



*Ю.П. Свиридов*

# Проектирование систем электро- снабжения

*Практикум*

*Ю.П. Свиридов*

# **Проектирование систем электро- снабжения**

*Практикум*

*Ульяновск*

*2016*

УДК 621.311.4 (076)

ББК 31.29.5 я 7

П79

Рецензент канд. техн. наук, профессор Е. В. Бондаренко.

*Рекомендовано научно-методической комиссией энергетического факультета в качестве практикума*

**Проектирование систем электроснабжения** : практикум по курсовому проектированию / сост. Ю. П. Свиридов. – Ульяновск : УлГТУ, 2016. – 40 с.

Практикум предназначен для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника (профиль Электроснабжение)» квалификации бакалавр энергетического и заочно-вечернего факультетов при курсовом проектировании систем внутреннего электроснабжения.

В практикуме изложены цели, задачи, методика проектирования, сформулированы требования к содержанию расчетной и графической частям и к оформлению проекта, рассмотрены основные этапы расчета и выбора элементов системы электроснабжения.

В приложениях даны варианты учебных заданий для курсового проектирования, формы таблиц для записи результатов расчетов.

Практикум охватывает вопросы, рассматриваемые при изучении дисциплин «Электроснабжение промышленных предприятий», «Электрическое освещение», «Оптимизация режимов систем электроснабжения» и «Охрана труда».

Работа подготовлена кафедре «Электроснабжение».

**УДК 621.311.4 (076)**

**ББК 32.29.5 я 7**

*Учебное электронное издание*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Практикум по курсовому проектированию

Составитель СВИРИДОВ Юрий Павлович

ЭИ № 790. Объем данных 1,03 Мб.

Редактор Н. А. Евдокимова

Печатное издание

Подписано в печать 30.10.2016. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 2,32. Тираж 150 экз. Заказ № 960.

Ульяновский государственный технический университет

432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.

ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.

Тел.: (8422) 778-113

E-mail: venec@ulstu.ru

<http://www.venec.ulstu.ru>

© Свиридов Ю. П., составление, 2016

© Оформление. УлГТУ, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ .....	5
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....	6
2. ТЕМАТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	6
3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ .....	6
4. ТРЕБОВАНИЯ К ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА .....	7
5. ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....	7
6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	8
6.1. Введение.....	8
6.2. Характеристика производства и приемников электроэнергии .....	8
6.3. Составление сводной ведомости электрооборудования .....	9
6.4. Выбор напряжения цеховой питающей электросети .....	9
6.5. Разработка принципиальной схемы электроснабжения .....	9
6.6. Расчет электрических нагрузок .....	9
6.6.1. Расчет трехфазных электрических нагрузок цеха.....	10
6.6.2. Расчет электрических нагрузок однофазных электроприемников ...	11
6.6.3. Расчет нагрузки машин контактной сварки.....	12
6.6.4. Расчет электрической нагрузки электроосвещения.....	14
6.6.5. Расчет электрических нагрузок предприятия.....	14
6.7. Расчет мощности компенсирующих устройств.....	15
6.8. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов, места расположения и типа цеховой подстанции.....	16
6.9. Расчет распределительной электрической сети.....	17
6.9.1. Расчет силовой электрической сети.....	17
6.9.2. Расчет осветительной сети цеха.....	17
6.9.3. Расчет кабелей на напряжение выше 1000 В.....	18
6.10. Выбор коммутационной и защитной аппаратуры .....	18
6.10.1. Выбор коммутационной и защитной аппаратуры силовой сети .....	18
6.10.2. Выбор аппаратуры осветительной сети.....	19
6.10.3. Выбор комплектных распределительных устройств в сети напряжением до 1000 В .....	20
6.10.4. Выбор коммутационной и защитной аппаратуры в сети напряжением 6–10 Кв .....	21
6.11. Расчет токов короткого замыкания в характерных точках электрической сети.....	21
6.12. Проверка элементов системы электроснабжения по токам короткого замыкания .....	21

6.13. Защита электрооборудования, автоматика и измерения в системе электроснабжения. Построение карты селективности.....	22
6.14. Расчет защитного заземления .....	22
6.15. Заключение .....	22
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Задание на курсовой проект .....	23
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Исходные данные для учебного проектирования «Разработка системы внутрицехового электроснабжения» .....	25
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Формы штампов на документацию проекта.....	31
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Формы таблиц для записи результатов расчета.....	32
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Значения $K_H$ и $\text{tg}\varphi/\cos\varphi$ для различных характерных групп электроприемников .....	35
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Значения коэффициентов расчетной нагрузки .....	37
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	39

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В целях совершенствования обучения студентов и выработки у них более широкого кругозора и навыков в проектной практике вводится единый комплексный курсовой проект по двум дисциплинам – «Электроснабжение промышленных предприятий» и «Оптимизация режимов систем электроснабжения». В процессе проектирования студенты должны рассмотреть широкий круг технических и организационно-экономических вопросов, относящихся к области проектирования и организации эксплуатации системы электроснабжения промышленного предприятия на примере электроснабжения корпуса, цеха или группы производственных участков.

Выполнение курсового проекта следует проводить поэтапно, последовательно решая поставленные задачи. При выполнении курсового проекта важнейшим условием является принятие обоснованных решений, с учетом требований нормативно-технической документации, действующих правил, ГОСТов.

Работа над курсовым проектом позволяет студентам систематизировать, закрепить и расширить теоретические знания, получаемые при изучении курсов «Электроснабжение промышленных предприятий», «Оптимизация режимов систем электроснабжения», «Электрическое освещение», «Монтаж и эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения». При выполнении курсового проекта используются и углубляются знания по курсам «Электрическая часть станций и подстанций», «Переходные процессы в системах электроснабжения», «Охрана труда».

При проектировании следует учесть следующие основные требования, предъявляемые к системам электроснабжения:

1. Система электроснабжения должна быть надежной, т. е. обеспечивать бесперебойность электроснабжения в соответствии с категорией электроприемников;
2. Система электроснабжения должна быть простой, удобной и безопасной в эксплуатации;
3. Система электроснабжения должна быть экономичной, т. е. соответствовать минимуму приведенных затрат на ее сооружение и эксплуатацию.

Курсовой проект оформляется в виде пояснительной записки, содержащей обоснование принятых решений с необходимыми расчетами, и чертежей, позволяющих проиллюстрировать принятые решения.

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Курсовое проектирование по «Электроснабжению промышленных предприятий» ставит следующие цели: закрепление и расширение теоретических знаний по специальности и применение их при решении конкретных инженерно-технических и организационно-экономических задач в практике проектирования; развитие творческого мышления студентов и навыков их самостоятельной работы; овладение методикой инженерно-технических и экономических расчетов при проектировании системы внутрицехового электроснабжения.

Основной задачей выполнения курсового проекта является самостоятельное и глубокое изучение курсов «Электроснабжение промышленных предприятий», «Оптимизация режимов систем электроснабжения» и «Электрическое освещение». При выполнении работы над проектом студенты используют теоретические сведения, справочные материалы, необходимые для решения вопросов проектирования, закрепляют и совершенствуют навыки решения основных задач проектирования по выбору напряжения распределительной электрической сети, разработке схемы электроснабжения, расчету нагрузок, выбору элементов электрической сети, защитной и коммутационной аппаратуры, осветительных и заземляющих устройств.

## **2. ТЕМАТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**

Проектируется система электроснабжения цеха общепромышленного назначения. В состав цеха входят 2–5 отделений с общим числом электроприемников 100–120 единиц установленной мощности 200–2000 кВт.

Исходными данными являются: план цеха с расстановкой технологического оборудования, установленная мощность электроприемников, значения токов короткого замыкания (к. з.) на распределительном пункте (РП), предприятия,  $\text{tg}\varphi_c$ . Форма бланка задания на курсовое проектирование приведена в прил. 1.

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ**

Расчетная часть проекта выполняется в виде пояснительной записки в полном соответствии с [1] и ЕСКД.

Текст должен быть лаконичным, логически связанным, расчеты после

подробного изложения примера сводятся в таблицы указанной формы. Следует избегать изложения общеизвестных положений, например, по конструкции, принципу действия устройств и т. п.

В пояснительной записке должны быть приведены рисунки и схемы, иллюстрирующие суть изложения. Формулы должны быть вписаны аккуратно. Ссылка на использованные источники информации должны даваться в квадратных или косых скобках. В них указывается номер источника информации в библиографическом списке.

Объем расчетно-пояснительной записки должен составлять 40–50 страниц, выполненных на белой писчей бумаге формата А4. Основные надписи на листах представлены в прил. 3.

Отдельные разделы курсового проекта предусматривается выполнить с применением ЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих рассмотрению в курсовом проекте, а также примерные сроки их выполнения приведены в задании (прил. 1).

#### **4. ТРЕБОВАНИЯ К ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА**

Графическая часть курсового проекта содержит 2–3 листа формата А1, где размещаются: план цеха с расстановкой оборудования и указанием основных питающих линий от цеховой ТП к узлам нагрузки, принципиальная однолинейная схема электроснабжения цеха, электроосвещения цеха, заземления, карта селективности, опросный лист и дополнительные сведения: спецификация, перечень условных обозначений, экспликации отдельных узлов системы электроснабжения (выполняется по заданию руководителя).

