

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Электроснабжение»

М. Л. Протасеня  
В. В. Сталович

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности 1-36 10 01 «Горные машины  
и оборудование (по направлениям)»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области энергетики и энергетического оборудования*

Минск  
БНТУ  
2021

УДК 621.313(075.8)

ББК 31.261я7

П83

**Р е ц е н з е н т ы:**

зав. кафедрой «Электроснабжение» УО БГАТУ,  
канд. техн. наук, доцент *В. М. Збродыга*;  
зам. директора Института энергетики АН РБ,  
канд. техн. наук, доцент *Н. Е. Шевчик*

**Протасеня, М. Л.**

П83

Электрические машины и аппараты : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)» / М. Л. Протасеня, В. В. Сталович. – Минск : БНТУ, 2021. – 86 с.

ISBN 978-985-583-616-3.

В пособии содержатся основные положения и рекомендации по курсовому проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий. Изложены порядок выбора и расчета электрических сетей цеха предприятия, расчета основных размеров электродвигателя, обмоток статора и ротора электродвигателя. Предлагаемый материал базируется на действующей нормативной и справочной информации, расчеты иллюстрируются примерами. Пособие может использоваться для других специальностей, изучающих дисциплину «Электроснабжение промышленных предприятий».

**УДК 621.313(075.8)**

**ББК 31.261я7**

**ISBN 978-985-583-616-3**

© Протасеня М. Л., Сталович В. В., 2021

© Белорусский национальный  
технический университет, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Выбор электродвигателей, их коммутационных и защитных аппаратов.....	6
2. Определение электрических нагрузок цеха.....	18
3. Выбор схемы и расчет электрической сети цеха.....	22
4. Определение величины напряжения на зажимах наиболее удаленных электроприемников.....	28
5. Обзор электродвигателей, используемых в горных машинах и оборудовании.....	33
6. Расчет основных размеров электродвигателя, обмоток статора и ротора электродвигателя.....	33
6.1. Расчет основных размеров электродвигателя.....	33
6.2. Расчет обмоток статора.....	35
6.3. Расчет ротора.....	39
7. Технология монтажа и эксплуатации электродвигателей.....	42
Заключение.....	43
Литература.....	44
Приложение 1. Технические характеристики электродвигателей и силовых трансформаторов.....	45
Приложение 2. Технические характеристики электрооборудования напряжением до 1 кВ.....	46
Приложение 3. Справочная информация для расчета электрических нагрузок.....	61
Приложение 4. Справочные материалы для расчета проводов и кабелей.....	72
Приложение 5. Примеры выполнения графических материалов.....	80

## ВВЕДЕНИЕ

Системы электроснабжения, обеспечивающие электрической энергией промышленные объекты, оказывают существенное влияние на работу электроприводов, осветительных, преобразовательных и электротехнологических установок и, в конечном счете, на производственный процесс на предприятии в целом.

На промышленных предприятиях используется большое число разнообразных электроприемников различных мощностей и номинальных напряжений, однофазного и трехфазного переменного тока различной частоты, а также электроприемников постоянного тока. Надежное и экономичное снабжение потребителей электроэнергией требуемого качества – необходимое условие функционирования любого промышленного предприятия.

В процессе обучения студенты выполняют курсовой проект на тему «Электроснабжение потребителей электроэнергии». Учебный проект состоит из пояснительной записки и графической части. Перечень разрабатываемых вопросов и чертежей определяется заданием на проектирование, которое составляется руководителем проекта и утверждается заведующим кафедрой. Там же указывается календарный график работы над проектом. Пояснительная записка обычно содержит 25...40 страниц машинописного текста, графическая часть – до 3-х листов чертежей, планов и схем.

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения силового оборудования цеха промышленного предприятия, изучение технологии монтажа и наладки двигателей, а также расчет их основных размеров. Исходными данными является номинальная мощность питающего трансформатора, коэффициент загрузки трансформатора, расстояние от цехового РП до ТП.

В курсовой работе необходимо произвести:

- выбор электродвигателей, их коммутационных и защитных аппаратов;
- определение электрических нагрузок цеха;
- выбор схемы и конструктивного выполнения;
- расчет внутрицеховой электрической сети;
- расчет основных размеров, обмоток статора и ротора электродвигателя;

– разработку технологии монтажа и эксплуатации электродвигателей.

В графическую часть проекта включаются следующие чертежи: план цеха с расстановкой технологического оборудования и схемой силовой сети; расчетная схема силовой сети; чертеж электродвигателя.

# 1. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, ИХ КОММУТАЦИОННЫХ И ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ

В большинстве случаев в качестве электродвигателей производственных установок применяются трехфазные асинхронные электродвигатели, и изготовители комплектуют ими оборудование.

При необходимости электродвигатели для привода производственных механизмов выбираются по мощности, режиму работы, напряжению, частоте вращения и условиям окружающей среды. Электродвигатель выбирается так, что его номинальная мощность  $P_n$  соответствует мощности приводного механизма  $P_{\text{мех}}$  с соблюдением условия

$$P_n \geq P_{\text{мех}}. \quad (1.1)$$

При выборе электродвигателей по частоте вращения учитывается частота вращения приводного механизма. Для нерегулируемых приводов обычно применяются двигатели серии АИР соответствующего исполнения с учетом условий окружающей среды.

Далее выбирают аппараты управления и защиты.

Магнитные пускатели предназначены для дистанционного управления асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями. С их помощью также осуществляется нулевая защита. В комплекте с тепловым реле пускатели выполняют защиту двигателя от перегрузки.

Условие выбора магнитных пускателей:

$$I_{\text{нп}} \geq I_{\text{ндв}}. \quad (1.2)$$

Условие выбора тепловых реле, встраиваемых в пускатели (например серии ПМЛ):

$$I_{\text{нр}} \geq I_{\text{ндв}}, \quad (1.3)$$

где  $I_{\text{нп}}$  – номинальный ток пускателя, А;

$I_{\text{нр}}$  – номинальный ток реле, А;

$I_{\text{ндв}}$  – номинальный ток двигателя, А, определяемый по выражению:

$$I_{\text{ндв}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}} \eta_{\text{н}}}, \quad (1.4)$$

где  $P_{\text{н}}$  – номинальная мощность двигателя, кВт;

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

$\eta_{\text{н}}$  – КПД при номинальной нагрузке;

$\cos \varphi_{\text{н}}$  – номинальный коэффициент мощности.

В качестве аппаратов защиты электроприемников и электрических сетей промышленных предприятий от коротких замыканий широко применяются плавкие предохранители. Необоснованное применение автоматических выключателей недопустимо. Автоматы должны устанавливаться в случаях необходимости автоматизации управления, необходимости более быстрого по сравнению с предохранителями восстановления питания, частых аварийных отключений (испытательные, лабораторные и тому подобные установки). В остальных случаях рекомендуется применять предохранители с наполнителями типа ППН, НПН2 и ПН2.

Основными недостатками предохранителей являются:

– меньшее удобство эксплуатации, так как при перегорании плавкой вставки требуется больше времени для восстановления питания по сравнению с автоматическими выключателями;

– защитные характеристики предохранителей имеют значительный разброс, поэтому при перегрузке может перегореть плавкая вставка предохранителя только в одной из фаз сети, создав при этом неполнофазный режим, что представляет опасность для подключенных к ней трехфазных электродвигателей.

Значение номинального тока плавких вставок предохранителей определяется по:

– величине длительного расчетного тока:

$$I_{\text{вс}} \geq I_{\text{р}}; \quad (1.5)$$

– току кратковременной допустимой перегрузки:

$$I_{\text{вс}} \geq \frac{I_{\text{пик}}}{\alpha}, \quad (1.6)$$

где  $\alpha$  – коэффициент кратковременной тепловой перегрузки, который при легких условиях пуска принимается равным 2,5, а при тяжелых условиях пуска (с длительностью пуска около 10 с) или при работе в повторно-кратковременном режиме (например двигатели крановых установок) – 1,6. При выборе плавких вставок предохранителей для защиты ответственных электроприемников, ложное отключение которых при пуске недопустимо, коэффициент кратковременной тепловой перегрузки  $\alpha$  также принимается равным 1,6;

$I_{\text{вс}}$  – номинальный ток плавкой вставки, А;

$I_{\text{пик}}$  – пиковый (максимальный кратковременный) ток, А.

При выборе предохранителей для одного электродвигателя в качестве  $I_{\text{р}}$  принимается его номинальный ток  $I_{\text{ндв}}$ , а в качестве  $I_{\text{пик}}$  – пусковой ток  $I_{\text{пуск}}$ .

$$I_{\text{пуск}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ндв}}, \quad (1.7)$$

где  $k_{\text{пуск}}$  – кратность пускового тока по отношению к номинальному току электродвигателя (паспортная величина).

При этом номинальная мощность электродвигателей повторно-кратковременного режима работы (краны, подъемники и т. п.) определяется по формуле  $P_{\text{н}} = P_{\text{п}} \sqrt{\text{ПВ}_{\text{п}}}$ , где  $P_{\text{п}}$  – паспортная мощность электродвигателя, кВт;  $\text{ПВ}_{\text{п}}$  – продолжительность включения.

Для магистральных линий, питающих группу электроприемников, расчетный ток определяется по следующему выражению:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (1.8)$$

где  $S_{\text{р}}$  – полная расчетная нагрузка электроприемников, кВ·А, а пиковый ток:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пmax}} + I'_{\text{дл}}, \quad (1.9)$$

где  $I_{\text{пmax}}$  – пусковой ток электроприемника или группы одновременно включаемых электроприемников, при пуске которых пиковый ток линии достигает максимального значения;



$I'_{\text{дл}}$  – длительный расчетный ток линии, определяемый без учета рабочего тока электроприемника (группы одновременно включаемых электроприемников), имеющего наибольший пусковой ток:

$$I'_{\text{дл}} = I_{\text{р}} - K_{\text{и}} \cdot I_{\text{нmax}}, \quad (1.10)$$

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

$I_{\text{нmax}}$  – номинальный ток электроприемника (группы одновременно включаемых электроприемников), имеющего наибольший пусковой ток;

$K_{\text{и}}$  – коэффициент использования, характерный для электроприемника (группы одновременно включаемых электроприемников) с наибольшим пусковым током.

Плавкие предохранители также проверяются по току их предельной отключающей способности  $I_{\text{прп}}$  по условию

$$I_{\text{прп}} \geq I_{\text{к(н)}}, \quad (1.11)$$

где  $I_{\text{к(н)}}$  – ток КЗ в начале защищаемого участка сети, кА.

Для обеспечения надежности отключения аварийного участка ток КЗ в конце защищаемой линии  $I_{\text{к(к)}}$  должен не менее чем в четыре раза превышать номинальный ток плавкой вставки предохранителя во взрывоопасных зонах, а в невзрывоопасных зонах – не менее чем в три раза, т. е. должны соблюдаться следующие условия:

$$I_{\text{к(к)}} \geq 4I_{\text{вс}}; \quad (1.12)$$

$$I_{\text{к(к)}} \geq 3I_{\text{вс}}.$$

В случае осуществления защиты автоматическими выключателями номинальные токи автомата  $I_{\text{на}}$  и его расцепителей  $I_{\text{нр}}$  выбираются по соответствию длительному расчетному току линии  $I_{\text{р}}$ :

$$I_{\text{на}} \geq I_{\text{р}}; \quad (1.13)$$

$$I_{\text{нр}} \geq I_{\text{р}}. \quad (1.14)$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя  $I_{\text{ср}_3}$  проверяется по условию отстраивания от пикового тока линии:

$$I_{\text{ср}_3} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}. \quad (1.15)$$

Коэффициент 1,25 учитывает погрешность расчета пикового тока и разброс защитных характеристик автомата.

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя автоматических выключателей, как правило, устанавливается изготовителем в зависимости от  $I_{\text{нр}}$ :

$$I_{\text{ср}_3} = K_{\text{то}} \cdot I_{\text{нр}}, \quad (1.16)$$

где  $K_{\text{то}}$  – кратность тока отсечки, принимаемая по технической документации или по справочной литературе.

С учетом (1.15) расчетное значение кратности тока отсечки может быть найдено по следующему выражению:

$$K_{\text{то}} \geq \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{нр}}}. \quad (1.17)$$

По своей предельной отключающей способности  $I_{\text{пра}}$  автоматический выключатель должен соответствовать току КЗ в начале защищаемого участка линии:

$$I_{\text{пра}} \geq I_{\text{к(н)}}. \quad (1.18)$$

Проверку надежности отключения автоматом аварийного участка сети при КЗ в конце линии следует производить по следующим условиям:

– при защите электрических цепей во взрывоопасных зонах:

$$I_{\text{к(к)}} \geq 6I_{\text{нр}}; \quad (1.19)$$

– при защите в невзрывоопасных зонах:

$$I_{\text{к(к)}} \geq 3I_{\text{нр}}. \quad (1.20)$$

В любых зонах ток КЗ по отношению к уставке срабатывания автомата при КЗ должен соответствовать таким условиям:

– для автоматов с номинальным током до 100 А:

$$I_{\text{к(к)}} \geq 1,4I_{\text{срз}}; \quad (1.21)$$

– для автоматов с номинальным током более 100 А:

$$I_{\text{к(к)}} \geq 1,25I_{\text{срз}}. \quad (1.22)$$

Если расчетная проверка показала, что приведенные выше условия не выполняются (это чаще всего относится к токам однофазного КЗ), то отключение КЗ в сети напряжением до 1 кВ должно обеспечиваться специальной защитой.

При выборе предохранителей следует учесть условие селективности, т. е. номинальные токи плавких вставок двух последовательно расположенных предохранителей по направлению потока энергии должны различаться не менее чем в 1,6–2 раза.

При применении комбинированной защиты, выполненной автоматическими выключателями и предохранителями, проверка по условию избирательности осуществляется путем построения карт селективности. Аппараты защиты подбираются таким образом, чтобы выполнялись условия избирательности как для предохранителей, так и для автоматических выключателей:

– для предохранителей:

$$t_{\text{б}} \geq 3 \cdot t_{\text{м}}; \quad (1.23)$$

– для автоматов:

$$t_{\text{б}} \geq 1,5 \cdot t_{\text{м}}, \quad (1.24)$$

где  $t_{\text{б}}$  и  $t_{\text{м}}$  – соответственно время срабатывания защиты вышестоящей и нижестоящей ступеней при токе аномального режима.

Пример выбора двигателя, его коммутационных и защитных аппаратов представлен на рис. 1.

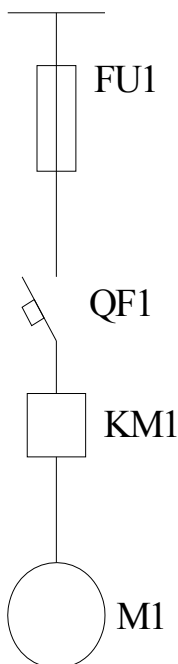


Рис. 1. Схема электроснабжения электропривода однодвигательного электроприемника

Для однодвигательного привода автомата № 7 с  $P_{\text{мех}} = 4,5$  кВт выберем электродвигатель типа АИР112М4 с номинальными данными:

$$P_{\text{н}} = 5,5 \text{ кВт}, \quad \eta_{\text{н}} = 0,875, \quad \cos \varphi_{\text{н}} = 0,88, \quad \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ндв}}} = 7.$$

Номинальный ток двигателя вычисляется по формуле (1.4):

$$I_{\text{ндв}} = \frac{5,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,88 \cdot 0,875} = 10,3 \text{ А.}$$

Пусковой ток двигателя по формуле (1.7):

$$I_{\text{пуск}} = 7 \cdot 10,3 = 72,1 \text{ А.}$$

Для двигателя по условию (1.2) из табл. 2.1.1 (прил. 2) выбираем магнитный пускатель ПМЛ-210004 с  $I_{\text{нп}} = 25 \text{ А}$ , а по условию (1.3) из табл. 2.1.2 (прил. 2) выбираем тепловое реле РТЛ-101604 с  $I_{\text{нр}} = 25 \text{ А}$  и пределом регулирования тока несрабатывания 9,5–14,0 А.

