



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный  
технический университет**

---

**Кафедра «Электроснабжение»**

**В. Н. Радкевич  
В. Б. Козловская  
И. В. Колосова**

**РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Учебно-методическое пособие**

**Минск  
БНТУ  
2013**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**Белорусский национальный технический университет**

---

**Кафедра «Электроснабжение»**

**В. Н. Радкевич**  
**В. Б. Козловская**  
**И. В. Колосова**

**РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**  
**ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Учебно-методическое пособие**  
**для студентов специальности**  
**1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»**

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
в сфере высшего образования Республики Беларусь по образованию  
в области энергетики и энергетического оборудования*

**Минск**  
**БНТУ**  
**2013**

УДК 658.26:621.311.016:378.147.091.313(075.8)

ББК 31.27-02я7-

P15

Рецензенты:

*И. И. Сергей, М. И. Фурсанов*

**Радкевич, В. Н.**

- P15** Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» / В. Н. Радкевич, В. Б. Козловская, И. В. Колосова. – Минск : БНТУ, 2013. – 124 с.  
ISBN 978-985-525-953-5.

В пособии рассматриваются существующие методы расчета электрических нагрузок и даются рекомендации по их применению при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий. Излагаемый материал базируется на действующей нормативно-технической документации и иллюстрируется поясняющими примерами. Приводится необходимая справочная информация.

Издание предназначено для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)». Может быть полезным студентам других специальностей, изучающим вопросы расчета электрических нагрузок в электроэнергетических дисциплинах.

УДК 658.26:621.311.016:378.147.091.313(075.8)

ББК 31.27-02я7

ISBN 978-985-525-953-5

© Радкевич В. Н., Козловская В. Б.,  
Колосова И. В., 2013

© Белорусский национальный  
технический университет, 2013

## Содержание

Введение .....	4
1 Определение электрических нагрузок при проектировании .....	6
2 Уровни систем электроснабжения промышленных предприятий, на которых определяются расчетные электрические нагрузки.....	8
3 Основные понятия и определения электрических нагрузок.....	11
4 Коэффициенты, используемые при определении электрических нагрузок .....	17
5 Классификация методов расчета электрических нагрузок .....	25
6 Определение силовых нагрузок по коэффициенту расчетной мощности.....	26
7 Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и коэффициенту спроса.....	50
8 Определение расчетной нагрузки по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции.....	57
9 Определение расчетной нагрузки по удельной мощности на единицу производственной площади.....	60
10 Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту формы.....	64
11 Определение расчетной нагрузки статистическим методом .....	66
12 Метод определения расчетных нагрузок по технологическому графику .....	68
13 Определение расчетных нагрузок однофазных электроприемников.....	69
14 Определение электрических нагрузок комплексным методом.....	75
15 Определение пиковых нагрузок .....	76
Список использованных источников .....	79
Приложения.....	81
Основные термины и определения.....	114

## Введение

*Электрическая нагрузка* представляет собой мощность, потребляемую электроприемниками (ЭП) или передаваемую по элементам системы электроснабжения (СЭС) в определенный момент времени. Для ЭП она обусловлена электроэнергией, потребляемой из сети и преобразуемой в другие виды энергии. Нагрузка линий электропередачи, силовых трансформаторов и других элементов электрической сети СЭС вызвана передачей электроэнергии от источников питания к ЭП. При этом электрическая нагрузка в каждый момент времени определяется мощностью некоторого числа включенных в работу ЭП, присоединенных к электрическим сетям разных напряжений.

Естественное изменение электрических нагрузок во времени обусловлено свойствами технологических процессов, в обеспечении которых участвует множество разнообразных электроприемников с разными графиками нагрузок. В системе электроснабжения каждый электроприемник в определенный момент времени потребляет некоторую активную мощность, т. е. его электропотребление является случайной функцией времени. Суммарная нагрузка потребителя электроэнергии в каждый момент времени складывается из нагрузок электроприемников, используемых на предприятии в рассматриваемое время.

На предприятиях с автоматизированным поточным производством, когда электроприемники работают с периодическими или циклическими графиками нагрузок, характеризующимися определенной повторяемостью в течение рабочей смены, на режимы электропотребления влияют случайные факторы. Они связаны с неоднородностью перерабатываемого сырья и обрабатываемых материалов, температурных режимов, состояния технологического и вспомогательного оборудования и т. п. Эти факторы из-за их случайного характера точно учесть в формировании результирующей электрической нагрузки предприятия невозможно. Последнее оказывает существенное влияние на мгновенное значение потребляемой активной мощности и его продолжительности. В результате нагрузка предприятия во времени изменяется и представляет собой случайную функцию, имеющую экстремумы в течение суток. Поэтому анализ и определение электрических нагрузок осуществляются методами, использующими элементы математической статистики и теории вероятностей.

В процессе проектирования и эксплуатации СЭС электрическая нагрузка может рассматриваться как случайный процесс или как случайная величина. Это зависит от того, рассматривается ли она в опреде-

ленном диапазоне времени или при его фиксированном значении. При этом для узлов СЭС, начиная с трансформаторных подстанций (ТП) напряжением 6–10/0,4 кВ, можно считать, что электрическая нагрузка как случайная величина подчиняется нормальному закону распределения вероятностей [1–6].

Электрическая нагрузка электроприемника, потребителя или элемента системы электроснабжения может быть представлена в виде активной, реактивной и полной мощности, а также в виде тока. В зависимости от решаемой задачи используется тот или иной вид нагрузки. Расчетная нагрузка является одним из основных показателей, учитываемых при выборе электрооборудования и средств компенсации реактивной мощности, при определении условий присоединения электроустановок потребителей к энергосистеме, решении других проектных и эксплуатационных задач электроснабжения. Выбор всех элементов СЭС и определение параметров режима работы электрических сетей производятся на основе расчетных электрических нагрузок. От величин нагрузок зависят также применяемые схемы, конструктивное исполнение сетей и расположение сетевых объектов.

Тепловой износ изоляции проводников зависит от их нагревания, вызванного током нагрузки. Он протекает на основе физико-химических закономерностей, согласно которым старение изоляции в относительных единицах выражается так называемым *восьмиградусным правилом*. Последнее состоит в том, что повышение температуры жилы проводника на каждые 8 °С приводит к ускорению теплового износа (старению) изоляции в два раза, и наоборот [5]. Поэтому весьма важно, чтобы температура нагрева проводников не превышала длительно допустимого значения в условиях эксплуатации. Для этого необходимо правильно определять расчетные нагрузки элементов СЭС.

С обобщенной точки зрения электрическая нагрузка, изменяющаяся во времени, может рассматриваться как результат электрифицированной жизнедеятельности человека в промышленности, быту и т. д. Электропотребление зависит от характера указанной жизнедеятельности в рабочие и выходные дни, а также от природных явлений, выражающихся в смене времени суток и года, климатических условий и т. д. Изменение электрической нагрузки во времени проявляет определенные, достаточно устойчивые закономерности. Это позволяет создавать методы для ее физико-математического представления на стадиях проектирования и эксплуатации СЭС промышленных предприятий [2].

## 1 Определение электрических нагрузок при проектировании

Электрические нагрузки должны определяться на всех стадиях проектирования СЭС: разработке задания на проектирование, архитектурного и строительного проектов [7].

На стадии составления задания на проектирование определяется результирующая электрическая нагрузка предприятия для решения вопросов присоединения его к сетям энергосистемы. На этом этапе исходные данные по номинальным мощностям отдельных электроприемников, как правило, отсутствуют. В этом случае ожидаемая электрическая нагрузка принимается по фактическому электропотреблению предприятия-аналога или рассчитывается по достоверному значению коэффициента спроса при наличии данных о суммарной установленной мощности электроприемников. Точность определения ожидаемой электрической нагрузки зависит в значительной степени от полноты имеющейся статистической информации по электропотреблению действующих промышленных предприятий разного назначения. Однако эта информация во многих случаях недостаточно достоверна или вообще отсутствует, что затрудняет определение значения ожидаемой электрической нагрузки с необходимой точностью. Поэтому важнейшей задачей проектных организаций является создание автоматизированного банка данных по электропотреблению предприятий различных отраслей промышленности [8].

Расчет ожидаемой электрической нагрузки предприятия может выполняться по удельным показателям электропотребления: удельному расходу электроэнергии на единицу продукции или удельной плотности нагрузок на единицу производственной площади. Следует иметь в виду, что эти показатели должны включать в себя не только электропотребление основных технологических механизмов, но и электроприемников, обеспечивающих вспомогательные нужды предприятия (освещение, вентиляцию, водоснабжение, канализацию и т. п.). Доля последних в электропотреблении значительна и имеет тенденцию к росту, особенно в связи с необходимостью выполнения требований по экологической безопасности.

При разработке архитектурного и строительного проектов промышленного предприятия расчет электрической нагрузки выполняется для построения схемы электроснабжения на напряжении выше 1 кВ, выбора и заказа электрооборудования СЭС предприятия. Рас-

чет нагрузки производится параллельно с построением схемы электроснабжения в нижепредставленной последовательности [8].

1. Определяется расчетная нагрузка питающих сетей напряжением до 1 кВ и на шинах каждой цеховой трансформаторной подстанции. Одновременно ведется построение питающей сети, выбор сечений проводников и защитных аппаратов, уточняются мощности трансформаторов.

2. Выполняется расчет электрической нагрузки на напряжении до 1 кВ в целом по корпусу (предприятию) для выявления общего числа и мощности цеховых ТП.

3. Выполняется расчет электрической нагрузки на напряжении 6–10 кВ и выше на сборных шинах распределительных пунктов (РП), главных понизительных подстанций (ГПП), подстанций глубокого ввода (ПГВ).

4. Определяется расчетная электрическая нагрузка предприятия в точке балансового разграничения с энергосистемой.

При проектировании СЭС первоначально определяется количество, структура и нагрузки одиночных обособленных потребителей электроэнергии и ЭП. Остальные электроприемники разбиваются на группы по упорядоченному принципу [7]:

– группы характерных ЭП: электродвигателей производственных механизмов, станков, вентиляторов; осветительных установок; электротермических установок и т. п.;

– группы ЭП по степени надежности электроснабжения, режиму работы и т. п.;

– группы по территориальному размещению ЭП;

– группы ЭП по производственно-техническим узлам и т. д.

Каждая группа питается от одного распределительного устройства: шиннопровода, шкафа, пункта и т. п. Следовательно, от способа формирования групп электроприемников зависит выбор применяемого электрооборудования. Для каждой группы определяются электрические нагрузки. Отметим, что *группа* – это два или более двух электроприемников, подключенных к одному распределительному или вводному устройству. Это достаточно широкое понятие. В зависимости от уровня системы электроснабжения группой может быть многодвигательный станок, технологический агрегат, цех, корпус и предприятие в целом.

При расчете нагрузок отдельно должны быть определены нагрузки ЭП особой группы первой категории и нагрузки электроприемников третьей категории [8]. Нагрузки ответственных электроприемников необходимо знать для выбора мощности третьего независимого взаимно резервирующего источника питания, а приемников третьей категории – для разработки графика ограничения электропотребления, который составляется для предприятий, участвующих в регулировании графика нагрузки энергосистемы в осенне-зимний период.

Определение электрических нагрузок на стадии разработки строительного проекта следует вести по коэффициенту расчетной мощности.

Исходными данными для расчета являются таблицы задания от технологов, сантехников и других специалистов смежных подразделений, в которых указываются данные ЭП.

Во всех случаях, когда это возможно, расчетная нагрузка должна определяться на основании паспортных данных технологических машин и оборудования с учетом реально ожидаемой технологической схемы работы, производительности установки и нагрузки отдельных механизмов. При отсутствии такой информации применяются расчетные коэффициенты, выявленные на действующих установках, подобных проектируемой.

Правильное определение ожидаемых электрических нагрузок существующими методами играет исключительно важную роль при формировании рациональной СЭС. Ошибки, допущенные при расчете нагрузок, сводят на нет усилия создателей СЭС в этом направлении и приводят к неэффективному использованию инвестиций в проектируемый объект.

## **2 Уровни систем электроснабжения промышленных предприятий, на которых определяются расчетные электрические нагрузки**

В СЭС промышленного предприятия, получающего электроэнергию от энергосистемы (ЭС), имеется несколько характерных уровней, на которых определяются расчетные электрические нагрузки [3, 6, 7]. Число их зависит от схемы электроснабжения, мощности потребителей электроэнергии и их размещения на территории предприятия. На рисунке 1 приведена упрощенная принципиальная схема электроснабжения предприятия с указанием уровней, на которых производится расчет электрических нагрузок. На схеме в качестве электроприем-

ников показаны электродвигатели М1–М8, на месте которых при реальном проектировании могут быть электроприемники других видов.

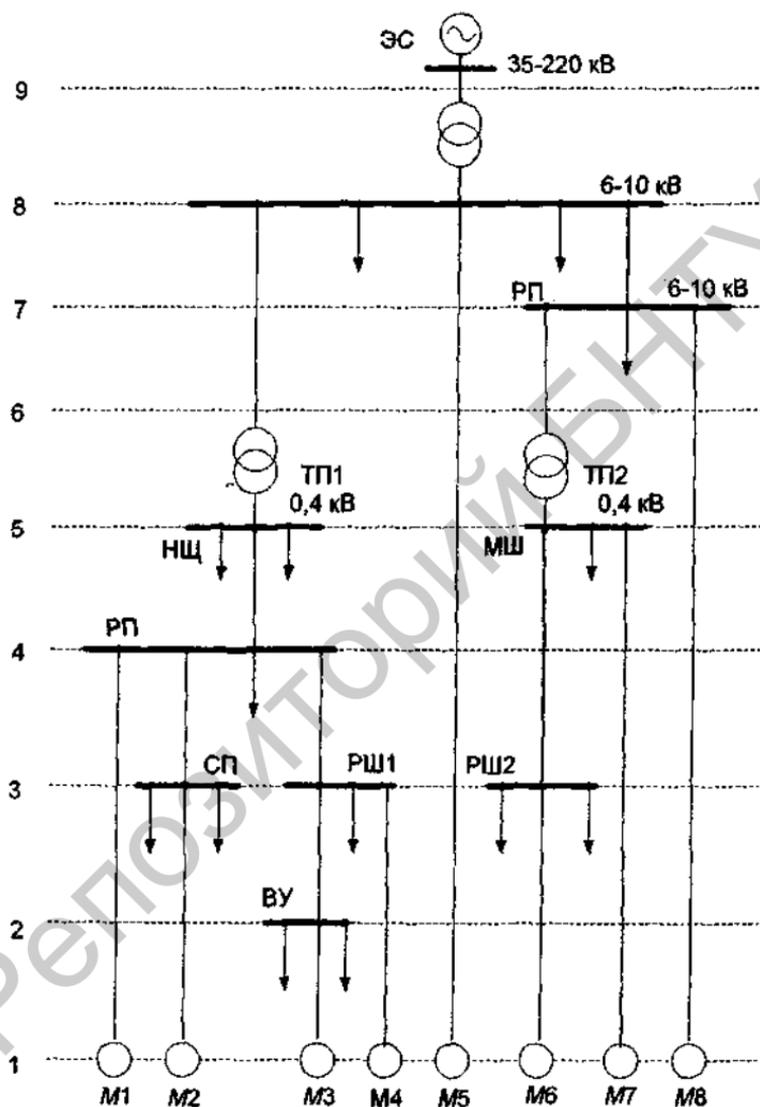


Рисунок 1 – Уровни СЭС, на которых определяются электрические нагрузки

Из приведенного рисунка 1 видно, что влияние электроприемников на электрические нагрузки определенных уровней зависит от схе-

мы электроснабжения. Так, например, электроприемник МЗ участвует в формировании нагрузок всех девяти уровней, а М8 – только четырех (1, 7, 8 и 9).

В таблице 1 дается информация о том, при выборе каких видов электрооборудования и сечений проводников используются электрические нагрузки указанных уровней СЭС.

Таблица 1 – Использование нагрузок уровней СЭС при выборе электрооборудования и сечений проводников

Уровень СЭС	Электроприемники и элементы схемы, для которых определяются нагрузки	Элементы СЭС и параметры схемы, выбираемые на основе электрической нагрузки уровня
1	2	3
1	Отдельные электроприемники	Сечения проводников ответвлений к электроприемникам и электрические аппараты в цепях ответвлений
2	Вводные устройства (ВУ) технологических агрегатов и станков с несколькими электроприемниками	Сечения проводников и электрические аппараты линий, питающих ВУ
3	Группы электроприемников, силовые пункты (СП), распределительные шинопроводы (РШ)	СП и РШ, а также электрические аппараты и сечения проводников линий, питающих СП и РШ
4	Распределительные пункты (РП) напряжением до 1 кВ цеха	Вводные панели РП, электрические аппараты и сечения проводников линий, питающих РП
5	Шины напряжением до 1 кВ ТП, магистральные шинопроводы (МШ)	Число и мощность трансформаторов, сечение шин распределительного устройства цеховой ТП, МШ, электрические аппараты в цепях трансформаторов напряжением до 1 кВ
6	Линии 6–10 кВ, питающие цеховые ТП	Сечения проводников линий, питающих ТП, а также электрические аппараты, устанавливаемые на линиях
7	Секции РП 6–10 кВ	Сечения шин 6–10 кВ РП и проводников линий, питающих каждую секцию РП, а также электрические аппараты, устанавливаемые на питающих линиях

## Окончание таблицы 1

1	2	3
8	Секции РУ 6–10 кВ ГПП	Число и мощность понижающих трансформаторов ГПП, сечения шин РУ 6–10 кВ, электрические аппараты, устанавливаемые в цепях трансформаторов напряжением 6–10 кВ
9	Шины РУ 35–220 кВ ГПП	Сечения проводов линий, питающих ГПП и электрические аппараты, устанавливаемые на линиях 35–220 кВ

Для единичных ЭП в качестве расчетных нагрузок принимаются их номинальные активные и реактивные мощности. Расчетная нагрузка группы ЭП всегда меньше установленной мощности, и ее необходимо определять тем или иным методом. Отметим, что расчетная мощность любой группы ЭП не может быть меньше номинальной мощности наиболее мощного ЭП группы. Это требование введено с целью исключить случаи, когда сечение кабеля к индивидуальному ЭП, выбираемое по номинальной мощности, оказывается больше сечения кабеля питающей сети.

### 3 Основные понятия и определения электрических нагрузок

При определении электрических нагрузок используются такие понятия, как номинальная мощность, средняя мощность, расчетная и пиковая нагрузки электроприемников [2, 3].

Для представления электрических величин и коэффициентов, характеризующих электропотребление, принята следующая система обозначений: показатели электропотребления индивидуальных ЭП обозначаются строчными буквами, а групп ЭП – прописными буквами латинского или греческого алфавита.

**Номинальная (установленная) мощность** одного ЭП – мощность, обозначенная на заводской табличке или указанная в его паспорте. Под **номинальной мощностью** электродвигателя понимается мощность, развиваемая на валу двигателя при номинальном напря-

жении, для остальных ЭП – потребляемая из сети при номинальном напряжении. Отметим, что применительно к агрегату с многодвигательным приводом под *номинальной мощностью* подразумевают наибольшую сумму номинальных мощностей одновременно работающих двигателей. Номинальная мощность плавильных печей и сварочных установок равна мощности питающих их трансформаторов. Для двигателей-генераторов и преобразователей в качестве номинальной принимается их мощность на вторичной стороне.

*Групповая номинальная (установленная) активная мощность* – это сумма номинальных активных мощностей ЭП рассматриваемой группы

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

где  $P_{\text{ном}i}$  – номинальная активная мощность  $i$ -го ЭП группы, кВт;

$n$  – количество электроприемников в группе.

*Номинальная реактивная мощность* одного ЭП ( $q_{\text{ном}}$ ) – это реактивная мощность, потребляемая из сети или отдаваемая в сеть при номинальной активной мощности и номинальном напряжении, а для синхронных электродвигателей – при номинальном токе возбуждения.

Групповая номинальная реактивная мощность определяется как алгебраическая сумма номинальных реактивных мощностей ЭП, входящих в группу:

$$Q_{\text{ном}} = \sum_{i=1}^n q_{\text{ном}i}, \quad (2)$$

где  $q_{\text{ном}i}$  – номинальная реактивная мощность  $i$ -го ЭП группы, определяемая как

$$q_{\text{ном}i} = P_{\text{ном}i} \operatorname{tg}\varphi_i, \quad (3)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi_i$  – паспортное или справочное значение коэффициента реактивной мощности  $i$ -го ЭП.

*Номинальная полная мощность* ЭП ( $S_{\text{ном}}$ ) или группы электроприемников ( $S_{\text{ном}}$ ) определяется по следующим выражениям:

$$S_{\text{НОМ}} = \sqrt{P_{\text{НОМ}}^2 + Q_{\text{НОМ}}^2}; \quad (4)$$

$$S_{\text{НОМ}} = \sqrt{P_{\text{НОМ}}^2 + Q_{\text{НОМ}}^2}. \quad (5)$$

**Номинальный ток** ЭП или электрооборудования – это ток, который при нормированной температуре окружающей среды может протекать неограниченно длительное время, и при этом температура его наиболее нагретых частей не превышает длительно допустимых значений [13].

Номинальный ток трехфазного электродвигателя принимается по паспортным (справочным) данным или рассчитывается (в амперах) по следующему выражению:

$$i_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{НОМ}} \eta_{\text{НОМ}}}, \quad (6)$$

где  $P_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$U_{\text{НОМ}}$  – номинальное междуфазное напряжение сети, кВ;

$\cos \varphi_{\text{НОМ}}$  – коэффициент мощности двигателя при номинальной нагрузке;

$\eta_{\text{НОМ}}$  – номинальный коэффициент полезного действия двигателя.

Для других трехфазных электроприемников номинальный ток вычисляется по формуле

$$i_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}. \quad (7)$$

Номинальный ток группы электроприемников определяется по формуле

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}. \quad (8)$$

Находить  $I_{\text{НОМ}}$  группы электроприемников путем алгебраического суммирования номинальных токов отдельных ЭП допустимо при одинаковых значениях коэффициента мощности.

*Средняя мощность* является основной статистической характеристикой изменяющейся случайной величины электрической нагрузки. Средние активная ( $p_c$ ) и реактивная ( $q_c$ ) мощности электроприемника за любой интервал времени  $t$  при известном законе изменения нагрузки во времени определяются по выражениям:

$$p_c = \frac{1}{t} \int_{t_0}^t p_t dt ; \quad (9)$$

$$q_c = \frac{1}{t} \int_{t_0}^t q_t dt , \quad (10)$$

где  $p_t, q_t$  – активная и реактивная мощность в момент времени  $t$ .

В случаях, когда известны величины расходов активной ( $w_t$ ) и реактивной ( $v_t$ ) электроэнергии за время  $t$ , средние мощности электроприемника

$$p_c = \frac{w_t}{t} ; \quad (11)$$

$$q_c = \frac{v_t}{t} . \quad (12)$$

Аналогично могут быть найдены средние активная ( $P_c$ ) и реактивная ( $Q_c$ ) мощности группы электроприемников

$$P_c = \frac{1}{t} \int_{t_0}^t P_t dt ; \quad (13)$$

$$P_c = \frac{W_t}{t} ; \quad (14)$$

$$Q_c = \frac{1}{t} \int_{t_0}^t Q_t dt ; \quad (15)$$

$$Q_c = \frac{V_t}{t} , \quad (16)$$

где  $W_t$  и  $V_t$  – количество израсходованной активной и реактивной электроэнергии группой электроприемников за время  $t$ .

Для групп электроприемников средние активная и реактивная мощности могут также вычисляться по формулам

$$P_c = \sum_{i=1}^n p_{ci}; \quad (17)$$

$$Q_c = \sum_{i=1}^n q_{ci}. \quad (18)$$

Отметим, что при расчете выражения (17) и (18) не должны учитываться резервные электроприемники.

Средняя полная мощность электроприемника ( $s_c$ ) и группы ( $S_c$ ) приемников рассчитывается по формулам

$$s_c = \sqrt{p_c^2 + q_c^2}; \quad (19)$$

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}. \quad (20)$$

Среднее значение силы тока электроприемника ( $i_c$ ) и группы электроприемников ( $I_c$ ) определяется по следующим выражениям:

$$i_c = \frac{s_c}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}; \quad (21)$$

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}. \quad (22)$$

Средняя нагрузка может быть найдена за любой период. Однако на практике наиболее часто вычисляются средние тридцатиминутные и часовые нагрузки, средние нагрузки за наиболее загруженную смену, сутки, месяц, год.

Необходимо иметь в виду, что в методе определения нагрузок с помощью коэффициента расчетной мощности под термином «сред-

няя активная (реактивная) мощность» имеется в виду наибольшее возможное значение средней активной (реактивной) мощности за наиболее загруженную смену, т. е. за смену с наибольшим потреблением энергии группой ЭП, цехом или предприятием в целом [8].

*Расчетные нагрузки* служат для выбора сечений токоведущих элементов, электрических аппаратов, числа и мощности силовых трансформаторов, преобразовательных и компенсирующих устройств, расчета защиты, определения потерь мощности, энергии и напряжения, а также других параметров режима СЭС.

Расчетные активная  $P_p$ , реактивная  $Q_p$  и полная  $S_p$  мощности – это мощности, соответствующие такой неизменной токовой нагрузке  $I_p$ , которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения. При этом тепловое воздействие выражается в виде максимальной температуры нагрева или максимального теплового износа изоляции.

Вероятность превышения фактической нагрузкой расчетного значения, как правило, не более 0,05 на интервале осреднения, длительность которого принята равной трем постоянным времени нагрева элемента системы электроснабжения, через который передается ток нагрузки (кабеля, провода, шинпровода, трансформатора и т. д.).

Для одиночных ЭП длительного режима работы расчетная мощность принимается равной номинальной, а для одиночных ЭП повторно-кратковременного режима – номинальной, приведенной к длительному режиму по следующим формулам:

1) для электродвигателей (кранов, тельферов, лифтов и др.)

$$P_{\text{ном}} = P_n \sqrt{ПВ_n}, \quad (23)$$

где  $p_n$  – паспортная активная мощность электродвигателя, кВт;

$ПВ_n$  – паспортная продолжительность включения в относительных единицах;

2) для ЭП, заданных полной мощностью (сварочных трансформаторов и машин):

$$p = s_n \cos \varphi_n \sqrt{ПВ_n}, \quad (24)$$

где  $s_{\Pi}$  – паспортная полная мощность ЭП, кВт·А;

$\cos \varphi_{\Pi}$  – паспортное значение коэффициента активной мощности ЭП.

**Пиковая нагрузка** – это максимальная кратковременная нагрузка длительностью 1–2 с. Эта нагрузка периодически возникает при пусках электродвигателей, работе электросварочного оборудования, дуговых печей и других электроприемников с толчкообразной и переменной нагрузкой. В проектной практике, как правило, определяются пиковые токи, по которым производятся расчеты колебаний напряжения, потерь напряжения в контактных сетях, токов срабатывания защитных аппаратов, а также выбираются плавкие вставки предохранителей.

#### **4 Коэффициенты, используемые при определении электрических нагрузок**

При расчетах электрооборудования и систем электроснабжения применяется ряд безразмерных коэффициентов, позволяющих представить режимы электропотребления и графики электрических нагрузок электроприемников. К ним относятся коэффициенты использования, включения, загрузки, максимума и спроса [2, 3].