На принципиальной схеме в соответствии с действующими ГОСТами ЕСКД и [1] изображаются все выбранные элементы системы электроснабжения с указанием их типа и номинальных параметров.

Угловой штамп на чертеже – по прил. 3.

#### **5. ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Полностью оформленные материалы проекта представляются студентом руководителю в сроки, установленные графиком проектирования для курсового проекта (прил. 1). После проверки, а при

необходимости и после доработки, проект представляется к защите. Защита курсового проекта происходит в присутствии комиссии в составе трех человек – руководителя проекта и преподавателей дисциплин цикла. При защите студент должен сделать краткий доклад по результатам работы и ответить на предложенные ему вопросы.

## **6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

### **6.1. Введение**

В пояснительной записке необходимо отразить развитие рассматриваемой отрасли промышленности. Рассмотреть перспективы развития систем электроснабжения промышленных предприятий, проблемы, стоящие перед специалистами, работающими в системах электроснабжения.

Раздел «Введение» в пояснительной записке не нумеруется. Остальные разделы и подразделы внутри разделов должны нумероваться арабскими цифрами. Номер подраздела состоит из номера раздела и порядкового номера подраздела, разделенных точкой.

### **6.2. Характеристика производства и приемников электроэнергии**

В пояснительной записке необходимо дать краткое содержание технологического процесса, характеристику основных приемников электроэнергии цеха по роду тока, напряжению, режиму работы и требованиям, предъявляемым к бесперебойности электроснабжения. Отнесение электроприемников к соответствующей категории должно быть обосновано и определено их процентное содержание.

Для решения вопросов по выбору исполнения электрических сетей, подстанций и электрооборудования необходимо дать характеристику производственной среды с классификацией помещений по окружающей среде. Следует указать размеры цеха, привести нормируемый уровень освещенности рабочих поверхностей, указать коэффициенты отражения потолка стен, рабочих поверхностей.

По данным вопросам рекомендуется использовать [2, 3, 6, 12, 13, 16,17].

### **6.3. Составление сводной ведомости электрооборудования**

Ведомость может быть составлена во время нахождения студента на практике, при сборе исходных данных для проектирования. Если эта работа проведена не полностью или по каким-либо объективным причинам вообще не проводилась, следует в соответствии с заданием выбрать электрооборудование, например, асинхронные двигатели для металлорежущих станков, используя данные [15]. Результаты рекомендуется заносить в таблицу, форма которой приведена в прил. 4 (табл. П.4.1).

### **6.4. Выбор напряжения цеховой питающей электросети**

Решение этого вопроса относится к технико-экономическим задачам. В курсовом проекте он решается на основании общих положений [6].

### **6.5. Разработка принципиальной схемы электроснабжения**

На основе положений [6, 14, 15] следует разработать принципиальную схему электроснабжения потребителей цеха.

Необходимо обосновать применение радиальной, магистральной и цепочечной схемы или их сочетаний. При этом следует учитывать характеристику окружающей среды различных отделений, мощность и режим работы потребителей, требования надежности и качества напряжения. Предварительно выбирается тип распределительных пунктов (РП) с учетом числа подключаемых электроприемников и условий окружающей среды [6, 14, 15].

### **6.6. Расчет электрических нагрузок**

Определение электрических нагрузок производится с целью выбора числа и мощности трансформаторов, выбора кабелей и шинопроводов, проверки их по нагреву и потере напряжения, для расчета отклонений и колебаний напряжения, выбора коммутационно-защитной аппаратуры и компенсирующих устройств. Для расчета электрических нагрузок рекомендуется применять следующие методы: метод расчетного коэффициента при курсовом проектировании и для определения расчетной мощности одного из наиболее энергоемких цехов при дипломном проектировании; метод коэффициента спроса и установленной мощности

для определения расчетной мощности цехов предприятия при дипломном проектировании и метод удельных мощностей для определения расчетных нагрузок осветительных сетей.

### 6.6.1. Расчет трехфазных электрических нагрузок цеха

Расчетная максимальная нагрузка цеха определяется в соответствии с [4].

$$P_p = K_p \sum K_u P_{ном}, \quad (6.1)$$

где  $K_p$  – коэффициент расчетной мощности, определяемый по:

таблице П.6.1 или номограмме (см. прил. 4 рис. П.4.1) для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты, в зависимости от эффективного числа электроприемников, средневзвешенного коэффициента использования;

таблице П.6.2 для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов;

для кабелей напряжением 6 кВ и выше, питающих цеховые трансформаторные подстанции и распределительные устройства  $K_p = 1$ ;

$K_u$  – средневзвешенный коэффициент использования определяется по формуле

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n k_u P_{ном}}{\sum_{i=1}^n P_{ном}}. \quad (6.2)$$

Эффективное число приемников определяется по выражению:

$$n_э = (\sum P_{ном})^2 / \sum_{i=1}^n n P_{ном}^2, \quad (6.3)$$

найденное по указанным выражениям значение  $n_э$  округляется до ближайшего меньшего целого числа. При  $n_э \leq 4$  рекомендуется пользоваться номограммой (см. рисунок П.4.1).

$P_{ном}$  – групповая номинальная (установленная) активная мощность;  
 $p_{ном}$  – номинальная (установленная) мощность одного электроприемника;  
 $n$  – число электроприемников.

$$P_{ном} = \sum_{i=1}^n P_{ном} \quad (6.4)$$

При наличии электроприемников, работавших в повторно-кратковременном режиме, их номинальная мощность приводится к  $PВ = 100\%$ .

$$P_{ном} = P_{пасп} \sqrt{PВ},$$

где  $P_{пасп}$  – паспортная мощность при заданном ПВ.

Для определения расчетных нагрузок электроприемники разбиваются на группы, подключаются к шинпроводам или распределительным пунктам (ШР, ПР). На основании выражения (6.1) определяется расчетная активная мощность в узлах и по цеху в целом, если расчетная мощность  $P_p$  окажется меньше номинальной наиболее мощного электроприемника, следует принимать  $P_p = P_{ном.макс}$ . Соответствующая ей реактивная мощность определяется:

для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от  $n_{\Sigma}$ :

$$\begin{aligned} \text{при } n_{\Sigma} \leq 10 & \quad Q_p = 1,1 \sum K_u P_{ном} \operatorname{tg} \varphi \\ \text{при } n_{\Sigma} > 10 & \quad Q_p = \sum K_u P_{ном} \operatorname{tg} \varphi; \end{aligned}$$

для магистральных шинпроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций, а также при определении реактивной мощности в целом по цеху, корпусу, предприятию

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi, \quad (6.5)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  – соответствует средневзвешенному значению коэффициента мощности группы приемников.

$$\cos \varphi = \frac{\sum P_i}{\sum P_i / \cos \varphi_i}, \quad (6.6)$$

где  $\cos \varphi_i$  – коэффициент мощности, определяемый по паспорту для каждого электроприемника соответствующей группы.

Полная расчетная мощность группы силовых электроприемников определяется по формуле

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (6.7)$$

Расчетный ток группы приемников

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_{ном}}. \quad (6.8)$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу, форма которой указана в прил. 4 (табл. П.4.2).

### 6.6.2. Расчет электрических нагрузок однофазных электроприемников

Однофазные электроприемники стремятся равномерно распределить по фазам трехфазной сети, однако это не всегда удается.

Для однофазных потребителей в зависимости от схемы включения эквивалентная нагрузка используется в расчете взамен номинальной, определяется при одинаковых коэффициентах мощности и использования по одной из формул:

$$\begin{aligned} P_{\varnothing} &= 3P_{НОМ.МАХ}, \\ S_{\varnothing} &= 3S_{НОМ.МАХ}, \end{aligned} \quad (6.9)$$

$$\begin{aligned} P_{\varnothing} &= \sqrt{3} \sqrt{P_{1НОМ} + P_{2НОМ} + P_{1НОМ} P_{2НОМ}}, \\ S_{\varnothing} &= \sqrt{3} \sqrt{S_{1НОМ} + S_{2НОМ} + S_{1НОМ} S_{2НОМ}}, \end{aligned} \quad (6.10)$$

где  $P(S)_{НОМ.МАХ}$ , – суммарная номинальная мощность электроприемников наиболее загруженной фазы при включении на фазное напряжение;  $P_1(S_1)_{НОМ}$ ,  $P_2(S_2)_{НОМ}$  – наибольшая и вторая по величине суммарная номинальная мощность электроприемников наиболее загруженных пар фаз при включении на линейное напряжение.

При определении наиболее загруженных фаз нагрузку приводят к ПВ = 100 %

$$P_{AB} = nS_{НОМ} \sqrt{ПВ} \cos \varphi, \quad (6.11)$$

$$P_A = \frac{P_{AB} + P_{AC}}{2} + P_{A0}, \quad (6.12)$$

где  $n$  – число электроприемников с одинаковыми номинальной мощностью и коэффициентом мощности.

Нагрузки других фаз (BC, CA, B, C) определяются аналогично (6.11) и (6.12).

