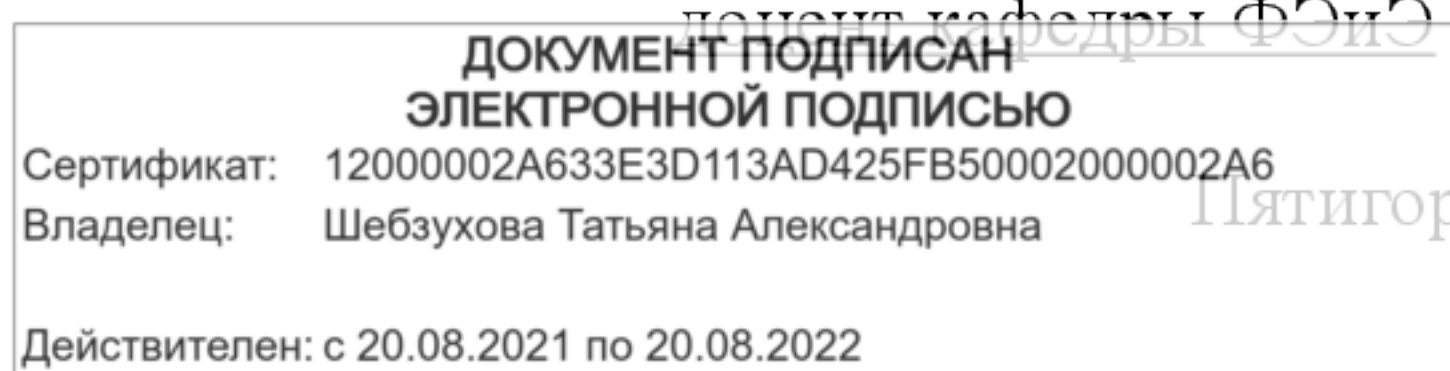
Работа выполнена и  
защищена с оценкой

Дата защиты

Члены комиссии: доцент кафедры ФЭиЭ

(должность) (подпись)

(И.О. Фамилия)



Пятигорск. 20\_\_

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

**Методические указания**  
по организации самостоятельной работы  
по дисциплине  
«Электрические станции и подстанции»  
направления подготовки  
13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

|                                                   |                                        |           |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------|
| <b>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br/>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</b> |                                        | Пятигорск |
| Сертификат:                                       | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 | 2022      |
| Владелец:                                         | Шебзухова Татьяна Александровна        |           |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022          |                                        |           |

## Содержание

- Введение
- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Электрические станции и подстанции»
  - 2 План-график выполнения самостоятельной работы
  - 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
  - 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
  - 5 Методические указания по выполнению курсового проекта
  - 6 Методические указания по подготовке к экзамену.
  - 7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

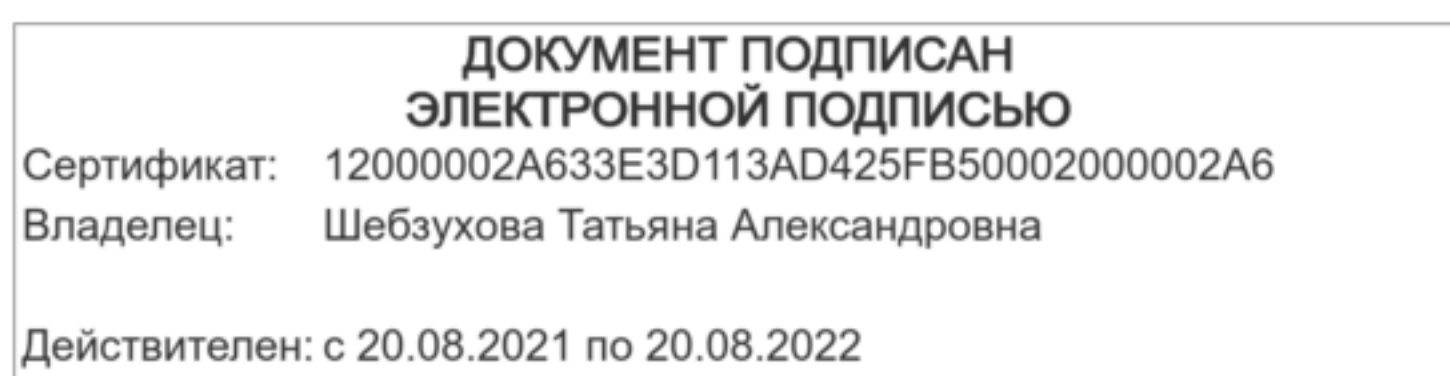
## Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.



## Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Электрические станции и подстанции»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

- в соответствии с проектом.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

**Задачами** самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

**Цель самостоятельного решения задач** - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

**Задачами** самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

**Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы** по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

**Задачами** данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

| Код, формулировка компетенции                                      | Код, формулировка индикатора                                                                   | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем электроснабжения | Знает схемотехническое исполнение электрооборудования станций и подстанций; современные аналитические методы и модели комплексного инженерного анализа.<br>Умеет обосновывать технические решения при разработке схем распределения и передачи электрической энергии; применять современные методы и средства исследования для решения конкретных задач.                                        |
|                                                                    | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения                | Владеет навыками правильно выбирать электрические схемы станций и подстанций с учетом особенностей их работы и требований потребителей.                                                                                                                                                                                                                                                         |
| ПК-2 Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения  | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает параметры электрооборудования систем электроснабжения        | Знает общие закономерности производства, передачи и распределения электрической энергии; основные конструктивные и режимные особенности электрических станций (тепловых, атомных, гидравлических) и подстанций, распределительных сетей.<br>Умеет рассчитывать основные параметры схем электрических станций и подстанций, учитывать особенности режимов работы различных станций и подстанций. |
|                                                                    | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает режимы работы систем электроснабжения                        | Владеет навыками расчёта параметров оборудования станций и подстанций; ме-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

|  |  |                                                                                   |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | тодами расчета токов короткого замыкания симметричного и несимметричного режимов. |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------|

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### План-график выполнения самостоятельной работы

| Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)                                                           | Вид деятельности студентов                         | Средства и технологии оценки                             | Объем часов, в том числе |                                    |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|
|                                                                                                        |                                                    |                                                          | СРС                      | Контактная работа с преподавателем | Всего |
| 7 семестр                                                                                              |                                                    |                                                          |                          |                                    |       |
| ПК-1 ИД-1 <sub>ПК-1</sub><br>ИД-2 <sub>ПК-1</sub><br>ПК-2 ИД-1 <sub>ПК-2</sub><br>ИД-2 <sub>ПК-2</sub> | Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18 | Собеседование                                            | 22,815                   | 2,535                              | 25,35 |
|                                                                                                        | Подготовка к лекциям                               | Собеседование                                            | 2,43                     | 0,27                               | 2,7   |
|                                                                                                        | Подготовка к практическим занятиям                 | Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач | 4,86                     | 0,54                               | 5,4   |
|                                                                                                        | Подготовка к лабораторным занятиям                 | Собеседование                                            | 3,645                    | 0,405                              | 4,05  |
|                                                                                                        | Выполнение курсового проекта                       | Презентация проекта                                      | 27                       | 3                                  | 30    |
| Итого за 7 семестр:                                                                                    |                                                    |                                                          | 60,75                    | 6,75                               | 67,5  |
| Итого:                                                                                                 |                                                    |                                                          | 60,75                    | 6,75                               | 67,5  |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### Контрольные точки и виды отчетности по ним

| №<br>п/п         | Вид деятельности студентов | Сроки<br>выполнения | Количество<br>баллов |
|------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| <b>7 семестр</b> |                            |                     |                      |
| 1.               | Практическое занятие № 4   | 6 неделя            | 25                   |
| 2.               | Лабораторное занятие № 6   | 10 неделя           | 15                   |
| 3.               | Практическое занятие № 9   | 16 неделя           | 15                   |
|                  | <b>Итого за 7 семестр</b>  |                     | <b>55</b>            |
|                  | <b>Итого</b>               |                     | <b>55</b>            |

Максимально возможный балл за весь текущий контроль Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

| Уровень выполнения контрольного задания | Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание) |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Отличный                                | <b>100</b>                                                           |
| Хороший                                 | <b>80</b>                                                            |
| Удовлетворительный                      | <b>60</b>                                                            |
| Неудовлетворительный                    | <b>0</b>                                                             |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

