

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра "Электроснабжение"

О.П.Королев
В.Н.Радкевич
В.Н.Сацукевич

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Учебно-методическое пособие
по курсовому и дипломному проектированию

Рекомендовано Научно-методическим центром учебной книги и средств обучения
Министерства образования Республики Беларусь в качестве Учебно-методического
пособия для студентов специализации "Электроснабжение промышленных предприятий"

М и н с к 1 9 9 8

Королев О.П., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н.
Электроснабжение промышленных предприятий:
Учебно-метод. пособие по курсовому и дипло-
мному проектированию. - Мн.: БГПА, 1998. -
140 с.

В пособии содержатся основные положения и рекомендации по курсовому и дипломному проектированию систем электроснабжения и электрооборудования промышленных предприятий. Рассмотрены и систематизированы такие вопросы, как определение расчетных нагрузок, выбор коммутационных и защитных аппаратов, проводов и кабелей, расчет токов короткого замыкания, компенсация реактивной мощности, светотехнические и электрические расчеты освещения и т.д.

Предлагаемый материал базируется на действующей нормативной и справочной информации, а наиболее сложные расчеты иллюстрируются примерами. В приложении приводятся справочные материалы, необходимые при проектировании электроснабжения и электрооборудования.

Издание предназначено для студентов специализации Т.01.01.08 "Электроснабжение промышленных предприятий". Оно может быть использовано также студентами других специальностей, изучающими дисциплину "Электроснабжение промышленных предприятий".

Рецензенты:

С.М.Сильк, Г.И.Янукович

П р е д и с л о в и е

Системы электроснабжения промышленных предприятий, представляющие собой совокупность электроустановок, предназначены для обеспечения электроэнергией промышленных потребителей. Они оказывают значительное влияние на работу разнообразных электроприемников и, в конечном счете, на производственный процесс в целом.

Надежное и экономичное снабжение потребителей электроэнергией требуемого качества — необходимое условие функционирования любого промышленного предприятия. В связи с этим специалисты в области электроснабжения должны иметь глубокие знания целого комплекса вопросов проектирования и эксплуатации электроустановок промышленных предприятий.

Одним из важных этапов подготовки специалистов, на котором приходится самостоятельно ставить и решать вопросы, не имеющие однозначных ответов, является курсовое и дипломное проектирование. Целью учебного проектирования по дисциплине "Электроснабжение промышленных предприятий" является получение студентами практических навыков в разработке экономичных, надежных, удобных в эксплуатации и безопасных в обслуживании систем электроснабжения на основе достижений научно-технического прогресса.

Разработанное пособие предназначено для студентов специализации Т.01.01.08—"Электроснабжение промышленных предприятий". В то же время отдельные его разделы могут быть полезными для студентов специализации Т.01.02.02—"Промышленная теплоэнергетика" и специальности Т.11.02—"Автоматизированный электропривод".

При написании пособия авторы стремились изложить основные вопросы проектирования электроснабжения систематизированно, последовательно и доступно, сопровождая теоретическое изложение материала поясняющими примерами, опираясь на действующие нормативные и справочные материалы, стандарты, правила и инструкции и используя свой опыт преподавания электроэнергетических дисциплин в Белорусской государственной политехнической академии.

В в е д е н и е

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 указываются консультанты по отдельным разделам и календарный график работы над проектом. Курсовой проект обычно содержит 25...40 страниц рукописного текста и до 3-х листов чертежей. Дипломный проект может иметь пояснительную записку объемом 80...100 страниц и 6...8 листов графического материала формата А1.

Курсовое и дипломное проектирование может осуществляться для реальных объектов, а также по заданию, составленному руководителем проекта с целью более глубокого изучения отдельных разделов дисциплин специализации и освоения технологии проектирования на основе данных, максимально отражающих действительные условия производства. Сбор исходной информации для дипломного проектирования, как правило, выполняется на преддипломной практике. В процессе курсового и дипломного проектирования обычно разрабатывается система электроснабжения отдельных установок, производств, цехов, корпусов или предприятия в целом. При этом для одного из основных структурных подразделений проектируемого объекта (участка цеха, цеха) выполняются расчеты по выбору силового и осветительного электрооборудования и цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ.