Если коэффициенты мощности и использования однофазных потребителей различны, то расчет производится по выражениям:

$$\begin{aligned} P_{CM(A)} &= K_{II} P_{AB} p_{AB}^{(A)} + K_{II} P_{CA} p_{CA}^{(A)} + K_{II} P_A, \\ Q_{CM(A)} &= K_{II} P_{AB} q_{AB}^{(A)} + K_{II} P_{CA} q_{CA}^{(A)} + K_{II} P_A \operatorname{tg} \varphi_A, \end{aligned} \quad (6.13)$$

где  $P_{CM(A)}$ ,  $Q_{CM(A)}$  – среднесменные активная и реактивная нагрузки на фазу А;  $P_{AB}$  и т. д. – номинальные мощности электроприемников, включенных на фазы АВ и т. д.;  $p_{AB}^{(A)}$ ,  $q_{AB}^{(A)}$  – коэффициенты приведения к фазе А соответственно активной и реактивной нагрузки, подключенной к фазам АВ и т. д.

Коэффициенты приведения к фазе линейной нагрузки приведены в [8]. Если неравномерность нагрузки фаз  $\Delta P_{HEP} < 15\%$ , нагрузку можно считать симметричной. В этом случае при расчете электрических симметричных нагрузок на ЭВМ можно ввести в исходные данные мощность  $P = 3P_{CP.НАИБ}$ .

Для выравнивания однофазной нагрузки в один узел с однофазными приемниками нужно включить трехфазную нагрузку.

### 6.6.3. Расчет нагрузки машин контактной сварки

При расчете нагрузки машин контактной сварки их предварительно распределяют по парам фаз трехфазной сети АВ, ВС, СА.

В качестве расчетной нагрузки машин контактной сварки принимается их среднеквадратичная нагрузка.

$$S_{CK(AB)} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n S_{CPI}\right)^2 + 3\sum_{i=1}^n S_{CKi}^2}, \quad (6.14)$$

где  $S_{CPi}, S_{CKi}$  – средняя и среднеквадратичная (эффективная) мощности машин, подключенных к данной паре фаз.

$$P_{CK(AB)} = S_{CK(AB)} \cos \varphi. \quad (6.15)$$

$$Q_{CK(AB)} = P_{CK(AB)} \operatorname{tg} \varphi. \quad (6.16)$$

Средняя мощность определяется

$$S_{CP} = S_{\Pi} k_B.$$

Среднеквадратичная мощность

$$S_{CK} = \sqrt{S_{\Pi}^2 k_B}$$

где  $S_{\Pi} = S_{уст} k_3$  – пиковая мощность машины;  $S_{уст}$  – установленная мощность;  $k_3$  – коэффициент загрузки машины ( $k_3 = 0,3-0,75$ ); можно принять  $k_3 = 0,6$ ;  $k_B$  – коэффициент включения ( $k_B = 0,3-0,5$ ). Можно принять  $k_B = 0,4$  (коэффициент включения соответствует заданному ПВ).

Неравномерность загрузки по фазам определяется по пиковой мощности фаз.

$$\Delta S_{HEP} = \frac{S_{\Pi.HAIB} - S_{\Pi.HAIM}}{S_{\Pi.HAIM}} \cdot 100 \%. \quad (6.17)$$

На втором этапе определяются токи:

– пиковый

$$i_{\Pi} = \frac{S_{\Pi}}{U_{НОМ}}; \quad (6.18)$$

– средний

$$\begin{aligned} i_{CP} &= i_{\Pi} k_B \\ I_{CP} &= \sum i_{CP}; \end{aligned} \quad (6.19)$$

– эффективный

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{I_{CP}^2 + DI}, \quad (6.20)$$

где  $DI$  – дисперсия

$$DI = \sum i_{\Pi}^2 k_B (1 - k_B). \quad (6.21)$$

Пиковый ток группы сварочных машин

$$I_{\Pi} = I_{CP} + \beta \sqrt{DI}, \quad (6.22)$$

где  $\beta$  – вероятностный коэффициент, определяемый по кривым [8] в зависимости от  $n \cdot k_B$ , где  $n$  – эффективное число сварочных машин

$$n = \frac{I_{CP}^2 (1 - k_B)}{DI \cdot k_B}. \quad (6.23)$$

#### 6.6.4. Расчет электрической нагрузки электроосвещения

Расчет электрических осветительных нагрузок цеха рекомендуется выполнять по методу удельных мощностей. Расчетная нагрузка осветительных приемников в системе общего равномерного освещения определяется по формуле

$$P_{P.O} = p_{уд} F, \quad (6.24)$$

где  $p_{уд}$  – удельная мощность на единицу производственной площади, кВт/м<sup>2</sup>;  $F$  – площадь производственного помещения, м<sup>2</sup>.

При выборе величины  $p_{уд}$  [16, 17] необходимо предварительно выбрать тип светильника, определить нормируемое значение освещенности рабочих мест [12, 16, 17].

При необходимости иметь аварийное освещение необходимо расчетную мощность освещения увеличить на 10–12 %.

Реактивная мощность осветительных приемников определяется по (6.3).

При применении ЭВМ для расчета трехфазной нагрузки в качестве исходных данных в ЭВМ может быть введена мощность условных трехфазных осветительных приемников  $P_{y.св} = 3P_{св}$  и количество условных трехфазных светильников  $n = P_{P.O}/P_{y.св}$ .

За расчетную нагрузку по цеху принимается суммарная нагрузка, в которую входят нагрузки трехфазных и однофазных электроприемников, сварочных машин и освещения

$$S_M = \sqrt{(P_{M3} + P_{Э1} + P_{СК} + P_{P.O})^2 + (Q_{M3} + Q_{Э1} + Q_{СК} + Q_{P.O})^2}. \quad (6.25)$$

#### 6.6.5. Расчет электрических нагрузок предприятия

Для упрощения расчетов при дипломном проектировании, нагрузка цехов предприятия определяется по методу коэффициента спроса. При выполнении расчетов по этому методу необходимо знать установленную мощность группы приемников и коэффициенты мощности и спроса данной группы, определяемые по справочным материалам [12–15].

Расчетную нагрузку группы однородных по режиму работы приемников определяют по формуле

$$P_p = K_C P_{уст}. \quad (6.26)$$

За расчетную нагрузку принимается максимальная нагрузка за наиболее загруженную смену. Соответствующая ей реактивная мощность определяется по (6.5).

Расчетную нагрузку узла системы электроснабжения, в который входят группы электроприемников с различными режимами работы, определяют с учетом разновременности максимумов нагрузки отдельных групп

$$S_P = \sqrt{(\sum P_i)^2 + (\sum Q_i)^2} K_{PM}. \quad (6.27)$$

Если электроснабжение приемников электроэнергии предприятия осуществляется при разных значениях номинальных напряжений, расчет электрических нагрузок необходимо проводить для каждого номинального напряжения.

## 6.7. Расчет мощности компенсирующих устройств

Большинство электроприемников потребляет через сеть реактивную мощность. Ее передача из сети вызывает повышение потерь активной мощности, электроэнергии и напряжения в сети. Для уменьшения этих потерь и увеличения пропускной способности линий и трансформаторов предусматривается в сетях потребителей установка компенсирующих устройств (КУ).

Мощность КУ ( $Q_{КУ}$ ), которые должны быть установлены на предприятии может быть определена по формуле

$$Q_{КУ} = Q_{MC} - Q_C = kQ_M - Q_C, \quad (6.28)$$

где  $Q_{MC}$  – наибольшая реактивная нагрузка предприятия, принимаемая для определения мощности КУ,  $Q_i$  – расчетная (максимальная) реактивная нагрузка предприятия;  $k$  – коэффициент, учитывающий несовпадение по времени наибольших активной нагрузки энергосистемы и реактивной мощности промышленного предприятия. Значение коэффициента несовпадения принимается в зависимости от отрасли промышленности [6, 8];  $Q_C$  – заданное энергосистемой значение потребляемой из ее сети реактивной мощности.

При курсовом и дипломном проектировании следует принять

$$Q_C = tg\varphi_C P_M, \quad (6.29)$$

где  $tg\varphi_C$  – задается в задании на проектирование;  $P_M$  – расчетная (максимальная) активная мощность предприятия.

В большинстве случаев для компенсации реактивной мощности в сетях предприятий используются батареи конденсаторов (БК). При определении мощности БК должна быть учтена реактивная мощность синхронных электродвигателей

$$Q_{БК} = Q_{КУ} - Q_C. \quad (6.30)$$

Выбор типа, мощности и размещение БК в сетях предприятия производится на основании технико-экономических расчетов по минимуму

приведенных затрат с учетом требований компенсации реактивной мощности, качества электроэнергии и надежности электроснабжения [3, 9, 12].

В курсовом проекте электроснабжение цеха выполняется при напряжении до 1000 В без использования синхронных двигателей, поэтому мощность БК достаточно определить по формуле

$$Q_{БК} = Q_M - Q_C = P_M (tg\varphi - tg\varphi_C).$$

К использованию рекомендуется выбрать комплектные конденсаторные устройства. Результаты выбора компенсирующих устройств заносятся в таблицу (табл. П.4.3). Место установки БК необходимо обосновать. После выбора БК определите фактический коэффициент мощности.

### 6.8. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов, места расположения и типа цеховой подстанции

Определяющим фактором при выборе числа трансформаторов цеховой подстанции является категория потребителя. Кроме того следует учесть требования к качеству напряжения: при наличии резкопеременной нагрузки целесообразно раздельное подключение такой нагрузки и общепромышленной.