Принимаем в качестве автоматического выключателя QF1, исходя из условий (1.13), (1.14) по табл. 2.3 (прил. 2), трехполюсный автомат типа ВА 51Г-25 с номинальным током  $I_{\text{на}} = 25 \text{ А}$  и номинальным током теплового расцепителя  $I_{\text{нр}} = 12,5 \text{ А}$ .

Определим по формуле (1.16) расчетное значение кратности тока отсечки:

$$K_{\text{то}} \geq \frac{1,25 \cdot 72,1}{12,5} = 7,21.$$

Принимаем по табл. 2.3 (прил. 2) стандартное значение  $K_{\text{то}} = 14$ . В этом случае  $I_{\text{ср}_3} = 14 \cdot 12,5 = 175 \text{ А}$ . Проверяем по (1.15) невозможность срабатывания автомата при пуске электродвигателя:

$$I_{\text{ср}_3} \geq 1,25 \cdot 72,1 = 90,1 \text{ А.}$$

Так как  $175 > 90,3 \text{ А}$ , то автоматический выключатель не будет отключаться в момент пуска электродвигателя.

Выбор плавкого предохранителя FU1 производится исходя из условий (1.5), (1.6). Так, при легких условия пуска получаем:

$$I_{\text{вс}} \geq 10,3 \text{ А;}$$

$$I_{\text{вс}} \geq \frac{72,1}{2,5} = 28,8 \text{ А.}$$

По табл. 2.2 (прил. 2) выбираем предохранитель НПН2-63 с номинальным током плавкой вставки  $I_{bc} = 31$  А.

Рассмотрим пример выбора коммутационных и защитных аппаратов для многодвигательного привода (рис. 1.2, а).

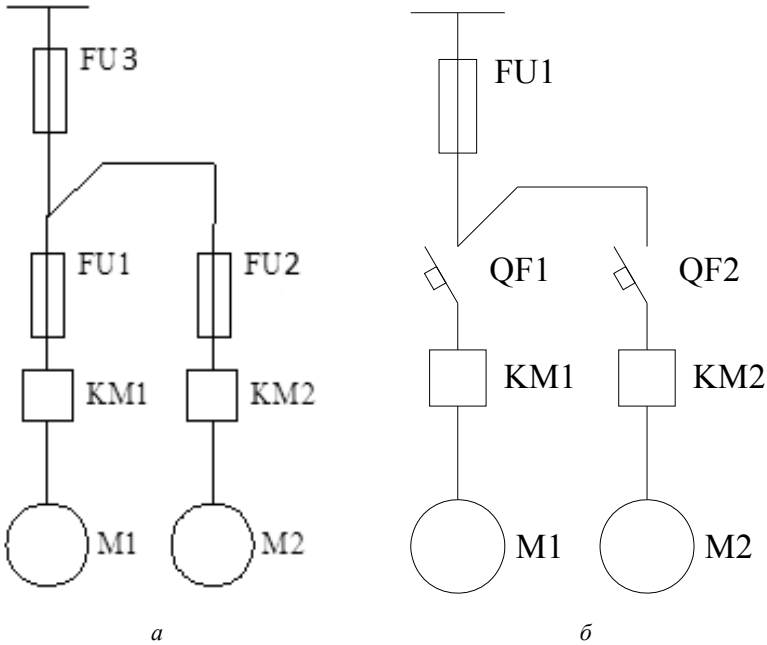


Рис. 1.2. Схемы электроснабжения электропривода двухдвигательного потребителя

Для многодвигательного привода шестишпиндельного автомата № 15  $P_{мех} = 24,8$  кВт выбираем 2 электродвигателя типов:

– АИР132М4:  $P_n = 11,0$  кВт,  $\eta_n = 0,875$ ,  $\cos \varphi_n = 0,87$ ,  $\frac{I_{пуск}}{I_n} = 7,5$ .

– АИР160S4:  $P_n = 15,0$  кВт,  $\eta_n = 0,895$ ,  $\cos \varphi_n = 0,89$ ,  $\frac{I_{пуск}}{I_n} = 7,0$ .

Номинальные токи двигателей:

$$I_{\text{ндв1}} = \frac{11,0 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,875 \cdot 0,87} = 20,9 \text{ А}$$

и

$$I_{\text{ндв2}} = \frac{15,0 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,895 \cdot 0,89} = 27,2 \text{ А.}$$

Выбираем магнитные пускатели ПМЛ-210004  $I_{\text{нп1}} = 25 \text{ А}$  и ПМЛ-310004  $I_{\text{нп2}} = 40 \text{ А}$  и, соответственно, тепловые реле РТЛ-101604  $I_{\text{нр}} = 25 \text{ А}$  и РТЛ-205304  $I_{\text{нр}} = 40 \text{ А}$ .

Исходя из условий (1.5) и (1.6) в качестве FU1 и FU2 выбираем предохранители ПН2-100/63 и ПН2-100/80 соответственно. Последовательно расположенный предохранитель FU3 по условию селективности должен иметь номинальный ток плавкой вставки в 1,6–2 раза больше максимального из двух имеющихся значений. На основании этого в качестве FU3 принимаем ПН2-250/160.

Следует отметить, что предложенный вариант с использованием плавких предохранителей как для защиты асинхронных двигателей (FU1, FU2), так и для защиты питающей шестишпиндельный автомат линии (FU3) приводит к завышению номинального тока плавкой вставки последнего, что приводит к загромождению защиты. Более предпочтительной является схема, изображенная на рис. 1.2, б. В этом случае выбор плавкой вставки предохранителя, защищающего питающую шестишпиндельный автомат линию (FU1 на рис. 1.2, б), осуществляется по условиям (1.5) и (1.6), а проверка – по условиям (1.11) и (1.12). Метод определения расчетного тока для нескольких одновременно работающих асинхронных двигателей изложен в разделе 2 настоящего пособия.

Выбор электродвигателей, коммутационных и защитных аппаратов для других механизмов аналогичен. Результаты выбора сводятся в таблицы, например табл. 1.1–1.4.

Выбор электродвигателей для привода механизмов

№ на плане	Название оборудования	Кол-во, шт.	Потреб. мощность, кВт	Тип двигателя	$P_{нв}$ , кВт	КПД, %	$\cos \varphi_n$	$I_{пуск}/I_{ном}$	$I_{нв}$ , А	$I_{пуск}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
...										
7	Автомат	1	4,5	АИР112М4	5,5	87,5	0,88	7	10,3	72,1
...										
15	Шестишпиндельный автомат	1	24,8	АИР132М4 АИР160S4	11 15	87,5 89,5	0,87 0,89	7,5 7	20,9 27,2	156,4 190,3
...										

Выбор магнитных пускателей и тепловых реле

№	Название оборудования	$I_{нл}$ , А	Пускатель магнитный	$I_{нв}$ , А	Тепловое реле	$I_{нв}$ , А
1	2	3	4	5	6	7
...						
7	Автомат	10,3	ПМЛ 210004	25	РТЛ101604	25
...						
15	Шестишпиндельный автомат	20,9 27,2	ПМЛ 210004 ПМЛ 310004	25 40	РТЛ101604 РТЛ205304	25 40
...						



Таблица 1.3

## Выбор предохранителей

№ на плане	Название оборудования	$I_{длв}$	$I_{пуск}$	$I_{пуск}/\alpha$	Тип предохранителя	$I_{пр}$	$I_{пл.вст.}$	Тип предохранителя	$I_{пр}$	$I_{пл.вст.}$
		А	А	А		А	А		А	А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
...										
7	Автомат	10,3	72,1	28,9	-	-	-	НПН2-63	63	31
...										
15	Шестишиндельный автомат	20,9	156,4	62,6	ПН2-100	100	63	ПН2-250	250	160
		27,2	190,3	76,1	ПН2-100	100	80			
...										

Таблица 1.4

## Выбор автоматических выключателей

№ на плане	Название оборудования	$I_{длв}$	Тип автоматического выключателя	$I_{длв}$	$I_{пр}$	$K_{то}$
		А				
1	2	3	4	5	6	7
...						
7	Автомат	25	ВА 51Г-25	25	12,5	14
...						

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЦЕХА

Определение электрических нагрузок на стадии проектирования производится методом расчетных коэффициентов, который учитывает значения постоянных времени нагрева различных элементов сети. Расчет электрических нагрузок производится для каждого электрического узла, от которого питаются электроприемники.

Расчет силовых нагрузок проводится одновременно с формированием питающих сетей. Расчет электрических нагрузок производится в последовательности, обратной направлению питания, – от низших ступеней распределения электроэнергии к высшим. Целью расчета является определение расчетных токов элементов питающей сети, выбор сечений проводников по нагреву и типов распределительных устройств на напряжении до 1 кВ.

Исходной информацией для выполнения расчетов по данному методу является перечень электроприемников с указанием их номинальных мощностей  $P_n$ , а также для каждого электроприемника по табл. 3.1 (прил. 3) подбираются значения коэффициента использования  $K_{и}$ , коэффициенты мощности  $\cos \varphi$  и реактивной нагрузки  $\operatorname{tg} \varphi_n$ . Все эти данные представляются в виде табл. 2.1.

Таблица 2.1

Пример оформления исходных данных для расчета нагрузок

№ на плане	Название оборудования	$P$ , кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
1	2	3	4	5	6
1	Круглошлифовальный станок	2,2	0,3	0,65	1,169
2	Электроискровой шлифовальный станок	11	0,3	0,65	1,169
		11	0,3	0,65	1,169
3	Наждак	3	0,14	0,5	1,732
4	Рейсмусовый станок	4	0,14	0,5	1,732
...					
7	Автомат	5,5	0,2	0,6	1,333
...					
15	Шестишпиндельный автомат	11	0,2	0,6	1,333
		15	0,2	0,6	1,333
...					

Расчетная активная нагрузка электроприемников определяется по выражению:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n K_{ni} P_{ni}, \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

где  $K_p$  – коэффициент расчетной нагрузки, определяемый по справочной литературе в зависимости от группового коэффициента использования  $K_{и}$ , эффективного числа электроприемников  $n_{эф}$  и постоянной времени нагрева.

Средневзвешенный (групповой) коэффициент использования:

$$K_{и} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ni} \cdot P_{ni}}{\sum_{i=1}^n P_{ni}}. \quad (2.2)$$

Эффективное число электроприемников определяется по формуле:

$$n_{эф} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_{ni} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{ni}^2}. \quad (2.3)$$

Расчетная реактивная мощность группы определяется:

$$Q_p = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n K_{ni} P_{ni} \cdot \text{tg } \varphi_i, & \text{при } n_{эф} \leq 10; \\ \sum_{i=1}^n K_{ni} P_{ni} \cdot \text{tg } \varphi_i, & \text{при } n_{эф} > 10. \end{cases} \quad (2.4)$$

Расчетная полная мощность:

$$S_p = \sqrt{Q_p^2 + P_p^2}. \quad (2.5)$$

Ток группы рассчитывается по выражению (1.8).

Необходимо разделить все электроприемники на группы по упорядоченному принципу [3]:

Группа А1 включает электроприемники № 1, 2, 3, 4;

– А2 – № 5, 6, 6, 6, 7, 8;

– А3 – № 9, 9, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 16, 16, 17, 21, 21, 22, 22, 23, 1;

– А5 – № 13, 13, 13, 13, 14, 17, 18;

– А6 – № 27;

– А7 – № 21, 21, 24, 25, 26;

– А8 – № 18, 19, 19, 19, 20, 20.

### Пример расчета для группы А1:

Определяем средневзвешенный коэффициент использования по выражению (2.2):

$$K_{и} = \frac{0,3 \cdot 2,2 + 0,3 \cdot 11 + 0,3 \cdot 11 + 0,14 \cdot 3 + 0,14 \cdot 4}{2,2 + 11 + 11 + 3 + 4} = 0,26.$$

Определяем эффективное число электроприемников по (2.3):

$$n_{эф} = \frac{(2,2 + 11 + 11 + 3 + 4)^2}{2,2^2 + 11^2 + 11^2 + 3^2 + 4^2} = 3,6.$$

По табл. 3.5 (прил. 3) [2] определяем  $K_p = 1,83$ .

Расчетная активная мощность группы по формуле (2.1):

$$P_p = 1,83 \cdot (0,3 \cdot 2,2 + 0,3 \cdot 11 + 0,3 \cdot 11 + 0,14 \cdot 3 + 0,14 \cdot 4) = 15,0 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная мощность группы по формуле (2.4):

$$Q_p = 1,1 \cdot (0,3 \cdot 2,2 \cdot 1,17 + 0,3 \cdot 11 \cdot 1,17 + \\ + 0,3 \cdot 11 \cdot 1,17 + 0,14 \cdot 3 \cdot 1,73 + 0,14 \cdot 4 \cdot 1,73) = 11,2 \text{ квар.}$$

Расчетная полная мощность группы по (2.5):

$$S_p = \sqrt{15,0^2 + 11,2^2} = 18,8 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Расчетный ток группы по (1.8):

$$I_p = \frac{18,8 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 27,1 \text{ А.}$$

Аналогично рассчитываются остальные группы, результаты сводятся в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты расчета нагрузок для групп электрооборудования

Наименование группы	$K_n$	$n_{эф}$	$K_p$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
A1	0,26	3,6	1,8	15,0	11,2	18,8	27,1
A2	0,17	3,6	2,6	6,7	4,3	7,9	11,5
A3	0,23	11,9	1,3	40,5	40,5	57,3	82,7
A5	0,15	1,9	4,3	10,1	4,2	11,0	15,8
A6	0,20	1,0	4,0	6,0	2,9	6,6	9,6
A7	0,19	4,0	2,0	8,7	6,7	11,0	15,8
A8	0,14	4,3	2,3	26,8	22,1	34,8	50,2
По цеху	0,20	25,58	1,03	64,02	87,20	108,18	156,14

### 3. ВЫБОР СХЕМЫ И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЦЕХА

Электрические сети промышленных предприятий напряжением до 1 кВ конструктивно выполняются в виде шинопроводов, электропроводок и кабельных линий электропередачи. В электропроводках производственных объектов широко применяются провода с поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами марки АПВ и медными жилами марки ПВ. Также электропроводки и кабельные линии в сетях промышленных предприятий до 1 кВ часто выполняют с помощью кабелей в пластмассовой или резиновой оболочках (например АВВГ, АНРГ, АПВГ и т. п.). Для питания перемещающихся электроприемников (крановых установок, подъемников и т. п.) могут применяться гибкие шланговые кабели с медными жилами марки КГ и КГН. В пожароопасных зонах классов П-I и П-II и во взрывоопасных зонах питание крановых установок осуществляется с помощью кабеля марки КГН. На промышленном предприятии электрические внутрицеховые сети должны быть совместимы с условиями окружающей среды и производства. В зависимости от условий окружающей среды, территориального размещения электроприемников, величины и характера электрической нагрузки приемников и потребителей электроэнергии, возможных электродинамических, механических и термических воздействий на проводники, а также требований электробезопасности и технической эстетики внутренние электропроводки могут проектироваться в различных конструктивных исполнениях [4].