В этом случае может быть рекомендована следующая структура дипломного проекта:

1. Введение.
2. Краткое описание технологического процесса.
3. Характеристика потребителей электроэнергии.
4. Выбор напряжения внутрицехового, внутризаводского и внешнего электроснабжения.
5. Выбор электродвигателей, их пусковых и защитных аппаратов.
6. Определение расчетных нагрузок по цехам и предприятию в целом.
7. Выбор схемы и конструктивного выполнения электрической сети.
8. Расчет силовой электрической сети и выбор электрооборудования цеха.
9. Светотехнический расчет цеха.

10. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок.
11. Выбор цеховых трансформаторов и расчет компенсации реактивной мощности.
12. Выбор числа и месторасположения цеховых трансформаторных подстанций.
13. Электрический расчет осветительной сети и выбор электрооборудования осветительных установок.
14. Разработка схемы электроснабжения на напряжении выше 1 кВ.
15. Определение месторасположения и выбор схемы главной понижающей подстанции (или распределительного пункта (РП)).
16. Определение числа и мощности трансформаторов главной понижающей подстанции.
17. Расчет токов короткого замыкания.
18. Выбор сечений токоведущих элементов и электрических аппаратов напряжением выше 1 кВ.
19. Электрический расчет сети напряжением выше 1 кВ.
20. Электрические измерения и учет электроэнергии.
21. Релейная защита и автоматика.
22. Специальный вопрос проектирования.
23. Охрана труда.
24. Техничко-экономические расчеты.
25. Литература.

Специальный вопрос является самостоятельной разработкой дипломника, которая имеет научно-исследовательский или прикладной характер и связана с темой проекта.

Для курсового проектирования, имеющего более узкую направленность и посвященного решению определенного круга задач электроснабжения, в приведенном выше перечне могут быть исключены пункты 2...4, 21...24.

В графическую часть дипломного проекта целесообразно включать чертежи, список которых приведен ниже.

1. План цеха с расстановкой технологического оборудования и схемой силовой сети.
2. Расчетная схема силовой сети.
3. План цеха с осветительной сетью. Расчетная схема осветительной сети.

4. Генплан предприятия с картограммой нагрузок и сетью напряжением выше I кВ.
5. Схема электроснабжения предприятия на напряжении выше I кВ.
6. Схема главной понизительной подстанции.
7. Планы и разрезы распределительных устройств.
8. Чертежи специального вопроса.
9. Конструктивный чертеж.
10. Схемы релейной защиты и автоматики.

В процессе курсового проектирования, как правило, ограничиваются выполнением первых пяти чертежей, которые размещаются на трех листах формата А1.

При проектировании электроснабжения в качестве исходной информации используются: генплан предприятия с размещением зданий, сооружений и коммуникаций; описание технологического процесса; структура и установленные мощности потребителей электроэнергии по цехам; схематический план здания с расстановкой технологического, подъемно-транспортного и сантехнического оборудования; характеристики механизмов и сведения об их взаимосвязях; указания о резервировании питания, компенсации реактивной мощности, учете электроэнергии и заземлении; характеристики среды производства и выполняемых работ; данные о рабочих поверхностях для расчета освещения; сведения по пожаро- и взрывоопасности производств; требования к бесперебойности электроснабжения производств, агрегатов и отдельных механизмов; сведения об источниках питания; описание условий окружающей среды и т.п.