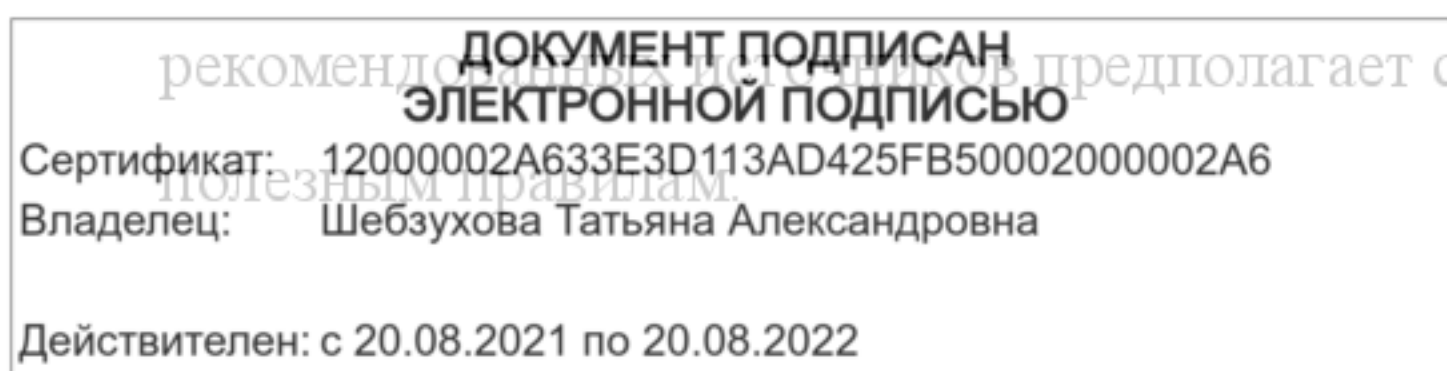
Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение

рекомендованной литературы предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.



Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

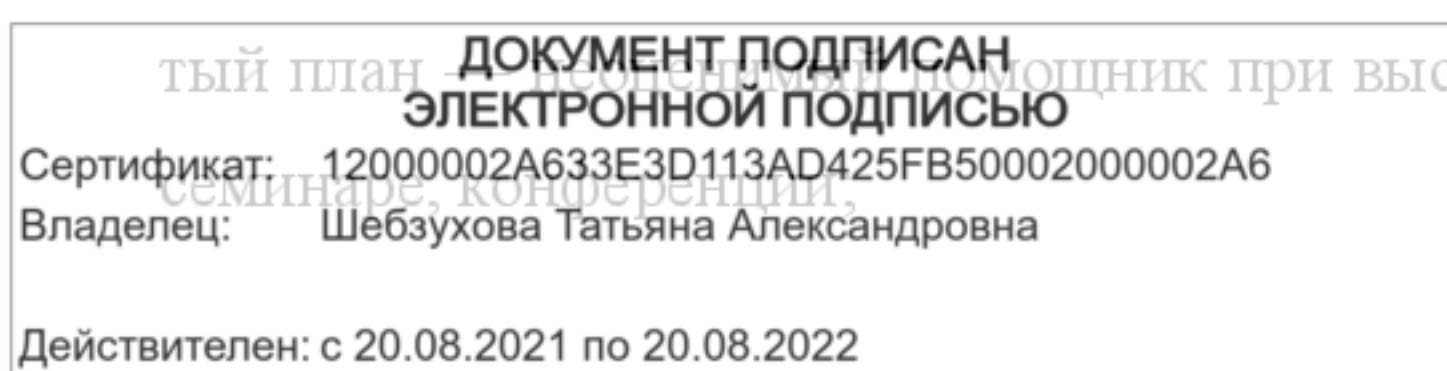
Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Разверну-

тый план — эффективный помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции.