Мощность трансформаторов определяется расчетной нагрузкой цеха с учетом компенсации реактивной мощности на стороне 0,4 кВ

$$S_{Т.НОМ} = \frac{\sqrt{P_M^2 + (Q_M - Q_{БК})^2}}{NK_3}, \quad (6.31)$$

где  $N$  – число трансформаторов на ТП;  $K_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов, определяемый по [3, 6];  $Q_{БК}$  – мощность компенсирующих устройств, расположенных на стороне низшего напряжения трансформатора;  $P_M, Q_M$  – расчетные активная и реактивная мощности цеха, участка.

Выбор места расположения цеховой трансформаторной подстанции (ТП) производится на основе картограммы нагрузок цеха с учетом общих рекомендаций [6, 7, 12, 13, 14]. Внутрицеховые ТП стремятся разместить в центре электрических нагрузок. Координаты центра электрических нагрузок определяют по выражениям:

$$x_o = \frac{\sum P_i x_i}{\sum P_i}; \quad y_o = \frac{\sum P_i y_i}{\sum P_i} \quad (6.32)$$

где  $P_i$  – расчетная мощность, создаваемая  $i$ -м приемником в цехе;  $x_i, y_i$  – координаты расположения электроприемников.

Выбор типа трансформатора для цеховых ТП зависит от категории помещения, где располагается ТП. При выборе ТП предпочтение следует

отдавать комплектным трансформаторным подстанциям (КТП). Результаты выбора ТП и трансформаторов заносятся в таблицу (табл. П.4.4).

## **6.9. Расчет распределительной электрической сети**

### **6.9.1. Расчет силовой электрической сети**

Расчет сечения проводников силовой электрической сети производится по условию допустимого нагрева на основании значений номинального тока для отдельных потребителей и расчетного тока для группы потребителей [2–4, 7, 8, 12–15]. Выбор проводников осуществляется с учетом категории помещений по пожару, взрыву и окружающей среде, типа электроприемника и его мощности, условий прокладки. Марки проводов, кабелей, шинпроводов приведены в [15]. Особенности расчета троллейных линий, сетей сварочных и передвижных установок рассмотрены в [3, 14, 15].

Выбранные проводники должны быть проверены по условию допустимой потери напряжения при нормальной и пиковой нагрузке [3, 5]. Для проверки выбирается характерный участок электрической сети, наиболее удаленный от ТП с нагрузкой максимальной мощности.

Результаты расчета и выбора проводников сводятся в таблицу (табл. П.4.5).

### **6.9.2. Расчет осветительной сети цеха**

Расчет сечения проводов и кабелей осветительной сети цеха производится по допустимому току и механической прочности, значение тока определяется в зависимости от схемы сети и рода тока [3, 8]. При этом за расчетную активную мощность принимается мощность осветительных приборов, присоединяемых к одной, двум и трем фазам. При проектировании, в зависимости от характера среды и высоты помещения, определяется количество, тип, мощность светильников общего освещения, схема их размещения, схема и конструкция осветительной электросети [8, 16, 17].

Следует обратить особое внимание на применение прогрессивных решений, в частности, применение осветительных шинпроводов ШОС. Необходимо также решить проблему электропитания аварийного освещения цеха как потребителя первой категории. Выбранные проводники должны быть проверены по допустимой потере напряжения [3, 8]. Результаты расчета и выбора проводников сводятся в таблицу (табл. П.4.5).

### 6.9.3. Расчет кабелей на напряжение выше 1000 В

Расчет сечения кабелей внутризаводской распределительной сети на напряжение выше 1000 В производится по экономической плотности тока, пользуясь выражением

$$F = \frac{I_p}{j}, \quad (6.33)$$

где:  $I_p$  – расчетный ток в линии;  $j$  – экономическая плотность тока, выбирается по [2].

Расчетным током кабеля для питания трансформатора цеховой подстанции является номинальный ток трансформатора независимо от его фактической загрузки. При выборе магистральной схемы электроснабжения за расчетный ток принимается ток, определяемый по номинальной мощности трансформаторов, присоединяемых к магистрали и других приемников на напряжение выше 1000 В.

Сечение кабеля должно быть выбрано также по нагреву в аварийном режиме с учетом его перегрузочной способности [3]. Сечение кабеля проверяется на термическую стойкость к току трехфазного короткого замыкания [3, 6].

## 6.10. Выбор коммутационной и защитной аппаратуры

### 6.10.1. Выбор коммутационной и защитной аппаратуры силовой сети

Выбору подлежат неавтоматические выключатели, контакторы и магнитные пускатели, автоматические выключатели и предохранители.

Выбор неавтоматических выключателей контакторов и магнитных пускателей производится по номинальному току электрооборудования, типоразмеру, например, реверсивные и нереверсивные магнитные пускатели и с учетом условий работы аппарата по режиму и окружающей среде. Типы контакторов и магнитных пускателей указаны в [12 (Т.2), 14, 15]. Для защиты от перегрузок одиночных электроприемников в магнитные пускатели встраиваются тепловые реле.

Выбор тепловых реле производится по условию

$$I_{T.P} = (1,2 - 1,3)I_{НОМ}, \quad (6.34)$$

где  $I_{T.P}$  – номинальный ток теплового реле;  $I_{НОМ}$  – номинальный ток электроприемника.

Для защиты одиночных и группы электроприемников от коротких замыканий применяют плавкие предохранители. Выбор плавких вставок предохранителей осуществляется по двум основным условиям [10, 18]:

$$\begin{aligned}
 I_{H.BC} &\geq I_{НОМ}(I_M); \\
 I_{H.BC} &\geq \frac{1}{k} I_{ПУСК}(I_{ПИК}),
 \end{aligned}
 \tag{6.35}$$

где  $I_{H.BC}$  – номинальный ток плавкой вставки;  $I_{НОМ}$  – максимальный расчетный ток присоединения;  $I_{ПУСК}$  – пусковой ток одиночного электроприемника;  $I_{ПИК}$  – пиковый ток группы защищаемых приемников;  $k$  – коэффициент, учитывающий условия пуска электроприемников.

При выборе номинального тока и токов срабатывания расцепителей автоматических выключателей (ВА) пользуются следующими условиями [10, 18]:

$$\begin{aligned}
 I_{H.PC} &\geq I_{НОМ}(I_M); \\
 I_{C.П} &\geq K_{П} I_{H.PC}; \\
 I_{C.K} &\geq K_{H} I_{ПУСК}(I_{ПИК}),
 \end{aligned}
 \tag{6.36}$$

где  $I_{H.PC}$  – номинальный ток расцепителя автоматического выключателя,  $I_{C.П}$  – ток срабатывания расцепителя при перегрузке (уставка тока срабатывания при перегрузке);  $I_{C.K}$  – ток срабатывания расцепителя при коротком замыкании;  $K_{П}$  – коэффициент перегрузки, характеризующийся отношением  $K = (1,15-1,35)$ ;  $K_{H}$  – коэффициент надежности отстройки от пусковых и пиковый токов,  $K_{H} = (1,5-2,2)$  [10].

Уставка тока срабатывания расцепителя при КЗ ( $I_{C.K} / I_{H.PC}$ ) выбирается в соответствии с технической документацией на автоматические выключатели и по [10, 18].

Согласование защиты вводного ВА с ВА отходящих линий производится по выражению

$$I_{C.K.B} \geq K_{H.C} I_{C.K.L},
 \tag{6.37}$$

где  $K_{H.C}$  – коэффициент надежности согласования, принимается равным 1,3–1,5;  $I_{C.K.L}$  – наибольший из токов срабатывания расцепителей ВА отходящих линий.

После определения величины номинальных токов расцепителей уточняется тип расцепителей и типоразмер ВА. Результаты выбора коммутационной и защитной аппаратуры заносятся в таблицу (табл. П.4.6).

### 6.10.2. Выбор аппаратуры осветительной сети

Номинальный ток расцепителей ВА или плавких вставок предохранителей групповых линий не должен превышать 25 А. Для линий

с газоразрядными лампами мощностью 125 Вт и выше и лампами накаливания 500 Вт и более могут применяться аппараты защиты с номинальным током до 63 А.

При выборе номинальных токов расцепителей ВА или плавких вставок предохранителей необходимо учитывать пусковые токи источников света. При этом пользуются соотношениями:

– для сети с лампами накаливания

$$I_{H.PC} \geq 1,4I_P, \quad (6.38)$$

– для сети с лампами ДРЛ

$$\begin{aligned} I_{H.PC} &\geq 1,4I_P; \\ I_{H.BC} &\geq 1,2I_P, \end{aligned} \quad (6.39)$$

где  $I_P$  – расчетный ток в линии.

Автоматические выключатели используют однополюсные с тепловыми и электромагнитными расцепителями.

### **6.10.3. Выбор комплектных распределительных устройств в сети напряжением до 1000 В**

Для распределения электроэнергии и защиты электроустановок в сетях напряжением до 1000 В применяют комплектные устройства – щиты осветительные, пункты распределительные, шкафы, панели и ящики распределительные для силовых сетей.

Распределительные устройства (РУ) комплектуются автоматическими выключателями или плавкими предохранителями. В распределительных шкафах и панелях могут применяться в качестве вводных аппаратов неавтоматические выключатели.

К комплектным устройствам относятся и распределительные устройства низкого напряжения (РУНН) КТП. Во всех ячейках РУНН применяется коммутационно-защитная аппаратура одного и того же конструктивного исполнения. Например, автоматические выключатели применяются или выдвижные или стационарные.

Принятые к установке РУ должны соответствовать схеме электроснабжения по числу возможных подключений и мощности, а также должны быть укомплектованы выбранными в данном разделе коммутационными и защитными аппаратами. Результаты выбора заносятся в табл. П.4.7.