Для того чтобы пояснить сущность этих коэффициентов, необходимо использовать графики электрических нагрузок, которые отражают зависимость потребляемой мощности или тока от времени. Они могут быть построены за некоторый период: технологический цикл, смену, сутки, год и т. д. Графики нагрузок производственных объектов зависят от характера технологического процесса и периодически повторяются. Поэтому для потребителей электроэнергии существуют типовые графики нагрузок. Суточные и годовые графики для некоторых предприятий приводятся в справочной литературе [9]. Различают графики нагрузок по активной и реактивной мощностям или по току. Иногда строятся графики по полной мощности, которые по своей конфигурации идентичны графикам по току.

Рассмотрим простейший график нагрузки электроприемника по активной мощности за технологический цикл, состоящий из двух ступеней, показанный на рисунке 2.

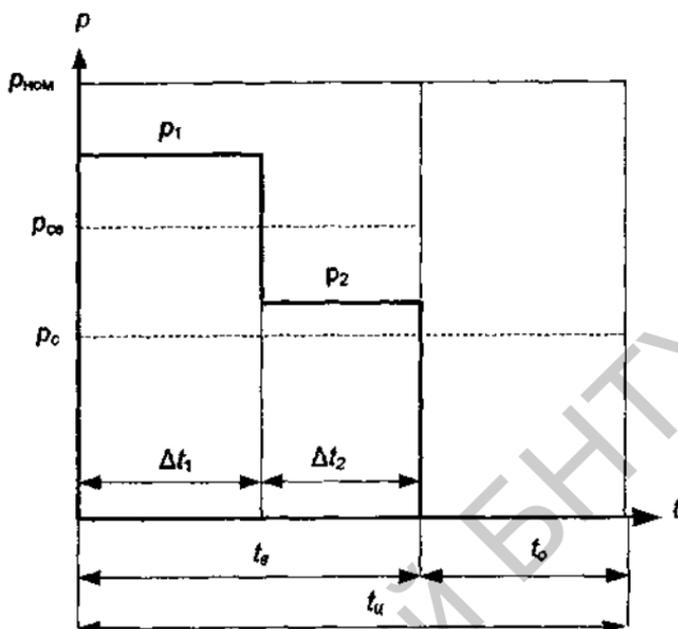


Рисунок 2 – График электрической нагрузки электроприемника

Первая нагрузка  $p_1$  длится отрезок времени  $\Delta t_1$ , вторая  $p_2$  –  $\Delta t_2$ .  
 Время цикла состоит из времени включения  $t_{\text{в}}$  и отключения  $t_{\text{о}}$

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{в}} + t_{\text{о}}. \quad (25)$$

Время включения электроприемника в течение цикла

$$t_{\text{в}} = \Delta t_1 + \Delta t_2. \quad (26)$$

Расход электроэнергии за цикл определяется площадью графика

$$w_{\text{ц}} = p_1 \cdot \Delta t_1 + p_2 \cdot \Delta t_2. \quad (27)$$

Среднюю мощность электроприемника за время технологического цикла можно найти по выражению

$$p_{\text{с}} = \frac{w_{\text{ц}}}{t_{\text{ц}}}. \quad (28)$$

Из формулы (28) расход электроэнергии за цикл выражается как

$$w_{ц} = P_c \cdot t_{ц} \quad (29)$$

**Коэффициент использования** представляет собой отношение средней потребляемой мощности электроприемника или группы электроприемников за некоторый период к их номинальной мощности.

Для электроприемника коэффициент использования определяется по формуле

$$k_{и} = \frac{P_c}{P_{ном}} \quad (30)$$

где  $P_c$  – средняя мощность электроприемника за некоторый период (технологический цикл, смену, сутки, год и т. д.);

$P_{ном}$  – номинальная мощность электроприемника.

Подставив (28) в (30), получим

$$k_{и} = \frac{w_{ц}}{P_{ном} \cdot t_{ц}} = \frac{w_{ц}}{w_{ном}} \quad (31)$$

где  $w_{ном}$  – максимально возможный расход электроэнергии, который мог бы быть при условии, что электроприемник постоянно работает в течение цикла с номинальной мощностью без пауз.

В ходе работы силовых электроприемников в соответствии с технологическим регламентом изменяется их электропотребление. Они в производственном процессе имеют периоды остановок (пауз), необходимых для загрузки и выгрузки производственных установок, обеспечения требуемых технологических параметров (температуры, давления и т. п.), изменения технологической оснастки, приема пищи, отдыха рабочих и т. д.

При включении электроприемников существуют периоды холостого хода и работы. В процессе работы за технологический цикл потребляемая мощность приемника электроэнергии может существенно изменяться, периодически повышаясь и снижаясь. Электродвигатели производственных механизмов выбираются так, чтобы их

номинальная мощность была несколько больше ожидаемой механической нагрузки на его валу. Из указанного выше следует, что для силовых электроприемников  $P_c < P_{\text{ном}}$ , а  $k_{\text{н}} < 1$ . При этом отметим, что чем длительнее паузы, тем меньше коэффициент использования за рассматриваемый период. Следовательно, коэффициент использования за сутки меньше, чем за рабочую смену, а среднегодовой – меньше, чем за рабочие сутки.

Для группы электроприемников, имеющих один и тот же режим работы, групповой коэффициент использования принимается таким же, как и для единичного электроприемника данной группы. Обозначая коэффициенты нагрузок для групп электроприемников прописными, а отдельных электроприемников строчными буквами, запишем, что  $K_{\text{г}} = k_{\text{н}}$ .

В том случае, когда электроприемники в группе имеют разные режимы работы, определяется групповой коэффициент использования как средневзвешенное значение по следующей формуле:

$$K_{\text{г}} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{\text{ни}} \cdot P_{\text{ном}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}}, \quad (32)$$

где  $k_{\text{ни}}$  – коэффициент использования  $i$ -го электроприемника группы;

$P_{\text{ном}i}$  – номинальная мощность  $i$ -го электроприемника;

$n$  – количество электроприемников в группе.

Выражение (32) можно представить в виде

$$K_{\text{г}} = \frac{P_c}{P_{\text{ном}}}, \quad (33)$$

где  $P_c$  – средняя активная нагрузка группы электроприемников за рассматриваемый период;

$P_{\text{ном}}$  – суммарная номинальная мощность группы приемников.

В справочных материалах, содержащих расчетные коэффициенты для определения электрических нагрузок промышленных предприятий, значения коэффициентов использования приведены по харак-

терным (однородным) категориям ЭП [9, 10, 11]. К одной характерной категории относятся ЭП, имеющие одинаковое технологическое назначение, а также одинаковые верхние границы возможных значений  $k_n$  и коэффициентов мощности.

Коэффициент использования относится к электропотреблению. С помощью данного показателя определяются электрические нагрузки и расход электроэнергии.

**Коэффициент включения** – это отношение времени включения электроприемника в течение цикла к длительности цикла. Этот коэффициент определяется по выражению

$$k_B = \frac{t_B}{t_{\Sigma}} = \frac{t_p + t_x}{t_p + t_x + t_0}, \quad (34)$$

где  $t_p$  – время рабочего периода цикла;

$t_x$  – время холостого хода в течение цикла.

Данный коэффициент непосредственно связан с технологическим процессом. Как правило, он относится к отдельным приемникам электроэнергии. При необходимости определения его для группы электроприемников используется выражение

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{номi}}{\sum_{i=1}^n P_{номi}}, \quad (35)$$

где  $k_{Bi}$  – коэффициент включения  $i$ -го электроприемника группы.

Численные значения  $k_B \leq 1$ . Если электроприемник в рассматриваемом периоде работает без остановок ( $t_0 = 0$ ), то  $k_B = 1$ .

**Коэффициент загрузки** представляет собой отношение средней мощности электроприемника за время включения  $P_{св}$  в течение цикла к его номинальной мощности

$$k_3 = \frac{P_{св}}{P_{ном}}. \quad (36)$$

Это индивидуальный коэффициент, который не применяется к группам электроприемников.

Средняя мощность электроприемника за время включения в течение цикла вычисляется по формуле

$$P_{св} = \frac{w_{ц}}{t_{в}}. \quad (37)$$

С учетом выражения (37) формула (36) приобретает следующий вид:

$$k_3 = \frac{w_{ц}}{P_{ном} \cdot t_{в}}. \quad (38)$$

Значение расхода электроэнергии за время цикла  $w_{ц}$  можно выразить формулой (29). Тогда

$$k_3 = \frac{P_c \cdot t_{ц}}{P_{ном} \cdot t_{в}} = \frac{k_{и} \cdot t_{ц}}{t_{в}} = \frac{k_{и}}{k_{в}}. \quad (39)$$

Как следует из полученного выражения (39), при  $k_{в} = 1$ , т. е. когда электроприемник в рассматриваемом периоде работает без остановок,  $k_3$  численно равен  $k_{и}$ . Если  $k_{в} < 1$ , то  $k_3 > k_{и}$ , однако в нормальном режиме он не должен быть больше единицы.

Из формулы (39) можно выразить коэффициент использования как

$$k_{и} = k_{в} \cdot k_3. \quad (40)$$

Полученное выражение (40) отражает связь между электрическим коэффициентом и коэффициентами, связанными с технологическим процессом.

**Коэффициент максимума** представляет собой отношение максимальной нагрузки к средней за рассматриваемый период. Он связывает максимальную потребляемую мощность и среднюю нагрузку группы электроприемников. Для отдельных электроприемников этот коэффициент, как правило, не применяется.

Коэффициент максимума по активной мощности определяется по формуле

$$K_{\max} = \frac{P_{\max}}{P_c}, \quad (41)$$

где  $P_{\max}$  – максимальная потребляемая активная нагрузка за рассматриваемый период.

Коэффициент максимума по реактивной мощности можно найти по аналогичному выражению:

$$K_{\max p} = \frac{Q_{\max}}{Q_c}, \quad (42)$$

где  $Q_{\max}$  – максимальная потребляемая реактивная мощность за рассматриваемый период;

$Q_c$  – средняя реактивная нагрузка за то же время.

Значения  $K_{\max}$  и  $K_{\max p}$  всегда больше или равны единице. При ровных графиках активной и реактивной нагрузок  $K_{\max} = 1$  и  $K_{\max p} = 1$ .

**Коэффициент спроса** – это отношение максимальной потребляемой активной мощности (в условиях эксплуатации электрооборудования) или расчетной нагрузки (при проектировании электроустановок) к номинальной мощности группы электроприемников:

$$K_c = \frac{P_{\max}}{P_{\text{ном}}}; \quad (43)$$

$$K_c = \frac{P_p}{P_{\text{ном}}}, \quad (44)$$

где  $P_p$  – расчетная активная нагрузка группы электроприемников.

Из выражения (41) следует, что

$$P_{\max} = K_{\max} \cdot P_c. \quad (45)$$

Подставив в формулу (43) выражение (45), получим

$$K_c = \frac{K_{\max} \cdot P_c}{P_{\text{ном}}} \quad (46)$$

Из формулы (33) среднюю нагрузку представим как

$$P_c = K_n \cdot P_{\text{ном}} \quad (47)$$

и подставим ее в выражение (46). После несложных преобразований получим формулу для расчета коэффициента спроса в виде

$$K_c = K_{\max} \cdot K_n \quad (48)$$

При  $K_{\max} = 1$  значения коэффициентов спроса и использования численно равны между собой.

**Коэффициент реактивной мощности** представляет собой отношение реактивной мощности к активной

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P} \quad (49)$$

Этот коэффициент показывает, сколько реактивной мощности (квар) потребляется на один киловатт активной мощности.

При отсутствии конкретных данных коэффициенты использования, включения, спроса и  $\cos \varphi$  для различных групп электроприемников принимаются по справочной литературе [9, 10]. Отметим, что коэффициенты использования и  $\cos \varphi$  в литературных источниках приводятся для наиболее загруженной смены.

**Коэффициент одновременности** максимумов активных нагрузок называется отношение суммарного расчетного максимума активной мощности  $P_p$  узла системы электроснабжения к сумме расчетных максимумов активных мощностей отдельных групп электроприемников, входящих в данный узел СЭС [2, 3]:

$$K_o = \frac{P_p}{\sum_{i=1}^n P_{pi}} \quad (50)$$

где  $P_{pi}$  – расчетная активная мощность  $i$ -й группы электроприемников;  
 $n$  – количество групп ЭП.

Данный коэффициент характеризует смещение максимума нагрузок во времени отдельных групп электроприемников, формирующих общую нагрузку элемента СЭС. Это смещение вызывает снижение суммарного максимума нагрузок узла по сравнению с суммой максимумов нагрузок отдельных групп. Значение  $K_0 \leq 1$ . Отметим, что в разных литературных источниках могут встречаться и другие названия данного коэффициента: коэффициент разновременности, коэффициент несовпадения максимумов, коэффициент участия в максимуме и др.

### 5 Классификация методов расчета электрических нагрузок

Для единичных электроприемников в качестве расчетных нагрузок принимаются их номинальные активные и реактивные мощности. Расчетная нагрузка группы электроприемников всегда меньше установленной мощности и ее необходимо определять тем или иным методом.

В зависимости от уровня (места) определения расчетных нагрузок и стадии проектирования СЭС применяются более точные или упрощенные методы. Точные методы требуют большого объема исходной информации, характеризующей приемники и потребители электроэнергии, и применяются при разработке строительных проектов промышленных объектов. Упрощенные методы определения расчетной (ожидаемой) электрической нагрузки, базирующиеся на минимуме исходных данных, используются при ориентировочных расчетах, не требующих высокой точности.

Основные методы определения расчетных электрических нагрузок, используемые при проектировании электроснабжения производственных предприятий, можно разделить на нижеуказанные группы [3].

1. Методы, определяющие расчетную электрическую активную нагрузку умножением установленной (номинальной) мощности электроприемников  $P_{ном}$  на коэффициент  $k_1$ , значение которого меньше единицы:

$$P_p = k_1 P_{ном} \quad (51)$$

2. Методы, определяющие расчетную электрическую нагрузку умножением средней мощности электроприемников  $P_c$  на коэффициент  $k_2$ , значение которого может быть меньше единицы, единица или больше единицы:

$$P_p = k_2 P_c. \quad (52)$$

3. Статистический метод, в соответствии с которым расчетная электрическая активная нагрузка определяется по выражению

$$P_p = P_c + \beta \sigma, \quad (53)$$

где  $\beta$  – принятая кратность меры рассеяния случайной величины;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение электрической нагрузки от среднего значения.

При проектировании электрическая нагрузка силовых электроприемников на всех уровнях СЭС определяется с помощью коэффициента расчетной мощности. Приблизительно нагрузка может быть найдена также по коэффициенту спроса и установленной мощности, удельному расходу электроэнергии на единицу выпускаемой продукции, удельной нагрузке на единицу производственной площади [2–7, 12–14].

## **6 Определение силовых нагрузок по коэффициенту расчетной мощности**

### **6.1 Общие положения метода расчета**

По данному методу расчет электрических нагрузок силовых электроприемников производится согласно «Указаниям по расчету электрических нагрузок» РТМ 36.18.32.4–92 ВНИПИ «Тяжпром-электропроект» (г. Москва). Указания не распространяются на определение электрических нагрузок электроприемников с резко переменным графиком нагрузки (электроприводов прокатных станков, дуговых электропечей, контактной электросварки и т. п.), промышленного электрического транспорта, жилых и общественных зда-

ний, а также электроприемников с известным графиком нагрузки. Электрические нагрузки таких приемников электроэнергии определяются другими методами, которые приводятся в разработках, указанных в таблице 2.

Таблица 2 – Технические и нормативные литературные источники, применяемые при определении электрических нагрузок

Наименование электроприемников	Наименование разработки, шифр, место публикации
Силовые и осветительные электроприемники жилых и общественных зданий	Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Правила проектирования: ТКП 45-4.04-149-2009
Машины контактной сварки	Рекомендации по расчету электрических нагрузок и выбору сетей, питающих установки для контактной сварки / ВНИПИ ТПЭП (Москва) и Горьковское отделение ГПИ Электропроект. Шифр М788-917.1983
Мощные электроприемники прокатных станов и дуговых электросталеплавильных печей	Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. В. И. Круповича, Ю. Г. Барыбина, М. Л. Самовера. – М.: Энергия, 1980
Дуговые сталеплавильные печи ДСП-100И7	Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. 1989. – № 3 (ВНИПИ Тяжпромэлектропроект)
Однофазные электроприемники	Нормаль Тяжпромэлектропроекта М145-67, или Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. – 1969. – № 9
Потребители предприятий автомобильной промышленности	Руководящий технический материал РТМ 37.047.041-84 и РТМ 37.047.023-82 / М.: Гипроавтопром. – Арх. № 19479 и 19104
Угольные шахты, разрезы, обогатительные и брикетные фабрики	Инструкция по проектированию электростановок угольных шахт, разрезов, обогатительных и брикетных фабрик. – М.: Центрогипрошахт. – 1991

Метод расчета электрических нагрузок по коэффициенту расчетной мощности заменил ранее применяемый при проектировании СЭС метод упорядоченных диаграмм, который, как показали иссле-

дования, во многих случаях приводил к завышенным результатам. Это позволило снизить расчетные значения электрических нагрузок в пределах 15–30 % и в значительной мере устранить расхождение между расчетным и фактическим электропотреблением промышленных предприятий [8].

С помощью коэффициента расчетной мощности расчет электрических нагрузок ЭП напряжением до 1 кВ производится для каждого узла питания (распределительного пункта, шкафа, сборки, распределительного шинпровода, щита станций управления, троллея, магистрального шинпровода, цеховой трансформаторной подстанции), а также по цеху, корпусу в целом. Узлы питания группируются исходя из территориального расположения ЭП (по участкам, отделениям, цехам).

Расчет силовых нагрузок на напряжении до 1 кВ проводится одновременно с формированием питающих сетей. Цель расчета: определение расчетных токов элементов питающей сети, выбор сечений проводников по нагреву и типов распределительных устройств напряжением до 1 кВ (силовых и распределительных пунктов, шкафов, шинпроводов и т. п.). Расчет электрических нагрузок производится в последовательности, обратной направлению питания, т. е. от низших ступеней распределения электроэнергии к высшим.

При формировании питающей сети напряжением до 1 кВ рекомендуется руководствоваться нижепредставленными соображениями [2, 4, 6, 8].

1. Каждый участок или отделение цеха следует питать от одного или нескольких распределительных устройств напряжением до 1 кВ, от которых, как правило, не должны питаться другие структурные подразделения.

2. Также желательна привязка цеховых ТП к определенным цехам, если их нагрузка такова, что позволяет выбрать трансформатор. Отметим, что количество и мощность цеховых ТП и общая мощность конденсаторных батарей, устанавливаемых в сети напряжением до 1 кВ, окончательно определяются согласно указаниям по компенсации реактивной мощности в сетях общего назначения.

3. Цеховая ТП должна по возможности располагаться у центра нагрузок. Это требование также должно выполняться при размещении распределительных устройств напряжением до 1 кВ.

4. Питающие сети напряжением до 1 кВ должны формироваться таким образом, чтобы длина распределительной сети напряжением до 1 кВ была по возможности минимальной.

5. Магистральные сети являются по сравнению с радиальными более экономичными.

Исходной информацией для выполнения расчетов является перечень электроприемников с указанием их номинальных мощностей, наименований механизмов или технологических установок. Резервные электроприемники, ремонтные сварочные трансформаторы и другие ремонтные электроприемники, а также электроприемники, работающие кратковременно (пожарные насосы, задвижки, вентили и т. п.), при подсчете расчетной мощности не учитываются (за исключением случаев, когда мощности пожарных насосов и других противоаварийных ЭП определяют выбор элементов сети электроснабжения).

Для многодвигательных приводов учитываются все одновременно работающие электродвигатели данного привода. Если в числе этих двигателей имеются одновременно включаемые (с идентичным режимом работы), то они учитываются в расчете как один ЭП номинальной мощностью, равной сумме номинальных мощностей одновременно работающих двигателей.

В соответствии с [15] для выбора сечения проводников ЭП, работающих в повторно-кратковременном режиме, в качестве расчетного тока следует принимать ток, приведенный к длительному режиму. Для этого номинальные мощности ЭП приводятся к длительному режиму по формулам (23) и (24).

Это правило необходимо соблюдать при определении расчетной нагрузки отдельных ЭП, работающих в повторно-кратковременном режиме. Напомним, что для единичного ЭП расчетная нагрузка принимается равной его номинальной мощности.

Однако при определении расчетной нагрузки группы, в которую входят ЭП, работающие в повторно-кратковременном режиме, в качестве установленной мощности следует принимать паспортное значение, так как фактор кратковременности работы этих ЭП учитывается коэффициентом использования [8]. Следовательно, при расчете нагрузок групп ЭП для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы их номинальная мощность не приводится к длительному режиму (при ПВ = 100 %).

## 6.2 Определение расчетных нагрузок силовых питающих сетей напряжением до 1 кВ

В этом разделе рассматривается определение расчетных нагрузок групп электроприемников (узлов питания), получающих электроэнергию по линиям, выполненным изолированными проводами и кабелями. Если группа включает в себя относительно небольшое число ЭП с разными режимами работы (ЭП имеют разные значения  $k_n$  и  $\cos \varphi$ ), расчет нагрузок ведется в следующей последовательности.

Для каждого приемника электроэнергии по справочной литературе [9, 10] или по таблице П1.1 подбираются средние значения коэффициентов использования  $k_n$  и активной мощности  $\cos \varphi$ . При наличии в справочных таблицах интервальных значений  $k_n$  следует принимать большее.

По коэффициенту расчетной мощности расчетная активная нагрузка группы силовых электроприемников ( $n > 1$ ) определяется по выражению

$$P_p = K_p \sum_{i=1}^n k_{ni} P_{ном i}, \quad (54)$$

где  $K_p$  – коэффициент расчетной мощности;

$k_{ni}$  – среднее значение коэффициента использования  $i$ -го электроприемника;

$P_{ном i}$  – номинальная мощность  $i$ -го электроприемника;

$n$  – число электроприемников в группе (исключая резервные электроприемники и приемники, работающие в кратковременном режиме).

Расчетная мощность любой группы электроприемников не может быть меньше номинальной наиболее мощного электроприемника группы. Данное требование введено с целью исключения случаев, когда сечение проводников к индивидуальному ЭП, выбираемое по номинальной мощности приемника, оказывается больше сечения проводников питающей сети. Поэтому, если величина  $P_p$  окажется меньше номинальной мощности наиболее мощного электроприемника группы  $P_{н \max}$ , следует принимать  $P_p = P_{н \max}$ .

Коэффициент расчетной мощности зависит от средневзвешенного коэффициента использования, эффективного числа электропри-

емников, а также от постоянной времени нагрева проводников сети, для которой рассчитываются электрические нагрузки.

Средневзвешенное значение группового коэффициента использования  $K_{г}$  при разных по режиму работы ЭП определяется по выражению (32). При одинаковом режиме работы ЭП этот коэффициент не вычисляется, а принимается таким же, как и для единичного приемника группы.

Под *эффективным (приведенным) числом* электроприемников понимается такое число однородных по режиму работы приемников одинаковой мощности, которое обуславливает ту же величину расчетной нагрузки, что и группа различных по номинальной мощности и режиму работы электроприемников. Эффективное число электроприемников рассчитывается по формуле

$$n_3 = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{ном i})^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном i}^2}. \quad (55)$$

Найденное значение  $n_3$  округляется до ближайшего меньшего целого числа.

В том случае, когда электроприемники в группе имеют одинаковую номинальную мощность,  $n_3 = n$ , так как в соответствии с выражением (55)

$$n_3 = \frac{(nP_{ном})^2}{np_{ном}^2} = n. \quad (56)$$

Также можно принять  $n_3 = n$ , если в группе номинальная мощность наибольшего ЭП не более чем в три раза превышает номинальную мощность наименее мощного приемника.

Среднее значение постоянной времени нагрева для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты принято 10 мин. Коэффициенты расчетной мощности  $K_p$  принимаются по справочным таблицам (таблица П1.5) в зависимости от  $K_{г}$  и  $n_3$  [8]. При  $n_3 \leq 4$  для определения значения  $K_p$  рекомендуется пользоваться номограммой, которая приводится в

РТМ 36.18.32.4–92 (рисунок П1.1). Отметим, что для электрических сетей напряжением до 1 кВ, выполненных изолированными проводами и кабелями,  $K_p \geq 1$ .

Расчетная реактивная мощность нагрузки для питающих сетей напряжением до 1 кВ, выполненных изолированными проводами и кабелями, определяется в зависимости от  $n$ , по выражениям

$$Q_p = 1,1 \sum_{i=1}^n k_{ni} P_{ном i} \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ если } n, \leq 10; \quad (57)$$

$$Q_p = \sum_{i=1}^n k_{ni} P_{ном i} \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ если } n, > 10, \quad (58)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_i$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности  $i$ -го электроприемника.

Если в группе ЭП имеются синхронные двигатели напряжением до 1 кВ, то учитывается их генерируемая реактивная мощность. Для этого в выражениях (57) и (58) их составляющие  $k_{ni} P_{ном i} \operatorname{tg} \varphi_i$  подставляются со знаком минус.

При значительном числе электроприемников в группе с целью упрощения расчетов для каждого узла питания (распределительного пункта, шкафа, сборки, распределительного и магистрального шинпровода, щита станций управления и т. п.) электроприемники целесообразно группировать по характерным категориям. К одной характерной категории относятся ЭП, имеющие одинаковое технологическое назначение, а также одинаковые верхние границы возможных значений  $k_{ni}$  и коэффициентов реактивной мощности  $\operatorname{tg} \varphi$ . Например, металлорежущие станки мелкосерийного производства, шлифовальные станки, насосы, компрессоры, двигатель-генераторы и т. д.

В этом случае формулу (54) можно представить как

$$P_p = K_p \sum_{i=1}^N K_{ni} P_{ном i}, \quad (59)$$

где  $K_{ni}$  – среднее значение коэффициента использования для однородных электроприемников  $i$ -й характерной категории;

$P_{ном i}$  – суммарная номинальная мощность ЭП  $i$ -го типа;

$N$  – число характерных категорий однородных силовых ЭП.

Средневзвешенное значение коэффициента использования

$$K_H = \frac{\sum_{i=1}^N K_{Hi} \cdot P_{номi}}{\sum_{i=1}^N P_{номi}}. \quad (60)$$

Расчетная реактивная мощность нагрузки узла питания при группировании ЭП по характерным категориям определяется по выражениям

$$Q_p = 1,1 \sum_{i=1}^N K_{Hi} P_{номi} \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ если } n_3 \leq 10; \quad (61)$$

$$Q_p = \sum_{i=1}^N K_{Hi} P_{номi} \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ если } n_3 > 10. \quad (62)$$

Полная расчетная мощность группы электроприемников рассчитывается по формуле

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (63)$$

Расчетный ток нагрузки группы силовых ЭП вычисляется по выражению

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_{ном}}, \quad (64)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение сети до 1 кВ.