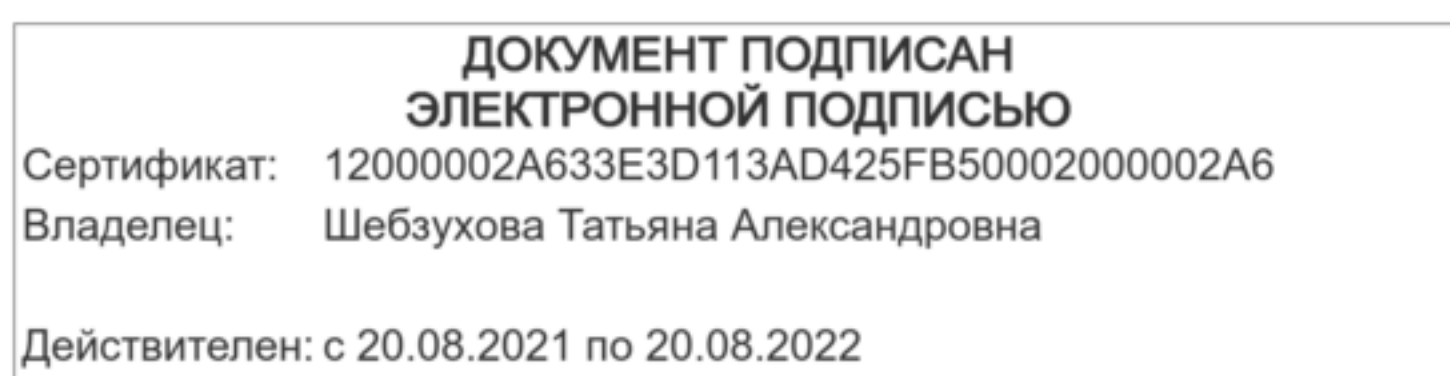
— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

#### Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.



## ***Методические указания по выполнению курсового проекта***

Курсовой проект — это самостоятельное исследование студентом определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов, касающихся конкретной темы.

Выполнение курсового проекта начинается с получения варианта задания и темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов проекта;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана;
- составление графика выполнения курсового проекта.

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания курсового проекта.

Систематизация и анализ изученной литературы позволяют студенту написать первую (теоретическую) часть.

Рабочий вариант текста курсового проекта и графический материал предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление.

После доработки курсовой проект сдается на кафедру для ее оценивания руководителем.

Защита курсового проекта студентов проходит в сроки, установленные графиком учебного процесса.

Основные этапы работы и требования к оформлению и защите отражены в методических указаниях по выполнению курсового проекта.

|                                                   |                                        |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br/>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</b> |                                        |
| Сертификат:                                       | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                         | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022          |                                        |

## Методические указания по подготовке к экзамену

Изучение дисциплины «Электрические станции и подстанции» завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

На консультации перед экзаменом студентов знакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

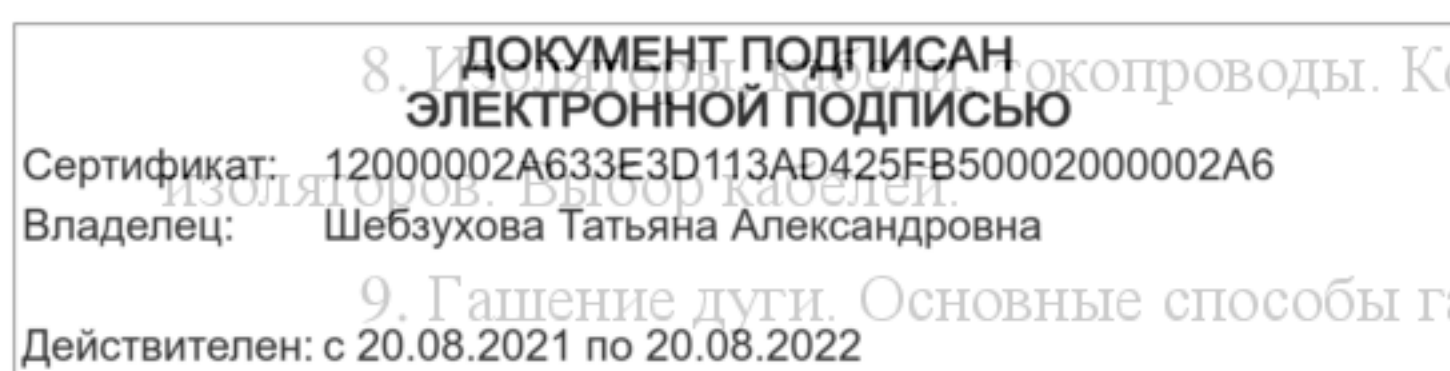
При подготовке к экзамену необходимо использовать конспекты лекций по дисциплине, учебники и учебные пособия (из списка основной и дополнительной литературы) или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