Выбор кабелей, питающих силовые пункты, и шинопроводов производится по допустимому нагреву длительными токами нагрузки. Допустимый по нагреву ток:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{п}}}, \quad (3.1)$$

где  $K_{\text{п}}$  – поправочный коэффициент на фактические условия прокладки проводов и кабелей ( $K_{\text{п}} = K_1 \cdot K_2$ , где  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты, учитывающие фактическую температуру окружающей среды и количество совместно проложенных проводников).  $K_1$  определяется

по справочнику или рассчитывается в зависимости от фактической температуры окружающей среды. Значение  $K_2$  для кабелей, проложенных рядом в земле, дано в табл. 4.10 (прил. 4). Выбранные по нагреву сечения проводников должны соответствовать их защитным аппаратам, что проверяется по условию:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_3 \cdot K_3}{K_{\text{п}}}, \quad (3.2)$$

где  $I_3$  – номинальный ток (срабатывания) защитного аппарата, А;

$K_3$  – кратность длительно допустимого тока проводника по отношению к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата.

В сетях, защищаемых только от КЗ, не требующих защиты от перегрузки, принимаются следующие минимальные значения коэффициента  $K_3$  в соответствии с ПУЭ:

–  $K_3 = 1$  для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой;

–  $K_3 = 0,33$  для номинального тока плавкой вставки предохранителя.

Следует отметить, что, согласно ПУЭ, силовые сети на промышленных предприятиях должны быть защищены от перегрузки только в случаях, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников. Также требуют защиты от перегрузки силовые сети, расположенные во взрывоопасных зонах.

Шинопроводы выбираются таким образом, чтобы номинальный ток шинопровода  $I_{\text{ш}}$  был не меньше расчетного тока группы  $I_{\text{р}}$ :

$$I_{\text{ш}} \geq I_{\text{р}}. \quad (3.3)$$

Силовые ящики выбираются по расчетному току группы электроприемников, но с учетом того, что этот номинальный ток силового ящика должен соответствовать номинальному току шинопровода, после которого этот ящик установлен.

Предохранители выбираются по условиям (1.5), (1.6) с учетом селективности (номинальные токи плавких вставок двух последовательно расположенных предохранителей по направлению потока энергии должны различаться не менее чем в 1,6–2 раза).

Распределительные панели выбираются с учетом количества присоединяемых к ним линий, их расчетных токов и требуемых защитных аппаратов.

### **Пример**

Внутрицеховая электрическая сеть представлена питающей сетью в виде кабеля, идущего от трансформаторной подстанции до вводной панели типа ЩО, и распределительной в виде проводов, отходящих от силовых пунктов и шинопроводов к электроприемникам.

#### Выбор распределительного шинопровода АЗ

Номинальный ток шинопровода определяется исходя из выражения (3.3):

$$I_p = 82,7 \text{ А},$$

$$I_n \geq 82,7 \text{ А}.$$

Выбираем шинопровод по табл. 2.16 (прил. 2) типа ШРА5-250 с номинальным током вводного рубильника  $I_{\text{ном}} = 250 \text{ А}$  и силовой ящик по табл. 2.14 (прил. 2) типа ЯВЗ-35-1М с  $I_{\text{ном}} = 250 \text{ А}$ .

#### Выбор распределительного шкафа А2

Для группы электроприемников  $I_p = 11,5 \text{ А}$ , тогда для распределительного шкафа  $I_n \geq 11,5 \text{ А}$ . По условию (3.3) и условию соответствия аппаратам защиты из табл. 2.11 (прил. 2) выбирается шкаф распределительный ШР11-73704.

#### Выбор предохранителя, защищающего распределительный шкаф А5

Длительный расчетный ток линии до момента пуска двигателя с наибольшим из пусковых токов приемников в группе определяется по формуле (1.10):

$$I'_{\text{дл}} = 15,8 - 0,14 \cdot 20,9 = 12,87 \text{ А}.$$

Пиковый ток линии по (1.9):

$$I_{\text{пик}} = 156,4 + 12,87 = 169,27 \text{ А}.$$



Ток плавкой вставки по (1.5) и (1.6):

$$I_{\text{вс}} \geq 15,8 \text{ А};$$

$$I_{\text{вс}} \geq \frac{169,27}{2,5} = 67,708 \text{ А}.$$

С учетом условия селективности по табл. 2.2 (прил. 2) выбираем предохранитель ПН2-100/100.

Выбор кабеля, питающего распределительный шкаф А1, по выражениям (3.1) и (3.2):

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{27,1}{1} = 27,1 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{27,1 \cdot 0,33}{1} = 8,93 \text{ А}.$$

Из табл. 4.2 (прил. 4) выбираем кабель АВВГ 5×6-0,66 с допустимым током 32 А.

Выбор кабеля, питающего цех от трансформаторной подстанции:  
Допустимый по нагреву ток по выражениям (3.1) и (3.2):

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{156,14}{1} = 156,14 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{156,14 \cdot 1}{1} = 156,14 \text{ А}.$$

Из табл. 4.2 (прил. 4) выбираем кабель АВВГ 5×50-0,66 с допустимым током 175 А (прокладка в земле).

По расчетному току нагрузки групп электроприемников, числу этих групп и условию соответствия защитного аппарата панели типу защитного аппарата групп электроприемников (в данном случае предохранителям ПН2) и его номинальному току выбираем две линейные панели ЩО70-02 с рубильниками и предохранителями 250×4, одну линейную панель ЩО70-05 с рубильниками и предохранителями 100×6.

Таблица 3.1

## Выбор сечений проводов, питающих электроприемники

№ на плане	Название оборудования	$I_n/K_{п.}$ А	$K_3$	$I_n \cdot K_3/K_{п.}$ А	$I_{н.пр.}$ А	Марка провода
1	2	3	4	5	6	7
1	Круглошлифовальный станок	4,7	0,33	1,6	19	АПВ 5(1×2,5)
2	Электроискровой шлифовальный станок	20,9	0,33	6,9	19	АПВ 5(1×2,5)
		20,9	0,33	6,9		
3	Наждак	6,4	0,33	2,1	19	АПВ 5(1×2,5)
4	Рейсмусовый станок	8,1	0,33	2,7	19	АПВ 5(1×2,5)
5	Автомат	2,6	0,33	0,9	19	АПВ 5(1×2,5)
6	Настольно-сверлильный станок	2,6	0,33	0,9	19	АПВ 5(1×2,5)
7	Автомат	10,3	0,33	3,4	19	АПВ 5(1×2,5)
8	Отрезной ножовочный станок	10,3	0,33	3,4	19	АПВ 5(1×2,5)
9	Холодновысадочный автомат	10,3	0,33	3,4	19	АПВ 5(1×2,5)
10	Вентиляция	10,3	0,33	3,4	19	АПВ 5(1×2,5)
11	Резьбонакаточный станок	27,2	0,33	9,0	19	АПВ 5(1×2,5)
12	Резьбонакаточный станок	6,4	0,33	2,1	19	АПВ 5(1×2,5)
13	Керновый автомат	1,6	0,33	0,5	19	АПВ 5(1×2,5)
14	Электрофильтровый станок	2,6	0,33	0,9	19	АПВ 5(1×2,5)
15	Шестишпиндельный автомат	20,9	0,33	6,9	19	АПВ 5(1×2,5)
		27,2	0,33	9,0		
16	Пресс кривошипный	6,4	0,33	2,1	19	АПВ 5(1×2,5)
17	Пресс штамповочный	2,6	0,33	0,9	19	АПВ 5(1×2,5)
18	Пресс штамповочный	20,9	0,33	6,9	19	АПВ 5(1×2,5)
19	Ультразвуковой станок	40,6	0,33	13,4	19	АПВ 5(1×2,5)
20	Радиально-сверлильный станок	6,4	0,33	2,1	19	АПВ 5(1×2,5)
21	Токарный станок	14,4	0,33	4,7	19	АПВ 5(1×2,5)
22	Бесцентрошлифовальный станок	33,3	0,33	11,0	19	АПВ 5(1×2,5)

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7
23	Плоскошлифовальный станок	10,3	0,33	3,4	19	АПВ 5(1×2,5)
24	Насос эмульсии и воды	4,7	0,33	1,6	19	АПВ 5(1×2,5)
25	Фрезерный станок	6,4	0,33	2,1	19	АПВ 5(1×2,5)
26	Токарный станок	6,4	0,33	2,1	19	АПВ 5(1×2,5)
27	Кран-балка ПВ-40 %	11,8	1	11,8	20	КГ 5(1×1,5)

Таблица 3.2

Результаты расчета внутрицеховой электрической сети

№	$I_p$ , А	Шинопровод	Распределительный шкаф	Силовой ящик	Предохранитель	Кабель	
						марка	$I_{пр}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8
A1	27,1	–	ШР11-73707	–	ПН2-250/200	АВВГ 5×6-0,66	32
A2	11,5	–	ШР11-73704	–	ПН2-100/50	АВВГ 5×2,5	19
A3	82,7	ШРА4-250	–	ЯВ3-32-1	ПН2-250/100	АВВГ 5×35-0,66	90
A5	15,8	–	ШР11-73709	–	ПН2-100/100	АВВГ 5×2,5	19
A6	9,6	ШМТ-АУ2	–	ЯРП11-351	ПН2-250/125	АВВГ 5×2,5	19
A7	15,8	–	ШР11-73701	–	ПН2-100/80	АВВГ 5×2,5	19
A8	50,2	–	ШР11-73706	–	ПН2-250/160	АВВГ 5×16-0,66	60

#### **4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЗАЖИМАХ НАИБОЛЕЕ УДАЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ**

Электропривод станков осуществляется асинхронными электродвигателями серии АИ или 4А. Для управления ими рекомендуется применять магнитные пускатели с тепловыми реле серии ПМЛ, ПМА и т. п. Защиту двигателей целесообразно выполнять автоматическими выключателями серии ВА51 и др. Допускается вместо выключателей использовать предохранители с плавкими вставками (типа ППН, ПН2 и т. п.).

В распределительных панелях РП и шинопроводах для защиты отходящих линий, как правило, должны применяться предохранители. Отметим, что в шинопроводах ШРА5 на номинальные токи 250 А и более устанавливаются предохранители только одного типоразмера – ПН2-100.

Выключатели QF1 и QF2 следует принять с комбинированными или полупроводниковыми расцепителями серии ВА51, ВА52, ВА53 и т. п. Необходимо обеспечить селективность в работе выключателей QF1, QF2 и защитных аппаратов цеховых распределительных устройств, что достигается соответствующим подбором уставок автоматов и плавких вставок предохранителей. Расчетные нагрузки для каждой группы электроприемников и цеха в целом определяются методом коэффициента расчетной нагрузки.

Питание электроприемников целесообразно осуществлять по магистральной схеме с применением распределительных шинопроводов. Цеховой РП выполняется панелями типа ЩО70, П94 и т. п. Шинопроводы к РП цеха можно подключать небронированными кабелями (марки АВВГ и т. п.) или проводами марки АПВ, проложенными в пластмассовых трубах.

Питающая линия от ТП до цехового РП выполняется кабелем.

Сечения проводов и жил кабелей напряжением до 1 кВ выбираются по нагреву расчетным током. Выбранное сечение должно быть согласовано с номинальным током плавкой вставки предохранителя или расцепителя автоматического выключателя, защищающих данный участок.

Для определения напряжения на зажимах электроприемников необходимо найти потери напряжения в трансформаторе, линиях и

шинопроводах. В работе рекомендуется принять трансформаторы типа ТМГ или ТМЗ.

Потеря напряжения в трансформаторе в % в общем случае рассчитывается по выражению:

$$\begin{aligned} \Delta U_T = \beta_T \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_T + U_p \cdot \sin \varphi_T) + \\ + \frac{\beta_T}{200} (U_a \cdot \cos \varphi_T + U_p \cdot \sin \varphi_T)^2, \end{aligned} \quad (4.1)$$

где  $\beta_T$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$U_a$  и  $U_p$  – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания  $U_k$ ;

$\cos \varphi_T$  – коэффициент мощности нагрузки трансформатора.

Для трансформаторов с номинальной мощностью  $S_H \leq 1000$  кВА вторым членом формулы можно пренебречь. Тогда

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_T + U_p \cdot \sin \varphi_T). \quad (4.2)$$

Следует отметить, что на вновь проектируемых предприятиях рекомендуется не использовать трансформаторы малой мощности – до 1000 кВА, т. е. расчет будет проводиться по формуле (4.1).

Значения  $U_a$  и  $U_p$  в % определяются по формулам:

$$U_a = \frac{\Delta P_k}{S_{ном}} \cdot 100, \quad (4.3)$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2}, \quad (4.4)$$

где  $\Delta P_k$  – потери мощности короткого замыкания трансформатора.

Потеря напряжения в линии электропередачи в %:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_p \cdot l}{U_{ном}} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (4.5)$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии;

$l$  – длина линии, км;

$r_0$  и  $x_0$  – активное и индуктивное сопротивления линии;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки линии;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение сети.

Потеря напряжения в распределительном шинопроводе с равномерной нагрузкой:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 0,5 \cdot I_{\text{р}} \cdot l_{\text{ш}}}{U_{\text{н}}} \cdot (r_{0\text{ш}} \cdot \cos \varphi + x_{0\text{ш}} \cdot \sin \varphi), \quad (4.6)$$

где  $I_{\text{р}}$  – расчетный ток шинопровода;

$l_{\text{ш}}$  – длина шинопровода, км;

$r_{0\text{ш}}$  и  $x_{0\text{ш}}$  – активное и индуктивное сопротивления расчетного участка шинопровода;

$\cos \varphi_{\text{ш}}$  – коэффициент мощности нагрузки шинопровода.

Потерей напряжения в проводниках, подключающих электроприемники к шинопроводу, можно пренебречь. Тогда напряжение на зажимах электроприемника в % определяется как:

$$U_{\text{э}} = U_{\text{хх}} - \sum_{i=1}^n \Delta U_i, \quad (4.7)$$

где  $U_{\text{хх}}$  – напряжение холостого хода трансформатора,  $U_{\text{хх}} = 105\%$ ;

$U_i$  – потеря напряжения в  $i$ -м элементе схемы (трансформаторе, линиях, шинопроводе);

$n$  – число элементов на пути от ТП до точки, в которой определяется  $U_{\text{э}}$ .

Электрические сети на напряжении до 1 кВ, рассчитанные на нагрев, проверяются на потерю напряжения за исключением силовых сетей, питающихся от пристроенных, встроенных и внутрицеховых комплектных ТП. В нормальном режиме допускаются отклонения напряжения от номинального на зажимах электродвигателей в пределах от  $-5\%$  до  $+10\%$  от номинального (400 В). Если напряжение ниже допустимого, то необходимо предусмотреть мероприятия, уменьшающие потери напряжения в распределительной сети: компенсацию реактивной мощности, увеличение сечений проводов, жил кабелей и т. п.

## Пример

Расчетная схема представлена на рис. 4.1.

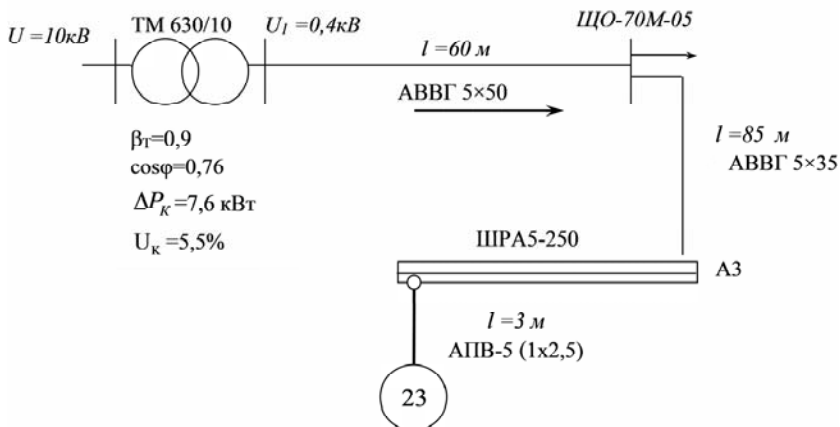


Рис. 4.1. Расчетная схема для расчета уровня напряжения

Потеря напряжения в процентах в трансформаторе с  $S_{н} \leq 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$  определяется по выражению (4.2), где  $\beta_T$  – коэффициент загрузки трансформатора ( $\beta_T = 0,9$ ),  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности трансформатора, принимаем  $\cos \varphi = 0,76$ ,  $U_a$  – активная составляющая напряжения КЗ,  $U_p$  – реактивная составляющая напряжения КЗ.