### **6.3 Расчет электрических нагрузок магистральных шинопроводов и на шинах напряжением до 1кВ цеховых трансформаторных подстанций**

Расчетные максимумы активной  $P_{рн}$  и реактивной  $Q_{рн}$  нагрузок на шинах напряжением до 1 кВ цеховых ТП и магистральных шинопроводов (МШ) представляются как соответствующие суммы силовых и осветительных нагрузок:

$$P_{\text{рп}} = P_{\text{р}} + P_{\text{ро}}; \quad (65)$$

$$Q_{\text{рп}} = Q_{\text{р}} + Q_{\text{ро}}; \quad (66)$$

где  $P_{\text{р}}$  и  $Q_{\text{р}}$  – активная и реактивная силовые нагрузки на шинах напряжением до 1 кВ ТП или магистрального шинопровода соответственно;

$P_{\text{ро}}$  и  $Q_{\text{ро}}$  – активная и реактивная осветительные нагрузки на шинах напряжением до 1 кВ ТП или магистрального шинопровода соответственно.

Для двухтрансформаторных подстанций расчет электрической нагрузки выполняется по подстанции в целом и только в обоснованных случаях – по секциям сборных шин низшего напряжения.

Для каждого МШ и каждой ТП силовые электроприемники целесообразно группировать по характерным категориям одного режима работы и определить для них средние значения  $K_{\text{н}}$  и  $\text{tg}\varphi$ . Результирующая расчетная активная силовая нагрузка на шинах напряжением до 1 кВ цеховых ТП и магистральных шинопроводов определяется по коэффициенту расчетной мощности по выражению (59).

При значительном числе электроприемников (расчет нагрузок магистральных шинопроводов, цеховых трансформаторных подстанций, корпуса, предприятия) величину  $n_3$  рекомендуется определять по упрощенной формуле

$$n_3 = \frac{2 \sum_{i=1}^N P_{\text{ном}i}}{P_{\text{нmax}}}, \quad (67)$$

где  $P_{\text{нmax}}$  – номинальная мощность наибольшего ЭП, питающегося от МШ или шин напряжением до 1 кВ ТП.

Если вычисленное по формуле (67) значение  $n_3$  оказывается больше фактического числа электроприемников  $n$ , то следует принять  $n_3 = n$ .

Средневзвешенное значение  $K_{\text{н}}$  для МШ или шин напряжением до 1 кВ ТП вычисляется по выражению (60). Зная  $K_{\text{н}}$  и  $n_3$ , по справочной таблице П1.6, составленной для МШ и шин при постоянной

времени нагрева, равной 2,5 ч (150 мин), определяется коэффициент расчетной мощности  $K_p$ . Для МШ и шин низшего напряжения ТП  $K_p$  может быть меньше единицы, равен единице или больше единицы.

Расчетная реактивная мощность нагрузки для магистральных шинопроводов на шинах вторичного напряжения цеховых ТП определяется по формуле

$$Q_p = K_p \sum_{i=1}^N K_{шi} P_{номi} \operatorname{tg} \varphi_i. \quad (68)$$

С учетом электрической нагрузки освещения результирующая расчетная активная нагрузка МШ или на сборных шинах низшего напряжения ТП вычисляется по выражению

$$P_{рн} = K_p \sum_{i=1}^N K_{шi} P_{номi} + P_{ро}. \quad (69)$$

Значение расчетной нагрузки  $P_{ро}$  определяется по установленной мощности световых приборов, найденной на основе светотехнического расчета, или по удельной мощности светильников общего равномерного освещения [16].

Результирующая расчетная реактивная нагрузка магистрального шинопровода или на шинах напряжением до 1 кВ находится по формуле

$$Q_{рн} = K_p \sum_{i=1}^N K_{шi} P_{номi} \operatorname{tg} \varphi_i + Q_{ро}. \quad (70)$$

Если в сети напряжением до 1 кВ ТП имеются батареи низковольтных конденсаторов (БНК), то расчетная реактивная нагрузка МШ или на шинах вторичного напряжения ТП определяется как

$$Q_{рн} = K_p \sum_{i=1}^N K_{шi} P_{номi} \operatorname{tg} \varphi_i + Q_{ро} - Q_{нк}, \quad (71)$$

где  $Q_{нк}$  — суммарная мощность БНК, установленных в сети напряжением до 1 кВ. При этом должно соблюдаться условие:  $Q_{рн} \geq 0$ .

Результирующая полная мощность МШ или на шинах напряжением до 1 кВ ТП

$$S_{\text{рн}} = \sqrt{P_{\text{рн}}^2 + Q_{\text{рн}}^2}. \quad (72)$$

Расчетный ток нагрузки МШ или на шинах напряжением до 1 кВ ТП

$$I_{\text{рн}} = \frac{S_{\text{рн}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}. \quad (73)$$

#### **6.4 Расчет электрических нагрузок подъемно-транспортных установок**

Для питания подъемно-транспортных установок (ПТУ), к которым относятся мостовые краны, однобалочные опорные и подвесные краны, электрические тали и передаточные тележки, применяются троллейные линии. В понятие троллейной линии входят главные троллеи (контактные проводники), питающая линия (линии) к главным троллеям, коммутационные аппараты и светофоры главных троллеев. Для главных троллеев могут быть применены троллейные шинопроводы и открытые жесткие металлические конструкции. Во взрывоопасных и пожароопасных зонах классов П-I и П-II питание ПТУ осуществляется с помощью гибкого кабеля.

При питании ПТУ с использованием троллеев расчет электрических нагрузок производится для каждого троллея. Если от троллея питается только одна ПТУ, то ее расчетная мощность принимается равной сумме номинальных мощностей двух наиболее мощных электродвигателей, приведенных к ПВ = 100 % [8]:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{ном1}} \sqrt{\text{ПВ}_1} + P_{\text{ном2}} \sqrt{\text{ПВ}_2}, \quad (74)$$

где  $P_{\text{ном1}}$ ,  $P_{\text{ном2}}$  – паспортные мощности двух наиболее мощных электродвигателей, кВт;

$\text{ПВ}_1$  и  $\text{ПВ}_2$  – паспортная продолжительность включения этих двигателей (в относительных единицах).

Если электропривод какого-либо устройства ПТУ осуществляется двумя одновременно включаемыми электродвигателями, то они

рассматриваются как один ЭП с номинальной мощностью, равной сумме номинальных мощностей этих электродвигателей, приведенных к ПВ = 100 %.

Расчетный ток, по которому осуществляется выбор сечения гибкого токоподвода или троллея по условию допустимого нагрева, а также номинального тока токоъемника, определяется по выражению

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3}U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi}, \quad (75)$$

где  $\cos \varphi$  – среднее значение коэффициента мощности электродвигателей ПТУ.

Для крановых электродвигателей с фазным ротором в расчетах следует принимать коэффициент мощности  $\cos \varphi = 0,6$  ( $\text{tg} \varphi = 1,33$ ), а для электродвигателей с короткозамкнутым ротором, применяемых на ПТУ небольшой грузоподъемности, –  $\cos \varphi = 0,5$  ( $\text{tg} \varphi = 1,73$ ).

Расчет электрической нагрузки нескольких ПТУ, питающихся от общего троллея, выполняется аналогично расчету питающих сетей напряжением до 1 кВ. Для этого используются номинальные мощности электродвигателей при паспортных значениях ПВ, т. е. не приведенные к ПВ = 100 %. Коэффициенты использования принимаются по справочным материалам. В ходе проведения обследования действующих производств по электропотреблению ПТУ среднестатистические значения  $K_{\text{н}}$  должны устанавливаться по номинальным мощностям крановых электродвигателей при их паспортных ПВ.

Для расчета результирующей нагрузки цеховых ТП, от которых питаются ПТУ, используются паспортные мощности крановых электродвигателей (без приведения к ПВ = 100 %). Это относится также и к тем случаям, когда от ТП питается только одна ПТУ.

### **6.5 Расчет электрических нагрузок электроприемников напряжением до 1 кВ в целом по цеху, корпусу и предприятию**

Расчет электрических нагрузок выполняется для каждого цеха и производственного корпуса промышленного предприятия. Количество выполняемых расчетов определяется генеральным планом предприятия и энергоемкостью производства.

Если промышленное предприятие состоит из нескольких небольших цехов, размещаемых в отдельных зданиях, и для его питания достаточно установки нескольких ТП, то расчет электрической нагрузки на напряжении до 1 кВ производится для предприятия в целом. При этом выполняется расчет нагрузок питающих сетей и на шинах напряжением до 1 кВ ТП по методикам, рассмотренным в предыдущих разделах.

Если в цехе не предусматривается установка ТП, то питание ее нагрузок осуществляется по линиям напряжением до 1 кВ. Нагрузки силовых ЭП цеха в этом случае определяются как для силовых питающих сетей по методике, изложенной в разделе 6.2. При необходимости в общей нагрузке цеха учитывается нагрузка электрического освещения и мощность БНК, установленных в цеховой сети напряжением до 1 кВ.

Существуют предприятия, состоящие из главного корпуса, где размещено основное производство, и ряда вспомогательных цехов и сооружений с незначительным электропотреблением, питание которых предполагается осуществить от отдельно стоящих или сблокированных со зданиями вспомогательных цехов трансформаторных подстанций. В этом случае расчет электрических нагрузок осуществляется отдельно для ЭП напряжением до 1 кВ главного корпуса и для ЭП напряжением до 1 кВ всех вспомогательных цехов и сооружений. При питании вспомогательных цехов и сооружений от цеховых трансформаторных подстанций главного корпуса расчет электрических нагрузок ЭП напряжением до 1 кВ выполняется для предприятия в целом.

В тех случаях, когда предприятие состоит из нескольких энергоемких корпусов (зданий), расчет электрических нагрузок на напряжении до 1 кВ производится для каждого корпуса отдельно. При электроснабжении энергоемкого цеха с помощью ТП расчет электрических нагрузок выполняется так, как это изложено в разделе 6.3.

Если в цехе предполагается установка нескольких трансформаторов, работающих на общую нагрузку, то расчет производится в предположении, что применяются трансформаторы одного типоразмера с одинаковым коэффициентом загрузки – активная и реактивная нагрузки цеха распределяются между трансформаторами поровну. Когда мощности трансформаторов разные, нагрузки распределяются пропорционально их номинальным мощностям.

## 6.6 Определение расчетных нагрузок кабельных линий напряжением 6–10 кВ

Для кабелей напряжением 6 кВ и выше, питающих цеховые трансформаторные подстанции, высоковольтные электроприемники и распределительные устройства, значение постоянной времени нагрева принято 30 мин. В этом случае величина  $K_p = 1$ .

Расчетная активная мощность кабельной линии электропередачи определяется по формуле

$$P_{\text{рл}} = \sum_{i=1}^N K_{\text{и}i} P_{\text{ном}i} + P_{\text{ро}} + \Delta P_{\text{т}}, \quad (76)$$

где  $N$  – количество групп силовых электроприемников, питающихся по линии в нормальном режиме;

$K_{\text{и}i}$  – среднее значение коэффициента использования для электроприемников  $i$ -й группы;

$P_{\text{ном}i}$  – суммарная номинальная мощность силовых ЭП  $i$ -й группы;

$P_{\text{ро}}$  – общая расчетная активная нагрузка световых приборов, питающихся по линии;

$\Delta P_{\text{т}}$  – потери активной мощности в силовом трансформаторе (трансформаторах), питающемся по линии в нормальном режиме.

Потери активной мощности в силовом трансформаторе вычисляются по формуле

$$\Delta P_{\text{т}} = \Delta P_{\text{х}} + \Delta P_{\text{к}} \left( \frac{S_{\text{рл}}}{S_{\text{ном}}} \right)^2, \quad (77)$$

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

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

$S_{\text{ном}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А.

Расчетная реактивная мощность линии

$$Q_{\text{рл}} = \sum_{i=1}^N K_{\text{и}i} P_{\text{ном}i} \text{tg}\varphi_i + Q_{\text{ро}} + \Delta Q_{\text{т}} - Q_{\text{вк}}, \quad (78)$$

где  $\text{tg}\varphi_i$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности  $i$ -й группы силовых электроприемников;

$Q_{po}$  – общая расчетная реактивная нагрузка световых приборов, питающихся по линии;

$\Delta Q_T$  – потери реактивной мощности в силовом трансформаторе (трансформаторах), питающемся по линии в нормальном режиме;

$Q_{нк}$  – суммарная мощность БНК, установленных в сетях напряжением до 1 кВ трансформаторов, питающихся по линии в нормальном режиме.

Потери реактивной мощности в силовом трансформаторе определяются по формуле

$$\Delta Q_T = \frac{S_{ном}}{100} (I_x + U_k \cdot \left( \frac{S_{рн}}{S_{ном}} \right)^2), \quad (79)$$

где  $I_x$  – ток холостого хода трансформатора, %;

$U_k$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Расчетные активная и реактивная нагрузки кабельной линии, питающей высоковольтный электродвигатель (ЭД), определяются по следующим выражениям:

$$P_{рл} = k_n \cdot P_{дном}; \quad (80)$$

$$Q_{рл} = k_n \cdot P_{дном} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (81)$$

где  $P_{дном}$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности ЭД.

Если технологами заданы значения  $k$ , коэффициентов загрузки ЭД, то они используются в расчетах вместо  $k_n$ :

$$P_{рл} = k_3 \cdot P_{дном}; \quad (82)$$

$$Q_{рл} = k_3 \cdot P_{дном} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (83)$$

При питании по кабельной линии напряжением 6–10 кВ группы ЭД числом  $N_d$  расчетные нагрузки вычисляются по формулам

$$P_{рл} = \sum_{i=1}^{N_d} K_{нi} \cdot P_{дномi}; \quad (84)$$

$$Q_{рл} = \sum_{i=1}^{N_d} K_{нi} \cdot P_{номi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (85)$$

где  $K_{\text{из}}$  – коэффициент использования (или загрузки)  $i$ -го электродвигателя;

$P_{\text{двом}i}$  – номинальная мощность  $i$ -го ЭД;

$\text{tg } \varphi_i$  – коэффициент реактивной мощности  $i$ -го электродвигателя.

Для синхронных двигателей (СД) напряжением 6–10 кВ, имеющих номинальную мощность  $P_{\text{двом}}$  более 2500 кВт или частоту вращения ротора  $n$  более  $1000 \text{ мин}^{-1}$ , учитывается генерируемая номинальная реактивная мощность  $Q_{\text{двом}}$ , которая используется для компенсации реактивных нагрузок. В этом случае

$$Q_{\text{рл}} = Q_{\text{двом}} = P_{\text{двом}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{ном}} \quad (86)$$

где  $\text{tg} \varphi_{\text{ном}}$  – номинальный коэффициент реактивной мощности СД, принимаемый по паспортным данным (при их отсутствии  $\text{tg} \varphi_{\text{ном}} = 0,48$ ).

Далее определяется полная расчетная мощность линии

$$S_{\text{рл}} = \sqrt{P_{\text{рл}}^2 + Q_{\text{рл}}^2} \quad (87)$$

и расчетный ток

$$I_{\text{рл}} = \frac{S_{\text{рл}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} \quad (88)$$

Расчетный ток используется при выборе сечений токопроводящих жил кабеля по экономической плотности тока и электрооборудования, устанавливаемого на линии.

### **6.7 Определение расчетных нагрузок на шинах напряжением 6–10 кВ РП и главных понижающих подстанций**

Основными потребителями электроэнергии на напряжении 6–10 кВ являются электродвигатели, трансформаторные понижающие подстанции, преобразовательные подстанции и установки, термические электроустановки.

Для выполнения расчета электрических нагрузок следует осуществить привязку потребителей напряжением 6–10 кВ к РП, ГПП или ПГВ, исходя из их территориального расположения и требований

к надежности электроснабжения. При этом надо стремиться к равномерной нагрузке секций сборных шин напряжением 6–10 кВ.

Результирующая нагрузка на стороне высокого напряжения вычисляется с учетом применяемых средств компенсации реактивной мощности и потерь мощности в трансформаторах.

Расчетная активная нагрузка предприятия (на шинах напряжением 6–10 кВ РП, ГПП или ПГВ) определяется по формуле

$$P_{p\Sigma} = K_0 \sum_{i=1}^m K_{ni} P_{номi} + \sum_{i=1}^m P_{poi} + \sum_{i=1}^{N_T} \Delta P_{Ti}, \quad (89)$$

где  $K_0$  – коэффициент одновременности максимумов нагрузок;

$m$  – число присоединений на сборных шинах напряжением 6–10 кВ РП, ГПП или ПГВ, включая высоковольтные электроприемники;

$K_{ni}$  – среднее значение коэффициента использования  $i$ -го присоединения;

$P_{номi}$  – суммарная номинальная мощность электроприемников  $i$ -го присоединения (для высоковольтного двигателя –  $P_{дном}$ );

$P_{poi}$  – суммарная расчетная активная осветительная нагрузка  $i$ -го присоединения;

$N_T$  – количество силовых трансформаторов в СЭС предприятия;

$\Delta P_{Ti}$  – потери активной мощности в  $i$ -м трансформаторе.

Расчетная реактивная нагрузка предприятия на шинах напряжением 6–10 кВ РП, ГПП или ПГВ вычисляется по выражению

$$Q_{p\Sigma} = K_0 \left( \sum_{i=1}^m K_{ni} P_{номi} \operatorname{tg}\varphi_i - Q_{дном} \right) + \sum_{i=1}^m Q_{poi} + \sum_{i=1}^{N_T} \Delta Q_{Ti} - \sum_{i=1}^{N_k} Q_{ki}, \quad (90)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi_i$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности  $i$ -го присоединения;

$Q_{дном}$  – суммарная номинальная реактивная мощность, генерируемая СД напряжением 6–10 кВ, имеющими  $P_{дном} > 2500$  кВт или частоту оборотов  $n > 1000$  мин<sup>-1</sup> (эти двигатели не входят в число  $m$ );

$Q_{poi}$  – суммарная расчетная реактивная осветительная нагрузка  $i$ -го присоединения;

$N_k$  – общее количество батарей конденсаторов, установленных в сетях напряжением до 1 кВ и 6–10 кВ;

$Q_{ki}$  – номинальная мощность  $i$ -й конденсаторной установки.

Величина  $K_0$  принимается по [7, 8, 14] или таблице П1.7 в зависимости от числа  $m$  и средневзвешенного значения коэффициента использования силовых электроприемников

$$K_{ис} = \frac{\sum_{i=1}^m K_{иi} P_{номi}}{\sum_{i=1}^m P_{номi}} \quad (91)$$

Полная мощность расчетной нагрузки на шинах напряжением 6–10 кВ РП, ГПП или ПТВ вычисляется по формуле

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \quad (92)$$

Расчетный ток нагрузки потребителей, питающихся от шин напряжением 6–10 кВ РП, ГПП или ПТВ:

$$I_{p\Sigma} = \frac{S_{p\Sigma}}{\sqrt{3}U_{ном}} \quad (93)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение электрической сети.

Расчет нагрузки присоединенных потребителей электроэнергии выполняется для каждого РУ 6–10 кВ. Расчетную нагрузку каждой секции сборных шин напряжением 6–10 кВ в нормальном режиме рекомендуется принимать как произведение общей нагрузки и коэффициента 0,6, учитывающего неравномерность распределения нагрузки по секциям сборных шин [8]:

$$S_{pe} = 0,6 S_{p\Sigma} \quad (94)$$

В обоснованных случаях могут быть выполнены дополнительные расчеты по выявлению расчетной нагрузки для каждой секции сборных шин РУ 6–10 кВ.

Расчетные нагрузки предприятия уточняются после расчета компенсации реактивной мощности.

В заключение отметим некоторые дополнительные возможности рассмотренного метода, которые при необходимости могут быть реализованы при проектировании питающих сетей напряжением до 1 кВ.

Расчет электрических нагрузок питающих сетей производится, как правило, в целях определения расчетного тока, согласно которому выбирается сечение кабеля по нагреву. В РТМ 36.18.32.4–92 «Указания по расчету электрических нагрузок» для выбора кабелей и проводов питающих сетей напряжением до 1 кВ принята постоянная времени нагрева  $T_0 = 10$  мин. Это означает, что питающие сети с проводниками сечением  $25 \text{ мм}^2$  и более выбираются с некоторым запасом. Учитывая известную неопределенность низковольтной электрической нагрузки из-за частых изменений в технологии и оборудовании, это допущение следует считать приемлемым.

В то же время в практике проектирования производственных объектов могут иметь место случаи, когда необходимо определить допустимую токовую нагрузку для уже проложенных кабелей. Это, как правило, требуется при реконструкции или техническом перевооружении промышленных предприятий. С учетом фактической постоянной времени нагрева ранее проложенного кабеля (выбранного из условия  $T_0 = 10$  мин) можно определить дополнительную электрическую нагрузку, которую допустимо запитать с помощью этого кабеля. С этой целью в [8] приведены таблицы определения коэффициента расчетной мощности питающих сетей для постоянных времени нагрева проводников  $10 < T_0 < 20$ ,  $20 \leq T_0 < 30$ ,  $30 \leq T_0 < 40$  и  $T_0 \geq 40$  мин. Использование этих коэффициентов позволяет уточнить расчетный ток нагрузки линии.

Следует отметить, что влияние постоянной времени нагрева проводников на расчетную электрическую нагрузку более существенно при незначительном числе электроприемников ( $n_3 < 10$ ) и небольших значениях средневзвешенного коэффициента использования ( $K_{\text{из}} < 0,3$ ).

**Пример 1.** Определить расчетные нагрузки токарного станка мелкосерийного производства, имеющего привод с тремя асинхронными электродвигателями мощностью 11; 1,5 и 0,55 кВт. Номинальное напряжение сети 400 В.

**Решение.** По таблице П1.1 принимаем  $k_{\text{из}} = 0,14$  и  $\cos \varphi = 0,5$  ( $\text{tg} \varphi = 1,73$ ). Установленная мощность электроприемников станка

$$P_{\text{ном}} = 11 + 1,5 + 0,55 = 13,05 \text{ кВт.}$$

Эффективное число электроприемников по формуле (55)

$$n_3 = \frac{13,05^2}{11^2 + 1,5^2 + 0,55^2} = 1,38.$$

Округляем  $n_3$  до ближайшего целого числа, т. е. принимаем  $n_3 = 1$ . Затем по таблице П1.5 для  $n_3 = 1$  и  $K_n = 0,14$  определяем  $K_p$ . Для этого воспользуемся известным из математики методом линейной интерполяции. Согласно данному методу для аргумента  $x$ , находящегося между значениями  $x_1$  и  $x_2$ , которым соответствуют величины  $y_1$  и  $y_2$ , значение функции  $y$  определяется по выражению

$$y = y_1 + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} (y_2 - y_1).$$

Для рассматриваемого примера  $y = K_p$ , а  $x = K_n$ . Следовательно,  $y_1 = 8$ ;  $y_2 = 5,33$ ;  $x_1 = 0,1$ ;  $x_2 = 0,15$ ;  $x = 0,14$

$$K_p = 8 + \frac{0,14 - 0,1}{0,15 - 0,1} (5,33 - 8) = 5,86.$$

Расчетная активная нагрузка станка по выражению (54)

$$P_p = 5,86 \cdot 0,14 \cdot 13,05 = 10,7 \text{ кВт.}$$

Так как расчетная активная нагрузка меньше номинальной мощности наибольшего двигателя ( $10,71 < 11$ ), то принимаем  $P_p = 11$  кВт.

Расчетная реактивная нагрузка по выражению (57)

$$Q_p = 1,1 \cdot 0,14 \cdot 13,05 \cdot 1,73 = 3,5 \text{ квар.}$$

Полная мощность расчетной нагрузки

$$S_p = \sqrt{11^2 + 3,5^2} = 11,5 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Расчетный ток отвлечения к станку

$$I_p = \frac{11,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 16,7 \text{ А.}$$

**Пример 2.** Определить расчетные нагрузки группы силовых электроприемников длительного режима работы по следующим данным:

10 приемников по 7,5 кВт;  $K_n = 0,35$ ;  $\cos \varphi = 0,65$ ;  $\operatorname{tg} \varphi = 1,17$ ;

4 приемника по 15 кВт;  $K_n = 0,2$ ;  $\cos \varphi = 0,6$ ;  $\operatorname{tg} \varphi = 1,33$ ;

5 приемников по 22 кВт;  $K_n = 0,14$ ;  $\cos \varphi = 0,5$ ;  $\operatorname{tg} \varphi = 1,73$ .

Номинальное напряжение сети 400 В.

**Решение.** Определим установленную мощность электроприемников группы

$$P_{\text{ном}} = 10 \cdot 7,5 + 4 \cdot 15 + 5 \cdot 22 = 75 + 60 + 110 = 245 \text{ кВт.}$$

По формуле (60) найдем групповой коэффициент использования

$$K_n = \frac{0,35 \cdot 75 + 0,2 \cdot 60 + 0,14 \cdot 110}{245} = \frac{26,3 + 12,0 + 15,4}{245} = \frac{53,7}{245} = 0,22.$$

Эффективное число электроприемников вычисляем по выражению (55)

$$n_3 = \frac{245^2}{10 \cdot 7,5^2 + 4 \cdot 15^2 + 5 \cdot 22^2} = 15,5.$$

Принимаем значение  $n_3 = 15$ . Далее по таблице П1.5 для  $K_n = 0,22$  и  $n_3 = 15$  путем линейной интерполяции находим  $K_p = 1,21$ .

Расчетная активная нагрузка группы приемников по формуле (59)

$$P_p = 1,21 \cdot 53,7 = 65,0 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная нагрузка группы силовых электроприемников определяется по выражению (62)

$$Q_p = 26,3 \cdot 1,17 + 12 \cdot 1,33 + 15,4 \cdot 1,73 = 73,4 \text{ квар.}$$

Полная мощность нагрузки вычисляется по формуле (63)

$$S_p = \sqrt{65^2 + 73,4^2} = 98,0 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Расчетный ток группы ЭП по (64)

$$I_p = \frac{98,0}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 141,7 \text{ А.}$$

**Пример 3.** Определить расчетную нагрузку троллейной линии, от которой питается мостовой кран грузоподъемностью 10 т. На кране установлены следующие электродвигатели с короткозамкнутым ротором: подъема груза – 11 кВт; передвижения тележки – 7,5 кВт; передвижения моста – два двигателя по 2,2 кВт, которые включаются одновременно. Паспортная продолжительность включения двигателей ПВ = 40 %;  $\cos \varphi = 0,5$ . Номинальное напряжение электрической сети 400 В.