### Вопросы к экзамену

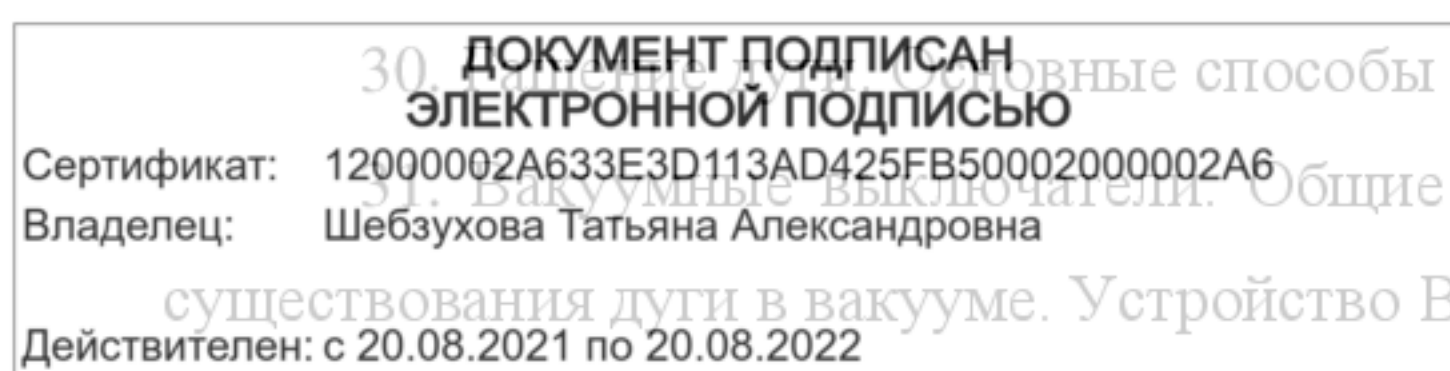
1. Электрические станции и подстанции: основные понятия и определения.
2. Графики нагрузки электроустановок. Параметры графиков нагрузки
3. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы. Номинальные параметры, схемы и группы соединений. Системы охлаждения силовых трансформаторов. Регулирование напряжения трансформаторов. Потери и КПД трансформаторов.
4. Динамическое и термическое действие токов к.з. Ударные и установившиеся токи к.з. Схемы замещения.
5. Ограничение токов короткого замыкания. Защитные и токоограничивающие аппараты.
6. Режимы работы электроустановок. Режимы нейтрали электроустановок.
7. Заземляющие устройства. Виды заземлений электроустановок. Варианты применения и исполнения.



8. Изоляторы, кабели, токопроводы. Конструкции опорных, проходных и подвесных изоляторов. Выбор кабелей.

9. Гашение дуги. Основные способы гашения дуги в аппаратах до 1 кВ.

10. Гашение дуги. Основные способы гашения дуги в аппаратах свыше 1 кВ.
11. Вакуумные выключатели. Общие сведения. Конструкция. Физические основы существования дуги в вакууме. Устройство ВДК.
12. Масляные выключатели. Общие сведения. Конструкция. Принцип действия дугогасительных устройств.
13. Воздушные выключатели. Общие сведения. Конструкция. Достоинства, недостатки. Принцип действия дугогасительных устройств (ДУ) воздушных выключателей.
14. Элегазовые выключатели. Общие сведения. Конструкция. Физико-химические свойства элегаза. Дугогасительные устройства.
15. Разъединители. Общие сведения. Классификация, требования. Типы установки.
16. Измерительные трансформаторы напряжения.
17. Измерительные трансформаторы тока.
18. Структурные схемы электрических станций и подстанций. Структурные схемы подстанций.
19. Электроснабжение собственных нужд электростанций и подстанций.
20. Организация цепей оперативного тока электростанций и подстанций. Виды оперативного тока. Применение аккумуляторных батарей и выпрямительных устройств.
21. Схемы электрических соединений. Блочные и мостиковые схемы.
22. Схемы электрических соединений. Схемы рабочих систем шин, четырехугольника, схемы 3/2 и 4/3.
23. Проектирование и конструирование электроустановок. Требования к схемам ПС и чертежам.
24. Организация плавки гололеда на воздушных линиях. Схемы ПГ. Плавка гололеда постоянным и переменным током.
25. Цифровая подстанция и МЭК 61850.
26. Электрические станции и подстанции основные понятия и определения
27. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы. Номинальные параметры, схемы и группы соединений. Системы охлаждения силовых трансформаторов. Регулирование напряжения трансформаторов. Потери и КПД трансформаторов.
28. Режимы работы электроустановок. Режимы нейтрали электроустановок.
29. Изоляторы, кабели, токопроводы. Конструкции опорных, проходных и подвесных изоляторов. Выбор кабелей.