Значения  $U_a$  и  $U_p$  в процентах определяют по формулам (4.3) и (4.4):

$$U_a = \frac{7,6}{630} \cdot 100 = 1,206 \%;$$

$$U_p = \sqrt{5,5^2 - 1,206^2} = 5,37 \%.$$

Тогда потери напряжения в данном трансформаторе будут равны:

$$\Delta U_T = 0,9 \cdot (1,206 \cdot 0,76 + 5,37 \cdot 0,65) = 3,96 \%.$$

Определим потери напряжения в кабельной линии на участке «ТП – ЩО-70-05» по (4.5):

Для кабеля АВВГ 5x50-0,66 имеем:  $r_0 = 0,625 \text{ Ом/км}$  и  $x_0 = 0,0625 \text{ Ом/км}$ , длина  $l = 60 \text{ м}$ .

Значения  $\cos \varphi$  и  $\sin \varphi$ :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_p}{P_p} = 1,39;$$

$$\cos \varphi = 0,58; \quad \sin \varphi = 0,81.$$

$$\Delta U_{\text{Л1}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 156,1 \cdot 60}{400 \cdot 1000} \cdot 100 \cdot (0,625 \cdot 0,59 + 0,0625 \cdot 0,81) = 1,705 \%$$

Потери напряжения в кабельной линии на участке «ЩО-70-05 – А3»:  
Для кабеля АВВГ  $5 \times 35-0,66$  имеем:  $r_0 = 0,894$  Ом/км и  $x_0 = 0,0637$  Ом/км, длина  $l = 85$  м (определяется по плану цеха).

Значения  $\cos \varphi$  и  $\sin \varphi$ :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_p}{P_p} = \frac{40,5}{40,5} = 1,0;$$

$$\cos \varphi = 0,71; \quad \sin \varphi = 0,71.$$

$$\Delta U_{\text{Л2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 82,7 \cdot 85}{400 \cdot 1000} \cdot (0,894 \cdot 0,71 + 0,0637 \cdot 0,71) = 2,06 \%$$

Потеря напряжения для шинпровода (4.6):

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 0,5 \cdot 82,7 \cdot 54}{400 \cdot 1000} \cdot (0,177 \cdot 0,71 + 0,214 \cdot 0,71) = 0,267 \%$$

Потерей напряжения в ответвлениях к отдельным электроприемникам можно пренебречь, тогда напряжение на зажимах электроприемника в % по (4.7):

$$U_3 = 105 - (3,96 + 1,705 + 2,06 + 0,267) = 97,008 \%$$

Вывод: уровень напряжения на зажимах наиболее удаленного электроприемника, равный 97,008 %, находится в допустимых пределах 95–110 %.



## 5. ОБЗОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ГОРНЫХ МАШИНАХ И ОБОРУДОВАНИИ

Следующим пунктом курсового проекта является обзор электродвигателей, используемых в горных машинах и оборудовании. Далее производится расчет основных размеров электродвигателя по заданию преподавателя и выполнение чертежа двигателя по методике, изложенной в [7].

## 6. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, ОБМОТОК СТАТОРА И РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

По заданию на курсовое проектирование необходимо произвести расчет одного из выбранных в работе двигателей. Расчет производится по методике, изложенной в [7].

В качестве примера рассмотрим расчет двигателя электроискрового шлифовального станка АИР132S4 с номинальными данными:

–  $P_2 = 11$  кВт,  $U = 400$  В,  $2p = 4$ ,  $n = 1500$  об/мин;

–  $\eta = 87,5$  %,  $\cos \varphi = 0,87$ .

Высота оси вращения  $h = 132$  мм.

### 6.1. Расчет основных размеров электродвигателя

Для высоты оси вращения 132 мм наружный диаметр статора  $D_a$  принимают из табл. 6.6 [7] равным 255 мм.

Внутренний диаметр статора  $D$ :

$$D = K_D \cdot D_a = 0,65 \cdot 0,255 = 0,166 \text{ м},$$

где  $K_D = 0,65$  – коэффициент, характеризующий отношение внутреннего и внешнего диаметров сердечника статора, выбирается по табл. 6.7 [7] для двигателя  $2p = 4$ .

Полюсное деление  $\tau$  (6.3) [5]:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot 0,166}{2 \cdot 2} = 0,130 \text{ м},$$

где  $2p = 4$  – число полюсов.

Расчетная мощность  $P'$  (6.4) [5]:

$$P' = \frac{P_2 K_E}{\eta \cdot \cos \varphi} = \frac{11000 \cdot 0,973}{0,875 \cdot 0,87} = 14 \text{ кВт},$$

где  $P_2$  – мощность на валу двигателя, Вт,  $P_2 = 11000$  Вт;

$K_E$  – отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению, определяется по рис. 6.8 [7],  $K_E = 0,973$ ;

$\eta = 0,875$  – коэффициент полезного действия;

$\cos \varphi = 0,87$  – коэффициент мощности.

Электромагнитные нагрузки предварительно по рис. 6.11 [7]:  $A = 29000$  А/м,  $B_\delta = 0,89$  Тл.

Выбирается тип обмотки статора, в данном случае – всыпная, выполняемая из круглого обмоточного провода, предварительное значение обмоточного коэффициента  $k_{об1} = 0,91$ .

Синхронная угловая скорость вала двигателя  $\omega$  (6.5) [7]:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_1}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1500}{60} = 157 \text{ рад/с},$$

где  $n_1 = 1500$  об/мин – синхронная угловая частота вращения.

Расчетная длина воздушного зазора  $l_\delta$  (9.6) [7]:

$$l_\delta = \frac{P'}{k_B \cdot \omega \cdot D^2 \cdot k_{об1} \cdot A \cdot B_\delta} = \\ = \frac{14000}{1,11 \cdot 157 \cdot 0,166^2 \cdot 0,91 \cdot 29000 \cdot 0,89} = 0,130 \text{ м},$$

где  $k_B = 1,11$  – коэффициент формы поля.

Критерием правильности выбора главных размеров  $D$  и  $l_\delta$  служит коэффициент  $\lambda$ , равный отношению принятой длины воздушного зазора  $l_\delta$  к полюсному делению  $\tau$ , который должен находиться в пределах, показанных на рис. 6.14 [7]:

$$\lambda = l_\delta / \tau = 130 / 130 = 1.$$

Отношение принятой длины воздушного зазора  $l_\delta$  к полюсному делению  $\tau$  находится в рекомендуемых пределах.

## 6.2. Расчет обмоток статора

Предельные значения  $t_1$  по рис. 6.15 [7]  $t_{1\max} = 14,2$  мм и  $t_{1\min} = 10,5$  мм.

Возможные числа пазов статора  $Z_{1\min}$  и  $Z_{1\max}$ , соответствующие выбранному диапазону, по формуле (6.16) [7]:

$$Z_{1\min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1\max}} = \frac{\pi \cdot 0,166}{0,0142} = 36,7;$$

$$Z_{1\max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1\min}} = \frac{\pi \cdot 0,166}{0,0105} = 49,6.$$

Принимаем  $Z_1 = 48$ , тогда число пазов на полюс и фазу  $q$ :

$$q = \frac{Z_1}{2 \cdot p \cdot m} = \frac{48}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 4;$$

$$A = \frac{2 \cdot I_{1н} \cdot w_1 \cdot m}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 12 \cdot 208 \cdot 3}{\pi \cdot 0,166} = 28875 \text{ А/м};$$

$$w_1 = \frac{u_{п} \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m} = \frac{26 \cdot 48}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 208,$$

где  $m = 3$  – число фаз.

Зубцовое деление статора  $t_1$  окончательно:

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{Z_1} = \frac{\pi \cdot 0,166}{48} = 10,8 \text{ мм.}$$

Номинальный ток обмотки статора  $I_{1н}$  рассчитывается по формуле (6.18) [7]:

$$I_{1н} = \frac{P_2}{m \cdot U_{1н} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{14000}{3 \cdot 400 \cdot 0,875 \cdot 0,86} = 12 \text{ А},$$

где  $U_{1н} = 400$  В – номинальное напряжение обмотки статора.

Число эффективных проводников в пазу  $u'_n$  при условии, что параллельные ветви в обмотке отсутствуют, то есть  $a = 1$ , предварительно по формуле (6.17) [7]:

$$u'_n = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{1H} \cdot Z_1} = \frac{\pi \cdot 0,166 \cdot 29000}{12 \cdot 48} = 26,1.$$

Принимаем  $a = 1$ , тогда число эффективных проводников в пазу  $u_n$  (6.19) [7]:

$$u_n = u'_n \cdot a \approx 26.$$

Окончательное значение числа витков в фазе обмотки статора  $w_1$  (6.20) [7]:

$$w_1 = \frac{u_n \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m} = \frac{26 \cdot 48}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 208.$$

Окончательное значение линейной нагрузки  $A$  (6.21) [7]:

$$A = \frac{2 \cdot I_{1H} \cdot w_1 \cdot m}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 12 \cdot 208 \cdot 3}{\pi \cdot 0,166} = 28875 \text{ А/м.}$$

Окончательное значение магнитного потока  $\Phi$  (6.22) [7]:

$$\Phi = \frac{K_E \cdot U_n}{4 \cdot k_B \cdot \omega_1 \cdot k_{об1} \cdot f_1} = \frac{0,98 \cdot 400}{4 \cdot 0,957 \cdot 208 \cdot 0,91 \cdot 50} = 0,0088 \text{ Вб.}$$

Окончательное значение магнитной индукции в воздушном зазоре  $B_\delta$  по формуле (9.23) [7]:

$$B_\delta = \frac{p \cdot \Phi}{D \cdot l_\delta} = \frac{2 \cdot 0,0088}{0,116 \cdot 0,13} = 0,857 \text{ Тл.}$$

Плотность тока в обмотке статора  $J_1$  предварительно определяется по формуле (6.25) [7]:

$$J_1 = \frac{(AJ)}{A} = \frac{190 \cdot 10^9}{28875} = 6,6 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2,$$

где  $AJ = 190 \cdot 10^9$  – произведение линейной нагрузки на плотность тока, определяется по рис. 6.16 [7].

Сечение эффективного проводника  $q_{\text{эф}}$  предварительно (6.24) [7]:

$$q_{\text{эф}} = \frac{I_{1\text{н}}}{a \cdot J_1} = \frac{12}{2 \cdot 6,6 \cdot 10^6} = 1,8 \text{ мм}^2.$$

Число элементарных проводников  $n_{\text{эл}} = 8$ . Сечение элементарного проводника:

$$q_{\text{эл}} = \frac{q_{\text{эф}}}{n_{\text{эл}}} = 0,23 \text{ мм}^2.$$

Выбирается обмоточный провод марки ПЭТВ (класс  $F$ ) по прил. П28 [7]. Площадь поперечного сечения неизолированного провода  $q_{\text{эл}} = 0,1963 \text{ мм}^2$ ; номинальный диаметр неизолированного провода  $d_{\text{эл}} = 0,5 \text{ мм}$ ; средний диаметр изолированного провода  $d_{\text{из}} = 0,545 \text{ мм}$ .

Тогда сечение эффективного проводника  $q_{\text{эф}}$  определяется по формуле:

$$q_{\text{эф}} = q_{\text{эл}} \cdot n_{\text{эл}} = 0,1963 \cdot 8 = 1,6 \text{ мм}^2.$$

Уточненная плотность тока в обмотке статора  $J_1$  по формуле (6.27) [7]:

$$J_1 = \frac{I_{1\text{н}}}{a \cdot q_{\text{эл}} \cdot n_{\text{эл}}} = \frac{12}{2 \cdot 0,1963 \cdot 10^{-6} \cdot 8} = 7,7 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2.$$

Выбираем трапецидальный паз статора по рис. 6.19,  $a$  [7] с соотношением размеров, обеспечивающим параллельность боковых граней зубцов.

Принимаем предварительно по табл. 6.10 [7] допустимую индукцию в ярме статора  $B_a = 1,55 \text{ Тл}$  и индукцию в зубце статора  $B_{z1} = 1,85 \text{ Тл}$ .

Тогда ширина зубца  $b_{z1}$  по формуле (6.39) [7]:

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{B_{z1} \cdot l_{\text{СТ1}} \cdot k_C} = \frac{0,857 \cdot 0,0124 \cdot 0,2513}{1,9 \cdot 0,13 \cdot 0,97} = 5,0 \text{ мм},$$

где  $l_{\text{СТ1}}$  – длина пакета статора, равная длине воздушного зазора  $l_{\delta}$ ;

$k_C = 0,97$  – коэффициент заполнения сталью пакета статора по табл. 6.11 [7].

Высота ярма статора  $h_a$  (6.28) [7]:

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot l_{CT1} \cdot k_C} = \frac{0,0088}{2 \cdot 1,6 \cdot 0,13 \cdot 0,97} = 22,9 \text{ мм.}$$

Высота шлица паза статора принимается  $h_{ш} = 1$  мм.

Ширина шлица паза статора принимается  $b_{ш} = 3,7$  мм.

Высота паза статора  $h_{п}$  (6.40) [7]:

$$h_{п} = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{255 - 166}{2} - 22,9 = 21,7 \text{ мм.}$$

Ширина паза  $b_1$  в самом узком месте (6.42) [7]:

$$b_1 = \frac{\pi(D + 2h_{ш} - b_{ш}) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{\pi(166 + 2 \cdot 1 - 3,7) - 42 \cdot 5,0}{42 - \pi} = 6,1 \text{ мм.}$$

Ширина паза  $b_2$  в самом широком месте (6-43) [7]:

$$b_2 = \frac{\pi(D + 2h_{п})}{Z_1} - b_{z1} = \frac{\pi(166 + 2 \cdot 21,7)}{42} - 5,0 = 8,6 \text{ мм.}$$

Определяем  $h_{п.к.}$  (6.44) [7]:

$$h_{п.к.} = h_{п} - (h_{ш} + \frac{b_2 - b_{ш}}{2}) = 21,3 - (1 + \frac{8,6 - 3,7}{2}) = 18,3 \text{ мм.}$$

Припуск на сборку по ширине паза  $\Delta b_{п} = 0,2$  мм, а по высоте паза  $\Delta h_{п} = 0,2$  мм.

Размеры паза статора в свету с учетом припуска на сборку (6.34) [7]:

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_{п} = 6,1 - 0,2 = 5,9 \text{ мм,}$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_{п} = 8,6 - 0,2 = 8,4 \text{ мм,}$$

$$h'_{п.к.} = h_{п.к.} - \Delta h_{п} = 18,3 - 0,2 = 18,1 \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников по формуле (6.51) [7]:

$$S'_{\text{п}} = \frac{b'_1 + b'_2}{2} h'_{\text{п.к.}} - S_{\text{из}} = \frac{5,9 + 8,6}{2} 18,1 - 33,8 = 86,9 \text{ мм}^2,$$

где  $S_{\text{из}}$  – площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу статора, определяемая по формуле (9.46) [7]:

$$S_{\text{из}} = b_{\text{из}} (2h_{\text{п}} + b_1 + b_2) = 33,8 \text{ мм}^2,$$

где  $b_{\text{из}}$  – односторонняя толщина изоляции,  $b_{\text{из}} = 0,58 \text{ мм}$ .