**Решение.** По формуле (74) определяем расчетную мощность крановой установки

$$P_p = 11 \cdot \sqrt{0,4} + 7,5 \cdot \sqrt{0,4} = 11,7 \text{ кВт.}$$

Расчетный ток троллейной линии по выражению (75)

$$I_p = \frac{11,7}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,5} = 33,7 \text{ А.}$$

**Пример 4.** Определить расчетные силовые нагрузки на напряжении до 1 кВ производственного корпуса машиностроительного завода. Установленная мощность электроприемников характерных категорий приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета электрических нагрузок корпуса

Наименование электроприемников	Число ЭП, шт.	Мощность наибольшего ЭП, кВт	Общая мощность ЭП, кВт	Среднее значение		
				$K_d$	$\cos \varphi$	$\text{tg} \varphi$
1	2	3	4	5	6	7
Станки мелкосерийного производства	172	45	2160	0,14	0,50	1,73

## Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
Станки с особо тяжелым режимом работы	74	75	3480	0,24	0,65	1,17
Автоматические поточные линии	245	37	2450	0,60	0,70	1,02
Печи сопротивления с неавтоматической загрузкой	20	120	1500	0,50	0,95	0,33
Краны, тельферы (при ПВ = 40 %)	62	28	350	0,10	0,50	1,73
Насосы	30	110	2800	0,70	0,80	0,75
Вентиляторы	70	55	1620	0,80	0,80	0,75
<b>Итого:</b>	<b>673</b>	<b>-</b>	<b>14 360</b>	<b>0,46</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**Решение.** Найдем средневзвешенное значение коэффициента использования для ЭП корпуса по формуле (60)

$$K_{\text{н}} = \frac{0,14 \cdot 2160 + 0,24 \cdot 3480 + 0,6 \cdot 2450 + 0,5 \cdot 1500 + 0,1 \cdot 350 + 0,7 \cdot 2800 + 0,8 \cdot 1620}{14360} = \frac{302,4 + 835,2 + 1470,0 + 750,0 + 35,0 + 1960,0 + 1296,0}{14360} = \frac{6648,6}{14360} = 0,46.$$

По формуле (67) вычисляем эффективное число электроприемников корпуса

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 14360}{120} = 239,3.$$

Принимаем  $n_{\text{э}} = 239$  и по таблице П1.6 путем линейной интерполяции определяем коэффициент расчетной мощности  $K_{\text{р}} = 0,73$ .

Вычисляем расчетную активную нагрузку ЭП корпуса на напряжение 0,4 кВ по формуле (59)

$$P_{\text{р}} = 0,73 \cdot 6648,6 = 4853,5 \text{ кВт.}$$

Находим расчетную реактивную нагрузку корпуса по выражению (68)

$$Q_p = 0,73(302,4 \cdot 1,73 + 835,2 \cdot 1,17 + 1470 \cdot 1,02 + 750,0 \cdot 0,33 + 35 \cdot 1,73 + \\ + 1960,0 \cdot 0,75 + 1296 \cdot 0,75) = 0,73 \cdot 5749,8 = 4197,3 \text{ квар.}$$

Полная расчетная нагрузка корпуса определяется по формуле (63)

$$S_p = \sqrt{4853,5^2 + 4197,3^2} = 6416,7 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

**Пример 5.** Определить расчетные нагрузки предприятия на шинах напряжением 10 кВ двухсекционного РП, имеющего шесть присоединений. Каждая секция РП имеет по три присоединения. Установленные мощности силовых электроприемников присоединений  $P_{\text{ном}} = 5600; 6700; 8000; 7600; 6300; 8500$  кВт. Средние значения коэффициентов использования  $K_{\text{и}} = 0,4; 0,2; 0,3; 0,14; 0,25; 0,35$ , коэффициентов реактивной мощности  $\text{tg}\varphi = 0,42; 0,48; 0,5; 0,55; 0,46; 0,47$ . Суммарная расчетная нагрузка освещения: активная  $P_{\text{ро}} = 410$  кВт, реактивная  $Q_{\text{ро}} = 215$  квар. Потери мощности в силовых трансформаторах напряжением 10/0,4 кВ составляют: активной – 144 кВт, реактивной – 770 квар.

**Решение.** Найдем средневзвешенное значение коэффициента использования по формуле (91)

$$K_{\text{ис}} = \frac{0,4 \cdot 5600 + 0,2 \cdot 6700 + 0,3 \cdot 8000 + 0,14 \cdot 7600 + 0,25 \cdot 6300 + 0,35 \cdot 8500}{5600 + 6700 + 8000 + 7600 + 6300 + 8500} = \\ = \frac{2240 + 1340 + 2400 + 1064 + 1575 + 2975}{42700} = \frac{11594}{42700} = 0,27.$$

По таблице П1.7 для  $K_{\text{ис}} = 0,27$  и  $m = 6$  определим коэффициент одновременности  $K_o = 0,8$ .

Расчетная активная силовая нагрузка предприятия на шинах 10 кВ РП вычисляется по выражению (89)

$$P_{\text{р}\Sigma} = 0,8 \cdot 11594 + 410 + 144 = 9829,2 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная нагрузка определяется по формуле (90)

$$Q_{p\Sigma} = 0,8 \cdot (2240 \cdot 0,42 + 1340 \cdot 0,48 + 2400 \cdot 0,5 + 1064 \cdot 0,55 + 1575 \cdot 0,46 + 2975 \cdot 0,47) + 215 + 770 = 5378,6 \text{ квар.}$$

Полная мощность силовой нагрузки на шинах РП по формуле (92)

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{9829,2^2 + 5378,6^2} = 11204,6 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Расчетный ток нагрузки потребителей, питающихся от шин напряжением 10 кВ РП:

$$I_{p\Sigma} = \frac{11204,6}{\sqrt{3} \cdot 10} = 647,7 \text{ А.}$$

Расчетная полная нагрузка каждой секции сборных шин напряжением 10 кВ определяется по выражению (94)

$$S_{pc} = 0,6 \cdot 11204,6 = 6722,8 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Расчетный ток каждой секции сборных шин напряжением 10 кВ РП вычисляется по формуле

$$I_{pc} = \frac{S_{pc}}{\sqrt{3}U_{ном}}; \quad I_{pc} = \frac{6722,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 388,6 \text{ А.}$$

## 7 Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и коэффициенту спроса

Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий по установленной мощности и коэффициенту спроса может производиться в случае отсутствия информации о номинальных мощностях отдельных электроприемников. Его можно применять на стадии разработки задания на проектирование электрической части проекта промышленного предприятия, если известны достоверные значения коэффициента спроса активной мощности потребителей.

По данному методу расчетная активная нагрузка группы однородных по режиму работы электроприемников, объединенных технологическим процессом, определяется из выражения

$$P_p = K_c \cdot P_{\text{ном}}, \quad (95)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса, характерный для электроприемников группы;

$P_{\text{ном}}$  – установленная мощность группы электроприемников.

Расчетная реактивная нагрузка группы электроприемников

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi, \quad (96)$$

где  $\text{tg}\varphi$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности для рассматриваемой группы электроприемников.

Полная нагрузка группы определяется по формуле (63) или как

$$S_p = \frac{P_p}{\cos\varphi}, \quad (97)$$

где  $\cos\varphi$  – среднее значение коэффициента мощности для рассматриваемой группы электроприемников.

Коэффициенты спроса для различных потребителей электроэнергии приводятся в справочной литературе [9–11]. Для некоторых промышленных предприятий, цехов, установок и групп электроприемников средние значения  $K_c$  даны в таблице П1.2.

На промышленных предприятиях силовые электроприемники группы могут значительно различаться по своим характеристикам электропотребления. Вследствие указанного обстоятельства метод коэффициента спроса может использоваться лишь для ориентировочной оценки величины нагрузки силовых ЭП промышленных предприятий.

При расчете нагрузок группы величина  $K_c$  принимается одинаковой для всех электроприемников, т. е. предполагается, что все электроприемники однотипны и имеют один и тот же режим работы. В максимальной степени этому условию удовлетворяют осветительные установки. Поэтому данный метод нашел широкое применение для расчета нагрузок электрического освещения.

Для определения электрической нагрузки электрического освещения производственного помещения необходимо знать мощность установленных источников света, которая определяется в результате светотехнического расчета. Задачей светотехнического расчета является определение единичной номинальной мощности электрической лампы и общей мощности всех источников света в помещении, для которого выполняется расчет.

Электрические нагрузки освещения используются для выбора электрооборудования и расчета осветительных сетей. Они учитываются также в общих нагрузках зданий, сооружений, установок, производственных объектов и т. п.

Расчетная осветительная нагрузка производственных и общественных зданий, а также наружного освещения определяется исходя из суммарной мощности ламп, полученной в результате светотехнического расчета [16]. Установленная мощность находится суммированием номинальной мощности ламп стационарных осветительных приборов напряжением более 42 В и понижающих трансформаторов с вторичным напряжением 12–42 В. В осветительных установках с разрядными лампами расчетная нагрузка определяется с учетом потерь мощности в ПРА.

Расчетная нагрузка на вводе в здание или в начале питающей линии вычисляется по формуле

$$P_{\text{ро}} = K_{\text{со}} \sum_{i=1}^n K_{\text{ПРА}i} P_{\text{ном}i}, \quad (98)$$

где  $K_{\text{со}}$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки;

$K_{\text{ПРА}i}$  – коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре  $i$ -й газоразрядной лампы;

$P_{\text{ном}i}$  – номинальная мощность  $i$ -й лампы, кВт;

$n$  – количество ламп, питающихся по линии (установленных в здании или помещении).

При отсутствии данных обследования осветительных установок коэффициент спроса для расчета питающей сети рабочего освещения производственных зданий можно принимать равным [16]:

1,0 – для небольших зданий и линий, питающих отдельные групповые щитки;

0,95 – зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;

0,9 – библиотек и административных зданий;  
 0,85 – зданий, состоящих из многих отдельных помещений;  
 0,8 – лечебных, конторско-бытовых и лабораторных зданий;  
 0,6 – складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений, а также для электрических подстанций.

Для расчета групповой сети рабочего освещения и всех звеньев сети аварийного освещения производственных объектов, а также наружного освещения коэффициент  $K_{co} = 1$ .

Значение  $K_{ПРА}$  принимается равным:

1,0 – для ламп накаливания;  
 1,1 – ламп типа ДРЛ, ДРИ, ДНаТ;  
 1,2 – люминесцентных ламп низкого давления (ЛЛНД) со стартерной схемой пуска;  
 1,3 – ЛЛНД при бесстартерной схеме пуска.

Отметим, что в электронных ПРА потери мощности примерно на 20–50 % меньше по сравнению с электромагнитными.

Расчетная реактивная осветительная нагрузка определяется по формуле

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (99)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности осветительной установки.

В случае использования для освещения разных типов ламп, отличающихся по значениям  $\operatorname{tg}\varphi$ , применяется следующее выражение для расчета  $Q_{po}$ :

$$Q_{po} = K_{co} \sum_{i=1}^n K_{ПРАi} P_{номi} \operatorname{tg}\varphi_i, \quad (100)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi_i$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности  $i$ -й лампы.

При расчете электрических нагрузок осветительных установок можно принимать следующие значения  $\operatorname{tg}\varphi$ :

0 – для светильников с лампами накаливания;  
 0,33 – светильников с ЛЛНД и электронными ПРА;  
 0,43 – светильников с двумя и более ЛЛНД и электромагнитными ПРА;

0,48 – светильников с одной ЛЛНД и электромагнитным ПРА;  
1,73 – светильников с некомпенсированными ПРА и газоразрядными лампами высокого давления.

Расчетный ток линий осветительных сетей определяется по следующим формулам:

– для трехфазной сети (четырёх- и пятипроводной)

$$I_{po} = \frac{P_{po}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном л} \cdot \cos \varphi} = \frac{P_{po}}{3 \cdot U_{ном ф} \cdot \cos \varphi}; \quad (101)$$

– двухфазной сети с рабочим и защитным нулевым проводами (трех- и четырехпроводной)

$$I_{po} = \frac{P_{po}}{2 \cdot U_{ном ф} \cdot \cos \varphi}; \quad (102)$$

– однофазной сети (двух- и трехпроводной)

$$I_{po} = \frac{P_{po}}{U_{ном ф} \cdot \cos \varphi}, \quad (103)$$

где  $U_{ном ф}$  и  $U_{ном}$  – соответственно номинальное фазное и междуфазное напряжение сети;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности активной нагрузки.

В случае неравномерной нагрузки фаз расчетная активная нагрузка линии принимается равной утроенному значению нагрузки наиболее загруженной фазы.

Светильники на две и более ЛЛНД, имеющие электромагнитные ПРА, обеспечивают  $\cos \varphi$  не менее 0,92, а на одну ЛЛ – 0,9 [16]. Светильники с ЛЛНД и электронными ПРА имеют  $\cos \varphi$  не менее 0,95. Большинство светильников с газоразрядными лампами высокого давления (типа ДРЛ, ДРИ и т. п.) при напряжении 230 В оснащаются некомпенсированными ПРА со средним значением  $\cos \varphi = 0,5$ . Для светильников с лампами накаливания  $\cos \varphi = 1$ . Соответствующие коэффициенты мощности будут иметь нагрузки осветительных линий.

Для участка сети, питающего групповые линии с разными величинами  $\cos\varphi$ , определяется средневзвешенное значение коэффициента мощности по выражению

$$\cos\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n \cos\varphi_i \cdot P_{pi}}{\sum_{i=1}^n P_{pi}}, \quad (104)$$

где  $\cos\varphi_i$  — коэффициент мощности нагрузки  $i$ -й линии;

$P_{pi}$  — расчетная мощность осветительной нагрузки  $i$ -й линии;

$n$  — количество групповых линий.

При значительной мощности световых приборов, оснащенных некомпенсированными ПРА, может применяться групповая компенсация реактивной мощности. Целесообразность такой компенсации должна быть технико-экономически обоснована.

Метод коэффициента спроса используется также при определении силовых нагрузок общедомовых электроприемников жилых и общественных зданий.

Расчетная нагрузка узла системы электроснабжения (цеха, корпуса, предприятия) определяется с учетом коэффициента одновременности максимумов нагрузок  $K_o$  по следующему выражению [2, 3]:

$$S_p = K_o \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n P_{pi}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Q_{pi}\right)^2}, \quad (105)$$

где  $P_{pi}$  — расчетная активная нагрузка  $i$ -й группы ЭП, определяемая по формуле (95);

$Q_{pi}$  — расчетная реактивная нагрузка  $i$ -й группы ЭП, определяемая по формуле (96);

$n$  — число групп ЭП в рассматриваемом узле СЭС.

Коэффициент одновременности максимумов нагрузок  $K_o$  принимается от 0,85 до 1 в зависимости от места нахождения рассматриваемого узла в СЭС промышленного предприятия [2].

**Пример 6.** По коэффициенту спроса найти расчетные силовые нагрузки ремонтно-механического цеха с установленной мощностью  $P_{ном} = 1600$  кВт. Средние значения  $K_o = 0,3$  и  $\cos\varphi = 0,75$  ( $\operatorname{tg}\varphi = 0,88$ ).

**Решение.** Расчетная активная нагрузка определяется по формуле (95)

$$P_p = 0,3 \cdot 1600 = 480 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная нагрузка вычисляется по выражению (96)

$$Q_p = 480 \cdot 0,88 = 422,4 \text{ квар.}$$

Полная мощность расчетной силовой нагрузки

$$S_p = \sqrt{480^2 + 422,4^2} = 639,4 \text{ кВт} \cdot \text{А.}$$

**Пример 7.** Требуется определить расчетные нагрузки освещения производственного цеха, размещенного в здании, состоящем из отдельных крупных пролетов. Для электрического освещения цеха используются следующие световые приборы:

- 30 светильников с лампами типа ДРИ мощностью 400 Вт каждая;
- 5 светильников с лампами накаливания мощностью 500 Вт каждая;
- 60 светильников с ЛЛНД, в каждом из которых установлено по две лампы мощностью 36 Вт.

Для ламп типа ДРИ применяются электромагнитные ПРА, ЛЛНД – электронные ПРА. Номинальное напряжение сети 230/400 В.

**Решение.** Принимаем для освещения цеха значение коэффициента спроса равным 0,95, а коэффициент, учитывающий потери мощности в ПРА  $K_{\text{ПРА}} = 1,1$  как для ламп типа ДРИ, так и ЛЛНД. Для ЛЛНД учтено, что потери в электронных ПРА примерно на 50 % меньше по сравнению с электромагнитными ПРА, у которых  $K_{\text{ПРА}} = 1,2$ .

Расчетная активная нагрузка освещения помещения цеха (на вводе) вычисляется по формуле (98)

$$P_{po} = 0,95(1,1 \cdot 0,4 \cdot 30 + 5 \cdot 0,5 + 1,1 \cdot 2 \cdot 0,036 \cdot 60) = 19,4 \text{ кВт.}$$

Для газоразрядных ламп высокого давления с некомпенсированными электромагнитными ПРА коэффициент мощности нагрузки

$\cos \varphi = 0,5$ , для светильников с ЛЛНД и электронными ПРА – 0,95, для ламп накаливания – 1. Для  $\cos \varphi = 0,5; 0,95$  и 1, значения коэффициента реактивной мощности  $\operatorname{tg} \cos \varphi$  соответственно равны 1,73; 0,33 и 0. С учетом этого определим расчетную реактивную нагрузку освещения по выражению (100):

$$Q_{po} = 0,95(1,1 \cdot 0,4 \cdot 30 \cdot 1,73 + 1,1 \cdot 2 \cdot 0,036 \cdot 60 \cdot 0,33) = 23,2 \text{ квар.}$$

Полная нагрузка электрического освещения цеха рассчитывается по формуле

$$S_{po} = \sqrt{P_{po}^2 + Q_{po}^2}; \quad S_{po} = \sqrt{19,4^2 + 23,2^2} = 30,2 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Расчетный ток линии, питающей световые приборы цеха, определяется по выражению

$$I_{po} = \frac{S_{po}}{3 \cdot U_{ном \varphi}}; \quad I_{po} = \frac{30,2}{3 \cdot 0,23} = 43,8 \text{ А.}$$

## 8 Определение расчетной нагрузки по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции

Для силовых электроприемников, имеющих неизменные или мало изменяющиеся графики индивидуальной и групповой нагрузки, расчетная нагрузка  $P_p$  принимается равной средней  $P_c$  за рассматриваемый период [2]. К таким электроприемникам относятся электродвигатели насосов, вентиляторов, компрессоров, поточно-транспортных систем, печи сопротивления, электролизные установки, большинство электроприемников химической и бумажной промышленности и т. п.

Согласно данному методу расчетная активная нагрузка, принимаемая равной средней мощности за рассматриваемый период  $t$ , определяется по формуле

$$P_p = \frac{w_y \Pi_t}{t}, \quad (106)$$

где  $w_y$  – удельный расход электроэнергии на единицу выпускаемой продукции, кВт · ч/ед. прод.;

$\Pi_t$  – заданный (планируемый) объем выпуска продукции за время  $t$ .

Средние значения  $w_y$  для различных видов продукции содержатся в справочной литературе.

По данному методу расчеты рекомендуется производить для наиболее загруженной смены. В этом случае формула (106) приобретает следующий вид:

$$P_p = P_{см} = \frac{w_y \Pi_{см}}{t_{см}}, \quad (107)$$

где  $P_{см}$  – средняя нагрузка за наиболее загруженную смену;

$\Pi_{см}$  – количество продукции, выпускаемой за смену (сменная производительность);

$t_{см}$  – продолжительность наиболее загруженной смены, ч.

При наличии данных о годовом объеме выпускаемой продукции  $\Pi_{г}$  для цеха и предприятия в целом расчетная нагрузка определяется по формуле

$$P_p = \frac{w_y \Pi_{г}}{T_{max}}, \quad (108)$$

где  $T_{max}$  – годовое время использования максимальной нагрузки, ч.

В тех случаях, когда известны удельные расходы электроэнергии для отдельных технологических установок (агрегатов), расчетная нагрузка цеха может быть определена по выражению

$$P_{рц} = \frac{\sum_{i=1}^n w_{yi} \Pi_i}{T_{max ц}} + P_{роц}, \quad (109)$$

где  $w_{yi}$  – удельный технологический расход электроэнергии  $i$ -й установки;

$\Pi_i$  – годовой объем продукции, произведенной на  $i$ -й установке;

$T_{max ц}$  – годовое число часов использования максимума нагрузки цеха (принимается по справочной литературе);

$P_{\text{р0и}}$  – расчетная электрическая нагрузка общецеховых ЭП (световых приборов, вентиляторов, насосов и т. д.), определяемая в зависимости от их режима и графика работы;

$n$  – количество технологических установок цеха.

Расчетная активная нагрузка завода в целом [2]

$$P_{\text{р0з}} = K_0 \left( \sum_{i=1}^m P_{\text{р0и}} + P_{\text{р0з}} \right), \quad (110)$$

где  $P_{\text{р0и}}$  – расчетная активная нагрузка  $i$ -го цеха;

$P_{\text{р0з}}$  – расчетная электрическая нагрузка общезаводских ЭП;

$m$  – количество производственных цехов на предприятии.

Расчетные реактивная и полная нагрузки определяются по выражениям (96) и (63) соответственно.

Данный метод дает приемлемые результаты при определении нагрузок электроприемников и потребителей, имеющих мало изменяющийся график нагрузки. При большом числе электроприемников разной мощности на предприятии применение усредненных опытно-статистических величин  $w_y$  может привести к значительным погрешностям в определении  $P_p$ . В связи с этим данный метод на высоких уровнях СЭС дает приблизительные результаты. Он может применяться для предварительного расчета нагрузки, когда известен годовой выпуск продукции.

**Пример 8.** Определить расчетную активную нагрузку группы компрессоров, производящих за смену 280 000 м<sup>3</sup> сжатого воздуха. Длительность смены 8 ч, удельный расход электроэнергии  $w_y = 0,1$  кВт·ч/м<sup>3</sup>.

**Решение.** Расчетная активная нагрузка по формуле (106)

$$P_p = \frac{0,1 \cdot 280\,000}{8} = 3500 \text{ кВт.}$$

Согласно таблице П1.1 для компрессоров среднее значение  $\cos\varphi = 0,85$ , что соответствует  $\text{tg}\varphi = 0,62$ . Тогда по выражению (96) расчетная реактивная нагрузка компрессоров

$$Q_p = 3500 \cdot 0,62 = 2170 \text{ квар.}$$

Полная нагрузка группы компрессоров рассчитывается по формуле (63)

$$S_p = \sqrt{3500^2 + 2170^2} = 4118,1 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

### 9 Определение расчетной нагрузки по удельной мощности на единицу производственной площади

Метод определения расчетной нагрузки по удельной мощности на единицу производственной площади был предложен Ю. Л. Мукосеевым в 1936 году для проектирования универсальных электрических сетей предприятий малого и среднего машиностроения [5]. Указанные предприятия характеризуются большим количеством ЭП небольшой мощности, относительно равномерно распределенных по производственной площади цехов. Под *универсальными сетями* понимаются такие сети, которые без существенных переделок соответствуют любым изменениям технологического процесса и перестановкам производственного оборудования.

Универсальные сети выполняются магистральными шинопроводами различных типов. Они выбираются с учетом возможных перемещений оборудования, т. е. без учета конкретного расположения оборудования, которое имело место к моменту проектирования. Такой подход является достаточно рациональным при проектировании электрических сетей цехов с большой динамичностью технологического процесса.

Удельная плотность нагрузки определяется по выражению

$$p_y = \frac{P_p}{F}, \text{ кВт/м}^2, \quad (111)$$

где  $P_p$  – расчетная активная нагрузка объекта (цеха, корпуса, предприятия), кВт;

$F$  – производственная или общая площадь данного объекта, м<sup>2</sup>.

Значения  $p_y$ , определяемые на основе статистических исследований, являются достаточно устойчивыми статистическими величинами для различных видов производств предприятий разных отраслей промышленности.

Зная намеченную технологическим проектом площадь объекта и значения удельных плотностей нагрузок, характерные для аналогичных действующих предприятий, можно найти его расчетную активную нагрузку по выражению

$$P_p = p_y F. \quad (112)$$

Расчетные реактивная и полная нагрузки определяются так же, как и в предыдущем методе (по выражениям (96) и (63) соответственно).

Удельные расчетные нагрузки  $p_y$  зависят от рода производства и выявляются на основе статистических исследований. Например, в машиностроении для металлообрабатывающих цехов  $p_y = (0,15-0,24)$  кВт/м<sup>2</sup>, электросварочных и термических  $p_y = (0,3-0,5)$  кВт/м<sup>2</sup>. В таблице П.4 приведены их значения для некоторых цехов предприятий машиностроительного профиля.

При использовании данного метода необходимо тщательно анализировать статистические данные по  $p_y$  и средним значениям  $\text{tg}\phi$  с оценкой и прогнозированием их динамики изменения во времени, обусловленной техническим прогрессом.

Метод может применяться при большом количестве электроприемников малой мощности, относительно равномерно распределенных по производственной площади. Очевидно, что этому условию наилучшим образом соответствуют осветительные электроприемники. Поэтому данный метод часто применяется для расчета осветительной электрической нагрузки.

Расчетная нагрузка освещения отдельных помещений и зданий, для которых не производился полный светотехнический расчет, может быть приближенно определена (в киловаттах) по выражению

$$P_{po} = K_d p_y \cdot F \cdot 10^{-3}, \quad (113)$$

где  $p_y$  — удельная мощность общего равномерного освещения, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $F$  — площадь помещения, м<sup>2</sup>.

Удельная мощность освещения принимается в зависимости от типа и номинальной мощности применяемых ламп, расчетной высоты, площади помещения, освещенности, кривой силы света (КСС) и других показателей освещения.

В таблицах П1.8–П1.11 приведены данные об удельной мощности для светильников прямого света с разными типами ламп при условиях, указанных в конце каждой таблицы [16].

Значение удельной мощности в каждом конкретном случае находят пропорциональным пересчетом по формуле

$$p_y = (p_{yt} \cdot K_3 \cdot E_n) / (K_{ст} \cdot \eta \cdot 100), \quad (114)$$

где  $p_{yt}$  – табличное значение удельной мощности освещения, Вт/м<sup>2</sup>;

$K_3$  и  $K_{ст}$  – фактический и табличный коэффициенты запаса, учитывающие снижение освещенности в процессе эксплуатации световых приборов;

$E_n$  – величина нормированной освещенности, лк;

$\eta$  – КПД выбранного светильника в относительных единицах ( $\eta = 0,5-0,8$ ).

Расчетную нагрузку наружного освещения можно определить аналогично.

В таблице П1.12 даны удельные мощности установок наружного освещения, выполненного светильниками, на единицу длины осветительной линии (Вт/м) и на квадратный метр дорожного покрытия (Вт/м<sup>2</sup>), а в таблице П1.13 – для прожекторного освещения наружной территории.

Учитывая, что коэффициент спроса для наружного освещения принимается равным единице, расчетная нагрузка в данном случае определяется по одному из следующих выражений:

$$P_{po} = p_{yl} \cdot L \cdot 10^{-3}; \quad (115)$$

$$P_{po} = p_y \cdot F \cdot 10^{-3}, \quad (116)$$

где  $p_{yl}$  и  $p_y$  – удельные мощности осветительных установок, выраженные соответственно в Вт/м и Вт/м<sup>2</sup>;

$L$  – суммарная длина линий наружного освещения, м;

$F$  – освещаемая площадь дорожного покрытия, м<sup>2</sup>;  $F = b \cdot L$  (где  $b$  – ширина дорожного покрытия, м).

**Пример 9.** Определить расчетные активную, реактивную и полную силовые нагрузки цеха металлоконструкций площадью  $F = 1800$  м<sup>2</sup>. Плотность нагрузки  $p_y = 0,3$  Вт/м<sup>2</sup>. Среднее значение коэффициента мощности  $\cos \varphi = 0,6$  ( $\operatorname{tg} \varphi = 1,33$ ).