#### **6.10.4. Выбор коммутационной и защитной аппаратуры в сети напряжением 6–10 кВ**

Выбору подлежат аппараты вводного шкафа КТП и ячейки РП. Выбор указанных аппаратов, тип ячейки РП производится с учетом мощности трансформаторов цеховых ТП, расстояния до ТП от ячейки РП. Общие рекомендации изложены в [5, 6, 12 (Т.2), 14], типовые исполнения выбираемой аппаратуры и типа ячеек на РП приведены в [12 (Т2), 14].

#### **6.11. Расчет токов короткого замыкания в характерных точках электрической сети**

Расчет производится для того же участка электрической сети, на котором определялась потеря напряжения. Необходимо учесть особенности расчета тока к.з. для сетей напряжением до 1000 В, изложенные в [19].

Методика расчета известна по курсу «Переходные процессы», который студенты изучают в предыдущих семестрах, а также по [3, 6, 7, 9, 12 (Т1), 14, 19].

В результате расчета определяют токи трехфазного и однофазного к. з. в характерных точках выбранного участка сети.

Полученные результаты вносятся в таблицу (табл. П.4.8) и указываются на карте селективности.

#### **6.12. Проверка элементов системы электроснабжения по токам короткого замыкания**

Элементы системы электроснабжения должны быть проверены на стойкость к токам к.з. Коммутационные аппараты проверяются на электродинамическую стойкость и предельную коммутационную способность, защитные подвергаются проверке на надежность отключения однофазных токов к.з. Сечение выбранных кабелей на напряжение 6–10 кВ проверяется на термическую стойкость к токам трехфазного к. з. Если защита кабельной линии осуществляется с помощью плавких предохранителей, то проверка кабелей на термическую стойкость не проводится.

Проверка элементов системы электроснабжения на стойкость к токам к. з. производится сравнением расчетных токов к. з. с техническими параметрами элементов [3, 12–15].

Результаты проверки заносятся в табл. П.4.9.

### **6.13. Защита электрооборудования, автоматика и измерения в системе электроснабжения. Построение карты селективности**

В электрических сетях напряжением до 1000 В защита оборудования от перегрузок и короткого замыкания осуществляется с помощью автоматических выключателей и плавных предохранителей. Их выбор с учетом надежной защиты рассмотрен в п. 6.10.

С помощью автоматических выключателей и магнитных пускателей может быть обеспечена защита от снижения напряжения в сети.

Для повышения надежности электроснабжения в сетях до 1000 В выполняется АВР на автоматических выключателях, особенно при наличии секционного шкафа на двухтрансформаторной ТП. При необходимости могут быть рассмотрены схемы АПВ.

Конкретные вопросы защиты и автоматики электроустановок согласовываются с руководителем проекта. В проекте необходимо предусмотреть измерение необходимых электрических и энергетических параметров.

Для выполнения настоящего раздела при проектировании рекомендуется использовать [5, 7, 11, 12 (Т1), 18]. С целью проверки избирательности в работе защитных аппаратов строится карта селективности. Исходными данными для построения карты селективности являются пиковые нагрузки и токи к.з. в характерных точках, номинальные данные аппаратов защиты, подлежащие проверке на селективность и времятоковые (защитные) характеристики аппаратов защиты; как правило, карты селективности строятся в логарифмическом масштабе [11, 18].

### **6.14. Расчет защитного заземления**

Расчет защитного заземления производится на основании общих положений [3, 7, 8, 13, 20]. Определяется способ выполнения защитного заземления, тип заземлителей, величина сопротивления заземляющего контура.

### **6.15. Заключение**

В этом разделе кратко излагается реальный итог проектирования, приводятся результаты, характеризующие технический и экономический эффект.

**ЗАДАНИЕ**  
на курсовой проект  
«Разработка системы внутрицехового электроснабжения»

Студент \_\_\_\_\_  
Группа \_\_\_\_\_  
Тема проекта \_\_\_\_\_  
Сроки работы над проектом \_\_\_\_\_

1. Исходные данные:

1.1 План цеха, расстановка технологического оборудования: реальный план (прилагается)/учебный (см. на обороте)

. Ток КЗ на шинах РП \_\_\_\_\_

.  $\text{tg } \varphi_c$  \_\_\_\_\_

. Высота цеха \_\_\_\_\_

. Расстояние от РП до цехового ТП \_\_\_\_\_

2. Перечень вопросов, подлежащих разработке и сроки выполнения:

2.1. Выбор напряжения цеховой питающей электросети

. Составление сводной ведомости электрооборудования 1-я и 2-я недели

. Разработка принципиальной схемы электроснабжения

. Расчет электрических нагрузок 3-я и 4-я недели

2.5. Выбор числа, мощности силовых трансформаторов, места расположения и типа цеховой подстанции 5-я и 6-я недели

2.6. Расчет силовой электрической сети

2.7. Выбор защитной и коммутационной аппаратуры

2.8. Расчет токов КЗ в характерных точках электрической сети 7-я и 8-я недели

2.9. Выбор и проверка аппаратуры ячейки РП и высоковольтного кабеля 9-я неделя

2.10. Расчет осветительной сети цеха

2.11. Выбор способа выполнения защитного заземления

2.12. Дополнительное задание исследовательского характера 10-я неделя

2.13. Выполнение графической части проекта, оформление пояснительной записки 11-я неделя

2.14. Защита проекта 12-я и 13-я недели

3. План цеха и шифр учебного задания

3.1. Общая координатная сетка

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А									
Б									
В									
Г									
Д									
Е									

12 м  
—

3.2. Шифр. Трехзначный:

X – индекс участка сети;

У – вид планировки;

Z – номер варианта.

Шифр приводится в соответствии с методическими указаниями по выполнению настоящего проекта

Задание выдал

Задание принял

Руководитель

Студент

Примечание: Каждый студент получает индивидуальное задание, в котором по пп. 1.1.–1.5. указаны конкретные исходные данные для проектирования; реальный план цеха с расстановкой технологического оборудования определяется самим студентом в период проектно-конструкторской практики, которая предшествует выполнению курсового проекта.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Исходные данные для учебного проектирования «Разработка системы внутрицехового электроснабжения»

П.2.1. Задание на учебный проект.

На общей координатной сетке рис. П.2.1. указывается вид планировки, на который наносится шифр задания.

Общая координатная сетка

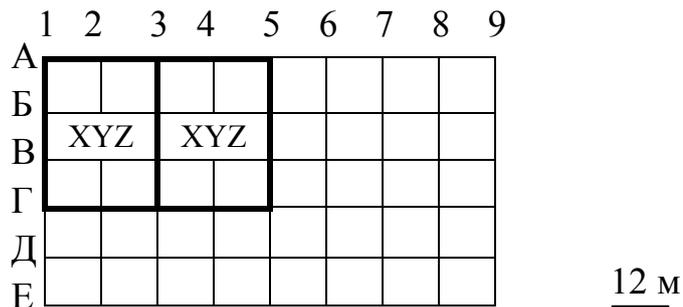


Рис. П.2.1.

П.2.2. Шифр задания

В трехпозиционном обозначении шифра указывается

X – индекс участка цеха;

Y – вид планировки;

Z – номер варианта.

П.2.2.1. Индекс участка цеха (X в шифре задания). Участкам присвоены следующие номера:

1 – механический;

2 – сварочный;

3 – термический;

4 – электроремонтный.

П.2.2.2. Вид планировки (Y в шифре задания)

По каждому из участков возможны два вида планировки 1-й и 2-й, размещение оборудования в соответствии с которыми указано на рис. П.2.2.–П.2.5, (буквы «а»; «б» – означают варианты планировки).

П.2.2.3. Номер варианта (Z в шифре задания) принимается по табл. П.2.

П.2.3. Пример записи учебного задания

На рис. П.2.6 приведен пример учебного задания по планировке проектируемого объекта

Продолжение прил. 2

Таблица П.2

Варианты задания по количеству и установленной мощности оборудования

Наименование участка цеха	Номер по плану участка	Тип оборудования	Установленная мощность (кВт)	Количество по вариантам					
				I	II	III	IV	V	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Механический участок	1	Металлорежущие станки	1,0	4	3	6	5	2	
			1,6	3	3	2	4	4	
			2,0	5	4	3	4	6	
			2,5	4	6	5	3	4	
	2	Металлорежущие станки	5,0	5	6	3	4	5	
			7,0	4	5	5	6	3	
			10,0	5	4	6	4	5	
			15,0	6	4	5	6	3	
			20,5	4	5	5	4	8	
	3	Карусельные станки с ЧПУ	105	1	2	1	–	2	
			125	1	1	2	2	–	
			150	1	–	–	1	1	
	4	Универсальные станки с ЧПУ	55	2	2	3	3	2	
			70	1	2	–	1	2	
			85	1	–	1	–	–	
	5	Вентиляторы	7,5	4	2	3	5	1	
			11	2	4	3	1	5	
	6	Кран-балки	22	2	2	2	2	2	
	2. Сварочный участок	7	Металлорежущие станки	1,2	1	2	3	3	4
				2,5	2	2	1	2	2
				5,0	4	3	3	2	1
8		Машины дуговой сварки (однофазные)	9 (кВ·А)	3	4	2	2	2	
			18 (кВ·А)	2	1	2	3	1	
			24 (кВ·А)	1	1	2	1	3	
9		Установки шовной сварки (однофазные)	56 (кВ·А)	1	1	2	3	2	
			84 (кВ·А)	1	3	2	1	1	
			96 (кВ·А)	3	1	1	1	2	