Коэффициент заполнения паза:

$$k_3 = \frac{d_{\text{из}}^2 \cdot u_{\text{п}} \cdot n_{\text{эл}}}{S'_{\text{п}}} = \frac{0,545^2 \cdot 26 \cdot 8}{86,9} = 0,71.$$

Полученное значение  $k_3$  допустимо как для ручной, так и для механизированной укладки обмотки.

Величина воздушного зазора  $\delta = 0,4 \text{ мм}$  (выбирается по рис. 6.21 [7]).

### 6.3. Расчет ротора

Примем по табл. 9.18 [7] число пазов ротора  $Z_2 = 52$ .

Внешний диаметр  $D_2$  определяется по формуле:

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta = 166 - 2 \cdot 0,4 = 165 \text{ мм}.$$

Примем длину пакета ротора  $l_{\text{СТ2}}$  равной принятой длине воздушного зазора  $l_{\delta} = l_{\text{СТ2}} = 130 \text{ мм}$ .

Зубцовое деление  $t_2$ , мм, определяется по формуле:

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = \frac{\pi \cdot 165}{52} = 9,96 \text{ мм}.$$

Внутренний диаметр сердечника ротора  $D_j$  равен диаметру вала  $D_B$ , на который он посажен:

$$D_j = k_B \cdot D_a = 0,23 \cdot 255 = 58,7 \text{ мм},$$

где  $k_B = 0,23$  – коэффициент, определяемый по табл. 6.16 [7].

Коэффициент приведения токов  $v_i$ , для короткозамкнутых роторов определяется по формуле (6.68) [7]:

$$v_i = \frac{2 \cdot m \cdot \omega_1 \cdot k_{\text{ОБ1}}}{Z_2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 208 \cdot 0,95}{52} = 21,8.$$

Ток в стержне ротора  $I_2$  (6.60) [7]:

$$I_2 = k_i \cdot I_{1\text{н}} \cdot v_i = 0,93 \cdot 12 \cdot 21,8 = 244,6 \text{ А},$$

где  $k_i = 0,93$  – коэффициент, учитывающий влияние тока намагничивания и сопротивления обмоток на отношение тока статора к току ротора.

Тогда площадь поперечного сечения  $q_c$  стержня по формуле (6.6) [7]:

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} = \frac{244,8}{2,5 \cdot 10^6} = 97,8 \text{ мм}^2.$$

Паз ротора выполняем открытым.

Значение допустимой индукции  $B_{z2} = 1,85$  Тл – по табл. 6.10 [7].

Ширину зубца  $b_{z2}$  находим по формуле (6.77) [7]:

$$b_{z2} = \frac{B_\delta \cdot t_2 \cdot l_\delta}{B_{z2} \cdot l_{\text{СТ2}} \cdot k_{C2}} = \frac{0,857 \cdot 9,96 \cdot 0,13}{1,85 \cdot 0,13 \cdot 0,97} = 4,8 \text{ мм},$$

где  $k_{C2} = 0,97$  – коэффициент заполнения сталью ротора по табл. 6.11 [7].

Конструктивные размеры паза находятся из условия постоянства ширины зубца и площади сечения стержня.

Принимаем ширину шлица паза ротора  $b_{\text{ш}} = 1,5$  мм, высоту шлица паза ротора  $h_{\text{ш}} = 0,7$  мм,  $h_{\text{ш}}' = 0,3$  мм.



Диаметр верхнего округления паза определим по формуле (6.74) [7]:

$$b_1 = \frac{\pi(D_2 - 2h_{ш} - 2h'_{ш}) - Z_2 \cdot b_{z2}}{\pi + Z_2} =$$

$$= \frac{\pi(165 - 2 \cdot 0,7 - 2 \cdot 0,3) - 52 \cdot 4,8}{\pi + 52} = 4,8 \text{ мм.}$$

Диаметр нижнего округления паза (6.75) [7]:

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \cdot \left(\frac{Z_2 + \pi}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - 4 \cdot q_c}{\frac{Z_2}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = \sqrt{\frac{4,8^2 \cdot \left(\frac{52 + \pi}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - 4 \cdot 97,8}{\frac{52}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = 1,3 \text{ мм.}$$

Расстояние между центрами округлений определим по формуле (9.78) [7]:

$$h_1 = (b_1 - b_2) \frac{Z_2}{2 \cdot \pi} = (4,8 - 1,3) \frac{52}{2 \cdot \pi} = 28,9 \text{ мм.}$$

Полная высота паза ротора вычисляется по формуле:

$$h_{п2} = h_{ш} + \frac{b_1}{2} + h_1 + \frac{b_2}{2} = 0,7 + \frac{4,8}{2} + 30,1 + \frac{1,3}{2} = 32,7 \text{ мм.}$$

Коэффициент  $\Delta$  определяется:

$$\Delta = 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot p}{Z_2}\right) = 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot 2}{52}\right) = 0,241.$$

Ток в кольце  $I_{кл}$  находится по формуле (6.71) [7]:

$$I_{кл} = \frac{I_2}{\Delta} = \frac{244,6}{0,241} = 1015,1 \text{ А.}$$

Определим плотность тока в замыкающих кольцах по формуле  $J_{кл} = 0,85 J_2 = 2,1 \text{ А/мм}^2$ .

Площадь поперечного сечения замыкающих колец  $q_{\text{кл}}$  вычисляется по формуле (6.73) [7]:

$$q_{\text{кл}} = \frac{I_{\text{кл}}}{J_{\text{кл}}} = \frac{1015,1}{2,1} = 477,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Высота кольца  $h_{\text{кл}}$ :

$$h_{\text{кл}} = 1,25 \cdot h_{\text{п2}} = 1,25 \cdot 32,7 = 40,9 \text{ мм.}$$

Ширина кольца  $b_{\text{кл}}$  вычисляется по формуле:

$$b_{\text{кл}} = \frac{q_{\text{кл}}}{h_{\text{кл}}} = \frac{477,7}{40,9} = 11,7 \text{ мм.}$$

Средний диаметр кольца  $D_{\text{кЛСР}}$ :

$$D_{\text{кЛСР}} = D_2 - h_{\text{кл}} = 165 - 40,9 = 124,1 \text{ мм.}$$

## **7. ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

В последнем разделе излагается технология монтажа и эксплуатации электродвигателей, применяемых в проекте.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения курсовой работы должно быть сделано следующее:

- разработана наиболее простая и экономичная система электропитания группы потребителей цеха промышленного предприятия, отвечающая всем действующим нормам и правилам;

- выбраны электродвигатели, их коммутационные и защитные аппараты наиболее распространенных марок и типов;

- определены электрические нагрузки группы электроприемников цеха;

- выбраны распределительные устройства, провода и кабели, а также защитные аппараты внутрицеховой электрической сети;

- определен уровень напряжения на зажимах электрически наиболее удаленного электроприемника;

- произведен расчет основных размеров, обмоток статора и ротора одного из двигателей, выбранных в пункте 1 по заданию преподавателя;

- произведен обзор электродвигателей, используемых в горных машинах и оборудовании, изложена технология монтажа и эксплуатации электродвигателей, применяемых в проекте.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Радкевич, В. Н. Проектирование систем электроснабжения: учеб. пособие / В. Н. Радкевич. – Минск: НПООО «Пион», 2001. – 292 с.
2. Королев, О. П. Электроснабжение промышленных предприятий: учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию / О. П. Королев, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Минск: БГПА, 1998. – 140 с.
3. Радкевич, В. Н. 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.
4. Радкевич, В. Н. Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий: пособие для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» / В. Н. Радкевич, В. Б. Козловская, И. В. Колосова. – Минск: БНТУ, 2017. – 172 с.
5. Князевский, Б. А. Электроснабжение промышленных предприятий / Б. А. Князевский, Б. Ю. Липкин. – М.: «Высшая школа», 1979. – 431 с.
6. Прима, В. М. Электроснабжение промышленных предприятий: учебно-методическое пособие к практическим занятиям / В. М. Прима, Л. В. Прокопенко. – Минск: БНТУ, 2004. – 80 с.
7. Копылов, И. П. Проектирование электрических машин / И. П. Копылов. – М.: Энергия, 1980.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Таблица 1.1

Технические характеристики асинхронных электродвигателей  
серии АИР ( $U_n = 230/400$  и  $690$  В;  $n = 1500$  об/мин)

Тип	$P_n$ , кВт	КПД, %	$\cos \varphi_n$	$I_{пвск}/I_n$
АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5
АИР71В4	0,75	73,0	0,73	5
АИР80А4	1,1	75,0	0,81	5,5
АИР80В4	1,5	78,0	0,83	5,5
АИР90Л4	2,2	81,0	0,83	6,5
АИР100S4	3	82,0	0,83	7
АИР100Л4	4	85,0	0,84	7
АИР112М4	5,5	87,5	0,88	7
АИР132S4	7,5	87,5	0,86	7,5
АИР132М4	11	87,5	0,87	7,5
АИР160S4	15	89,5	0,89	7
АИР160М4	18,5	90,0	0,89	7
АИР180S4	22	90,0	0,87	6,5
АИР180М4	30	91,5	0,86	7
АИР200М4	45	92,5	0,89	7
АИР225М4	55	93,0	0,89	7

Таблица 1.2

Технические характеристики крановых асинхронных  
электродвигателей серии МТКФ ( $U_n = 230/400$  В; ПВ = 40 %)

Тип двигателя	$P_n$ , кВт	$I_n$ , А, при 400 В	$\cos \varphi_n$	КПД, %	$I_{пвск}$ , А, при 400 В
МТКФ 011-6	1,4	5,2	0,66	61,5	15
МТКФ 012-6	2,2	7,2	0,69	67	22
МТКФ 111-6	3,5	9,4	0,79	72	35
МТКФ 112-6	5	13,8	0,74	74	53
МТКФ 211-6	7,5	19,5	0,77	75,5	78
МТКФ 311-6	11	28,5	0,76	77,5	130
МТКФ 312-6	15	36	0,78	81	205
МТКФ 411-6	22	51	0,79	82,5	275
МТКФ 412-6	30	70	0,78	83,5	380

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ**

Таблица 2.1.1

Технические характеристики нереверсивных магнитных пускателей трехфазного тока серии ПМЛ при напряжении 380 В

Тип в зависимости от степени защиты		Номинальный ток, А, в режиме АСЗ при степени защиты	
IP00	IP54	IP00	IP54
ПМЛ 110004	ПМЛ 121002	10	10
ПМЛ 210004	ПМЛ 221002	25	22
ПМЛ 310004	ПМЛ 321002	40	36
ПМЛ 410004	ПМЛ 421002	63	60
ПМЛ 510004	ПМЛ 521002	80	80
ПМЛ 610004	ПМЛ 621002	125	100
ПМЛ 710004	ПМЛ 721002	200	160

Таблица 2.1.2

Данные тепловых реле РТЛ, встраиваемых в магнитные пускатели серии ПМЛ

Номинальный ток пускателя, А	Тепловое реле			
	тип	номинальный ток реле, А	пределы регулирования тока несрабатывания теплового реле, А	среднее значение, А
10	100104	25	0,1–0,17	0,14
	100204		0,16–0,26	0,21
	100304		0,24–0,4	0,32
	100404		0,38–0,65	0,52
	100504		0,61–1,0	0,8
	100604		0,95–1,6	1,3
	100704		1,5–2,6	2,0
	100804		2,4–4,0	3,2
	101004		3,8–6,0	5,0
	101204		5,5–8,0	6,8
	101404		7,0–10,0	8,5

Окончание табл. 2.1.2

Номинальный ток пускателя, А	Тепловое реле			
	тип	номинальный ток реле, А	пределы регулирования тока несрабатывания теплового реле, А	среднее значение, А
25	101404	25	7,0–10,0	8,5
	101604		9,5–14,0	12,0
	102104		13,0–18,0	16,0
	102204		18,0–25,0	21,5
40	205304		23,0–32,0	27,5
	205504		30,0–41,0	35,5
63	205504	80	30,0–41,0	35,5
	205704		38,0–52,0	45,0
	205904		47,0–64,0	55,5
	206104		54,0–74,0	64,0
80	206104		54,0–74,0	64,0
	206104		63,0–86,0	74,5
125	310604		75,0–106,0	90,0
	312504		90,0–125,0	107,5
200	312504	200	90,0–125,0	107,5
	316004		115,0–160,0	137,5
	320004		145,0–200,0	172,5

Таблица 2.2

## Технические данные предохранителей

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А		Предельный отключаемый ток, кА
		предохранителя	плавкой вставки	
ППН-33	400	160	2; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	50
ППН-35	400	250	40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250	50
ППН-37	400	400	40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400	50
ППН-39	400	630	100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630	50
ППН-41	400	1250	500; 630; 800; 1000; 1250	50

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А		Предельный отключаемый ток, кА
		предохранителя	плавкой вставки	
ПН2-100	400	100	31,5; 40; 50; 63; 80; 100	100
ПН2-250	400	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	100
ПН2-400	400	400	200; 250; 315; 400; 355	40
ПН2-600	400	600	315; 400; 500; 630	25
НПН2-63	400	63	6; 10; 16; 20; 25; 31; 40; 63	10
ПРС-25	400	25	6; 10; 16; 20; 25	30
ПП24-25	400	25	6; 10; 16; 20; 25	100
ПП17-3970	400	1000	500; 630; 800; 1000	120

Таблица 2.3

Технические данные автоматических выключателей серий ВА51 с комбинированным расцепителем

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Кратность тока отсечки по отношению к $I_{нр}$	Предельный отключающий ток, кА / $\cos \varphi$
	выключателя	теплового расцепителя, $I_{нр}$		
Однополюсные				
ВА 51-29	63	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 63	–	8 / 0,5
ВА 51-31-1	100	6,3; 8; 10; 12,5 16 20; 25 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10	2 / 0,9 2,5 / 0,9 3,5 / 0,8 5,0 / 0,7 7,0 / 0,5
Трехполюсные				
ВА 51Г-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8 1,0; 1,25; 1,6 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3 8,0 10,0; 12,5 16; 20; 25	14	3,0 / 0,7 1,3 / 0,7 1,5 / 0,7 1,5 / 0,7 2,0 / 0,7 3,0 / 0,7



## Окончание табл. 2.3

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Кратность тока отсечки по отношению к $I_{нр}$	Предельный отключающий ток, кА / $\cos \varphi$
	выключателя	теплового расцепителя, $I_{нр}$		
ВА 51Г-25	100	16 20; 25 31,5; 40; 50; 63; 80 100	3; 7; 10	2,5 / 0,9 3,5 / 0,8 5,0 / 0,7 7,0 / 0,5
ВА 51-25	25	6,3; 8 10; 12,5 16; 20; 25	7; 10	1,5 / 0,7 2,0 / 0,7 3,0 / 0,7
ВА 51-31	100	6,3; 8 10; 12,5 16; 20; 25 31,5; 40; 50; 63; 80 100	3; 7; 10	2,0 / 0,9 2,5 / 0,9 3,8 / 0,8 6,0 / 0,7 7,0 / 0,5
ВА 51Г-31	100	16; 20; 25 31,5; 40; 50; 63; 80 100	14	3,8 / 0,8 6,0 / 0,7 7,0 / 0,5
ВА 51-33	160	80; 100; 125; 160	10	12,5 / 0,3
ВА 51Г-33	160	80; 100; 125; 160	10	2,5 / 0,3
ВА 51-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	12	15 / 0,5
ВА 51-37	400	250; 320; 400	10	10,0
ВА 51-39	630	400; 500; 630	10	35 / 0,25

*Примечание:* выключатели ВА51 имеют среднюю коммутационную способность.