**Решение.** По формуле (112) расчетная активная силовая нагрузка цеха

$$P_p = 0,3 \cdot 1800 = 540 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная нагрузка вычисляется по выражению (96)

$$Q_p = 540 \cdot 1,33 = 718,2 \text{ квар.}$$

Полная расчетная силовая нагрузка цеха по формуле (63)

$$S_p = \sqrt{540^2 + 718,2^2} = 898,6 \text{ кВт} \cdot \text{А.}$$

**Пример 10.** Определить расчетную активную нагрузку электрического освещения, выполненного газоразрядными лампами высокого давления типа ДРЛ, для механического цеха промышленного предприятия. Нормируемая освещенность цеха  $E_n = 300$  лк. Размеры помещения цеха: длина  $A = 60$  м, ширина  $B = 30$  м, высота  $H = 8,4$  м.

**Решение.** Определяем площадь освещаемого помещения:

$$F = A \cdot B; \quad F = 60 \cdot 30 = 1800 \text{ м}^2.$$

Для освещения цеха выбираем светильники типа РСП05, у которых кривая силы света (КСС) типа Д, а КПД равен 70 % [16]. По таблице П1.9 принимаем удельную мощность освещения для расчетной высоты от условной рабочей поверхности до светильника  $H_p = 6-8$  м (так как высота расчетной поверхности над полом обычно равна 0,8 м, а светильник типа РСП подвесной, т. е. имеется расстояние от перекрытия до светильника не более 1,5 м) и площади  $F$  свыше 500 м<sup>2</sup>.

В таблице П1.9 приведены данные для КСС типа Д-1, Д-2 и ДЗ, а в типе светильника указана КСС типа Д. Поэтому принимаем среднее значение удельной мощности освещения для КСС типа Д-2, равное 3,9 Вт/м<sup>2</sup>. Эта мощность дана для освещенности 100 лк, при условном КПД светильника 100 % и коэффициенте запаса 1,5. По [16] коэффициент запаса для механического цеха равен 1,4.

Произведем по формуле (114) пересчет удельной мощности освещения с учетом конкретных данных осветительной установки цеха:

$$p_y = (3,9 \cdot 1,4 \cdot 300) / (1,5 \cdot 0,7 \cdot 100) = 15,6 \text{ Вт/м}^2.$$

По выражению (113) находим расчетную активную нагрузку освещения для механического цеха с учетом коэффициента спроса 0,95:

$$P_{po} = 0,95 \cdot 15,6 \cdot 1800 \cdot 10^{-3} = 26,7 \text{ кВт.}$$

### 10 Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту формы

Расчетная активная нагрузка группы силовых приемников электроэнергии по средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузки определяется по следующему выражению:

$$P_p = K_{\phi} \cdot P_{cm}, \quad (117)$$

где  $K_{\phi}$  – коэффициент формы графика нагрузки по активной мощности;

$P_{cm}$  – средняя активная нагрузка группы ЭП за наиболее загруженную смену, кВт, определяемая как

$$P_{cm} = \sum_{i=1}^n k_{ni} P_{номi}, \quad (118)$$

$k_{ni}$  – среднее значение коэффициента использования  $i$ -го электроприемника;

$P_{номi}$  – номинальная мощность  $i$ -го электроприемника;

$n$  – число электроприемников в группе.

Расчетная реактивная нагрузка группы приемников определяется по выражению (96), а при известном значении коэффициента формы графика нагрузки по реактивной мощности  $K_{\phi p}$  по формуле

$$Q_p = K_{\phi p} \cdot Q_{cm}, \quad (119)$$

где  $K_{\phi p}$  – коэффициент формы графика нагрузки реактивной мощности;

$Q_{cm}$  – средняя реактивная нагрузка группы ЭП за наиболее загруженную смену, квар.

Значение средней реактивной нагрузки за наиболее загруженную смену рассчитывается по выражению

$$Q_{\text{см}} = \sum_{i=1}^n k_{\text{нп}} p_{\text{норм}} \text{tg} \varphi_i, \quad (120)$$

где  $\text{tg} \varphi_i$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности  $i$ -го приемника.

Полная нагрузка группы ЭП определяется по формуле (63).

В данном методе расчетные активные и реактивные нагрузки принимаются равными среднеквадратическим нагрузкам за некоторый расчетный период. Такое допущение справедливо лишь в определенных случаях. В частности, это применимо для групп ЭП с повторно-кратковременным режимом работы. Также это допущение вполне приемлемо для групп силовых ЭП с групповым циклом, продолжительность которого значительно меньше трех постоянных времени нагрева проводников (например, для вспомогательных приводов реверсивных станов горячей прокатки) [3].

В установившемся режиме работы наиболее загруженной смены при возрастании числа электроприемников примерно одинаковой единичной мощности коэффициент формы графика нагрузки стремится к единице. Следовательно, среднеквадратическая, т. е. расчетная нагрузка группы стремится к средней за наиболее загруженную смену, если отсутствуют достаточно мощные приемники, способные исказить относительно равномерный групповой график нагрузки.

Метод расчета по коэффициенту формы графика нагрузки и средней мощности может применяться для определения электрических нагрузок цеховых шинопроводов, на сборных шинах напряжением до 1 кВ ТП, шинах напряжением 6–10 кВ РП и ГПП при достаточно равномерных графиках нагрузок, когда значения  $K_{\phi} = 1-1,2$ .

При определении расчетных нагрузок отдельных узлов СЭС промышленного предприятия рассматриваемым методом коэффициенты формы могут быть приняты по данным аналогичного действующего предприятия, которые выявляются для соответствующих узлов системы электроснабжения опытным путем. Когда опытным путем найти коэффициент формы группового графика нагрузки не удастся, можно с достаточной для практических целей точностью принимать  $K_{\phi} = 1-1,2$ . При этом значение  $K_{\phi}$  уменьшается по направлению от низших ступеней СЭС к высшим [3].

## 11 Определение расчетной нагрузки статистическим методом

Данный метод используется при оценке и анализе электропотребления действующих предприятий, так как требует определенной статистической информации. При наличии предприятий аналогов его можно использовать при предпроектных разработках заданий на проектирование производственных объектов. Расчетная активная нагрузка группы электроприемников статистическим методом определяется с использованием двух интегральных показателей: средней нагрузки  $P_c$  за время  $T$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma$ . Для ее нахождения используется следующее выражение [2, 17]:

$$P_p = P_c + \beta\sigma, \quad (121)$$

где  $\beta$  – принятая кратность меры рассеяния случайной величины.

Выражение (121) принято в соответствии с законом нормального распределения, который можно считать применимым к электрическим нагрузкам при установившемся технологическом режиме производственных объектов даже при относительно небольших значениях эффективного числа электроприемников ( $n_3 > 6$ ) [2].

Для нахождения значения  $P_c$  необходимо иметь групповой график нагрузки  $P(t)$ , построенный для достаточно длительного периода реализации  $T$ . Рассматриваемый период разбивается на число отрезков (число ступеней графика)

$$m = \frac{T}{\Delta t}, \quad (122)$$

где  $\Delta t$  – продолжительность интервала осреднения нагрузок.

Значение  $\Delta t$  зависит от постоянной времени нагрева  $T_0$  элемента, для которого определяется электрическая нагрузка. Обычно принимается  $\Delta t = 3T_0$ , при котором перегрев рассматриваемой токопроводящей жилы может достигнуть установившегося значения.

Для группового графика при достаточно большом значении  $m$  средняя активная нагрузка определяется по формуле

$$P_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_i, \quad (123)$$

где  $P_i$  – среднее значение активной нагрузки на  $i$ -й ступени графика.

Среднеквадратическое отклонение электрической нагрузки от среднего значения определяется как

$$\sigma = \sqrt{\frac{(P_i - P_c)^2}{m}}. \quad (124)$$

При известном коэффициенте формы графика нагрузки  $K_\Phi$  может быть использовано следующее выражение для расчета среднеквадратического отклонения [3, 5]:

$$\sigma = P_c \sqrt{K_\Phi^2 - 1}. \quad (125)$$

Значение среднеквадратического отклонения можно рассматривать как оценку отклонения случайной величины от ее математического ожидания. В формуле (121) величина  $\beta$  по существу представляет собой коэффициент надежности расчета. По принятому значению  $\beta$  определяется вероятность, с которой случайные значения нагрузки не будут превышать расчетное значение  $P_p$  [17]. При определении расчетных нагрузок статистическим методом принимают  $\beta = 2-3$ .

При нормальном законе распределения значениям коэффициента  $\beta = 2; 2,5$  и  $3$  соответствуют вероятности достоверности расчетов  $0,9544, 0,9896$  и  $0,9973$ .

В расчетах электрических нагрузок, выполняемых для выбора токопроводящих частей по условию допустимого нагрева, обычно принимается  $\beta = 2,5$  [2]. В этом случае расчетная нагрузка будет равна

$$P_p = P_c + 2,5\sigma. \quad (126)$$

При наличии графика расчетная реактивная нагрузка  $Q_p$  статистическим методом определяется аналогично. Если график реактивной нагрузки отсутствует, то значение  $Q_p$  определяется приближенно по выражению (96).

Статистический метод позволяет оценить расчетную нагрузку с определенной вероятностью ее появления. Придавая  $\beta$  различные значения, можно оценить возможные величины расчетных нагрузок и их вероятности.

## **12 Метод определения расчетных нагрузок по технологическому графику**

Достаточно точным, но относительно трудоемким методом определения расчетных нагрузок групп электроприемников, является построение графика электрических нагрузок по заданному технологическому графику работы производственного оборудования. Такие технологические графики применяются при проектировании электроустановок крупных потребителей электроэнергии, какими являются прокатные станы, дуговые электрические печи, сварочные машины и т. п. Зная технологический график и мощности, требуемые на каждой его ступени, можно построить график электрических нагрузок, по которому определяется величина расчетного максимума нагрузки [5]. Технологический график можно получить, сложив ординаты графиков нагрузки всех электроприемников, наложенных с известным по условию производства временным сдвигом относительно друг друга.

Данный метод может дать достаточно точные результаты для автоматизированных, строго ритмичных поточных производств [18]. В этих случаях индивидуальные и групповые графики активной нагрузки электроприемников являются периодическими с определенной продолжительностью цикла.

По графику определяется расчетная активная нагрузка, в качестве которой принимается максимальная нагрузка при принятом интервале осреднения. Как правило, этот интервал равен 30 мин. Следовательно, по графику находят максимальную получасовую активную мощность. В простейшем случае расчетную нагрузку можно найти методом скользящего осреднения, перемещая вдоль оси времен (абсцисс) графика прозрачную координатную сетку с двумя вертикальными линиями, нанесенными с временным интервалом, соответствующим 30 мин (рисунок 3) [18].

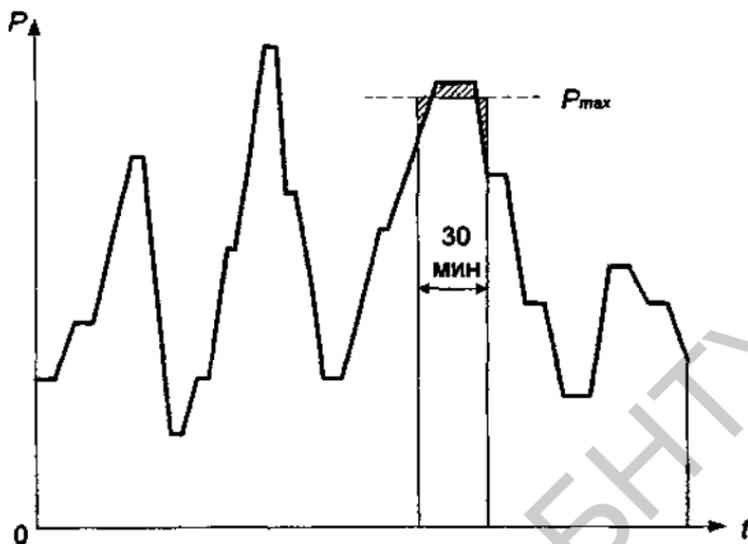


Рисунок 3 – Нахождение расчетной нагрузки по технологическому графику

Метод определения расчетных нагрузок по технологическому графику является достаточно громоздким и требует исходной информации, которая, как правило, отсутствует при проектировании электроустановок промышленных предприятий. Применение компьютерных технологий позволит повысить точность расчетов и сократить время, необходимое для построения технологических графиков. Для этого должны использоваться соответствующие программы и автоматизированный банк данных, содержащий необходимую исходную информацию.

### 13 Определение расчетных нагрузок однофазных электроприемников

В сетях трехфазного тока однофазные ЭП могут включаться на однофазные и междуфазные напряжения. При расчете электрических нагрузок трехфазных электрических сетей единичный однофазный ЭП, включенный на фазное напряжение, учитывается как эквивалентный трехфазный ЭП с утроенным значением номинальной активной и реактивной мощности:

$$P_{\text{ном}} = 3P_{\text{н.о.}} \quad (127)$$

$$Q_{\text{ном}} = 3Q_{\text{н.о.}} \quad (128)$$

где  $P_{\text{н.о.}}$ ,  $Q_{\text{н.о.}}$  — номинальные активная и реактивная мощности однофазного ЭП.

При включении однофазного ЭП на линейное напряжение он учитывается как эквивалентный ЭП номинальной мощностью

$$P_{\text{ном}} = \sqrt{3} P_{\text{н.о.}} \quad (129)$$

$$Q_{\text{ном}} = \sqrt{3} Q_{\text{н.о.}} \quad (130)$$

Группа однофазных ЭП, которые распределены по фазам равномерно, может быть представлена в расчете как эквивалентная группа трехфазных ЭП с той же суммарной номинальной мощностью. Равномерным считается распределение, при котором суммарная мощность однофазных ЭП, остающаяся не распределенной равномерно по фазам, не превышает 15 % общей мощности трехфазных и однофазных равномерно распределенных по фазам приемников, присоединенных к тому же узлу [2].

Расчет нагрузок сетей производится по формулам (например, (54), (57) или (58), (63) и (64)), которые используются для трехфазных питающих сетей. При этом эффективное число группы электроприемников однофазного тока определяется упрощенно по выражению

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}}{3 P_{\text{н max}}}, \quad (131)$$

где  $P_{\text{ном}i}$  — номинальная мощность  $i$ -го однофазного электроприемника;

$P_{\text{н max}}$  — номинальная мощность наибольшего приемника однофазного тока;

$n$  — количество однофазных ЭП.

Равномерного распределения, как правило, удается достигнуть при правильной группировке однофазных ЭП для таких узлов питания, как магистральные шинопроводы и цеховые трансформаторы.

При превышении неравномерности в 15% расчетная нагрузка группы, содержащей однофазные ЭП, принимается равной утроенному значению нагрузки наиболее загруженной фазы.

Номинальная мощность каждой фазы при смешанном подключении однофазных ЭП (на фазное и междуфазное напряжение) определяется с помощью эмпирических коэффициентов приведения линейных нагрузок к фазным. Например, активная номинальная мощность однофазных ЭП, включенных между фазами  $A$  и  $B$ ,  $A$  и  $C$ , а также фазой  $A$  и нулевым рабочим проводником, приведенная к фазе  $A$ , вычисляется по выражению [2, 5]

$$P_{\text{ном}A} = P_{\text{ном}(AB)}P_{(AB)A} + P_{\text{ном}(AC)}P_{(AC)A} + P_{\text{ном}(AO)}, \quad (132)$$

где  $P_{\text{ном}(AB)}$ ,  $P_{\text{ном}(AC)}$  — суммарные номинальные мощности ЭП, включенных на междуфазное напряжение соответственно между фазами  $A$  и  $B$ ,  $A$  и  $C$ ;

$P_{(AB)A}$ ,  $P_{(AC)A}$  — коэффициенты приведения активных нагрузок, включенных на линейное напряжение между фазами  $A$  и  $B$ ,  $A$  и  $C$  соответственно;

$P_{\text{ном}(AO)}$  — суммарная номинальная мощность однофазных ЭП, присоединенных на напряжение фазы  $A$  (между фазным и нулевым рабочим проводниками).

Приведение активной номинальной мощности однофазных ЭП к фазам  $B$  и  $C$  осуществляется также, как и к фазе  $A$ , с использованием соответствующих коэффициентов приведения, принятых по таблице 4 [2, 5] в зависимости от коэффициента мощности нагрузки, по следующим формулам:

$$P_{\text{ном}B} = P_{\text{ном}(AB)}P_{(AB)B} + P_{\text{ном}(BC)}P_{(BC)B} + P_{\text{ном}(BO)}; \quad (133)$$

$$P_{\text{ном}C} = P_{\text{ном}(CA)}P_{(CA)C} + P_{\text{ном}(BC)}P_{(BC)C} + P_{\text{ном}(CO)}. \quad (134)$$

При необходимости с использованием коэффициентов приведения линейных реактивных нагрузок к фазным ( $q_{(AB)A}$ ,  $q_{(BC)B}$  и т. д.) можно определить реактивную номинальную мощность однофазных ЭП для каждой фазы.

Таблица 4 – Коэффициенты приведения нагрузок, включенных на линейное напряжение, к фазам

Обозначения коэффициентов	Коэффициенты приведения при значениях $\cos\varphi$							
	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1,0
$P_{(AB)A} \cdot P_{(BC)V} \cdot P_{(CA)C}$	0,17	1,0	0,89	0,84	0,80	0,72	0,64	0,50
$P_{(AB)V} \cdot P_{(BC)C} \cdot P_{(CA)A}$	-0,17	0,00	0,11	0,16	0,20	0,28	0,36	0,50
$Q_{(AB)A} \cdot Q_{(BC)V} \cdot Q_{(CA)C}$	0,86	0,58	0,38	0,30	0,22	0,09	-0,05	-0,29
$Q_{(AB)V} \cdot Q_{(BC)C} \cdot Q_{(CA)A}$	1,44	1,16	0,96	0,88	0,80	0,67	0,53	0,29

Условные расчетные нагрузки трехфазной сети от группы однофазных приемников электроэнергии с одинаковым режимом работы (ЭП имеют одни и те же значения коэффициента использования  $K_{и}$  и  $\cos\varphi$ ) определяются следующим образом.

По формулам (132)–(134) рассчитываются номинальные активные мощности каждой фазы, по которым определяется номинальная активная мощность наиболее загруженной фазы:

$$P_{н \max \phi} = \max(P_{номA}, P_{номB}, P_{номC}). \quad (135)$$

Затем по формуле (131) производится расчет эффективного числа электроприемников и по справочной таблице П1.5 определяется коэффициент расчетной мощности  $K_p$ .

Условная расчетная активная нагрузка питающей трехфазной сети от группы однофазных приемников электроэнергии вычисляется по формуле

$$P_{py} = 3K_p K_{и} P_{н \max \phi} = 3K_p P_{см \max \phi}, \quad (136)$$

где  $P_{см \max \phi}$  – наибольшее возможное значение средней активной мощности за наиболее загруженную смену для максимально загруженной фазы.

Условная расчетная реактивная нагрузка определяется по выражениям

$$Q_{py} = 1,1(3K_{и} P_{ном \max \phi} \operatorname{tg}\varphi) = 3,3Q_{см \max \phi}, \text{ если } n_3 \leq 10; \quad (137)$$

$$Q_{py} = 3K_{и} P_{ном \max \phi} \operatorname{tg}\varphi = 3Q_{см \max \phi}, \text{ если } n_3 > 10, \quad (138)$$

где  $Q_{\text{см max ф}}$  – наибольшее возможное значение средней реактивной мощности за наиболее загруженную смену для максимально загруженной фазы.

Условная полная расчетная нагрузка группы однофазных приемников электроэнергии

$$S_{\text{py}} = \sqrt{P_{\text{py}}^2 + Q_{\text{py}}^2} . \quad (139)$$

Расчетный ток трехфазной линии, питающей группу однофазных ЭП, определяется по формуле

$$I_{\text{p}} = \frac{S_{\text{py}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} . \quad (140)$$

При расчете условной нагрузки трехфазной сети от группы ЭП с различными режимами работы, включенных на фазное и линейное напряжение и не распределенных равномерно по фазам, максимально загруженная фаза определяется по наибольшему значению средней нагрузки за наиболее загруженную смену [5]. Эти нагрузки рассчитываются с учетом средних значений коэффициентов использования однофазных ЭП и коэффициентов приведения линейных нагрузок к фазным (см. таблицу 4). Например, для фазы  $A$

$$P_{\text{сма}} = K_{\text{и(AB)}} P_{\text{ном(AB)}} P_{(AB)A} + K_{\text{и(AC)}} P_{\text{ном(AC)}} P_{(AC)A} + K_{\text{и(A0)}} P_{\text{ном(A0)}} ; (141)$$

$$Q_{\text{сма}} = K_{\text{и(AB)}} P_{\text{ном(AB)}} \varphi_{(AB)A} + K_{\text{и(AC)}} P_{\text{ном(AC)}} \varphi_{(AC)A} + K_{\text{и(A0)}} P_{\text{ном(A0)}} \text{tg}\varphi_{A0} ; (142)$$

где  $K_{\text{и(AB)}}$ ,  $K_{\text{и(AC)}}$ ,  $K_{\text{и(A0)}}$  – средние значения коэффициентов использования однофазных ЭП, включенных между фазами  $A$  и  $B$ ,  $A$  и  $C$  и фазой  $A$  и нулевым рабочим проводником соответственно;

$\text{tg}\varphi_{A0}$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности для однофазных ЭП, включенных между фазой  $A$  и нулевым рабочим проводником.

По формулам, аналогичным (141) и (142), производится расчет наибольшего значения средней нагрузки и для фаз  $B$  ( $P_{\text{смаB}}$ ) и  $C$  ( $P_{\text{смаC}}$ ).

Затем определяется средняя мощность за наиболее загруженную смену для максимально загруженной фазы

$$P_{\text{см max } \phi} = \max(P_{\text{см A}}, P_{\text{см B}}, P_{\text{см C}}). \quad (143)$$

Условная наибольшая средняя активная нагрузка трехфазной линии за наиболее загруженную смену от группы однофазных ЭП принимается равной утроенному значению  $P_{\text{см max } \phi}$ . Например, если наиболее загруженной является фаза C, то

$$P_{\text{смy}} = 3P_{\text{смC}}. \quad (144)$$

По средней реактивной нагрузке этой фазы определяется также условная наибольшая средняя реактивная нагрузка трехфазной линии

$$Q_{\text{смy}} = 3Q_{\text{смC}}. \quad (145)$$

Средний коэффициент использования рассчитывается для максимально загруженной фазы линии по формуле [5]

$$K_{\text{н}} = \frac{P_{\text{смC}}}{0,5(P_{\text{ном(AC)}} + P_{\text{ном(BC)}}) + P_{\text{ном(AO)}}}. \quad (146)$$

Эффективное число группы однофазных электроприемников вычисляется по приближенной формуле (131). Зная  $K_{\text{н}}$  и  $n_{\text{э}}$ , по таблице П1.5 находим значение  $K_{\text{р}}$  и определяем условные расчетные нагрузки трехфазной линии от группы однофазных ЭП:

$$P_{\text{py}} = K_{\text{р}} P_{\text{смy}}; \quad (147)$$

$$Q_{\text{py}} = 1,1 Q_{\text{смy}}, \text{ если } n_{\text{э}} \leq 10; \quad (148)$$

$$Q_{\text{py}} = Q_{\text{смy}}, \text{ если } n_{\text{э}} > 10. \quad (149)$$

Полная условная расчетная нагрузка линии от группы однофазных ЭП вычисляется по выражению (139), а расчетный ток – по (140).

## 14 Определение электрических нагрузок комплексным методом

Комплексный метод для оценки электрических нагрузок в 1986 году предложил Б. И. Кудрин. Расчеты нагрузок этим методом осуществляются от верхних уровней СЭС промышленного предприятия к нижним. Специалист, выполняющий расчеты, зная технологию производства, использует при проектировании электрической части промышленного объекта информационную базу предприятий-аналогов или создает некоторый образ объекта, качественные стороны которого принципиально неформализуемы [6].

Комплексный метод предусматривает одновременное использование нескольких способов определения максимальной нагрузки предприятия по следующим параметрам:

- 1) удельному расходу электроэнергии на единицу продукции;
- 2) среднегодовой потребляемой мощности и коэффициенту максимума;
- 3) среднегодовому коэффициенту спроса и установленной мощности;
- 4) удельным мощностям нагрузок на единицу производственной площади;
- 5) прогнозированием временных рядов технологических или электрических показателей.

При этом производится профессионально-логический анализ электрических показателей на разных уровнях СЭС производственного объекта в режиме САПР.

Необходимой основой применения комплексного метода расчета электрических нагрузок является автоматизированный банк данных, охватывающий максимальное количество родственных предприятий данной отрасли промышленности, позволяющий выполнять требуемые расчеты. В банке данных должна содержаться следующая информация [6]:

- основные и функционально определяемые электрические показатели электрического хозяйства предприятий;
- электроемкость по видам продукции для отрасли и отдельных предприятий;
- удельные мощности нагрузок по отдельным предприятиям и цехам;

- удельные и общие расходы электроэнергии по цехам предприятий и производствам;
- фактические средние и максимальные нагрузки по характерным цехам и агрегатам;
- перечень установленного электрооборудования по предприятию, цехам и т. п.

По окончании расчета проводится сравнение результатов, полученных разными методами, и дается обоснование принятой расчетной нагрузки.

Применение комплексного метода расчета электрических нагрузок требует от специалиста широкой эрудиции, глубоких знаний основ электроснабжения и технологии производства проектируемого предприятия, методов математической статистики, прогноза и распознавания образа, умения применять компьютерные технологии в процессе проектирования СЭС промышленных объектов [6].

## 15 Определение пиковых нагрузок

*Пиковая нагрузка* – это максимальная кратковременная нагрузка длительностью 1–2 с [2]. Она возникает при включении и работе электроприемников с резко переменным графиком нагрузки, например, электросварочных установок. Для практических целей наибольший интерес представляет пиковый ток, который используется при выборе защитных аппаратов, расчете контактных сетей по потере напряжения и колебаний напряжения.

В качестве пикового тока единичного электроприемника принимаются: для электродвигателей – пусковой ток, печей и сварочных трансформаторов – пиковый ток, величины которых содержатся в паспортных данных.

Пусковой ток электродвигателя определяется по выражению

$$I_{\text{пуск}} = k_{\text{пуск}} I_{\text{ном}}, \quad (150)$$

где  $k_{\text{пуск}}$  – кратность пускового тока по отношению к номинальному току электродвигателя (паспортная величина, которая указывается на табличке двигателя);

$I_{\text{ном}}$  – номинальный ток электродвигателя, А.

Номинальный ток двигателя принимается по паспортным (справочным) данным или рассчитывается (в амперах) по выражению (6).

При отсутствии заводских данных электрооборудования пусковой ток может быть ориентировочно принят равным [2]:

- пятикратному номинальному току для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором и синхронных двигателей;

- не ниже 2,5-кратного номинального тока для асинхронных электродвигателей с фазным ротором или двигателей постоянного тока;

- не менее трехкратного номинального тока (паспортного, без приведения к продолжительности включения 100 %) для печных и сварочных трансформаторов.

В общем случае максимальный кратковременный ток линии определяется по выражению [11]

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п макс}} + I'_{\text{р}}, \quad (151)$$

где  $I_{\text{п макс}}$  – пусковой ток ЭП или группы одновременно включаемых приемников, при пуске которых пиковый ток линии достигает максимального значения;

$I'_{\text{р}}$  – расчетный ток линии, определяемый без учета рабочего тока электроприемника (группы одновременно включаемых электроприемников).