Продолжение прил. 2

Окончание табл. П.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10	Установки стыковой сварки (однофазные)	98 (кВ·А)	4	3	2	2	3
			104 (кВ·А)	1	2	2	3	1
			120 (кВ·А)	1	1	2	1	2
	11	Вентиляторы	7,5	6	5	4	3	2
			11	2	3	4	5	6
			30	2	2	2	2	2
3. Термическое отделение	13	Металлорежу- щие станки	2,5	2	3	4	3	1
			1,0	4	1	1	2	3
			4,5	1	3	2	2	3
	14	Электропечи сопротивления	15	2	1	3	1	2
			35	2	3	1	2	1
			40	2	2	2	3	3
	15	Электропечи сопротивления	70	1	1	1	1	1
			120	2	1	1	2	1
230			1	1	2	1	2	
360			1	2	1	1	1	
16	Индукционные канальные печи	18	2	2	1	3	4	
		28	4	3	3	1	2	
		36	2	3	4	2	1	
		60	2	2	2	4	3	
17	Индукционные тигельные печи	170	3	4	5	6	6	
		230	4	3	2	1	1	
18	Вентиляторы	3	4	3	2	5	6	
		7,5	4	5	6	3	2	
19	Кран-балки	30	2	2	2	2	2	
4. Электроремонт- ное отделение	20	Универсальные электроремонт- ные стенды	3,5	5	4	6	3	4
			5,2	4	6	2	4	4
			7,0	4	5	4	6	6
			10	4	2	5	4	3
21	Универсальные металлорежущие станки	10,0	3	2	1	4	1	
		14,5	2	1	3	1	4	
		18,0	1	3	2	1	1	
22	Печь сопротивления	35	1	1	1	1	1	
23	Вентиляторы	5,5	3	3	3	3	3	