Таблица 2.4

Технические данные автоматических выключателей  
серий ВА52 с комбинированным расцепителем

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Кратность тока отсечки по отношению к $I_{нр}$	Предельный ток отключения, кА / $\cos \varphi$
	выключателя	теплового расцепителя, $I_{нр}$		
ВА52-31, ВА52Г-31	100	16; 20; 25 31,5; 40 50; 63 80; 100	3; 7; 10	12 / 0,3 15 / 0,3 18 / 0,3 25 / 0,3

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Кратность тока отсечки по отношению к $I_{нр}$	Предельный ток отключения, кА / $\cos\varphi$
	выключателя	теплового расцепителя, $I_{нр}$		
ВА52-33 ВА52Г-33	160	80; 100 125; 160	10	28 / 0,25 35 / 0,25
ВА52-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	12	30 / 0,25
ВА52-37	400	250; 320; 400	10	30 / 0,25
ВА52-39	630	250; 320; 400; 500; 630	10	40 / 0,25

*Примечание:* выключатели ВА52 имеют повышенную коммутационную способность.

Таблица 2.5

Технические данные автоматических выключателей серий ВА53, ВА55, ВА75 с полупроводниковыми максимальными расцепителями

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Уставка тока расцепителя в зоне КЗ, кратная номинальному току расцепителя	Предельный отключающий ток, кА
ВА53-37 ВА55-37	160; 250; 400	2; 3; 5; 7; 10	20
ВА53-39 ВА55-39	160; 250; 400; 630	2; 3; 5; 7; 10	25
ВА53-41	1000	2; 3; 5; 7	25,0
ВА55-41	1600		31,0
ВА53-43 ВА55-43	2500	2; 3; 5	36
ВА75-45	2500	2; 3; 5; 7	36
ВА75-47	4000	2; 3; 5	45

*Примечания:* 1. Выключатели допускают регулировку номинального тока уставки максимального расцепителя ( $I_{ном р}$ ) тремя ступенями в пределах от номинального тока до  $0,8 I_{ном р}$  или до  $0,63 I_{ном р}$ . Например, ВА55-37 на ток 250 А может иметь  $I_{ном р} = 250; 200$  и 157,5 А. Время срабатывания зависит от протекающего тока и регулируется тремя ступенями, при  $6I_n$  уставки время составляет 4; 8; 16 с. При однофазных коротких замыканиях автоматы срабатывают при номинальном токе расцепителя.

2. Выключатели серий ВА55 и ВА75 – селективные, ВА53 – токоограничивающие.

Таблица 2.6

Технические данные автоматических выключателей  
серий ВА57 с комбинированным расцепителем

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя, А	Предельный ток отключения, кА / cos φ
	выключателя	теплого расцепителя, $I_{нр}$		
ВА57-31	100	16	400	4 / 0,5
		20		
		25		
		31,5; 40		
		50; 63		
ВА57-35	250	80; 100	800	25 / 0,35
			1200	40 / 0,2
		16; 20	320	3,5 / 0,8
		25		6 / 0,7
		31,5; 40; 50	630	
ВА-57-39	630	63	1250	15 / 0,3
		80		25 / 0,25
		100		30 / 0,25
		125		35 / 0,25
		160	1600	40 / 0,2
		200; 250	2500	
ВА-57-39	630	250	1000; 1250; 1600; 2500	40 / 0,25
		320	1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3200	
		400	1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 4000	
		500	1000; 1600; 2000; 2500; 5000	
		630	1250; 2000; 2500; 3200; 4000; 5000	

Таблица 2.7

## Технические данные автоматических выключателей серии АЕ

Тип выключателя	Количество полюсов, шт.	Номинальный ток, А		Кратность тока отсечки по отношению к $I_{ном р}$	Предельный отключающий ток, кА / $\cos\phi$
		выключателя	расцепителя, $I_{ном р}$		
1	2	3	4	5	6
АЕ2044	1	63	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	12	5 / 0,7 6 / 0,7
АЕ2046	3	63	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	12	6 / 0,7 7 / 0,5
АЕ2056	3	100	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63 80; 100	12	6 / 0,5 7 / 0,5 8,5 / 0,5

Таблица 2.8

## Технические данные основных типов панелей ЩО70

Тип панели	Номинальный ток (А) и кол-во присоединений	Коммутационные и защитные аппараты
Линейные панели		
ЩО70-01	100×2 + 250×2	Рубильники с предохранителями ПН2
ЩО70-02	250×4	То же
ЩО70-03	250×2 + 400×2	То же
ЩО70-04	630×1	То же
ЩО70-05	100×6	Разъединители 2×400 А (один на 3 присоединения), ВА51-31
ЩО70-08	250×4	Разъединители 2×630 А (один на 2 присоединения), ВА57-35
ЩО70-09	630×2	Разъединитель, ВА51-39
ЩО70-11	100×4	Разъединитель 1×400 А, на 4×ВА51-31
ЩО70-23	1000×1	Разъединитель, ВА55-41
ЩО70-24	630×1	То же, ВА51-39
Водные панели		
ЩО70-32	630	Рубильник, ПН2-630
ЩО70-33	1250	Рубильник 1×1000 А, ППН-41

Тип панели	Номинальный ток (А) и кол-во присоединений	Коммутационные и защитные аппараты
ЩО70-34	1000	Разъединитель, ВА55-41
ЩО70-37	1600	Разъединитель, ВА55-43
ЩО70-40	2000	Разъединитель, ВА55-45
ЩО70-50	630	Разъединитель, ВА51-39
Секционные панели		
ЩО70-70	600	Рубильник
ЩО70-71	1000	То же
ЩО70-72	1000	Два разъединителя, ВА55-41
ЩО70-73	1600	То же, ВА55-43
ЩО70-75	800	Разъединители 2×400 А, ВА51-39 (1×630 А)

*Примечания:* 1. Приведенные линейные и вводные панели допускают ввод снизу проводами или кабелем.

2. Предельный отключающий ток для сборных шин до 1000 А – 30 кА, свыше 1000 А – 50 кА.

Таблица 2.9

## Технические данные основных типов панелей П ХХ-94

Тип панели	Номинальный ток (А) и количество присоединений	Коммутационные и защитные аппараты
Линейные панели		
П01-94	100×2 + 250×2	Рубильники с предохранителями ПН2
П02-94	250×4	То же
П03-94	250×2 + 400×2	То же
П04-94	600×1	Разъединитель 1×1000 А с предохранителем ПН2
П06-94	100×2 + 250×4	Разъединители 2×1000 А (один на 3 присоединения), ВА57-35
П08-94	250×4	Разъединители 2×1000 А (один на 2 присоединения), ВА57-35
П09-94	600×2	Разъединители 2×1000 А, ВА51-39
П23-94	1000×1	Разъединитель, ВА53-41
Водные панели		
П30-94	600	Разъединитель 1×1000 А, ПН2

Тип панели	Номинальный ток (А) и количество присоединений	Коммутационные и защитные аппараты
ПЗ1-94	1000	Разъединитель
ПЗ4-94	1000	Разъединитель, ВА53-41
ПЗ6-94	1600	Разъединитель 1×1600 А, ВА55-41
П40-94	2000	Разъединитель, ВА53-43
Секционные панели		
П71-94	1000	Разъединитель
П72-94	1000	Разъединитель 1×1600 А, ВА53-41
П73-94	1600	Разъединитель, ВА55-41

*Примечания:* 1. Приведенные линейные и вводные панели допускают ввод снизу проводами или кабелем.

2. Пределный отключающий ток для сборных шин до 1000 А – 30 кА, свыше 1000 А – 50 кА.

Таблица 2.10

## Шкафы распределительные серии ШР1

Тип шкафа	Номинальный ток вводного рубильника РБ, А, (исполнение IP30, УЗ)	Число трехполюсных групп предохранителей на отходящих линиях и их номинальные токи, А
ШР1-20	250	5×63
ШР1-21	250	5×100
ШР1-22	250	2×63 + 3×100
ШР1-23	400	8×63
ШР1-24	400	8×100
ШР1-25	400	4×63 + 4×100
ШР1-26	400	5×250
ШР1-27	400	5×100 + 2×250
ШР1-28	400	2×63 + 4×100 + 2×250
ШР1-30	2×400	8×100
ШР1-31	400	8×100
ШР1-33	1×400	8×100; АЕ2044; АЕ2046; АЕ2056

*Примечания:* 1. Электродинамическая стойкость токам короткого замыкания: при номинальном токе  $I_{ном}$  вводного аппарата 250 А – 10 кА; при  $I_{ном}$  вводного аппарата 400 А – 25 кА.

2. Трехполюсные и однополюсные автоматы могут устанавливаться в различных сочетаниях, при этом на месте одного трехполюсного допускается применять три однополюсных.

Таблица 2.11

## Шкафы распределительные серии ШР11

Тип шкафа	Номинальный ток вводного рубильника Р18, А, (исполнение IP22, УЗ)	Число трехполюсных групп предохранителей на отходящих линиях и их номинальные токи, А
ШР11-73701	250	5×63
ШР11-73702	250	5×100
ШР11-73703	250	2×63 + 3×100
ШР11-73704	400	8×63
ШР11-73705	400	8×100
ШР11-73706	400	8×250
ШР11-73707	400	3×100 + 2×250
ШР11-73708	400	5×250
ШР11-73709	400	4×63 + 4×100
ШР11-73710	400	2×63 + 4×100 + 2×250
ШР11-73711	400	6×100 + 2×250

*Примечание:* электродинамическая стойкость токам короткого замыкания: при номинальном токе  $I_{ном}$  вводного аппарата 250 А – 10 кА; при  $I_{ном}$  вводного аппарата 400 А – 25 кА.

Таблица 2.12

## Пункты распределительные серии ПР11

Тип шкафа	Номинальный ток, А, и тип вводного выключателя (исполнение IP21, IP44, УЗ)	Число трехполюсных групп выключателей на отходящих линиях и их номинальные токи, А
ПР11-1-001	100; ВА57-31, АЕ2056	4; ВА57-31, АЕ2044, АЕ2046, АЕ2056
ПР11-1-002	100; –	4; ВА57-31, АЕ2044, АЕ2046, АЕ2056
ПР11-1-003	200; ВА57-35	6; ВА57-31, ВА57-35, АЕ2044, АЕ2046, АЕ2056
ПР11-1-004	200; –	8; ВА57-31, ВА57-35, АЕ2044, АЕ2046, АЕ2056
ПР11-1-005	200; ВА57-35	10; ВА57-31, ВА57-35, АЕ2044, АЕ2046, АЕ2056

Тип шкафа	Номинальный ток, А, и тип вводного выключателя (исполнение IP21, IP44, УЗ)	Число трехполюсных групп выключателей на отходящих линиях и их номинальные токи, А
ПР11-1-006	200; –	12; ВА57-31, ВА57-35, АЕ2044, АЕ2046, АЕ2056
ПР11-1-007	200; ВА57-35	12; ВА57-31, ВА57-35, АЕ2044, АЕ2046, АЕ2056
ПР11-1-008	200; –	14; ВА57-31, ВА57-35, АЕ2044, АЕ2046, АЕ2056
ПР11-1-009	630; 400; ВА57-39	12; ВА57-31, ВА57-35, АЕ2044, АЕ2046, АЕ2056
ПР11-1-010	400; 630; –	14; ВА57-31, ВА57-35, АЕ2044, АЕ2046, АЕ2056
ПР11-7-011	400; 630; ВА57-39	14; ВА57-31, ВА57-35, АЕ2044, АЕ2046, АЕ2056
ПР11-7-012	400; 630; –	14; ВА57-31, ВА57-35, АЕ2044, АЕ2046, АЕ2056

*Примечания:* 1. Цифра 1 обозначает утопленное исполнение (встраиваемое в нишу стены), цифра 7 – напольное исполнение.

2. Электродинамическая стойкость токам короткого замыкания: при номинальном токе  $I_{ном}$  пункта до 100 А – 10 кА; при  $I_{ном}$  пункта до 400 А – 25 кА; при  $I_{ном}$  пункта до 630 А – 50 кА.

3. Номинальные токи аппаратов снижаются на 10 % в пунктах со степенью защиты IP21 и на 20 % при IP44.

4. Трехполюсные и однополюсные автоматы могут устанавливаться в различных сочетаниях, при этом на месте одного трехполюсного допускается применять три однополюсных.

Таблица 2.13

## Распределительные пункты серии ПР8501

№ схемы		Номинальное напряжение, В	Число автоматов		
с зажимами на вводе	с автоматом на вводе		однополюсных ВА51-31-1	трехполюсных	
				ВА51-31	ВА51-35
001	045; ВА51-33	380	3	–	–
002	046; ВА51-33	380	6	–	–
003	047; ВА51-33	380	3	1	–
004	048; ВА51-33	660	–	2	–



Окончание табл. 2.13

№ схемы		Номинальное напряжение, В	Число автоматов		
с зажимами на вводе	с автоматом на вводе		однополюсных BA51-31-1	трехполюсных BA51-31 BA51-35	
005	049; BA51-33	380	12	–	–
006	050; BA51-33	380	6	2	–
007	051; BA51-33	660	–	4	–
008	052; BA51-33	660	18	–	–
009	053; BA51-33	380	12	2	–
010	054; BA51-33	380	6	4	–
011	055; BA51-33	660	–	6	–
019	063; BA51-35	380	24	–	–
020	064; BA51-35	660	18	2	–
021	065; BA51-35	660	12	4	–
022	066; BA51-35	660	6	6	–
023	067; BA51-35	660	–	8	–
024	068; BA51-35	660	30	–	–
025	069; BA51-35	660	24	2	–
026	070; BA51-35	660	18	4	–
027	071; BA51-35	660	12	6	–
028	072; BA51-35	660	6	8	–
029	073; BA51-35	660	–	10	–
153	094; BA51-39	660	–	–	4
154	095; BA51-39	660	–	2	2
155	096; BA51-39	660	–	4	2
156	097; BA51-39	660	–	6	2
157	098; BA51-39	660	–	8	2

*Примечания:* 1. Номинальный ток ввода 160 А, рабочий ток для IP21 – 128 А, для IP54 – 120 А.

2. Номинальный ток ввода 250 А, рабочий ток для IP21 – 200 А, для IP54 – 188 А.

3. Номинальный ток ввода 400 А, рабочий ток для IP21 – 320 А, для IP54 – 300 А.

4. Номинальный ток ввода 630 А, рабочий ток для IP21 – 504 А, для IP54 – 473 А.

5. Сборные шины допускают ударный ток короткого замыкания при номинальном токе  $I_{ном}$  шкафов: 160, 250, 400 А – 25 кА; при  $I_{ном} = 630$  А – не менее 50 кА.