Величина  $I_{\text{п макс}}$  представляет собой наибольший из пусковых токов электроприемников в группе, определяемый по выражению (150), а также по паспортным или справочным данным.

Пиковый ток группы электродвигателей напряжением до 1 кВ, которые могут включаться одновременно, принимается равным сумме пусковых токов этих электродвигателей.

Использовать формулу (151) для определения максимального кратковременного тока линии не всегда удобно, так как для этого предварительно необходимо выполнить дополнительный расчет нагрузки группы ЭП без учета пускаемых электродвигателей или других ЭП. В связи с этим при расчете пикового тока группы электроприемников напряжением до 1 кВ, работающих при отстающем токе, с достаточной для практических целей точностью расчетов допускается пользоваться формулой

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{н макс}} + (I_{\text{р}} - k_{\text{н}} I_{\text{ном макс}}), \quad (152)$$

где  $I_{\text{р}}$  – расчетный ток нагрузки группы электроприемников;

$k_{\text{н}}$  – коэффициент использования, характерный для приемника с наибольшим пусковым током;

$I_{\text{ном макс}}$  – номинальный ток электроприемника с максимальным пусковым током.

Пиковая мощность машин контактной сварки (кВ·А) определяется с использованием паспортных данных по следующей формуле [2]:

$$S_{\text{пик}} = U_{2\text{мах}} I_{2\text{мах}}, \quad (153)$$

где  $U_{2\text{мах}}$  и  $I_{2\text{мах}}$  – максимальные вторичное напряжение (В) и сварочный ток (кА).

Приблизительно пиковая мощность может быть принята равной трехкратному значению паспортной номинальной мощности машины контактной сварки  $S_{\text{п}}$  (без приведения к продолжительности включения 100 %)

$$S_{\text{пик}} \approx 3S_{\text{п}}. \quad (154)$$

Пиковые нагрузки группы электроприемников, в состав которой входят мощные приемники с ударными нагрузками (дуговые электрические печи, безмаховичные главные приводы преобразовательных агрегатов прокатных станков и т. п.), а также группы двигателей напряжением выше 1 кВ при их самозапуске определяются на основе расчетов по специальным методикам.

**Пример 11.** Определить пиковый ток линии с расчетным током  $I_{\text{р}} = 250$  А, питающей группу электроприемников. Максимальный пусковой ток  $I_{\text{н макс}} = 405$  А имеет место при включении двигателя насоса мощностью 30 кВт. Его номинальный ток  $I_{\text{ном макс}} = 57,9$  А, а коэффициент использования  $k_{\text{н}} = 0,7$ .

**Решение.** Пиковый ток линии определяется по выражению (151)

$$I_{\text{пик}} = 405 + (250 - 0,7 \cdot 57,9) = 614,5 \text{ А.}$$

## Список использованных источников

1. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С. Д. Волобринский и [др.]; под ред. С. Д. Волобринского. – Л. : Энергия, 1971. – 204 с.
2. Федоров, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров. – М. : Энергия, 1972. – 416 с.
3. Федоров, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
4. Гужов, Н. П. Системы электроснабжения / Н. П. Гужов, В. Я. Ольховский, Д. А. Павлюченко. – Ростов н/Д : Феникс, 2011. – 382 с.
5. Мукосеев, Ю. Л. Электроснабжение промышленных предприятий / Ю. Л. Мукосеев. – М. : Энергия, 1973. – 584 с.
6. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б. И. Кудрин, В. В. Прокопчик. – Минск : Вышэйшая школа, 1988. – 358 с.
7. Радкевич, В. Н. Проектирование систем электроснабжения / В. Н. Радкевич. – Минск : НПО «Пион», 2001. – 292 с.
8. Пособие к «Указаниям по расчету электрических нагрузок» (вторая редакция) // ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» [Электронный ресурс]. – 1993. – Режим доступа: <http://www.gost-snip-rd.RF/Data1/9/9693/index.htm>. – Дата доступа: 14.03.2012.
9. Электротехнический справочник : в 3 т. / под общ. ред. П. Г. Грудинского [и др.]. – Изд. 5-е, испр. – М. : «Энергия», 1975. – Т. 2. – 752 с.
10. Справочные данные по расчетным коэффициентам электрических нагрузок. – М. : ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект», 1990. – 114 с.
11. Карпов, Ф. Ф. Справочник по расчету проводов и кабелей / Ф. Ф. Карпов, В. Н. Козлов. – М. : «Энергия», 1969. – 264 с.
12. Князевский, Б. А. Электроснабжение промышленных предприятий / Б. А. Князевский, Б. Ю. Липкин. – М. : Высшая школа, 1986. – 400 с.
13. Конюхова, Е. А. Электроснабжение объектов / Е. А. Конюхова. – 6-е изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия», 2009. – 320 с.

14. Ус, А. Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий / А. Г. Ус, Л. И. Евминов. – Минск : НПООО «Пион», 2002. – 457 с.

15. Правила устройства электроустановок. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.

16. Козловская, В. Б. Электрическое освещение: учебник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Минск : Техноперспектива, 2011. – 543 с.

17. Будзко, И. А. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов / И. А. Будзко, М. С. Левин. – М. : Агропромиздат, 1985. – 320 с.

18. Проектирование промышленных электрических сетей / В. И. Крупович [и др.]; под ред. В. И. Круповича. – М. : Энергия, 1979. – 328 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

Репозиторий БНТУ

Справочные данные для расчета электрических нагрузок

Таблица П1.1 – Средние значения коэффициентов использования ( $K_{\text{исп}}$ ) и мощности ( $\cos \varphi$ ) для характерных групп электроприемников

Электроприемники	Коэффициент использования	Коэффициент мощности
1	2	3
<i>Оборудование для металлообработки</i>		
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы: мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные, ножницы листовые, сортовые, фасонные, скрапные, арматурные	0,12–0,14	0,4–0,5
То же, при крупносерийном производстве	0,16	0,5
То же, при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, фрезерные, карусельные и расточные станки	0,17	0,65
То же, с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистных барабанов, бегунов и др.	0,2–0,24	0,65
Шлифовальные станки шарикоподшипниковых заводов	0,2–0,35	0,65
Автоматические поточные линии обработки металлов	0,5–0,6	0,7
Механические цехи, многошпиндельные автоматы для изготовления деталей из прутков	0,2	0,5–0,6
Переносной электроинструмент	0,06	0,5

Продолжение таблицы П1.1

1	2	3
<b>Оборудование для деревообработки</b>		
Окорочные станки	0,3	0,55
Лесопильные рамы	0,6	0,75
Многопильные станки	0,43	0,75
Торцовочные станки	0,4	0,55
Универсальные, ленточно-делительные и шпалорезные станки	0,4	0,65
Агрегатные станки	0,2	0,65
Строгальные станки	0,6	0,65
Фрезерные, шипорезные, сверлильные, долбежные и токарные по дереву	0,2	0,7
То же, поточные линии	0,25	0,7
Шлифовальные станки	0,45	0,6
Круглопильные станки с механической подачей (обрезные, ребровые, длинно-реечные, делительные)	0,4–0,5	0,65–0,7
Круглопильные станки с ручной подачей (балансирные, торцевые, маятниковые)	0,35	0,55
Автоматические линии деревообработки	0,5	0,65
Рольганги	0,3	0,55
Ленточные транспортеры	0,2	0,55
Скребокковые транспортеры	0,4	0,69
Дробилки	0,3–0,35	0,54–0,62
Грохоты	0,6	0,7
<b>Насосы, компрессоры, вентиляторы</b>		
Насосы, компрессоры, двигатель-генераторы	0,7	0,85
Насосы и компрессоры с синхронными электродвигателями	0,7	0,9(оп)
Вентиляторы, санитарно-гигиеническая вентиляция	0,6–0,8	0,8
Вентиляторы к дробилкам	0,4–0,5	0,7–0,75
Газодувки с синхронными двигателями	0,6	0,8–0,9(оп)
Газодувки с асинхронными двигателями	0,8	0,8
Дымососы печей	0,7	0,8

1	2	3
<i>Подъемно-транспортные механизмы</i>		
Элеваторы, транспортеры, шнеки, конвейеры несблокированные	0,4	0,75
То же, сблокированные	0,55	0,75
Краны, кран-балки, тельферы при ПВ = 25 %	0,05	0,5
То же, при ПВ = 40 %	0,1	0,5
Лифты грузовые	0,2	0,6
Лифты пассажирские	0,15	0,55
Клетевые подъемники	0,6	0,65
Скиповые подъемники	0,7	0,8
Рольганги	0,1-0,35	0,6
Краны-штабелеры	0,1	0,5
Стеллажи механизированные	0,4	0,75
<i>Сварочное оборудование</i>		
Сварочные трансформаторы для ручной дуговой сварки и резки металлов	0,3	0,35-0,5
Сварочные машины шовные	0,25-0,35	0,7
Сварочные машины стыковые и точечные	0,25-0,35	0,6
Сварочные трансформаторы для автоматической и полуавтоматической дуговой сварки	0,35	0,5
Сварочные двигатель-генераторы однопостовые	0,3	0,6
То же, многопостовые	0,5	0,7
Машины для сварки трением	0,6	0,8
<i>Электрические печи</i>		
Печи сопротивления с непрерывной (автоматической) загрузкой, сушильные шкафы	0,7-0,8	0,95
То же, с периодической загрузкой	0,5	0,85
Печи сопротивления с неавтоматической загрузкой	0,5	0,95
Индукционные печи низкой частоты	0,7	0,95
Двигатель-генераторы индукционных печей высокой частоты	0,7	0,8

Продолжение таблицы П1.1

1	2	3
Ламповые генераторы индукционных печей высокой частоты, тиристорные преобразователи установок ТВЧ	0,7	0,65
Дуговые сталеплавильные печи емкостью 3–10 т с автоматическим регулированием электродов с механизированной загрузкой	0,75	0,9
То же, без механизированной загрузки	0,65	0,87
Дуговые сталеплавильные печи емкостью 0,5–1,5 т с автоматическим регулированием электродов	0,5	0,8
Дуговые печи цветного металла емкостью 0,25–0,5 т с ручным регулированием электродов	0,7	0,75
Вспомогательные механизмы печей сопротивления и дуговых печей	0,12	0,65
Руднотермические печи с трехфазными трансформаторами 6; 7,5 и 9 МВ·А	0,7	0,9
<i>Электролизные установки</i>		
Нагреватели гальванических ванн	0,6	1,0
Выпрямители гальванических ванн	0,7	0,8
Агрегаты гальванических покрытий	0,6	0,78
Агрегат с электрованной оцинкования или лужения для горячего покрытия	0,6	1,0
Воздуходувки для растворов	0,6	0,7
<i>Оборудование цехов черной металлургии</i>		
Литейное оборудование: очистные барабаны, бегуны, выбивные решетки, зачистные машины, пескометы, дробометные камеры	0,5	0,65
Формовочные машины	0,15	0,2
Дробилки молотковые, шаровые мельницы	0,8	0,8
Скиповые подъемники	0,05	0,5
Грохоты	0,5–0,6	0,6–0,7
Смесительные барабаны	0,6–0,7	0,8

Продолжение таблицы П.1

1	2	3
Разливочные машины	0,3	0,6
Разливочные краны	0,22	0,6
Заливочные краны	0,2	0,6
Транспортные краны готовой продукции	0,45	0,6
Ножницы холодной резки	0,45	0,65
Пилы и ножницы горячей резки	0,15	0,9
Механизмы кристаллизатора	0,6	0,8
Тянущая клеть установки непрерывной разливки стали	0,7	0,8
Прокатное и отделочное отделение (станы холодной прокатки)	0,3–0,4	0,8–0,85
Канатные машины	0,35–0,4	0,71
Волоочильные станы порошковой проволоки	0,3–0,4	0,7–0,8
<i>Оборудование рудников и обогатительных фабрик</i>		
Вентиляторы главного проветривания с двигателями мощностью до 200 кВт	0,7	0,8
То же, с двигателями мощностью 200–800 кВт	0,75	0,8
То же, с двигателями мощностью свыше 800 кВт	0,8	0,9
Вентиляторы частичного проветривания и сантехнические	0,65	0,7–0,8
Толкатели, опрокидыватели	0,6	0,65
Скреперные лебедки мощностью до 10 кВт	0,3	0,7
То же, мощностью свыше 10 кВт	0,6	0,7
Экскаваторы многоковшовые	0,75	0,6–0,8
Станки бурения	0,4–0,6	0,65–0,7
Вакуум-насосы	0,8–0,95	0,85
Вакуум-фильтры	0,4	0,6
Дробилки	0,7	0,75
Мельницы шаровые	0,8–0,9	0,9(оп)
Мельницы мощностью до 100 кВт	0,8	0,75
Грохоты	0,5	0,65

Продолжение таблицы III.1

1	2	3
Грохоты барабанные	0,65	0,75
Конвейеры ленточные до 10 кВт	0,6	0,6-0,7
То же, свыше 10 кВт	0,75	0,75
Дозаторы	0,5	0,65
Питатели	0,7	0,7-0,8
Сгустители	0,7	0,8
Барабаны смесительные	0,6	0,8
Сушильные барабаны, сепараторы	0,6	0,8
Сепараторы электромагнитные	0,75	0,75
Классификаторы	0,6-0,8	0,7-0,8
Флотационные машины	0,9	0,8
<i>Оборудование предприятий приборостроения</i>		
Нагреватели	0,5	0,85
Окрасочное, моечное и сушильное оборудование	0,7	0,7
Установки сушильные	0,5	0,85
Камеры окрасочные механизированные	0,7	0,85
Конвейеры окрасочные	0,7	0,83
Линии гальванопокрытий, модульные линии, ванны	0,5	0,8
Дистиллятор	0,7	0,9
Установки нанесения фоторезиста и сплава, экспонирования, оплавления, струйные, линия изготовления тары из полистирола	0,6	0,85
Установки снятия фоторезиста, проявления, травления печатных плат	0,65	0,8
Машина для сварки полимеров	0,5	1,0
Оборудование по подготовке проводов и кабелей, микросхем, стенды, термобарокамеры, контрольно-испытательное оборудование, оборудование автоматизированной пайки и сборки плат, намоточное, пропитки и заливки	0,7	0,85

Продолжение таблицы П1.1

1	2	3
Прессы	0,17	0,65
Станки	0,12	0,4
Приборы	0,3	0,8
Лабораторные приборы	0,5	0,9
Машина для статических испытаний	0,7	0,85
Щиты автоматики	1,0	1,0
<b>Оборудование предприятий целлюлозно-бумажной промышленности</b>		
Мельница	0,97	0,88
Дробилка	0,33	0,77
Оборудование размольного отделения без мельниц	0,43	0,81
<b>Оборудование промышленности строительных материалов и строительства</b>		
Сырьевые мельницы (главный привод)	0,72	0,85
Низковольтное оборудование сырьевого цеха	0,56	0,75
Шлам-насосы	0,56	0,75
Болтушки	0,62	0,8
Дробилки	0,54	0,8
Вращающиеся печи без холодильников	0,7	0,8
То же, с холодильниками	0,6	0,7
Цементные мельницы в целом	0,8	0,85
Главный привод цементных мельниц	0,85	0,85-0,9(оп)
Низковольтное оборудование цементных мельниц	0,48	0,75
Грейферные краны	0,5	0,6
Пневмовинтовые насосы (фулер-насосы)	0,48	0,75
Сушильное отделение	0,6	0,75
Питатели и дозаторы	0,6	0,78
Угольные мельницы	0,7	0,83
Бетоноукладчики, автоматические станки для правки и резки проволоки, формовочные машины	0,15	0,6

## Продолжение таблицы П.1

1	2	3
Конвейеры	0,15	0,5
Рольганги	0,1	0,5
Земснаряды	0,25-0,93	0,69-0,78
<b>Оборудование для производства искусственного и синтетического волокна</b>		
Прядильные машины штапеля	0,38	0,7
Прядильные машины капрона	0,65	0,7
Прядильные машины вискозного корда	0,5	0,7
Прядильные машины центрифугального шелка (главный привод)	0,52	0,7
Прядильные машины центрифугального шелка (электроверетена)	0,62	0,7
Прядильные машины ацетатного шелка	0,7	0,7
Мешалки растворителей	0,55	0,8
Фильтр-прессы	0,35	0,55
Крутильные машины ацетатного шелка	0,6	0,7
Перемоточные машины	0,78	0,7
Тростильно-крутильные машины	0,89	0,8
Крутильные машины	0,64	0,8
Вытяжные машины	0,7	0,85
Ткацкие станки	0,74	0,7
<b>Оборудование для производства полиэтилена</b>		
Компрессоры этилена	0,85	0,9
Технологические линии цеха полимеризации	0,6	0,75
Эльма-насосы	0,5	0,8
Центрифуги	0,4	0,6
Сушилка	0,5	0,5
Грануляторы	0,8	0,8
Газодувки	0,45	0,7
Компрессоры цеха дистилляции и очистки азота	0,43	0,7
<b>Оборудование для производства шин</b>		
Резиносмесители	0,5-0,54	0,85-0,9(оп)
Вальцы под резиносмесители	0,65	0,85-0,9(оп)

Продолжение таблицы III.1

1	2	3
Пелетайзеры	0,36	0,85-0,9(оп)
Шприц-машины протекторных агрегатов	0,7	0,8
Шприц-машины автокамерных агрегатов	0,53	0,7
Каландры обкладочные (обрезинивание корда)	0,68	0,8
Сборочные станки	0,44	0,6
Вулканизаторы шин	0,05	0,4
Вулканизаторы автокамер и ободных лент	0,16	0,5
<b>Оборудование предприятий хлопчатобумажной промышленности</b>		
Разрыхлительно-очистительное оборудование	0,65	0,78
Трепальное оборудование	0,68	0,80
Чесальные машины	0,88	0,80
Ленточные, ровничные и гребнечесальные машины	0,68	0,80
Мотально-тростильные машины	0,82	0,80
Крутильные машины	0,88	0,85
Прядильно-крутильные машины	0,88	0,85
Прядильные машины пневмомеханического прядения с сороудалением	0,72	0,80
Прядильные машины роторного прядения	0,74	0,80
Мотальные и уточно-перемоточные машины	0,82	0,80
Сновальные машины	0,67	0,80
Шлихтовальные машины	0,73	0,82
Ткацкие станки	0,82	0,75
<b>Оборудование предприятий шерстяной промышленности</b>		
Чесальные машины	0,72	0,80
Ленточные машины	0,74	0,80
Гребнечесальные машины	0,86	0,77
Штапельные машины	0,65	0,80
Красильно-гладильное оборудование	0,57	0,80

## Окончание таблицы П.1

1	2	3
Ровничные машины	0,74	0,80
Кольцепрядильные машины камвольные	0,82	0,83
Тростильно-крутильное оборудование	0,82	0,83
Мотально-сновальные машины	0,67	0,80
Шлихтовальные машины	0,67	0,80
Ткацкие станки	0,80	0,75
Оборудование крашения волокна периодического действия	0,56	0,82
Оборудование крашения пряжи периодического действия	0,56	0,84
<i>Оборудование предприятий швейной промышленности</i>		
Швейные машины	0,6	0,62
Транспортеры швейных конвейеров	0,68	0,8
Браковочно-мерильные машины	0,4	0,62
Раскройное оборудование	0,4	0,65
Утюги, прессы	0,75	0,98
Машины герметизации швов	0,8	0,7
Смесители	0,5	0,8
<i>Прочее оборудование</i>		
Кондиционеры бытовые	0,7	0,8
Компьютерное оборудование	0,4	0,7
Терапевтическое оборудование	0,3–0,5	0,7–0,8
Лабораторное оборудование	0,3–0,45	0,7–0,8
Оборудование для административной связи	0,3	0,8
Оборудование вычислительных центров	0,4	0,6
Стенды для испытания узлов и агрегатов без рекуперации электроэнергии	0,4	0,65
Зарядные агрегаты аккумуляторов	0,7	0,65
Нагревательные приборы и аппараты (печи сопротивления) в административно-бытовых и медико-санитарных службах	0,5	0,95
Приводы открывания ворот	0,05	0,75

*Примечание:* оп – значение коэффициента мощности дано при опережающем токе синхронного двигателя.

Таблица П1.2 - Средние значения коэффициентов спроса и коэффициентов мощности для отдельных цехов и корпусов

Наименование цехов, корпусов и установок	$K_c$	$\cos\varphi$
1	2	3
<i>Корпуса, цехи, насосные и прочие установки общепромышленного назначения</i>		
Ремонтно-механические	0,2-0,3	0,65-0,75
Электроремонтные	0,2-0,4	0,7-0,8
Насосные, кислородные и компрессорные станции с электродвигателями низкого напряжения	0,7-0,8	0,7-0,85
То же, с электродвигателями высокого напряжения:		
а) асинхронными;	0,75-0,85	0,8-0,9
б) синхронными	0,75-0,85	0,7-0,8
Вентиляционные установки отопления	0,65-0,8	0,8
Газогенераторные станции	0,4-0,6	0,7-0,8
Литейные черных металлов	0,6-0,8	0,7-0,9
Литейные цветных металлов	0,7-0,8	0,8-0,95
Блоки основных цехов	0,3	0,75
Блоки вспомогательных цехов	0,25	0,7
Штампо-механические и токарные	0,25-0,4	0,6-0,8
Инструментальные	0,2-0,25	0,65-0,8
Механосборочные и заготовительные	0,25-0,4	0,65-0,75
Металлоконструкций	0,5-0,7	0,6
Закалочные	0,7	0,75
Кузнечно-прессовые	0,25-0,4	0,65-0,7
Термическая нагрузка (нагревательные печи)	0,8-0,9	0,85-0,95
Крановая нагрузка, подъемники	0,3-0,4	0,5-0,7
Электросварка	0,3-0,5	0,3-0,5
Деревообделочные, столярные	0,2-0,4	0,6-0,8
Малярные, модельные	0,5-0,6	0,5-0,6

Продолжение таблицы П1.2

1	2	3
Собственные нужды ТЭЦ, ТЭС	0,7–0,8	0,75–0,8
Лаборатории	0,6–0,9	0,7–0,9
Заводоуправление, проходные, КБ и т. п. (силовая нагрузка)	0,3–0,5	0,5–0,7
Депо (железнодорожные, пожарные)	0,4–0,6	0,6–0,8
Депо электрокар	0,6–0,8	0,75–0,9
Гаражи	0,4–0,6	0,65–0,8
Котельные	0,6–0,8	0,7–0,8
Склады открытые	0,2–0,4	0,6–0,7
Склады закрытые, готовой продукции, магазины	0,6–0,8	0,8–1,0
Столовые	0,6–0,8	0,9
Лесозаводы	0,4–0,6	0,7
Лесосушки	0,76–0,8	0,75–0,9
<b>Заводы тяжелого машиностроения</b>		
Главный корпус	0,5	0,75
Моторный цех	0,3	0,75
Кузнечный цех	0,4	0,75
Экспериментальный цех	0,2	0,7
<b>Машиностроительные заводы</b>		
Главный корпус	0,2	0,65
Моторный цех	0,27	0,65
Термический цех	0,8	0,65
Гальванический цех	0,5–0,6	0,7–0,8
<b>Электротехнические заводы</b>		
Изоляционный корпус	0,7	0,9
Лаковарочный цех	0,7	0,9
<b>Автомобильные и тракторные заводы</b>		
Цех шасси и главный конвейер	0,4	0,75
Моторный цех	0,27	0,7
Прессово-кузнечный цех	0,25	0,7
Кузнечный цех	0,25	0,75
Арматурно-агрегатный цех	0,2	0,7
Рессорный цех	0,3	0,55
Кузовной цех	0,4	0,8
Цех обкатки двигателей	0,7–0,8	0,6

## Окончание таблицы П1.2

1	2	3
<i>Бумажные фабрики</i>		
Бумажные машины	0,65–0,8	0,75–0,85
Кислотный цех	0,6	0,8
Дереворубка	0,3	0,5
Варочное отделение	0,4	0,7
Отбельный отдел	0,7	0,7
Тряпковарка	0,7	0,75
Лесотаски	0,4	0,5
<i>Текстильные, ситценабивные и меланжевые фабрики</i>		
Прядильное отделение	0,7–0,8	0,75
Ткацкое отделение	0,8	0,8
Красильное отделение	0,6–0,7	0,65–0,75
Отбельное отделение	0,5	0,7
Сновальный корпус	0,7	0,7
Красильно-сортировочный корпус	0,6	0,7
Сортировочно-трепальный корпус	0,4	0,75
Крутильный корпус	0,6	0,8
<i>Строительная промышленность</i>		
Завод железобетонных изделий	0,45–0,5	0,73
Арматурный завод	0,3–0,4	0,6–0,65
Арматурная мастерская	0,45	0,5
Механическая мастерская	0,2–0,4	0,5
Сантехническая мастерская	0,35–0,4	0,5
Опалубочная мастерская	0,7	0,7
Плотничная мастерская	0,6	0,7
Растворный узел	0,4–0,6	0,5–0,6
Формовочная машина	0,2–0,25	0,6

Таблица П1.3 – Значения коэффициента спроса  $K_c$  в зависимости от коэффициента использования  $K_n$ 

$K_n$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$K_c$	0,5	0,6	0,65–0,7	0,75–0,8	0,85–0,9	0,92–0,95

Таблица П1.4 – Удельные плотности электрических нагрузок

Наименование цеха	Плотность электрической нагрузки, кВт/м <sup>2</sup>
Инструментальный	0,12–0,14
Ремонтно-механический	0,13–0,16
Термообрубный	0,14–0,16
Окрасочный	0,14–0,16
Деревообрабатывающий	0,15–0,18
Механический	0,15–0,19
Вагоносборочный	0,17–0,22
Термический	0,18–0,24
Заготовительно-прессовый	0,20–0,26
Металлоконструкций	0,22–0,30
Рамно-кузовной	0,23–0,32
Чугунолитейный	0,25–0,32
Сталелитейный	0,30–0,68

Таблица П1.5 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  для питающих сетей напряжением до 1 кВ

$n_s$	Коэффициент использования $K_n$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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	1,14	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	1,10	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

## Окончание таблицы П1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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	1,60	1,27	1,10	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	1,40	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,10	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,30	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	1,20	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	1,10	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица П1.6 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  на шинах цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

$n_3$	Коэффициент использования $K_u$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	$\geq 0,7$
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,90	1,52	1,24	1,11	1,00
3	2,94	2,17	1,80	1,42	1,23	1,14	1,08	1,00
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,00	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94	0,93
6-8	1,20	1,00	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9-10	1,10	0,97	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
11-25	0,80	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85	0,90	0,90
26-50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,80	0,85	0,85
> 50	0,65	0,65	0,65	0,70	0,70	0,75	0,80	0,80

Таблица П1.7 – Значения коэффициентов одновременности  $K_o$  для определения расчетной нагрузки на шинах напряжением 6–10 кВ РП и ГПП

Средневзвешенный коэффициент использования	Число присоединений 6–10 кВ на сборных шинах РП, ГПП			
	2–4	5–8	9–25	> 25
$K_{ис} < 0,3$	0,9	0,8	0,75	0,7
$0,3 \leq K_{ис} < 0,5$	0,95	0,9	0,85	0,8
$0,5 \leq K_{ис} \leq 0,8$	1,0	0,95	0,9	0,85
$K_{ис} > 0,8$	1,0	1,0	0,95	0,9

Таблица П1.8 – Удельная мощность общего равномерного освещения светильников с люминесцентными лампами типа ЛБ40

$H_p, м$	$F, м^2$	Удельная мощность светильников с КСС, Вт/м <sup>2</sup>			
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1
2–3	10–15	6,1	5,2	5,0	4,1
	15–25	4,8	4,2	4,2	3,6
	25–50	4,2	3,8	3,6	3,1
	50–150	3,5	3,1	2,9	2,6
	150–300	3,0	2,8	2,6	2,5
	> 300	2,7	2,5	2,5	2,3
3–4	10–15	10,5	8,5	4,9	5,5
	15–20	5,4	4,9	4,2	4,7
	20–30	5,9	5,2	5,0	4,2
	30–50	3,7	3,7	4,2	3,6
	50–120	4,1	3,7	3,4	3,0
	120–300	3,5	3,1	2,9	2,6
	> 300	2,8	2,6	2,3	2,3
4–6	10–17	20,0	12,9	11,0	7,6
	17–25	12,2	9,6	7,8	5,9
	25–35	8,8	7,8	6,3	5,0
	35–50	6,9	5,9	5,4	4,4
	50–80	5,0	4,6	4,6	3,8
	80–150	4,5	4,0	3,8	3,3
	150–400	3,5	3,4	3,1	2,8
	> 400	3,0	2,8	2,6	2,4

**Примечание.** Освещенность 100 лк; коэффициенты отражения: потолка  $\rho_n = 0,5$ ; стен  $\rho_c = 0,3$ ; рабочей поверхности  $\rho_p = 0,1$ ; коэффициент запаса  $K_s = 1,5$ ; отношение средней освещенности к минимальной  $z = 1,1$ ; условный КПД = 100 %.