Пояснительная записка и чертежи должны соответствовать требованиям действующих стандартов, инструктивных и нормативных материалов, правил устройства электроустановок, техники безопасности и охраны окружающей среды. В пояснительной записке в краткой и четкой форме излагаются рассматриваемые вопросы электроснабжения, приводятся необходимые методики и алгоритмы расчетов, технико-экономические обоснования. Исходные данные и расчеты должны сопровождаться краткими пояснениями и ссылками на литературу. Расчетные формулы сначала приводят в буквенном выражении, а затем - в цифровом. Для полученных результатов указываются единицы измерения. Не следует повторять однотипные расчеты. Достаточно привести пример расчета и представить результаты в сводной таблице. Условные бук-

венные обозначения математических, физических и других величин должны соответствовать государственным стандартам. При проектировании необходимо применять международную систему единиц (СИ). Текст целесообразно иллюстрировать схемами, диаграммами и т.д.

Листы пояснительной записки можно выполнять без рамки и основной надписи (штампа). В состав пояснительной записки входят титульный лист, задание на проектирование, оглавление, введение, разделы, отражающие основное содержание работы согласно заданию, список использованной литературы и приложения. Приложения включают в себя иллюстрации второстепенного характера, тексты разработанных программ для ЭВМ, результаты расчетов на ЭВМ и другую относящуюся к проекту вспомогательную информацию.

Чертежи проекта должны быть выполнены с соответствием со стандартами Единой системы конструкторской документации, а также системы проектной документации для строительства.

Графический материал представляется, как правило, на листах формата А1 с предпочтительным размещением углового штампа параллельно большей стороне листа.

Чертеж должен быть наглядным и помещаться на одном листе, что предопределяется принятой степенью детализации и выбранным масштабом. Следует избегать чертежей, выполненных в неестественно крупных масштабах.

При проектировании систем электроснабжения необходимо широко применять типовые решения с использованием серийно выпускаемого комплектного электрооборудования, а также современную вычислительную технику, что значительно сокращает трудозатраты и повышает качество курсовых и дипломных проектов.

1. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, ПУСКОВЫХ И ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ

1.1. Выбор электродвигателей

Электродвигатели для привода производственных механизмов выбираются по напряжению, мощности, режиму работы, частоте вращения и условиям окружающей среды.

Электродвигатель необходимо выбирать таким образом, чтобы его номинальная мощность P_n соответствовала мощности приводного ме-

ханизма $P_{\text{МЭК}}$, т.е. $P_{\text{н}} \geq P_{\text{МЭК}}$. При этом номинальная мощность электродвигателей повторно-кратковременного режима работы (краны, подъемники и т.п.) определяется по формуле

$$P_{\text{н}} = P_{\text{п}} \sqrt{\text{ПВ}_{\text{п}}}, \quad (1.1)$$

где $P_{\text{п}}$ - паспортная мощность электродвигателя;
 $\text{ПВ}_{\text{п}}$ - продолжительность включения в относительных единицах.

При выборе электродвигателей по частоте вращения необходимо учитывать частоту вращения приводного механизма. Обычно применяются двигатели с частотой вращения 1500 об/мин. Для нерегулируемых приводов следует широко применять асинхронные электродвигатели переменного тока серии АИ (табл. III.1).

Электродвигатели, устанавливаемые в помещениях с нормальной средой, как правило, должны иметь исполнение IP23 или IP44.

1.2. Выбор магнитных пускателей и тепловых реле

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

В настоящее время следует применять магнитные пускатели серий ПМ1 (табл. П2.1) и ПМА [8].

При длительном режиме работы или редких включениях двигателя номинальный ток нагревательного элемента теплового реле $I_{\text{нэ}}$ выбирает исходя из номинального тока двигателя $I_{\text{н}}$ из соотношения

$$I_{\text{нэ}} \geq I_{\text{н}} \quad (1.2)$$

Необходимо учитывать место установки реле (в защищенном кожухе магнитного пускателя или на открытой панели) и температуру помещения.