Таблица 2.14

## Силовые ящики

№ п/п	Тип	Номинальный ток аппарата, А	Номинальный ток предохранителей, А	Кратковременно выдерживаемый ток, кА
1.	ЯБПВ-1	100	ПН2-100	20
	ЯБПВ-2	200	ПН2-250	20
	ЯБПВ-4	315	ПН2-400	30
2.	ЯБ1-2	200	ПН2-250	20
	ЯБ1-4	315	ПН2-400	20
3.	ЯРП-20	20	Е27-20	0,6
4.	ЯПП-15	16	Е27-16	0,6
5.	ЯРП11-311; ЯРВ-311	100	ПН2-100	5
		250	ПН2-250	8
		400	ПН2-400	11
		630	ПН2-630	16
6.	ЯРП11М; Я8601	100	ППН33	5
		250	ППН35	8
		400	ППН37	11
		630	ППН39	16
7.	ЯВЗ-31-1М;	100	–	5
	ЯВЗ-35-1М;	250	–	8
	ЯВЗ-37-1М	400	–	11

Таблица 2.15

## Технические данные магистральных шинопроводов ШМА4 и ШМА5

№ п/п	Показатели	Тип шинопровода: ШМА4 (ШМА5)			
		1250	1600	2500	3200
1.	Номинальный ток, А	1250	1600	2500	3200
2.	Номинальное напряжение, В	660	660	660	660
3.	Допустимое амплитудное значение тока КЗ, кА	70(50)	70(70)	70(100)	70(100)
4.	Сопrotивление фазы (среднее) при номинальном токе и установившемся режиме, Ом/км:				
	– активное;	0,0338(0,33)	0,0297(0,030)	0,0169(0,017)	0,015(0,015)
	– индуктивное;	0,0161(0,018)	0,0143(0,014)	0,0082(0,008)	0,0072(0,005)
	– полное	–(0,038)	–(0,0330)	–(0,019)	–(0,016)

№ п/п	Показатели	Тип шинопровода: ШМА4 (ШМА5)			
		5.	Полное сопротивление петли фаза—нуль, Ом/км	0,0862(0,112)	0,0872(0,095)
6.	Потеря напряжения, В, на длине 100 м при номинальном токе, сосредоточенной в конце линии нагрузке, и $\cos \varphi = 0,8$	8,93(8,1)	9,13(9,1)	9,7(8,2)	9,0(8,3)
7.	Количество и размеры сечения шины (АДО), мм, (для ШМА5) – на фазу; – на нулевой (N), проводник	1×(8×140) 1×(4×140)	1×(8×160) 1×(4×160)	2×(8×140) 2×(4×140)	2×(8×160) 2×(4×160)
8.	Максимально допустимое расстояние между точками крепления, м	6	6	6	6
9.	Степень защиты	IP44	IP44	IP44	IP44

Таблица 2.16

**Основные технические данные распределительных шинопроводов ШРА4 и ШРА5**

№ п/п	Показатели	Тип шинопровода			
		ШРА4-100	ШРА4 (ШРА5)-250	ШРА4 (ШРА5)-400	ШРА4 (ШРА5)-630
1.	Номинальный ток, А	100	250	400	630
2.	Электродинамическая стойкость, кА	7	15(15)	25(25)	35(35)
3.	Сопротивление на фазу, Ом/км: – активное; – индуктивное	– –	0,21(0,21) 0,21(0,21)	0,15(0,15) 0,17(0,17)	0,10(0,10) 0,13(0,13)
4.	Полное сопротивление петли фаза—нуль, Ом/км	–	–(0,55)	–(0,49)	–(0,29)
5.	Линейная потеря напряжения, В, на 100 м при $I_n$ , $\cos \varphi = 0,8$	–	6,5(8,5)	8,0 (7,5)	8,5(8,5)

№ п/п	Показатели	Тип шинопровода			
		ШРА4-100	ШРА4 (ШРА5)-250	ШРА4 (ШРА5)-400	ШРА4 (ШРА5)-630
5.	Степень защиты	IP44	IP44	IP44	IP44

*Примечания:* 1. Шинопровод ШРА4 – четырехпроводный нулевой (*N*) провод замкнут на защитный металлический кожух и образует совмещенный (*PEN*) проводник в системе с глухозаземленной нейтралью.

2. Шинопровод ШРА5 – пятипроводный нулевой (*N*) и защищенный (*PE*) проводники разделены. При этом роль защитного проводника выполняет металлический кожух шинопровода.

3. В шинопровode ШРА4-100 применяются аппараты защиты с номинальным током 25 А.

Таблица 2.17

### Ответвительные коробки шинопроводов ШРА4 и ШРА5

Тип коробки	Наименование аппарата	Номинальный ток аппарата, А	Номинальный ток шинопровода, А
У2031, У5031	Предохранитель ПН2-100	100	250, 400, 630
У2032, У5032	Разъединитель	160	250, 400, 630
У2033, У5033	Разъединитель	250	400, 630
У5039	Автомат ВА51-33	160	250, 400, 630
У5051	Автомат ВА51-35	250	400, 630
У2038, У5038	Автомат АЕ2046	40	250, 400, 630
У2038, У5038	Автомат АЕ2056	100	250, 400, 630
У2180	Разъединитель	400	400, 630

Таблица 2.18

### Основные технические данные троллейного шинопровода ШМТ-АУ2

№ п/п	Показатель	Номинальный ток ШМТ-АУ2, А	
		250	400
1.	Электродинамическая стойкость, кА	10	15
2.	Номинальный ток токосъемной каретки, А	40	–
3.	Номинальный ток спаренной токосъемной каретки, А	–	63
4.	Степень защиты	IP21	IP21

**СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

Таблица 3.1

Средние значения коэффициентов использования ( $K_{и}$ )  
и мощности ( $\cos \phi$ ) для характерных групп электроприемников

№ п/п	Электроприемники	Коэффициент использования	Коэффициент мощности
1.	<b>Оборудование для металлообработки</b>		
	Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы: мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные, ножницы листовые, сортовые, фасонные, scrapные, 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
2.	<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

Продолжение табл. 3.1

№ п/п	Электроприемники	Коэффициент использования	Коэффициент мощности
	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 станки 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, длинореечные, 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
	Скребокые транспортеры	0,4	0,69
	Дробилки	0,3–0,35	0,54–0,62
	Грохоты	0,6	0,7
3.	<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
4.	<b>Подъемно-транспортные механизмы</b>		
	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

Продолжение табл. 3.1

№ п/п	Электроприемники	Коэффициент использования	Коэффициент мощности
	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
5.	<b>Сварочное оборудование</b>		
	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
6.	<b>Электрические печи</b>		
	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
	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

Продолжение табл. 3.1

№ п/п	Электроприемники	Коэффициент использования	Коэффициент мощности
	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
7.	<b>Электролизные установки</b>		
	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
8.	<b>Оборудование цехов черной металлургии</b>		
	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
	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 отделения (станы холодной прокатки)	0,3–0,4	0,8–0,85
	Канатные машины	0,35–0,4	0,71
	Волочильные станы порошковой проволоки	0,3–0,4	0,7–0,8
9.	<b>Оборудование рудников и обогащенных фабрик</b>		
	Вентиляторы главного проветривания с двигателями мощностью до 200 кВт	0,7	0,8



Продолжение табл. 3.1

№ п/п	Электроприемники	Коэффициент использования	Коэффициент мощности
	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
	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
10.	<b>Оборудование предприятий приборостроения</b>		
	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

Продолжение табл. 3.1

№ п/п	Электроприемники	Коэффициент использования	Коэффициент мощности
	Дистиллятор	0,7	0,9
	Установки нанесения фоторезиста и сплава, экспонирования, оплавления, струйные, линии 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
	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
11.	<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
12.	<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

Продолжение табл. 3.1

№ п/п	Электроприемники	Коэффициент использования	Коэффициент мощности
	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
	Конвейеры	0,15	0,5
	Рольганги	0,1	0,5
	Земснаряды	0,25–0,93	0,69–0,78
13.	<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
14.	<b>Оборудование для производства полиэтилена</b>		
	Компрессоры этилена	0,85	0,9
	Технологические линии цеха полимеризации	0,6	0,75
	Элма-насосы	0,5	0,8
	Центрифуги	0,4	0,6
	Сушилки	0,5	0,5
	Грануляторы	0,8	0,8
	Газодувки	0,45	0,7

Продолжение табл. 3.1

№ п/п	Электроприемники	Коэффициент использования	Коэффициент мощности
	Компрессоры цеха дистилляции и очистки азота	0,43	0,7
15.	<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)
	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
16.	<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-гrostильные 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
17.	<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 табл. 3.1

№ п/п	Электроприемники	Коэффициент использования	Коэффициент мощности
	Ровничные машины	0,74	0,80
	Кольцепрядильные машины камвольные	0,82	0,83
	Тростильнокрутильное 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
18.	<b>Оборудование предприятий швейной промышленности</b>		
	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
19.	<b>Прочее оборудование</b>		
	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 3.2

Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$   
для питающих сетей напряжением до 1 кВ

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

Таблица 3.3

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

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

**СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА  
ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ**

Таблица 4.1

Допустимые длительные токи для проводов  
с алюминиевыми жилами и поливинилхлоридной изоляцией

Сечение токопроводящей жила, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одно- жильных	трех одно- жильных	четырёх одно- жильных	одного двух- жильного	одного трех- жильного
2	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	26
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190
160	340	275	255	—	—	—
185	390	—	—	—	—	—
240	465	—	—	—	—	—
300	535	—	—	—	—	—
400	645	—	—	—	—	—



Таблица 4.2

Допустимые длительные токи для кабелей напряжением до 1 кВ с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток кабелей, А				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385

*Примечание:* допустимые токи для четырехжильных кабелей с пластмассовой изоляцией на напряжение до 1 кВ могут приниматься по приведенной выше таблице, но с коэффициентом 0,92.

Таблица 4.3

Допустимые длительные токи для переносных шланговых шнуров и кабелей, гибких кабелей, шахтных гибких шланговых, прожекторных кабелей и переносных проводов с медными жилами

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток проводников, А		
	одножильных	двухжильных	трехжильных
0,5	–	12	–
0,75	–	16	14
1,0	–	18	26

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток проводников, А		
	одножильных	двухжильных	трехжильных
1,5	–	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	190	150	130
50	235	185	160
70	290	235	200

*Примечание:* токи относятся к проводникам с нулевой жилой и без нее.

Таблица 4.4

Допустимые длительные токи для кабелей напряжением до 1 кВ с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток для кабелей, А			
	трехжильных		четырежильных	
	при прокладке			
	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	24	32	23	29
4	34	42	31	39
6	43	50	40	46
10	58	67	54	62
16	78	87	72	81
25	102	113	95	105
35	126	137	118	127
50	158	166	147	154
70	194	201	180	187
95	237	240	220	223
120	274	272	255	253
150	317	310	295	288
185	363	348	338	324
240	428	401	398	373

Таблица 4.5

Допустимые длительные токи для проводов и шнуров  
с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией  
с медными жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одно- жильных	трех одно- жильных	четырёх одно- жильных	одного двух- жильного	одного трех- жильного
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	–	–	–
185	510	–	–	–	–	–
240	605	–	–	–	–	–
300	695	–	–	–	–	–
400	830	–	–	–	–	–

Таблица 4.6

Допустимые длительные токи для кабелей напряжением до 1кВ с медными жилами с резиновой и пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток для кабелей, А				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385
150	440	350	505	305	435
185	510	405	570	350	500
240	605	—	—	—	—

*Примечание:* допустимые длительные токи для четырехжильных кабелей с пластмассовой изоляцией на напряжение до 1 кВ могут применяться по вышеприведенной таблице как для трехжильных кабелей, но с коэффициентом 0,92.

Таблица 4.7

Допустимые длительные токи для кабелей напряжением до 1кВ с медными жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток для кабелей, А			
	трехжильных		четырёхжильных	
	при прокладке			
	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1,5	24	32	23	29
2,5	32	42	30	39

Окончание табл. 4.7

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток для кабелей, А			
	трехжильных		четырёхжильных	
	при прокладке			
	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
4	43	54	40	50
6	57	66	53	61
10	77	87	71	81
16	101	113	94	105
25	133	147	124	137
35	164	179	152	166
50	205	217	191	202
70	262	268	244	249
95	318	316	296	294
120	372	363	346	337
150	429	410	399	381
185	488	459	454	427
240	579	529	538	492

Таблица 4.8

Допустимые длительные токи для кабелей  
с пластмассовой изоляцией, не распространяющих горение,  
с низким дымо- и газовыделением (нг – LS)  
при прокладке в воздухе

Сечение токопрово- дящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для кабелей					
	с медными жилами			с алюминиевыми жилами		
	одно- жильных	двух- жильных	трех- жильных	одно- жильных	двух- жильных	трех- жильных
1,5	29	24	21	–	–	–
2,5	40	33	28	30	25	21
4	53	44	37	40	34	29
6	67	56	49	51	43	37
10	91	76	66	69	58	50
16	121	101	87	93	77	67
25	160	134	115	122	103	88
35	197	166	141	151	127	109

Сечение токопроводающей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для кабелей					
	с медными жилами			с алюминиевыми жилами		
	одно-жильных	двух-жильных	трех-жильных	одно-жильных	двух-жильных	трех-жильных
50	247	208	177	189	159	136
70	318	—	226	233	—	167
95	386	—	274	284	—	204
120	450	—	321	330	—	236
150	521	—	370	380	—	273
185	594	—	421	436	—	313
240	704	—	499	515	—	369

*Примечания:* 1. Допустимые токи для четырех- и пятижильных кабелей при нагрузке в четырех жилах в нормальном режиме принимаются как для трехжильных, но с коэффициентом 0,93.

2. Для одножильных кабелей допустимые нагрузки приведены для постоянного тока.

Таблица 4.9

**Допустимые длительные токи для кабелей  
с алюминиевыми жилами с бумажной изоляцией  
в свинцовой или алюминиевой оболочке**

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Ток кабелей, А					
	одножильных напряжением до 1 кВ	двухжильных напряжением до 1 кВ	Трехжильных напряжением, кВ			четырёх-жильных напряжением до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	—	60/42	55/35	—	—	—
10	110/75	80/55	75/46	60/42	—	65/45
16	135/90	110/75	90/60	80/50	75/46	90/60
25	180/125	140/100	125/80	105/70	90/65	115/75
35	220/155	175/115	145/95	125/85	115/80	135/95
50	275/190	210/140	180/120	155/110	140/105	165/110
70	340/235	250/175	230/155	190/135	165/130	200/140
95	400/275	290/210	260/190	225/165	205/155	240/165
120	460/320	335/245	300/220	260/190	240/185	270/200
150	520/360	385/290	335/255	300/225	275/210	385/230

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Ток кабелей, А					
	одножильных напряжением до 1 кВ	двухжильных напряжением до 1 кВ	Трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных напряжением до 1 кВ
			до 3	6	10	
185	580/405	–	380/290	340/250	310/235	345/260
240	675/470	–	440/330	390/290	355/270	–

*Примечание:* перед чертой указаны токи кабелей, прокладываемых в земле, за чертой – прокладываемых в воздухе.