Таблица П.9 – Удельная мощность общего равномерного освещения светильников с лампами типа ДРЛ

$H_p, \text{ м}$	$F, \text{ м}^2$	Удельная мощность светильников с КСС, Вт/м <sup>2</sup>							
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3	К-1	К-2
3-4	10-15	14,9	12,0	9,8	7,8	6,5	-	-	-
	15-20	11,2	9,5	8,3	6,7	5,6	-	-	-
	20-30	8,5	7,4	7,1	5,9	5,0	-	-	-
	30-50	6,8	6,0	6,0	5,1	4,5	-	-	-
	50-120	5,8	5,2	4,9	4,3	3,9	-	-	-
	120-300	4,9	4,4	4,1	3,7	3,5	-	-	-
	> 300	3,9	3,7	3,5	3,4	3,2	-	-	-
4-6	10-17	28,5	18,4	15,7	10,8	8,2	8,5	-	-
	17-25	17,4	13,6	11,2	8,5	7,0	7,0	-	-
	25-35	12,5	11,2	8,9	7,1	6,0	6,1	-	-
	35-50	9,8	8,5	7,6	6,2	5,4	5,3	-	-
	50-80	7,1	6,5	6,5	5,5	4,7	4,6	-	-
	80-150	6,4	5,7	5,5	4,7	4,2	4,1	-	-
	150-400	5,4	4,8	4,5	4,0	3,7	3,6	-	-
	> 400	4,2	3,9	3,7	3,4	3,3	3,3	-	-
6-8	50-65	13,0	11,2	9,0	7,3	6,0	5,9	5,4	-
	65-90	10,4	8,9	7,8	6,5	5,5	5,4	5,0	-
	90-135	7,8	6,9	6,8	5,7	4,9	4,8	4,6	-
	135-250	6,5	5,8	5,8	5,0	4,3	4,2	4,1	-
	250-500	5,7	5,1	4,8	4,2	3,8	3,8	3,8	-
	> 500	4,2	3,9	3,7	3,4	3,3	3,8	3,3	-
8-12	70-100	17,4	13,6	11,2	8,5	7,0	6,8	6,1	-
	100-130	13,6	11,2	9,2	7,3	6,1	5,9	5,4	-
	130-200	9,8	8,5	7,6	6,3	5,4	5,3	4,9	-
	200-300	7,5	6,5	6,5	5,5	4,8	4,7	4,4	-
	300-600	6,4	5,7	5,6	4,8	4,2	4,1	4,1	-
	600-1500	5,4	4,9	4,5	4,1	3,7	3,7	3,6	-
	> 1500	4,2	3,9	3,7	3,4	3,3	3,3	3,3	-
12-16	130-200	-	13,6	11,2	8,4	7,0	6,8	6,3	5,4
	200-350	-	9,5	8,0	6,8	5,7	5,5	5,1	4,6
	350-600	-	6,6	6,7	5,6	4,8	4,7	4,5	4,2
	600-1300	-	5,6	5,4	4,7	4,2	4,1	4,0	3,7
	1300-4000	-	4,6	4,3	3,8	3,6	3,5	3,5	3,3
	> 4000	-	3,9	3,7	3,4	3,3	3,3	3,3	3,2

**Примечание.** Освещенность 100 лк;  $\rho_n = 0,5$ ;  $\rho_c = 0,3$ ;  $\rho_p = 0,1$ ;  $K_s = 1,5$ ;  $z = 1,15$ ; условный КПД = 100 %.

Таблица П1.10 – Удельная мощность общего равномерного освещения светильников с лампами типа ДРИ.

$H_p, \text{ м}$	$F, \text{ м}^2$	Удельная мощность светильников с КСС, Вт/м <sup>2</sup>							
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3	К-1	К-2
3-4	10-15	9,7	7,8	6,3	5,1	4,2	4,0	—	—
	15-20	7,2	6,1	5,3	4,3	3,6	3,6	—	—
	20-30	5,5	4,8	4,6	3,8	3,3	3,2	—	—
	30-50	4,4	3,9	3,9	3,3	2,9	2,8	—	—
	50-120	3,7	3,4	3,2	2,8	2,5	2,5	—	—
	120-300	3,2	2,8	2,6	2,4	2,2	2,2	—	—
	> 300	2,6	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1	—	—
4-6	10-17	18,4	11,9	10,1	7,0	5,3	5,5	—	—
	17-25	11,3	8,8	7,2	5,5	4,5	4,5	—	—
	25-35	8,1	7,2	5,8	4,6	3,9	4,0	—	—
	35-50	6,3	5,5	4,9	4,1	3,5	3,4	—	—
	50-80	4,6	4,2	4,2	3,6	3,1	3,0	—	—
	80-150	4,1	3,7	3,6	3,1	2,7	2,7	—	—
	150-400	3,5	3,1	2,9	2,6	2,4	2,3	—	—
> 400	2,7	2,5	2,4	2,2	2,2	2,1	—	—	
6-8	50-65	8,4	7,2	5,8	4,7	3,9	3,8	3,5	—
	65-90	6,8	5,8	5,1	4,2	3,6	3,5	3,2	—
	90-135	5,1	4,5	4,4	3,7	3,2	3,1	3,0	—
	135-250	4,2	3,8	3,8	3,2	2,8	2,7	2,7	—
	250-500	3,7	3,3	3,1	2,7	2,5	2,4	2,4	—
	> 500	2,7	2,5	2,4	2,2	2,2	2,1	2,1	—
8-12	70-100	11,8	8,8	7,2	5,5	4,5	4,4	4,0	—
	100-130	8,2	7,2	6,0	4,7	4,0	3,8	3,5	—
	130-200	6,3	5,5	4,9	4,0	3,5	3,4	3,2	—
	200-300	4,8	4,2	4,2	3,6	3,1	3,0	2,9	—
	300-600	4,1	3,7	3,8	3,4	2,7	2,7	2,6	—
	600-1500	3,5	3,2	2,9	2,6	2,4	2,4	2,3	—
	> 1500	2,7	2,4	2,4	2,2	2,1	2,1	2,1	3,5
12-16	150-200	—	8,8	7,2	5,5	4,5	4,4	4,1	3,0
	200-350	—	6,1	5,2	4,4	3,7	3,6	3,3	2,7
	350-600	—	4,3	4,8	3,6	3,4	3,0	2,9	2,4
	600-1300	—	3,6	3,5	3,0	2,7	2,8	2,6	2,2
	1300-4000	—	3,0	2,5	2,5	2,3	2,3	2,3	2,1
	> 4000	—	2,5	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	—

Примечание. Освещенность 100 лк;  $\rho_n = 0,5$ ;  $\rho_c = 0,3$ ;  $\rho_p = 0,1$ ;  $K_s = 1,5$ ;  $z = 1,15$ ; условный КПД = 100 %.

Таблица П1.11 – Удельная мощность общего равномерного освещения светильников с лампами типа ДНаТ

$H_p, \text{ м}$	$F, \text{ м}^2$	Удельная мощность светильников с КСС, Вт/м <sup>2</sup>							
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3	К-1	К-2
3-4	10-15	9,1	7,4	6,0	4,8	3,8	3,8	—	—
	15-20	6,8	5,8	5,0	4,1	3,4	3,4	—	—
	20-30	5,2	4,6	4,4	3,6	3,1	3,0	—	—
	30-50	4,2	4,0	3,7	3,1	2,7	2,7	—	—
	50-120	3,5	3,2	3,0	2,6	2,4	2,3	—	—
	120-300	3,0	2,7	2,5	2,3	2,1	2,1	—	—
	> 300	2,4	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	—	—
4-6	10-17	17,4	11,3	9,6	6,6	5,0	5,2	—	—
	17-25	10,6	8,3	6,8	5,2	4,3	4,3	—	—
	25-35	7,7	6,8	5,5	4,4	3,7	3,8	—	—
	35-50	6,0	5,2	4,7	3,8	3,3	3,2	—	—
	50-80	4,3	4,0	4,0	3,4	2,9	2,8	—	—
	80-150	3,9	3,5	3,4	2,9	2,6	2,5	—	—
	150-400	3,3	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	—	—
> 400	2,6	2,4	2,3	2,1	2,0	2,0	—	—	
6-8	50-65	8,0	6,8	5,5	4,5	3,7	3,6	3,3	—
	65-90	6,4	5,5	4,8	4,0	3,4	3,3	3,0	—
	90-135	4,8	4,3	4,2	3,5	3,0	2,9	2,8	—
	135-250	4,0	3,5	3,5	3,0	2,7	2,6	2,5	—
	250-500	3,5	3,1	2,9	2,6	2,3	2,3	2,3	—
	> 500	2,6	2,4	2,3	2,1	2,0	2,0	2,0	—
8-12	70-100	10,6	8,3	6,8	5,2	4,3	4,2	3,8	—
	100-130	8,3	6,8	5,6	4,5	3,8	3,6	3,3	—
	130-200	6,0	5,2	4,7	3,8	3,3	3,2	3,0	—
	200-300	4,6	4,0	4,0	3,4	2,9	2,9	2,7	—
	300-600	3,9	3,5	3,4	2,9	2,6	2,5	2,5	—
	600-1500	3,3	3,0	2,8	2,5	2,3	2,2	2,2	—
	> 1500	2,6	2,4	2,3	2,1	2,0	2,0	2,0	—
12-16	130-200	—	8,3	6,8	5,2	4,3	4,2	3,8	3,3
	200-350	—	5,8	4,9	4,2	3,5	3,4	3,1	2,8
	350-600	—	4,1	4,1	3,4	2,9	2,9	2,8	2,6
	600-1300	—	3,3	3,3	2,9	2,6	2,5	2,5	2,3
	1300-4000	—	2,6	2,6	2,4	2,3	2,1	2,2	2,0
	> 4000	—	2,3	2,3	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0

*Примечание.* Освещенность 100 лк;  $\rho_a = 0,5$ ;  $\rho_c = 0,3$ ;  $\rho_p = 0,1$ ;  $K_s = 1,5$ ;  $z = 1,15$ ; условный КПД = 100 %.

Таблица П1.12 – Параметры наружных осветительных установок, выполненных светильниками с лампами типа ДРЛ

Нормированное значение средней освещенности, лк	Ширина дорожного покрытия, м	Шаг светильников, м	Мощность ламп типа ДРЛ	Удельная мощность установки	
				Вт/м	Вт/м <sup>2</sup>
1	3,5	30	80	3,0	0,85
1	6,0	50	80	1,8	0,3
2	1,5–3	36	80	2,5	1,5
2	1,5–3	40	125	3,4	2,0
2	3,5	48	80	1,9	0,54
2	4,5	30	80	3,0	0,66
2	4,5	40	125	3,9	0,86
2	5	50	80	1,8	0,36
2	7,5	31	80	2,9	0,38
4	3,5	28	125	4,9	1,39
4	3,5	38	125	3,6	1,0
4	5	24	125	5,7	1,14
4	5	37	125	3,7	0,7
4	5	35	250	7,7	1,54
4	7,5	35	125	3,9	0,52
4	7,5	40	250	6,7	0,9
4	11,25	32	250	8,4	0,76
4	11,25	40	250	6,8	0,6

*Примечание.* При выполнении наружного освещения другими источниками света удельная мощность установки получается путем умножения на отношение средней световой отдачи ламп типа ДРЛ к средней световой отдаче принятого источника света.

Таблица П1.13 – Ориентировочные значения удельной мощности общего прожекторного освещения наружной территории

Источник света	Ширина освещаемой площади, м	Удельная мощность общего освещения, Вт/м <sup>2</sup> , при нормируемой освещенности, лк				
		0,5	1	2	5	10
1	2	3	4	5	6	7
ЛН	75–150	0,65	0,75	0,85	2,1	4,0
	151–300	0,4	0,55	0,7	1,7	3,2

## Окончание таблицы П.13

1	2	3	4	5	6	7
ДРЛ	75-250	0,2	0,35	0,45	1,2	1,8
	251-300	0,18	0,3	0,5	1,0	2,0
МГЛ	75-150	0,18	0,25	0,3	0,7	1,3
	151-350	0,13	0,15	0,2	0,45	0,8
ДКсТ, $P = 50$ кВт, $H = 50$ м	200-275	0,4	0,75	1,0	2,5	4,5
	276-400	0,3	0,45	0,6	1,3	2,5
ДКсТ, $P = 20$ кВт, $H = 50$ м	200-250	0,35	0,7	1,2	2,5	4,5
	251-400	0,25	0,5	0,8	1,9	4,2
ДКсТ, $P = 20$ кВт, $H = 30$ м	150-200	0,45	0,8	1,5	3,5	6,5
	201-400	0,25	0,6	1,3	3,0	5,5

*Примечание.*  $P$  – мощность лампы;  $H$  – высота установки прожектора.

Таблица П.14 – Значения тригонометрических функций

$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
1	2	3	4	5	6
1,00	0	0	0,48	0,877	1,828
0,98	0,199	0,203	0,46	0,888	1,930
0,96	0,280	0,292	0,45	0,893	1,985
0,95	0,312	0,329	0,44	0,898	2,041
0,94	0,341	0,363	0,42	0,908	2,161
0,92	0,392	0,426	0,40	0,917	2,291
0,90	0,435	0,483	0,38	0,925	2,434
0,88	0,475	0,540	0,36	0,933	2,592
0,86	0,510	0,593	0,35	0,937	2,676
0,85	0,527	0,620	0,34	0,940	2,766
0,84	0,543	0,646	0,32	0,947	2,961
0,82	0,572	0,698	0,30	0,954	3,180
0,80	0,600	0,750	0,28	0,960	3,429
0,78	0,626	0,802	0,26	0,966	3,714
0,76	0,650	0,855	0,25	0,968	3,873
0,75	0,661	0,882	0,24	0,971	4,045
0,74	0,673	0,909	0,22	0,975	4,434
0,72	0,694	0,964	0,20	0,980	4,899
0,70	0,714	1,020	0,18	0,984	5,465

Окончание таблицы П1.14

1	2	3	4	5	6
0,68	0,733	1,078	0,16	0,987	6,169
0,66	0,751	1,138	0,15	0,989	6,591
0,65	0,760	1,169	0,14	0,990	7,073
0,64	0,768	1,201	0,12	0,993	8,273
0,62	0,785	1,265	0,10	0,995	9,950
0,60	0,800	1,333	0,08	0,997	12,46
0,58	0,815	1,405	0,06	0,998	16,64
0,56	0,829	1,479	0,05	0,9987	19,97
0,55	0,835	1,518	0,04	0,9992	24,98
0,54	0,842	1,559	0,02	0,9998	49,99
0,52	0,854	1,643	0,00	1,00	$\infty$
0,50	0,866	1,732	—	—	—

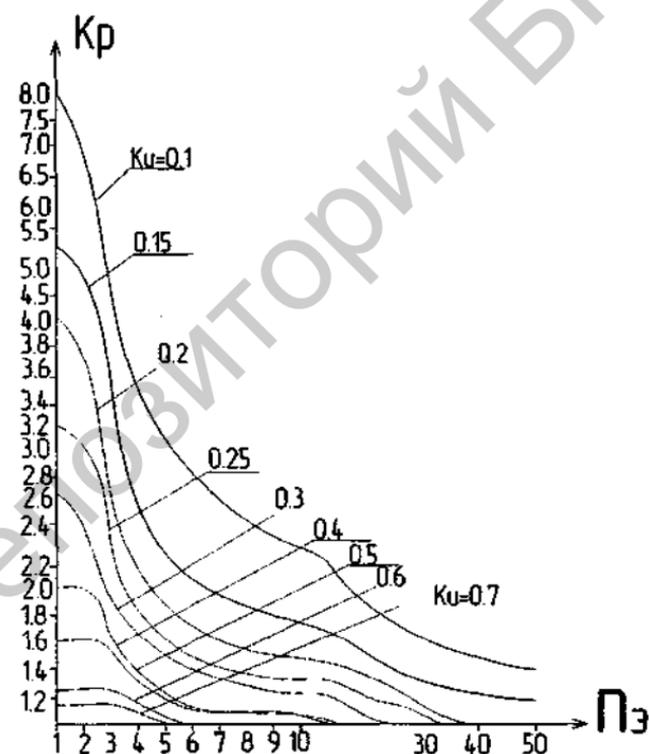


Рисунок П1.1 – Кривые коэффициента расчетных нагрузок  $K_p$ , для различных коэффициентов использования  $K_u$  в зависимости от  $\Pi_3$ , (для постоянной времени нагрева  $T_0 = 10$  мин)

**Приемники и потребители электроэнергии основных цехов  
промышленных предприятий**

При определении электрических нагрузок цеха, корпуса и промышленного предприятия в целом в процессе курсового и дипломного проектирования необходимо иметь представление о структуре производства и применяемых электроприемниках проектируемого объекта. Дать описание используемого производственного оборудования для основных структурных подразделений предприятий разных отраслей промышленности, даже в общем виде, в данном пособии не представляется возможным. Поэтому ниже приведена информация по структуре производства и применяемому электрифицированному технологическому и вспомогательному оборудованию для цехов, наиболее распространенных при учебном проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий.

**Литейный цех**

Различают литейные цеха черных и цветных металлов.

В зависимости от развеса выпускаемого литья цеха черных металлов разделяют на пять классов (таблица П2.1).

Таблица П2.1 – Классификация литейных цехов черных металлов

Класс цеха	Развес литья	Максимальный вес одной отливки, кг	Характерные типы изделий, в которых применяется литье
1	2	3	4
I	легкий	до 100	Измерительные приборы, радио- и электроаппаратура, счетные, пишущие и швейные машины, мелкая арматура
II	средний	100–1000	Автомобили, тракторы, мелкие дизели, компрессоры, насосы, сельскохозяйственные и текстильные машины, мелкие электродвигатели, прецизионные станки, арматура

## Окончание таблицы П2.1

1	2	3	4
III	крупный	1000—5000	Дизели, компрессоры и насосы средних размеров, средние станки, электродвигатели, краны, формовочные машины, деревообделочные станки, молоты, прессы
IV	тяжелый	5000—15 000	Тяжелые дизели, насосы, компрессоры, крупные станки различных типов, дробильно-размольное и горнозаводское оборудование, крупные электродвигатели, турбины, мощные паровозы
V	особо тяжелый	> 15 000	Тяжелые станки, прокатные станы, блюминги, мощные турбогенераторы, мощные молоты, прессы, тяжелые маховики

Преобладающим оборудованием этих цехов являются вагранки, малые бессемеровские конвертеры, мартеновские печи, электропечи, пескометы, формовочные пневматические машины, очистные барабаны, пескоструйные камеры, наждачные станки, пневматические зубила. В качестве подъемно-транспортного оборудования применяются мостовые и консольные передвижные краны разной грузоподъемности.

Литейные цеха цветных металлов разделяются по роду сплава на медные (бронза и латунь), алюминиевые и магниевые. Для медных сплавов характерными типами изделий являются измерительные приборы, авиа- и автоприборы, радио- и электроаппаратура, мелкая арматура, детали машин различных отраслей машиностроения. Из алюминиевых и магниевых сплавов делают авиа- и автодвигатели (карбюраторы, блоки цилиндров, картеры, поршни), авиа- и автоприборы, прожекторы, мелкую арматуру. Для этого в цехах используются электрические печи, кокильные станки, пневматическо-гидравлические машины с неподогреваемой камерой сжатия, пескоструйные аппараты и пилы. Характерными подъемно-транспортными

механизмами для этих цехов являются мостовые краны, кран-балки, поворотные краны, конвейеры, рольганги, ленточные транспортеры и элеваторы, монорельсы, тельферы.

В состав литейных цехов входят производственные и вспомогательные отделения, склады, а также служебные и бытовые помещения.

Производственные отделения: формовочное, стержневое, плавильное, землеприготовительное и обрубное (очистное).

Вспомогательные отделения: ремонтно-слесарное, каркасное, ковшевое, плотницкая мастерская, отделение подготовки свежих формовочных материалов и добавок, экспресс-лаборатория.

Склады литейных цехов: шихты, топлива, флюсов, огнеупоров, опок, готовых отливок и слитков и т. п.

### *Цеха обработки металлов давлением*

Кузнечный, рессорный и пружинный цеха, цех (отделение) холодной штамповки.

*Кузнечный цех.* Различают кузнечные, кузнечно-прессовые и кузнечно-штамповочные цеха в зависимости от преобладающего в нем технологического процесса изготовления поковок (свободная ковка под молотами и прессами, штамповка на молотах, горизонтально-ковочных машинах, автоматах и полуавтоматах, прокатка на ковочных вальцах и т. д.) и типа производства (единичное, мелкосерийное, серийное, крупносерийное и массовое). Основным оборудованием данных цехов являются разнообразные штамповочные и ковочные молоты, горизонтально-ковочные машины и прессы. Кузнечные производства оснащаются также подъемно-транспортным оборудованием (мостовыми и поворотными кранами, манипуляторами, передвижающими и поворачивающими поковку в процессе ее изготовления под прессом, и др.). Кроме того, в цехе используются кузнечные нагревательные печи, размер подов которых зависит от производительности молотов и прессов. Энергоносителем для молотов и прессов является пар или сжатый воздух.

*Рессорный и пружинный цеха (отделения)* предназначены для производства рессор в сборе и рессорных листов россыпью для запасных частей, а также пластинчатых и витых пружин в холодном и горячем состоянии. Технологический цикл производства в таких цехах включает в себя такие операции, как заготовка, термообработка и сборка. В процессе заготовки осуществляется разрезка полосовой стали на рессорные ленты, пробивание отверстий, выдавливание выпуклостей,

зенкерование отверстий, штамповка. Для выполнения этих операций используются аллигаторные ножницы, пресс, эксцентриковый пресс, конвейерная печь и печь с наружным конвейером, вертикально-сверлильный и завивочный станки, ковочные вальцы. Термообработка применяется для гибки с одновременной закалкой листа в масле. Для этого используется гибочно-закалочная машина и печь с пластинчатым конвейером и автоматическим регулированием температуры. Для сборки применяются печь для нагревания концов, пневматические тиски, прессы, а также станки: сверлильные, шлифовальные, вертикально-протяжные. Окраска выполняется в распылительной камере или ванне с использованием пульверизатора.

*Цеха холодной штамповки* предназначены для изготовления деталей из листового материала, ленты, а также профильного проката для сборки из этих деталей отдельных узлов и целых агрегатов. Основным оборудованием цеха являются: прессы, металлорежущие станки, электросварочные установки, сушильные камеры и печи. Кроме того, цеха оснащаются подъемно-транспортным оборудованием (ленточные конвейеры и рольганги, мостовые краны, кран-балки и тельферы), а также оборудованием для ремонта (токарные, универсально-фрезерные, строгальные, сверлильные станки и т. п.).

#### *Сварочный цех (металлических конструкций)*

В машиностроении металлические конструкции являются составной частью выпускаемых заводом изделий. Поэтому программа, характер производства, специализация и работа цеха определяются профилем предприятия, в состав которого он входит. Характерными технологическими процессами этих цехов являются: ручная дуговая электросварка, контактная сварка универсальными машинами, пневматическая клепка, штамповка и гибка профилей и листового металла. Для выполнения указанных операций в цехе устанавливается такое технологическое оборудование, как листопрямильные и углопрямильные вальцы, правильно-гибочные прессы (горизонтальные и вертикальные), правильные плиты, гильотинные, дисковые угловые, профильные и пресс-ножницы, ножовки, пилы, газовые резаки (ацетилено-кислородные, бензино-кислородные и др.) ручные, полуавтоматические и автоматические, кромкострогальные, продольнострогальные, токарно-карусельные и токарно-обдирочные и др. станки, сварочные трансформаторы, нагревательные печи, прессы и клепальные молотки. Основным подъемно-транспортным оборудо-

ванием цеха металлоконструкций являются мостовые краны и кран-балки, тельферы, рольганги, консоли, электротали, цепные, канатные, ленточные и другие конвейеры.

### *Термический цех*

Термические цеха (отделения) классифицируются в зависимости от назначения: для обработки поковок и отливок, обработки деталей в чистовом виде после механической обработки, на промежуточных операциях механической обработки или холодной штамповки, термические отделения ремонтных цехов (термическая обработка деталей, изготавливаемых ремонтными цехами), инструментально-термические (термическая обработка режущих и мерительных инструментов) и штампово-термические отделения (термическая обработка штампов горячей и холодной штамповки, приспособлений) и др.

В термических отделениях осуществляется отжиг, цементация, цианирование, азотирование, хромирование, нормализация, закалка, очистка от окалины путем электролитического или химического травления, пескоструйная очистка, промывка, напайка резцов.

Для выполнения этих операций устанавливаются различные печи (камерные, шахтные, тоннельные, элеваторного типа, толкательные, муфельные и др.), закалочные машины и прессы, механизированные травильные установки, очистные барабаны, пескоструйные и дробеструйные аппараты.

*Отделения поверхностной закалки при индукционном высокочастотном нагреве.* Для зональной поверхностной закалки используется неравномерное распределение тепловой энергии, создаваемой в стальных изделиях, помещенных в быстропеременное электромагнитное поле. Обычно для этого применяются частоты 2000–1 000 000 Гц. В редких случаях при закалке на большую глубину – 20–30 мм (например, броневых плит) – могут использоваться токи частотой ниже 2000 Гц. При обработке изделий малого диаметра (например, игл) для питания нагревательного устройства применяются токи частотой 10 000 000 Гц. Для питания установок индукционной поверхностной закалки применяются высокочастотные генераторы различных типов (ламповый, машинный и др.).