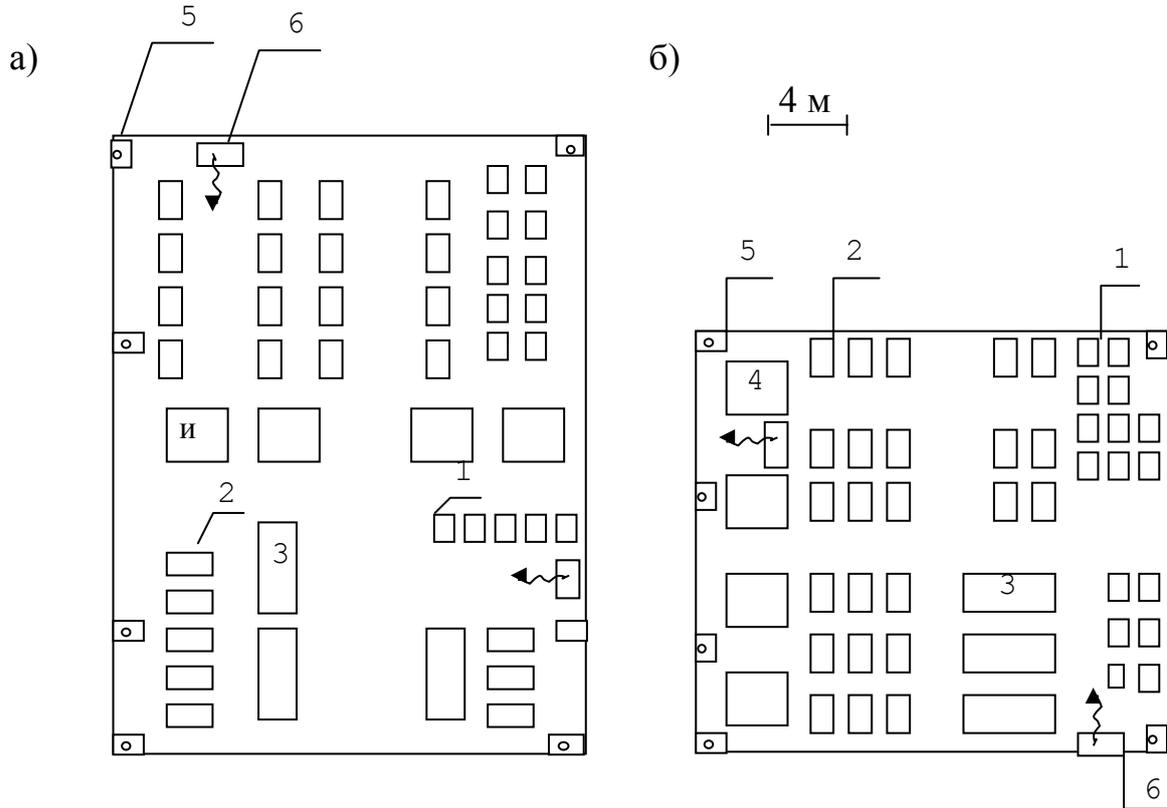


Рис. П.2.2. Расстановка оборудования механического участка

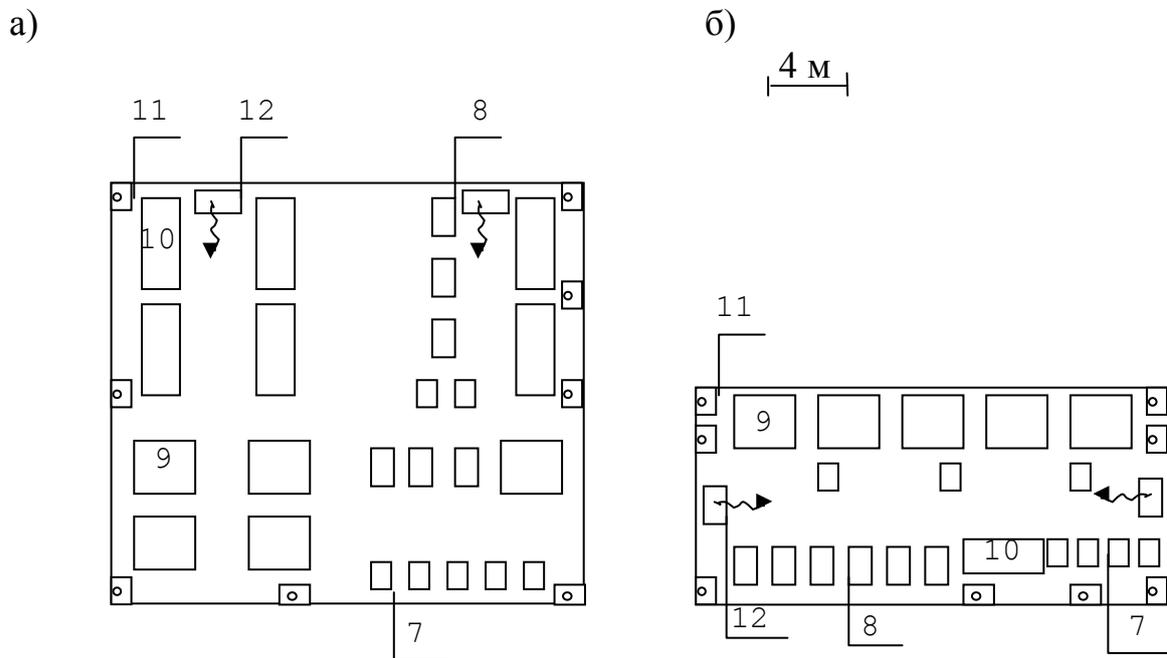


Рис. П.2.3. Расстановка оборудования сварочного участка

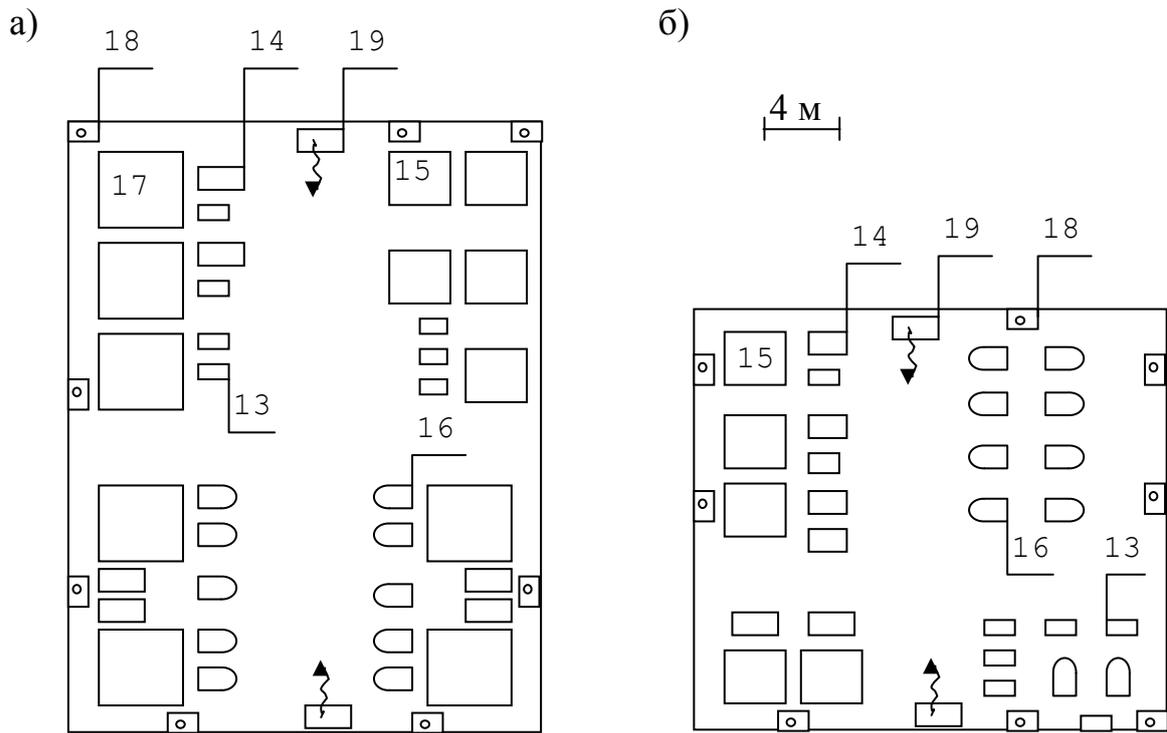


Рис. П.2.4. Расстановка оборудования термического участка

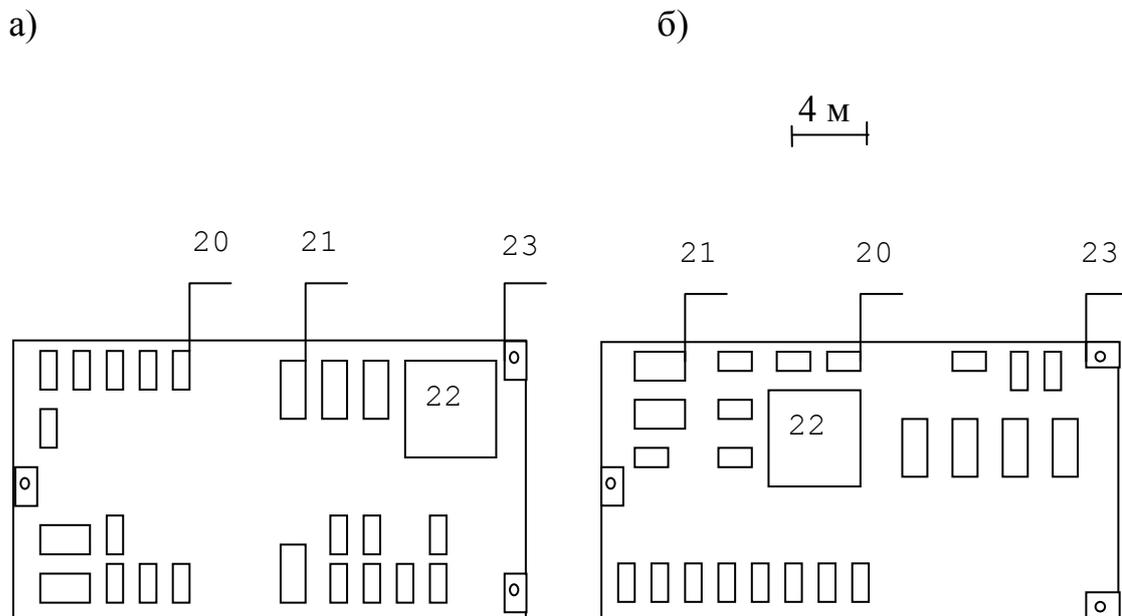


Рис. П.2.5. Расстановка оборудования электроремонтного участка

## Пример планировки

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А									
Б									
В		112		213		322			
Г						421			
Д									
Е									

12 м

Рис. П.2.6.

В соответствии с рис. П.2.6 в состав цеха указанной конфигурации входят:

112

1 – механический участок;

1 – первый вариант размещения оборудования на этом участке (рис. П.2.2, а);

2 – второй вариант по мощности оборудования (табл. П.2);

213

2 – сварочный участок;

1 – первый вариант размещения оборудования на этом участке (рис. П. 2.3, а);

3 – третий вариант по мощности оборудования (табл. П.2);

322

3 – термический участок;

2 – второй вариант размещения оборудования на этом участке (рис. П.2.4, б);

2 – второй вариант по мощности оборудования (табл. П.2);

421

4 – электроремонтный участок;

2 – второй вариант размещения оборудования на этом участке (рис. П.2.5, б);

1 – первый вариант по мощности оборудования (табл. П.2).

Если студент выполняет проект на основании реальных исходных данных, то состав отделений, их количество и размещение могут быть отличными от указанных в настоящем практикуме.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Формы штампов на документацию проекта

Рис. П.3.1. Основная надпись для чертежей и схем

Рис. П.3.2. Основная надпись для текстовых документов.  
Первый или заглавный лист

Рис. П.3.3. Надпись для текстовых документов.  
Последующие (нечетные) страницы

Стр.	КП-УлГТУ-13.03.02-XXX-16				
		изм	лист	№ докум.	подп.

Рис. П.3.4. Надпись для текстовых документов.  
Последующие (четные) страницы

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### Формы таблиц для записи результатов расчета

Таблица П.4.1

#### Сводная ведомость электрооборудования

Наименование отделения, участка	Номер по плану	Технологическое оборудование		Тип электро- оборудования	Номинальные параметры электрооборудования			
		тип	мощность, кВт		мощ- ность, кВт	cos φ	η	другие пара- метры

Таблица П.4.3

#### Основные технические данные конденсаторных установок

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная мощность, кВАр	Количество секций	Возможность регулирования мощности

Таблица П.4.4

#### Основные технические данные цеховых ТП

Тип ТП	Трансформаторы								Тип шкафа			
	тип	кол- во	ном. мощность, кВ·А	схема соед. обм.	Потери, кВт		u <sub>к</sub> , %	i <sub>о</sub> , %	Ввода ВН	Низковольтного		
					ХХ	КЗ				ввод- ной	секци- онный	линей- ный

Таблица П.4.5

#### Результаты выбора проводников цеховой электрической сети

Наимено- вание участка, номер электро- приемника	Тип, марка провод- ника, шинопро- вода	Расчет- ный ток нагрузки, А	Пиковый ток нагрузки, А	Длина провод- ников, шинопро- водов, м	Сечение провод- ников, мм <sup>2</sup>	Длительно допусти- мый ток, А	Спо- соб прок- ладки

### Формы таблиц для записи результатов расчета

Таблица П.4.2. Расчет электрических нагрузок (форма Ф636-92)

Исходные данные		Расчетные величины		Эффективное число ЭП** $n_3 = (\sum P_n)^2 / \sum n p_n^2$	Коэффициент расчетной нагрузки $K_p$	Расчетная мощность		Расчетный ток, А $I_p = S_p / (\sqrt{3} U_n)$						
		по справочным данным	$K_u P_n$ гф			активная, кВт $P_p = K_p \sum K_u P_n$	реактивная, кВАр** $Q_p = 1,1 \sum K_u P_n \times \text{tg} \varphi$ при $n_3 \leq 10$ ; $Q_p = \sum K_u P_n \times \text{tg} \varphi$ при $n_3 > 10$		полная, кВ·А $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$					
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.* $n$	Номинальная (установленная) мощность, кВт* об- одного ЭП $p_n$	Коэффициент использования $K_u$	Коэффициент реактивной мощности сти $\cos \varphi$ $\text{tg} \varphi$	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
														4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

\* Резервные ЭП, а также ЭП, работающие кратковременно, в расчете не учитываются.

\*\* При расчете электрических нагрузок для магистральных шинопроводов, на шинах цеховых трансформаторных подстанций, в целом по цеху, корпусу, предприятию:  
допускается определять  $n_3$  по выражению