Таблица 4.10

**Поправочные коэффициенты на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)**

Расстояние между кабелями в свету, мм	Коэффициент при количестве кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,0	0,9	0,85	0,8	0,78	0,75
200	1,0	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,0	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

## ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

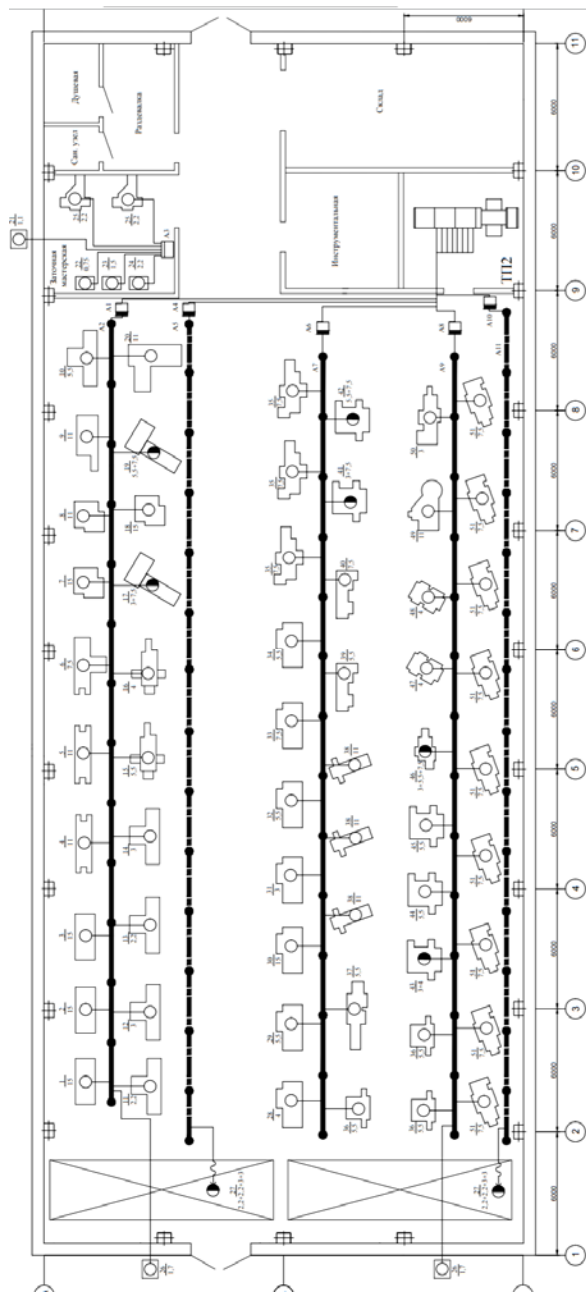


Рис. 5.1. План цеха со схемой распределительной сети. Цех № 1





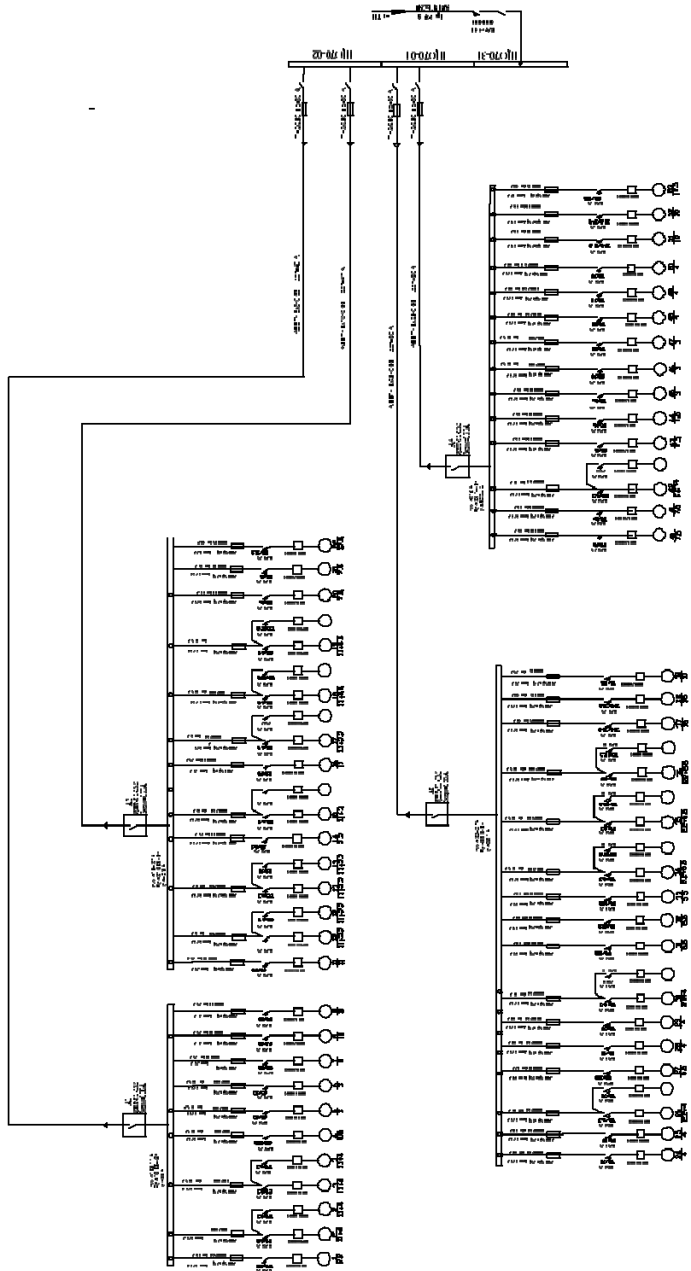


Рис. 5.3. Расчетная схема для цеха № 2. Лист 1

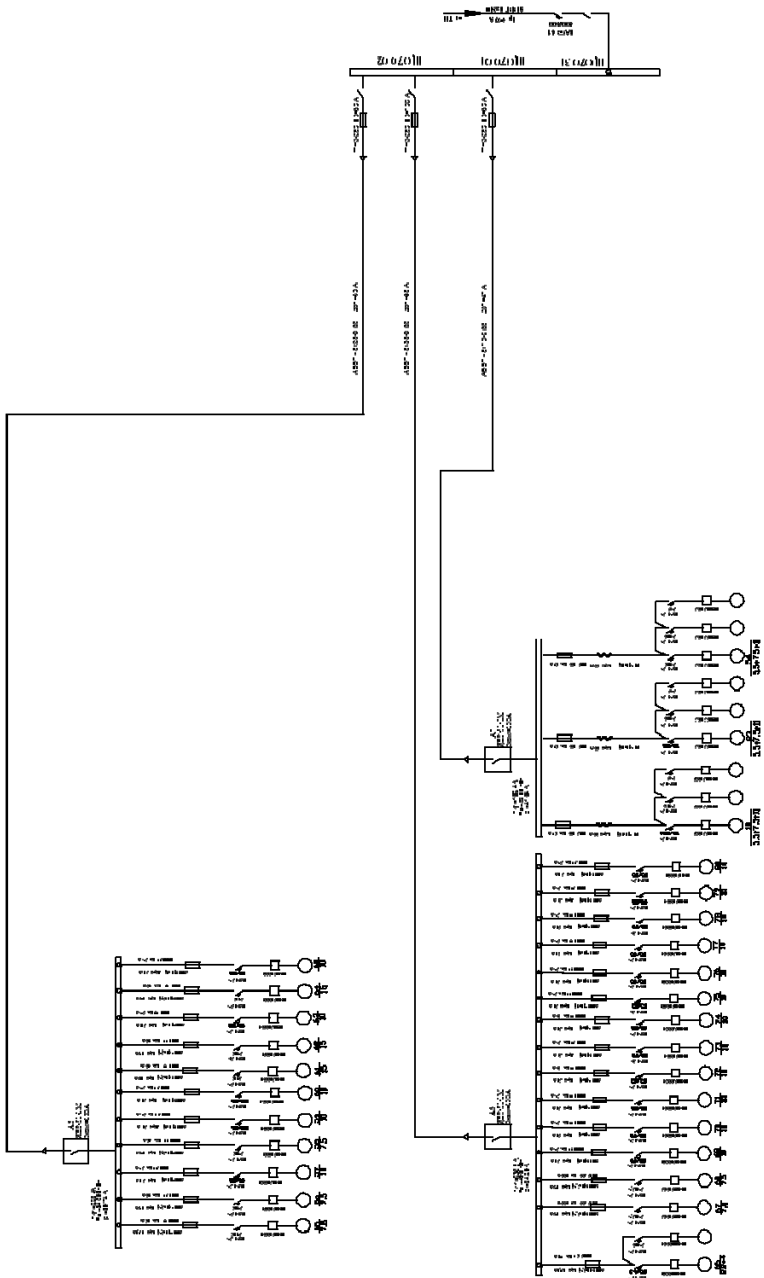


Рис. 5.4. Расчетная схема для цеха №2. Лист 2

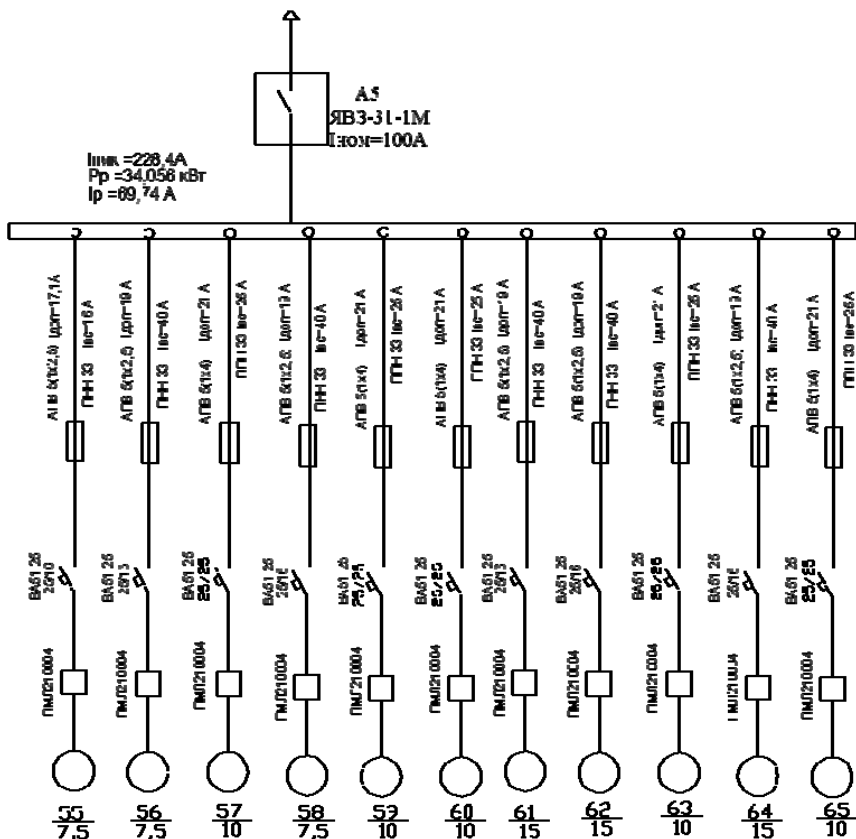


Рис. 5.5. Расчетная схема для группы станков. Цех № 2

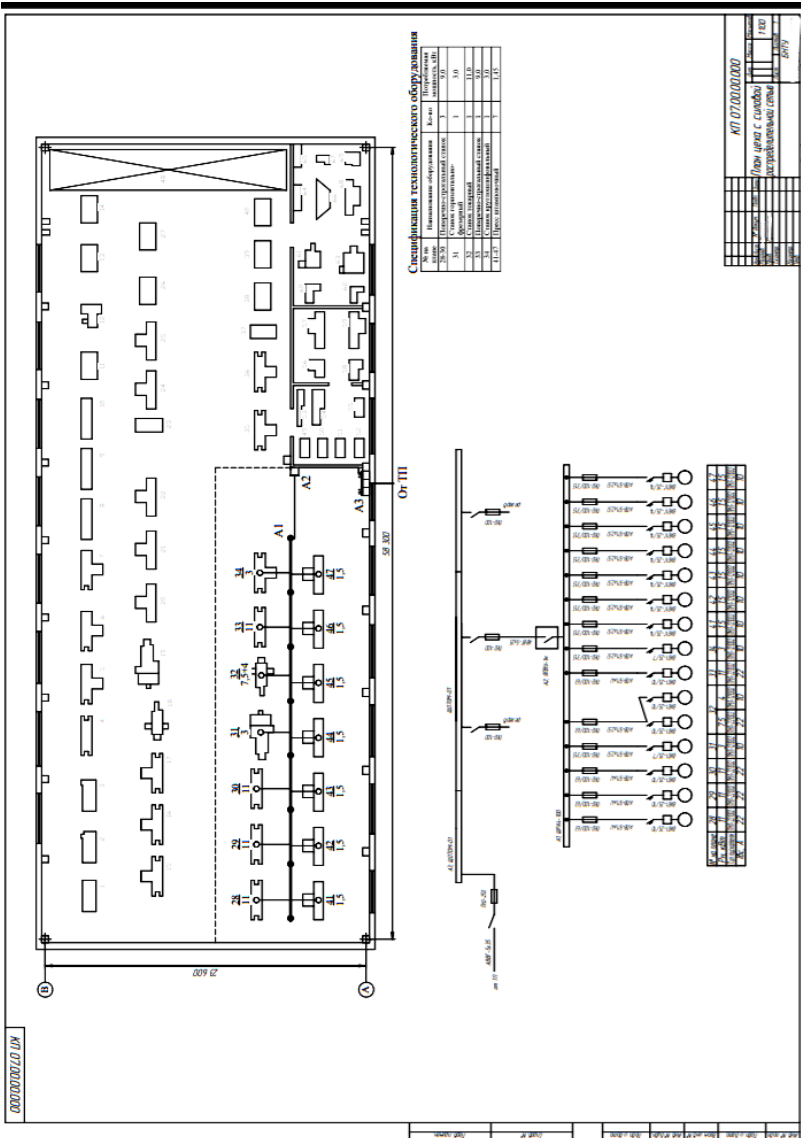


Рис. 5.6. План цеха со схемой распределительной сети и расчетная схема для группы станков цеха № 3

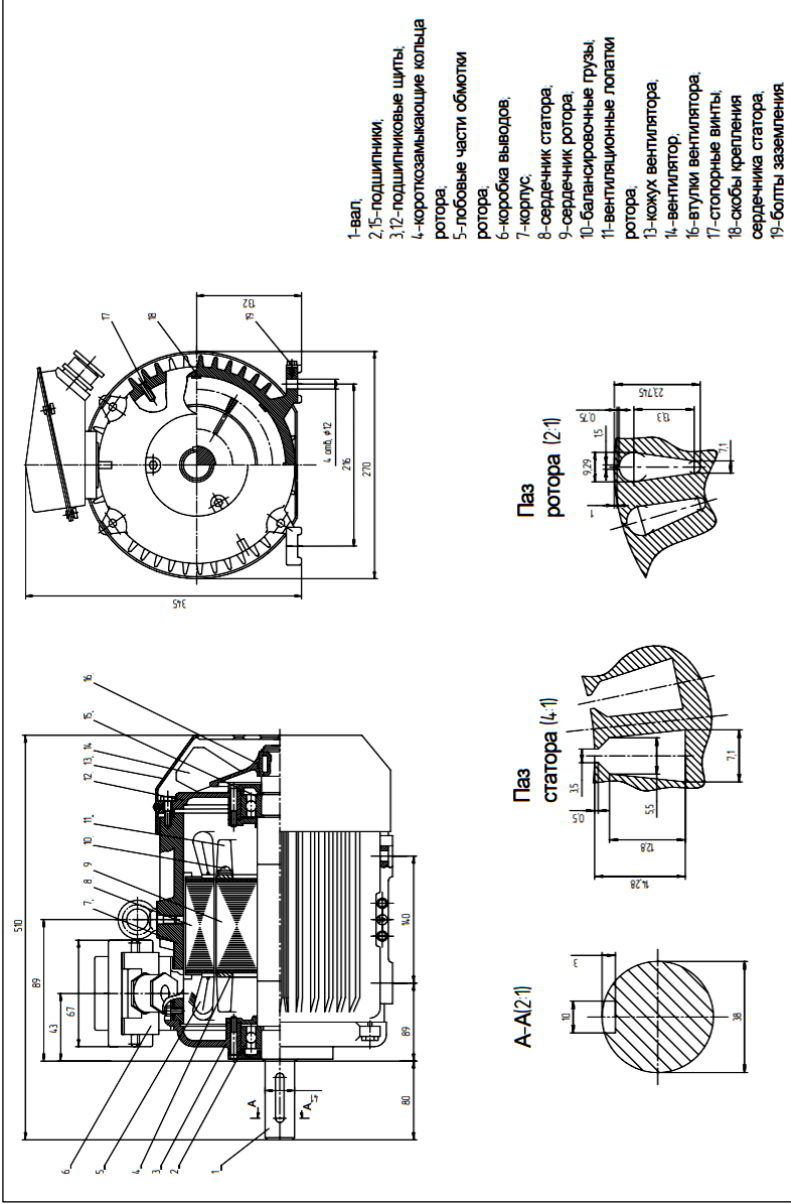


Рис. 5.7. Общий вид асинхронного двигателя АИР 132S4 с сечениями пазов

Учебное издание

**ПРОТАСЕНЯ** Марина Леонидовна  
**СТАЛОВИЧ** Виталий Валерьевич

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ**

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности 1-36 10 01 «Горные машины  
и оборудование (по направлениям)»

Редактор *А. С. Мокрушников*  
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 06.04.2021. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 5,06. Уч.-изд. л. 3,95. Тираж 100. Заказ 796.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.