32. Воздушные выключатели. Общие сведения. Конструкция. Достоинства, недостатки. Принцип действия дутогасительных устройств (ДУ) воздушных выключателей.
33. Разъединители. Общие сведения. Классификация, требования. Типы установки.
34. Измерительные трансформаторы тока.
35. Электроснабжение собственных нужд электростанций и подстанций.
36. Схемы электрических соединений. Блочные и мостиковые схемы.
37. Проектирование и конструирование электроустановок. Требования к схемам ПС и чертежам.
38. Участие паротурбинных теплофикационных электростанций в производстве электроэнергии.
39. Релейная форсировка возбуждения генераторов.
40. Автоматическое гашение поля генераторов.
41. Графики нагрузки электроустановок. Параметры графиков нагрузки.
42. Динамическое и термическое действие токов к.з. Ударные и установившиеся токи к.з. Схемы замещения.
43. Ограничение токов короткого замыкания. Защитные и токоограничивающие аппараты.
44. Заземляющие устройства. Виды заземлений электроустановок. Варианты применения и исполнения.
45. Гашение дуги. Основные способы гашения дуги в аппаратах до 1 кВ.

**Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

**Перечень основной литературы:**

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316>

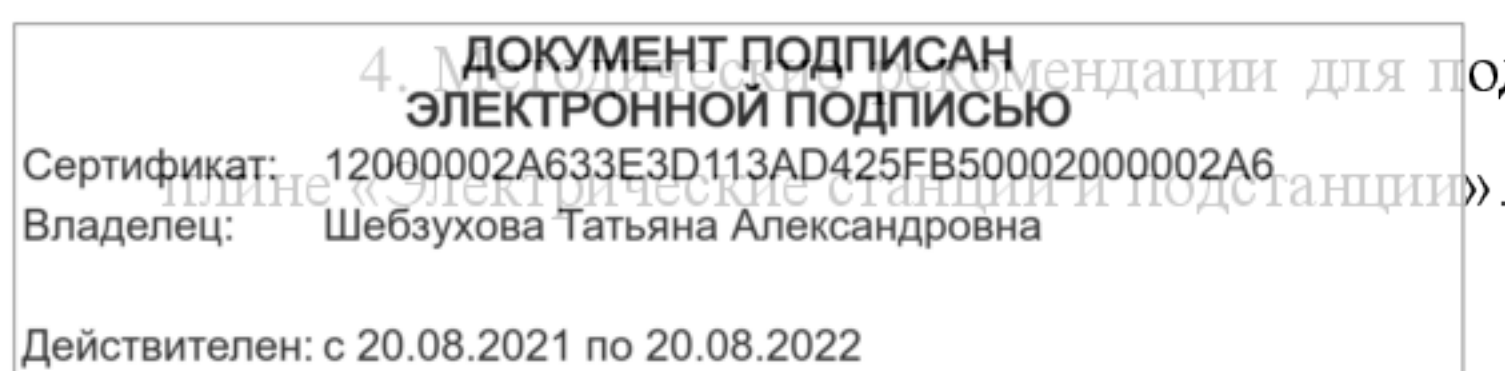
2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции : учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 61-63 - ISBN 978-5-7410-1542-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847>

**Перечень дополнительной литературы:**

1. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - 2-е изд. доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. - 149 с. : ил. - Библиогр.: с. 114 - ISBN 978-5-9729-0207-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493858>

**Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Электрические станции и подстанции».
2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электрические станции и подстанции».
3. Методические рекомендации для выполнения курсового проекта по дисциплине «Электрические станции и подстанции».



***Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022