$$n_3 = 2 \sum P_n / p_{n, \text{макс}}$$

расчетная реактивная мощность принимается равной

$$Q_p = K_p K_u P_n \text{tg} \varphi = P_p \text{tg} \varphi$$

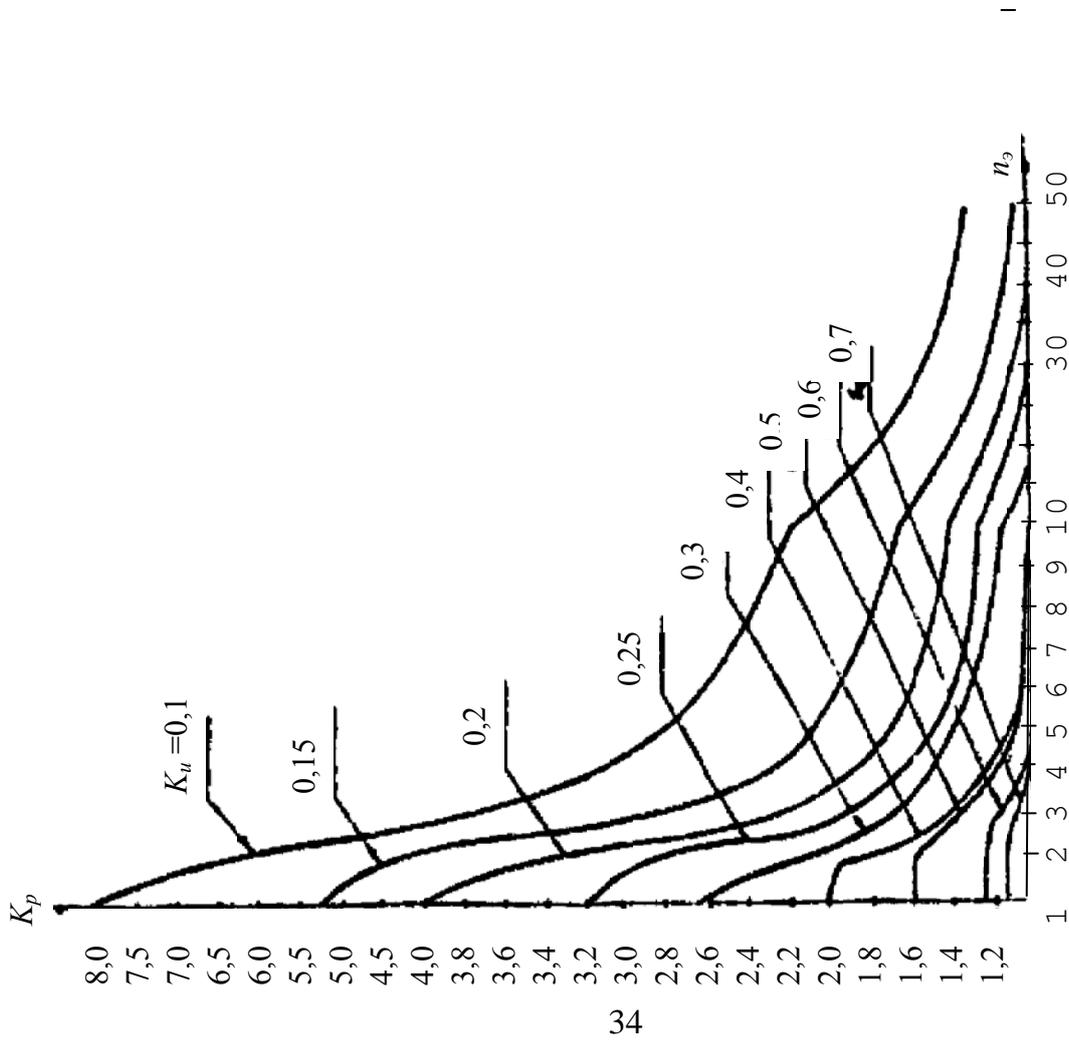


Рис. П. 4.1. Кривые коэффициента расчетных нагрузок  $K_p$  для различных коэффициентов использования  $K_u$  в зависимости от  $n_3$  (для постоянной времени нагрева  $T_0 = 10$  мин)

Таблица П.4.6

Результаты выбора коммутационных и защитных аппаратов

Наименование участка, номер электрооборудования	Расчетный ток нагрузки, А	Пиковый ток нагрузки, А	Защитный аппарат					Коммутационный аппарат у приемника		
			тип	ном. ток ВА или патрона предохран., А	ном. ток расцепителя или плавкой вставки, А	уставка тока КЗ	время срабатывания при КЗ	тип	ном. ток магнитного пускателя, А	ном. ток теплового реле, А

Таблица П.4.7

Выбор распределительных шкафов, пунктов (ПР) цеховой сети

Номер ПР	Тип, обозначение ПР	Вводный коммутационный аппарат		Линейные коммутационные аппараты			Примечание
		тип	ном. ток, А	тип	кол-во	ном. ток, А	

Таблица П.4.8

Результаты расчета токов КЗ

Точка КЗ	Сопротивление схемы замещения, мОм		Ток короткого замыкания		
	для трехфазного КЗ	для однофазного КЗ	Трехфазное КЗ		Однофазное КЗ, действующее значение, кА
			действующее значение, кА	ударный ток, кА	

Таблица П.4.9

Проверка коммутационных и защитных аппаратов на стойкость к токам КЗ

Точка КЗ	Расчетные значения		Выбранный аппарат	Параметры коммутационно-защитных аппаратов	
	$I_K^{(3)}$ , кА	$i_y$ , кА		$I_{откл}$ , кА	$i_d$ , кА

**ПРИЛОЖЕНИЕ 5**

Таблица П.5.1

Значения  $K_{II}$  и  $\text{tg}\varphi/\cos\varphi$  для различных характерных групп электроприемников

Наименование приемников электроэнергии	$K_{II}$	$\text{tg}\varphi/\cos\varphi$
1	2	3
Металлорежущие станки: токарные, строгальные, долбежные, сверлильные и др. мелкосерийного производства;	0,12	2,29/0,4
то же при крупносерийном производстве;	0,16	1,73/0,5
при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, обдирочные станки и др.	0,17	1,17/0,65
при особо тяжелом режиме работы: приводы молотов, ковочных машин и др.;	0,2	1,17/0,65
многошпиндельные автоматы;	0,2	1,73/0,5
автоматические постоянные линии;	0,5	1,02/0,7
шлифовальные станки	0,35	1,17/0,65
Подъемно-транспортные механизмы: элеваторы, транспортеры, шнеки, конвейеры несблокированные;	0,4	0,88/0,75
то же заблокированные;	0,55	0,88/0,75
краны, тельферы при ПВ 25%;	0,05	1,73/0,5
то же при ПВ 40%	0,1	1,73/0,5
подъемно-транспортные механизмы, обслуживающие электрические печи (краны)	0,75	0,88/0,75
Сварочное оборудование: сварочные трансформаторы для ручной сварки	0,3	2,68/0,35
Электрические печи: печи сопротивления с непрерывной загрузкой, сушильные шкафы;	0,7	0,33/0,95
индукционные печи низкой частоты;	0,7	2,68/0,35

Окончание табл. П.5.1

1	2	3
индукционные печи высокой частоты, выпрямители ТВЧ	0,7	1,17/0,65
Дуговые сталеплавильные печи от 3 до 10 т: с автоматическим регулированием электродов и механизированной загрузкой;	0,75	0,48/0,9
для качественных сталей без механизированной загрузки;	0,6	0,57/0,87
для фасонного литья с механизированной загрузкой	0,2	1,17/0,65
Насосы, вентиляторы, компрессоры: насосы, компрессоры, двигатель-генераторы;	0,7	0,75/0,8
вентиляторы, эксгаустеры, вентиляционное оборудование;	0,7	0,75/0,8
кондиционеры	0,95	0,62/0,85
Технологические механизмы: дробилки молотковые;	0,8	0,62/0,85
барабаны смесительные;	0,7	0,75/0,8
выпрямители полупроводниковые;	0,7	0,75/0,8
Освещение: производственные корпуса;	0,95	0,33/0,95
конторско-бытовые, лабораторные здания;	0,8	0,33/0,95
складские здания;	0,6	0,33/0,95
аварийное освещение;	1,0	0,33/0,95
мелкие нагревательные приборы	0,6	0/1

**ПРИЛОЖЕНИЕ 6**

**Значения коэффициентов расчетной нагрузки**

Таблица П.6. 1

Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  для питающих сетей напряжением до 1000 В

$n_p$	Коэффициент использования $K_u$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,11	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,10	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,30	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  на шинах НН цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

$n_p$	Коэффициент использования $K_u$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6-8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9-10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10-25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25-50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дипломное проектирование. Основные положения. Стандарт предприятия СТП УлПИ 8–85. – Ульяновск, 1985.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М.: НЦ ЭНАС, 2015.
3. Федоров, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – М. : Энергоатомиздат, 1984.
4. Указания по расчету электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4-92 [www.ps-electrik.ru/rtm-36-18-32-4-92.html](http://www.ps-electrik.ru/rtm-36-18-32-4-92.html).
5. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Ермилов. – М. : Энергоатомиздат, 1989.
6. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б. И. Кудрин. – М. : Интернет Инжиниринг, 2005.
7. Коновалова, Л. Л. Электроснабжение промышленных предприятий и установок / Л. Л. Коновалова, Л. Д. Рожкова. – М. : Энергоатомиздат, 1989.

8. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. – М. : Энергоатомиздат, 1987.
9. Иванов, В. С. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий / В. С. Иванов, В. И. Соколов. – М. : Энергоатомиздат, 1987.
10. Беляев А. В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ /А. В. Беляев. – Л. : Энергоатомиздат, 1988.
11. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. – 4-е изд. – М. : Высшая школа, 2005.
12. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / под ред. А. А. Федорова. – М. : Энергоатомиздат, –1986, Т.1. – 1987, Т.2.
13. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / под ред. А. А. Федорова и Г. В. Сербиновского. – М. : Энергия, – 1980, Т.1, – 1981, Т.2.
14. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю. Г. Барыбина. – М. : Энергоатомиздат, 1990.
15. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под редакцией Ю. Г. Барыбина. – М. : Энергоатомиздат, 1991.
16. Кноринг, Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кноринг, Г. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – 2-е изд. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992.
17. Сборник алгоритмов и программ расчетов систем электроснабжения : учебное пособие / В. П. Степанов, Е. Н. Федотов, О. Ф. Миронов, А. Н. Проценко. – Куйбышев : КПтП, 1982.
18. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебное пособие / В. А. Андреев. – Ульяновск : УлГТУ, 2000.
19. Андреев, В. А. Короткие замыкания и перегрузки в сетях напряжением до 1 кВ и защита от них / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин. – Ульяновск : УлГТУ, 1996.
20. Гончар, С. Т. Вопросы охраны труда в дипломных проектах : методические указания / С. Т. Гончар. – Ульяновск : УлПИ, 1986.