*Отделения поверхностной закалки при контактном электроннагреве.* В этом случае в центрах станка, на суппорте которого укреплены калящие ролики, устанавливается и получает вращательное движение закаливаемая деталь. Поверхностный слой материала на-

гревается за счет тепла, выделяющегося в месте контакта калящих роликов (электродов) с деталью. Нагретый под поверхностную закалку объем охлаждается прилежащими холодными массами металла и закалочной жидкостью (водой, эмульсией), подводимой к месту контакта. Мощность закалочных трансформаторов и автотрансформаторов составляет от 20 до 65 кВ·А. В качестве закалочной машины обычно используют какой-либо из имеющихся в наличии металлообрабатывающих станков, чаще всего токарный.

*Отделения поверхностной закалки при пламенном нагреве.* Поверхность стального или чугунного изделия подвергается местному нагреву пламенем горелки и последующему быстрому охлаждению водой или другим охлаждающим средством. Продолжительность нагрева незначительна, поэтому тепло успевает распространиться лишь на небольшую глубину; закалку принимает только поверхностный слой, а сердцевина сохраняет свои первоначальные свойства. Этот метод обработки часто называют кислородно-ацетиленовой закалкой.

#### *Механический и сборочный цеха*

Классификация механических цехов построена на основании весовой и конструктивной характеристик изделий, типа производства и других признаков. Различают следующие типы производства: единичный и мелкосерийный, серийный, крупносерийный. В зависимости от характерных изделий выделяют механические цеха, выпускающие изделия легкого, среднего, тяжелого и особо тяжелого машиностроения.

К изделиям легкого машиностроения относятся точные металлорежущие станки для часового и инструментального производства и приборостроения, пишущие, швейные и др. машины, электро- и радиоаппаратура, приборы, штампы и т. п. Ассортимент среднего машиностроения составляют металлорежущие, деревообделочные станки, текстильные и обувные машины, электродвигатели малой и средней мощности, автомобили, тракторы, мотоциклы, велосипеды, сельскохозяйственные машины. Изделиями тяжелого машиностроения являются тяжелые металлорежущие и деревообделочные станки крупных размеров; кузнечные молоты и прессы; двигатели, насосы и компрессоры большой мощности; горнозаводское и металлургическое оборудование; дорожные машины и т. п. Изделия особо тяжелого машиностроения – это прокатное, доменное и мартеновское

оборудование, особо тяжелые металлорежущие станки, гидравлические прессы, мощные двигатели и турбогенераторы и т. п.

Состав оборудования механических цехов складывается из различных токарных, сверлильных, строгальных, фрезерных и шлифовальных станков. Кроме того в них устанавливаются револьверные, карусельные, долбежные, зуборезные, протяжные, расточные станки, прессы, моечные, а также специальное и др. оборудование.

В сборочном цехе производится слесарная обработка деталей, сборка узлов, сборка комплектов, общая сборка машины, обкатка, регулировка, испытание и окраска. Слесарная обработка осуществляется на верстаках, на которых расположены тиски. Сборка узлов и комплектов может производиться на обычных слесарных верстаках, столах, рольгангах и конвейерах в зависимости от характера и габаритных размеров сборочных соединений.

### *Деревообрабатывающий цех*

Классификация деревообрабатывающих цехов включает пять классов, различаемых по назначению и характеру конечной продукции: заготовительный, лесосушильный, механостоллярный, модельный, деревоотарный.

В *заготовительном цехе* осуществляется распил исходного сырья. Конечными продуктами этого цеха являются доски, брусья, рейки и заготовки с припусками для дальнейшей обработки. Распил осуществляется лесопильными рамами, дополняемыми околорамным транспортным оборудованием (продольные и поперечные цепные транспортеры для бревен, досок и отходов, роликовые транспортеры и роликовые шины, автоматические сбрасыватели бревен и досок, сортировочные установки, механизированные тележки, околорамные конвейеры и т. д.).

В *лесосушильных цехах* уменьшается содержание влаги в древесине. Лесосушильные установки классифицируются в зависимости от способа подачи тепла, давления рабочей среды, агента сушки и способа его нагрева, воздухообмена с наружной средой, режима работы и др. Конструкция лесосушительной камеры зависит от объема производства, породы древесины, требований к качеству сушки, размера и назначения высушиваемого материала. Различают камеры непрерывного и периодического действия.

В *механостоллярных цехах* (механической обработки древесины) изменяются форма, объем заготовок до стадии деталей, готовых к

сборке. Это достигается резанием со стружкообразованием (пиление, строгание, фрезерование, циклевание, точение, сверление, шлифование), резанием без стружкообразования (штамповка, высечка, резание ножницами, лущение) и давлением с применением или без применения термической обработки (гнутье, прессование, тиснение). Основные виды применяемых станков: ленточные, торцевые и продольные пилы, фуговочный, рейсмусовый, строгальный, шипорезный, концевитальный, цепнодолбежный, сверлильный, фрезерный, токарный, шлифовальный и др.

В *модельном цехе* производится продукция, которая не входит составной частью в изделия, а служит вспомогательным средством при отливке деталей. В нем изготавливаются деревянные модели для отливки фасонных деталей, а также модели для отливки металлических моделей. Примерный состав оборудования этих цехов: поперечные, продольные, ленточные и ажурные (лобзиковые) и др. пилы, станки: фуговочные, рейсмусовые, универсально-фрезерные, токарные, шлифовальные, усорезные, сверлильно-долбежные, заточные, строгальные. Кроме того, в современных модельных цехах применяется также специальное оборудование, например, универсально-фрезерные станки с верхним шпинделем и большим вылетом, зубонарезные станки для обработки моделей шестерен с литым зубом и др.

В *деревотарных цехах* изготавливается деревянная упаковка для готовых изделий и деталей. Данная тара может быть следующих видов: плотные ящики из строганных досок, полуплотные ящики из нестроганных досок, решетчатая упаковка, салазки из брусьев, бондарная тара. Для изготовления упаковки такого вида применяется следующее оборудование: продольные и поперечные пилы, фуговочные, строгальные, обрезные станки, автоматы для заделки сучков, шипорезные автоматы и др.

### ***Цех металлопокрытий***

Данные цеха классифицируются в зависимости от осуществляемых покрытий: цинкование, кадмирование, свинцевание, меднение, оксидирование, фосфатирование, серебрение, никелирование, хромирование и т. д. Основным наиболее распространенным видом оборудования таких цехов являются немеханизированные ванны различных размеров, которые применяются для покрытия и для подготовительных и заключительных операций при обработке деталей на подвесках и других приспособлениях. Для покрытия и подготовки

(обезжиривания и травления) поверхности мелких деталей применяются вращающиеся колокола и барабаны различных размеров. Кроме того, устанавливается оборудование для обработки деталей (шлифования, полирования, пескоструйной очистки крацовки и т. д.). Основной расход электроэнергии приходится на двигатели оборудования и нагревательные приборы.

### *Инструментальный цех*

В этом цехе осуществляется изготовление, капитальный ремонт и восстановление режущего, мерительного, вспомогательного инструмента, приспособлений штампов, моделей, прессформ, кокелей и опок. В состав каждого инструментального цеха входят основные и вспомогательные отделения, а также служебные и бытовые помещения. К основным относят отделения резцов, мерительного, вспомогательного инструмента, приспособлений, штампов, металлических моделей, нормалей, восстановления инструмента, заготовительное, термическое и др. К вспомогательным отделениям – переточки инструмента второго порядка, мастерскую цехового механика, мерительную лабораторию и др.

В состав оборудования инструментального цеха входят токарные, револьверные, расточные, строгальные, долбежные, фрезерные, шлифовальные, заточные и др. станки, прессы, пилы, шепинги.

### *Ремонтно-механический цех*

Назначение ремонтно-механического цеха – планово-предупредительный ремонт металлорежущего, кузнечно-прессового, литейного, подъемно-транспортного, энергетического и другого заводского оборудования.

В состав цеха входят основные и вспомогательные отделения, а также служебные и бытовые помещения. Основные отделения: демонтажное (разборки и промывки), восстановления деталей (наплавкой, металлизацией, хромированием), заготовительное, кузнечное, сварочное, термическое, механическое, трубопроводное, жестяничко-медничное, слесарно-сборочное, электроремонтное, испытательное, окрасочное и др.

Вспомогательные отделения: склады металла и запасных частей, инструментально-раздаточная кладовая, заточная мастерская, промежуточные кладовые, экспедиция и др.

Основным оборудованием цеха являются разнообразные станки: токарные, револьверные, расточные, сверлильные, фрезерные, стро-

гальные, долбежные, шлифовальные и др., а также сварочное, подъемно-транспортное оборудование и т. д.

### *Окрасочный цех*

Разделяются в зависимости от размеров окрашиваемых деталей и метода окраски и сушки (кистью, распылением, обливанием, или окунанием, естественной или искусственной сушкой, степенью автоматизации). Основным технологическим оборудованием являются проходные и тупиковые камеры, а транспортным – конвейеры и транспортеры. Для удаления механическим путем окалины и ржавчины, старой краски и других загрязнений применяются пескоструйные барабаны, пневматические молотки и колотушки, шлифовально-полировальные аппараты и сверлильные машины.

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Абразивно-отрезной станок** – металлорежущий станок, предназначенный для разрезания заготовок различных профилей из черных и цветных металлов.

**Абсорбер** – аппарат для улавливания паров летучих растворителей (спирта, эфира, ацетона и т. п.) и газов путем поглощения их твердыми пористыми веществами или жидкостями.

**Автомат** – устройство, выполняющее по заданной программе без непосредственного участия человека все технологические операции в производственном процессе.

**Автоматическая линия** – система машин основного и вспомогательного оборудования, автоматически выполняющих весь процесс изготовления или переработки продукта производства или его части.

**Агрегат** – соединение нескольких разнотипных машин, аппаратов и т. д. для совместной работы.

**Агрегатный станок** – металлорежущий станок, который комплектуется из стандартных кинематично не связанных между собой узлов, объединенных в единый рабочий комплекс общей системой управления. На агрегатных станках сверлильные, расточные, резьбонарезные и фрезерные работы выполняются большим числом режущих инструментов, что повышает их производительность.

**Аппарат** – прибор, приспособление, оборудование, устройство.

**Балансировочный станок** – станок для определения углового положения, а также величины дисбаланса и его ликвидации в разных неуравновешенных быстро вращающихся деталях.

**Бесцентрово-шлифовальный станок** – металлорежущий станок для шлифования внешних и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения, в котором обработка производится без закрепления в центрах или патроне станка.

**Бетоносмеситель** – установка для приготовления цементно-бетонных смесей небольших объемов.

**Блуминг (блюминг)** – мощный прокатный обжимной стан, предназначенный для преобразования тяжелых стальных слитков в брусья квадратного сечения (блумы).

**Вакуумная печь** – дуговая печь, в которой преобразование электрической энергии в тепловую производится с помощью электрической дуги, горящей при пониженном давлении в вакуумной камере.

Применяются для получения высококачественных слитков из слож-  
нолегированных сталей, титана, меди и т. п.

**Вальцы** – различные рабочие механизмы, обрабатывающие ма-  
териал путем пропускания его между вращающимися в разных на-  
правлениях валами.

**Вальян** – в прядении – цилиндр кардочесальной машины, обтяну-  
тый игольчатой лентой (кардой); в ткачестве – цилиндр, набираю-  
щий ткань на ткацкие станки.

**Вентилятор** – прибор для перемещения воздуха, газов или смеси  
их с мелкими частицами (пыль, опилки и т. д.) с большой скоростью  
и под некоторым давлением (обычно до 0,15 МПа).

**Вибратор** – устройство для создания серии слабых толчков, при-  
меняемое для уплотнения бетона, забивки свай и т. п.

**Газгольдер** – хранилище для больших объемов газа.

**Газлифт** – установка для добычи нефти из буровой скважины пу-  
тем нагнетания сжатого нефтяного газа, подъема воды и различных  
жидкостей.

**Голландер** – машина для обдирки ячменя.

**Градирия** – башенный охладитель – сооружение для охлаждения  
воды в системе оборотного водоснабжения.

**Гребнечесальная машина** – устройство для расчесывания длин-  
ных волокон специальными гребнями с целью удаления коротких  
или порванных волокон.

**Грейфер** – грузозахватное приспособление подъемного механиз-  
ма для перегрузки сыпучих материалов (руды, угля, камня и т. д.).

**Грохот** – устройство для механической сортировки (грохочения)  
сыпучих материалов по крупности частиц (кусков) просеиванием их  
через неподвижные решетки, а также через качающиеся, вращаю-  
щиеся или вибрирующие сетки.

**Дезинтегратор** – агрегат для мелкого измельчения сыпучих ма-  
териалов различной твердости (песка, мела, глины и т. д.).

**Дефростер** – устройство для размораживания мороженых про-  
дуктов (камера в холодильнике, имеющая отопление и усиленную  
циркуляцию воздуха).

**Дефибратор (дефибрер)** – машина для измельчения дерева в во-  
локнистую массу.

**Дезмульсатор** – прибор для разрушения эмульсии (механической  
смеси нефти, масла и т. п. с водой).

**Дистиллятор** – прибор для перегонки жидкостей с целью ее очищения, изменения концентрации раствора и т. п.

**Диффузор** – аппарат для извлечения каких-либо веществ, например, сахара из свекловичной стружки и т. п.).

**Дозатор** – устройство для автоматического отмеривания (дозирования) заданной массы или объема жидких и сыпучих веществ.

**Долбежный станок** – 1) металлорежущий станок строгального типа с вертикальным возвратно-поступательным движением резца и прямолинейным или вращательным движением обрабатываемой детали, который применяется для обработки труднодоступных поверхностей и канавок любой формы; 2) деревообрабатывающий станок для обработки пазов и отверстий.

**Дробилка** – машина для измельчения кусковых материалов (главным образом минерального сырья).

**Дуговая сталеплавильная печь** – электрометаллургический агрегат для выплавки стали с использованием электрической дуги, создающей в печи высокую температуру.

**Заточной станок** – станок для заточки режущего инструмента и механической обработки небольших деталей с помощью наждака.

**Зубообрабатывающий станок** – металлорежущий станок для обработки зубчатых и червячных колес, а также зубчатых реек.

**Индукционная печь** – электротермическая установка, в которой нагрев осуществляется за счет выделения теплоты в нагреваемом теле током, индуктированным в нем переменным электромагнитным полем. Печи могут быть с сердечником, питающиеся током промышленной частоты, и без сердечника, работающие на повышенной частоте.

**Кабестан** – механизм для передвижения груза, состоящий из вала, на который при вращении наматывается цепь или канат, прикрепленные другим концом к перемещаемому грузу.

**Каландр** – машина, состоящая из системы валов, между которыми пропускают ткань или бумагу для придания им гладкости или глянцеvitости. В резиновой промышленности каландр применяется для прокатки резиновых смесей в листы.

**Кантователь** – устройство для поворота на 90° слитка металла на прокатном стане.

**Кардочесальная машина** – устройство, состоящее из многих вращающихся цилиндров, обтянутых игольчатой или пальчатой лентой, для обработки волокон.

**Карусельный станок** – металлорежущий станок токарной группы с вертикальным расположением шпинделя для обработки крупных заготовок.

**Классификатор** – машина для разделения твердых материалов по прочности, чистоте и размерам зерен.

**Клеть** – 1) устройство для подъема и опускания в шахтах людей и грузов; 2) в прокатном стане – станина с валками, создающими необходимый профиль металла.

**Компрессор** – машина для сжатия воздуха, газов, паров до определенного давления.

**Конвейер** – транспортное устройство для перемещения массовых однородных грузов, а также для передвижения обрабатываемого материала или собираемых частей изделия от одного рабочего к другому.

**Конвертор** – вращающийся аппарат, в котором получают литую сталь продуванием воздуха под давлением через залитый в него расплавленный чугун.

**Копировальный станок** – устройство для обработки деталей со сложными объемными поверхностями (штампы, гребни и т. п.) по заранее заготовленной модели или шаблону.

**Кран** – подъемно-транспортная машина, поднимающая груз, а также перемещающая его в горизонтальном направлении на небольшое расстояние. Различают краны мостовые, козловые, башенные, консольные, порталные и т. п.

**Кран-балка** – подъемный кран мостового типа, у которого тельфер передвигается по ездовой балке с колесами.

**Лебедка** – приспособление для перемещения грузов в виде вращающегося барабана с наматываемым на него канатом или цепью.

**Машина** – механизм, совершающий какую-нибудь полезную работу с преобразованием одного вида энергии в другой.

**Мельница** – машина для измельчения (помола) различных материалов до частиц мельче 5 мм. Отличается от дробилок более тонким помолом.

**Механизм** – устройство для передачи и преобразования движений и скоростей.

**Мерсеризационный агрегат** – устройство для обработки целлюлозных волокон, главным образом хлопка, хлопчатобумажной ткани или пряжи крепким раствором едкого натра с целью придания материалу шелковистого блеска, мягкости, крепости и других качеств.

**Миксер** – 1) машина для приготовления резиновых смесей; 2) суд для сохранения в жидком состоянии чугуна, получаемого из печей, для выравнивания его химического состава, а также удаления из него серы.

**Молот кузнечный** – установка дляковки и горячей штамповки, в процессе которых производится обработка изделий путем деформации металла ударами.

**Насос** – машина для накачивания или выкачивания жидкостей, газов.

**Нория** – непрерывно действующее грузоподъемное устройство, состоящее из ряда черпаков, сидящих на бесконечной цепи.

**Обдирочный станок** – машина для грубой обработки металлических поверхностей.

**Отрезной круглопильный станок** – металлорежущий станок для разрезания пиловыми дисками металлических заготовок круглого или фасонного проката.

**Пастеризатор** – котел с двойными стенками и плотно закрывающейся крышкой для пастеризации жидкостей в целях их обезвреживания.

**Перфоратор** – горная машина ударного действия для механического бурения шпуров, скважин и т. п.

**Печь** – устройство или сооружение для термической обработки материалов, изделий и т. п.

**Печь диэлектрического нагрева** – электротермическая установка, в которой нагрев происходит за счет диэлектрических потерь в диэлектрике или полупроводнике, помещенном в переменное электрическое поле.

**Печь сопротивления** – электротермическая установка, в которой нагрев осуществляется пропусканием через нагреваемое тело электрического тока (печи прямого действия) или с помощью нагревательных элементов (печи косвенного действия).

**Питатель** – механизм непрерывного транспорта для равномерной и регулируемой подачи насыпных и штучных материалов из бункера, загрузочных лотков и т. д. к транспортирующим и перерабатывающим машинам.

**Подъемник** – грузоподъемная машина, перемещающаяся по жестким вертикальным или наклонным направлениям или по рельсовому пути, лифты, клетки, скипы, слипы (для ремонта судов) и т. д.

**Пресс** – механизм или машина для создания давления с целью сжатия или уплотнения вещества, изменения его формы, отжимания жидкости и т. д.

**Прибор** – приспособление, специальное устройство, аппарат для производства какой-нибудь работы.

**Протяжной станок** – металлорежущий станок для обработки поверхностей разных форм и размеров протягиванием.

**Прядильная машина** – устройство для получения пряжи из ровницы или лент волокна.

**Разрыхлительная машина** – устройство для разделения при помощи зубьев на клочки волокон спрессованного сырья (хлопка, шерсти и т. д.) в прядильном производстве.

**Расточный станок** – металлорежущий станок для обработки вращающимся режущим инструментом предварительно полученных отверстий.

**Рафинатор** – устройство для очистки от посторонних примесей какого-либо технического продукта.

**Револьверный станок** – разновидность токарного станка, главной частью которого является вращающаяся головка, несущая либо несколько инструментов, либо несколько обрабатываемых предметов, по очереди подвергающихся действию одного инструмента.

**Ровничная машина** – устройство для вытягивания и небольшого скручивания пучков волокон после чесания с целью получения ровницы – однородной пушистой толстой нити.

**Рольганг** – транспортер, по которому грузы перемещаются по вращающимся роликам.

**Руднотермическая печь** – агрегат для производства ферросплавов, сплавов цветных металлов, карбида кальция, желтого фосфора и т. д. В этих печах преобразование электроэнергии в теплоту происходит за счет дугового разряда или протекания тока по шихте, а также по расплавленному шлаку.

**Сатуратор** – 1) в сахароварении – аппарат для обработки углекислотой сахарного сиропа с целью удаления из него излишней свободной извести; 2) аппарат для насыщения жидкостей углекислым газом.

**Сверлильный станок** – станок для обработки цилиндрических отверстий в неподвижных деталях вращающимся сверлом с поступательным движением.

**Сепаратор** – аппарат для механического или электрического разделения жидкостей и сыпучих тел, а также разнородных минералов, механически связанных в руде, с целью обогащения полезных ископаемых.

**Силос** – металлический или железобетонный резервуар для хранения сыпучих материалов (сахара, муки, цемента и т. п.).

**Скип** – большая клеть (короб) из металла, которая служит для подъема руды, угля, известняка и т. п. Применяется в рудниках, при загрузке доменных печей и т. д.

**Скрепер** – машина для перемещения руды или угля и погрузки их в вагоны, бункера и т. п.

**Скруббер** – аппарат для очистки газа, основанный на использовании очищающего действия жидкости при соприкосновении с нею газа.

**Слябный** – мощный прокатный обжимной стан для получения плоских стальных пластин (слябов), идущих на прокатку листов.

**Смеситель** – машина, предназначенная для приготовления растворяемых, бетонных и др. смесей.

**Стан** – большая и сложная машина для изготовления крупных металлических изделий в металлургическом производстве.

**Станок** – машина для обработки металла, дерева, пластмассы и т. п., а также изготовления разнообразных изделий.

**Стриппер** – механизм в виде мостового крана для выталкивания стальных слитков из изложниц – узких и высоких чугунных форм, в которые разливают сталь из специальных ковшов.

**Строгальный станок** – металлорежущий или деревообрабатывающий станок для обработки плоских поверхностей строганием. В нем резец (или деталь) совершает возвратно-поступательное движение, а деталь (или резец) неподвижна.

**Суппорт** – часть токарного станка, на которой закрепляются режущие инструменты, служащая для их перемещения в ходе обработки деталей.

**Сушильный барабан** – агрегат для сушки зернового или кускового материала.

**Таль** – грузоподъемный механизм, подвешенный к неподвижной конструкции или тележке, способной перемещаться по направляющим путям.

**Тельфер** – устройство для подъема и горизонтального перемещения грузов, представляющее собой таль, прикрепленную к тележке, перемещающейся по подвесным однорельсовым путям.

**Токарный станок** – металлорежущий или деревообрабатывающий станок, на котором обработка деталей ведется точением с помощью резца. При этом закрепленная в шпинделе деталь вращается, а резец, зажатый в суппорте, перемещается поступательно.

**Транспортер** – устройство для перемещения грузов с помощью движущейся металлической, резиновой или иной бесконечной ленты.

**Трепальная машина** – устройство для очищения волокон от примесей и получения слоя волокна (холста), поступающего затем на чесальную машину в прядильном производстве.

**Турбобур** – аппарат для вращательного бурения в горном деле, нефтедобыче и т. д.

**Турбокомпрессор** – центробежный воздушный насос для получения сжатого воздуха, газа или пара, приводимый в движение турбиной.

**Фильтр** – прибор для очищения жидкости от взвешенных в ней твердых частиц путем процеживания или газа от взвешенных твердых и жидких частиц.

**Фильтрпресс** – аппарат для фильтрования под давлением.

**Флотационная машина** – устройство для обогащения полезных ископаемых, основанное на принципе всплывания измельченных частей полезного ископаемого на поверхность воды вместе с пузырьками воздуха.

**Формовочная машина** – устройство для изготовления многупустотных панелей перекрытий, силикатных и шлаковых блоков на заводах железобетонных изделий.

**Фрезерный станок** – станок для механической обработки металла, дерева, пластмассы с вращательным движением фрезы (многолезцового режущего инструмента) и поступательным перемещением обрабатываемого предмета.

**Центрифуга** – аппарат для механического разделения смеси на составные части действием центробежной силы.

**Циклон** – аппарат для очистки воздуха и газа от взвешенных твердых частиц (пыли) под действием центробежной силы при вращательном движении воздуха или газа.

**Чесальная машина** – устройство для разделения слоя волокна на отдельные волокна в виде лент и их очистки.

**Шибер** – заслонка в дымоходе заводской печи в виде поднимающейся и опускающейся чугунной плиты.

**Шлеппер** – механизм прокатного стана для перемещения прокатываемого металла в поперечном направлении (с одного рольганга на другой).

**Шлифовальный станок** – станок для обработки деталей и поверхности металла, дерева и т. п. с помощью абразивного инструмента. При шлифовании абразивный круг обычно быстро вращается, а деталь движется поступательно, вращается или неподвижна. В последнем случае поступательно движется вращающийся круг.

**Шнек** – транспортное устройство в виде винтового конвейера для перемещения кусковых или сыпучих грузов и перемещения их на небольшие расстояния.

**Шпиндель** – 1) главный вал станка (токарного, сверлильного, шлифовального и др.) с вращательным движением; на нем укрепляются детали, передающие ему вращение, и зажимы для закрепления обрабатываемой детали или инструмента; станок может иметь несколько шпинделей; 2) веретено в прядильной машине; 3) вал прокатного стана, передающий вращение от электродвигателя к валкам.

**Штабелер** – устройство для складирования грузов в ряды правильной формы.

**Штамп** – инструмент для горячей или холодной обработки металлов давлением, который применяется на молотах или прессах. Различают ковочные штампы, вырезные, вытяжные, гибочные, чеканочные и др.

**Эжектор** – пароструйный насос, приспособленный для выкачивания воздуха.

**Экскаватор** – машина для выемки грунта, подъема забранного грунта, перемещения и отвала его на выбранное место.

**Экструдер** – червячный пресс для переработки гранулированных пластмасс в изоляционные или шланговые покрытия (при производстве кабелей, проводов и т. д.).

**Элеватор** – подъемно-транспортная машина непрерывного действия для перемещения в вертикальном направлении насыпных или штучных грузов.

**Электродегидратор** – аппарат для обезвоживания и обессоливания нефти.

**Электролизер** – электролизная ванна для получения химически чистых цветных металлов, а также для покрытия металлом различных деталей и предметов.

**Электросварочная установка** – устройство для создания неразъемных соединений металлических изделий с помощью электрического тока.

**Электрофильтр** – устройство для очистки промышленных газов от пыли и жидких частиц в цементном, химическом и металлургическом производстве, а также на тепловых электростанциях.

**Электрошлаковая печь** – это агрегат специальной электросталлургии для получения слитков и отливок высокого качества путем очистки металла с помощью жидкого шлака. Как приемник электроэнергии такая печь представляет собой печь сопротивления косвенного действия с жидким нагревателем.

**Эмульсор** – машина для приготовления эмульсии механическим распылением битума или дегтя в воде.

Учебное издание

**РАДКЕВИЧ** Владимир Николаевич  
**КОЗЛОВСКАЯ** Влада Борисовна  
**КОЛОСОВА** Ирина Владимировна

**РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности  
1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»

Редактор *Т. В. Кипель*  
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 10.10.2012. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 7,21. Уч.-изд. л. 5,64. Тираж 300. Заказ 669.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.