1.3. Выбор защитных аппаратов

В качестве аппаратов защиты электроприемников и электрических сетей промышленных предприятий от коротких замыканий следует широко использовать плавкие предохранители, не допуская необоснованного применения автоматических выключателей. Автоматы должны устанавливаться в случаях [11]:

- необходимости автоматизации управления;

необходимости обеспечения более короткого по сравнению с предохранителями восстановления питания, если при этом не имеют решающего значения вероятность неселективных отключений и отсутствие эффекта ограничения тока короткого замыкания;

частых аварийных отключений (испытательные, лабораторные и т.п. установки).

В остальных случаях рекомендуется применять предохранители с наполнителем типа ППН2 и ПН2 (табл. П2.2). Предохранители с закрытой плавкой вставкой без наполнителя (например ПР2) допускается применять в небольших (преимущественно передвижных) установках и при расширении действующих установок с такими предохранителями.

Номинальный ток плавкой вставки $I_{вс}$ предохранителя определяется по величине длительного расчетного тока

$$I_{вс} \geq I_p \quad (I.3)$$

и по условию перегрузок пусковыми токами

$$I_{вс} \geq \frac{I_{кр}}{\alpha} \quad (I.4)$$

где $I_{кр}$ - максимальный кратковременный (пиковый) ток;

α - коэффициент кратковременной тепловой перегрузки, который при легких условиях пуска принимается равным 2,5, при тяжелых - 1,6...2,0, для ответственных электроприемников - 1,6.

Из условий (I.3) и (I.4) по расчетной величине $I_{вс}$ по табл.П2.2 выбирается стандартное значение номинального тока плавкой вставки.

При выборе предохранителя для одного электродвигателя в качестве I_p принимается его номинальный ток I_n , а в качестве $I_{кр}$ - пусковой ток $I_{пуск}$.

Номинальный ток электродвигателя определяется по выражению

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi_n \eta_n} \quad (I.5)$$

где P_n - номинальная мощность двигателя, кВт;

U_n - номинальное напряжение, В;

η_n - КПД при номинальной нагрузке;

$\cos \varphi_n$ - номинальный коэффициент мощности.

Пусковой ток двигателя

$$I_{пуск} = K_{пуск} \cdot I_n \quad (I.6)$$

где $K_{\text{пуск}}$ - кратность пускового тока по отношению к I_H .

Для магистральных линий, питающих группу электроприемников, максимальный кратковременный ток

$$I_{\text{кр}} = I'_{\text{пуск}} + I'_{\rho}, \quad (1.7)$$

где $I'_{\text{пуск}}$ - пусковой ток двигателя или группы включаемых одновременно двигателей, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшей величины;

I'_{ρ} - длительный расчетный ток линии, определяемый без учета рабочего тока пускаемых электродвигателей.

При числе электроприемников в группе больше трех пиковый ток линии может определяться по формуле

$$I_{\text{кр}} = I_{\text{пм}} + (I_{\rho} - K_M \cdot I_{\text{нм}}), \quad (1.8)$$

где $I_{\text{пм}}$ - наибольший из пусковых токов приемников в группе;

$I_{\text{нм}}$ - номинальный (при ПВ = 100%) ток электроприемника, имеющего наибольший пусковой ток;

K_M - коэффициент использования, характерный для приемников с $I_{\text{пм}}$.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, защищающего ответвление к сварочному аппарату, выбирается из соотношения

$$I_{\text{вс}} \geq 1,2 I_{\text{нс}} \sqrt{\text{ПВ}}, \quad (1.9)$$

где $I_{\text{нс}}$ - номинальный ток сварочного аппарата при паспортной продолжительности включения (ПВ).

Для защиты ответвлений к прочим приемникам, не имеющим пиковых токов, номинальный ток плавкой вставки выбирается из условия

$$I_{\text{вс}} \geq I_H, \quad (1.10)$$

где I_H - номинальный ток при ПВ = 100%.

По условию селективности номинальные токи плавких вставок двух последовательно расположенных предохранителей по направлению потока энергии должны различаться не менее чем на две ступени.

В случае осуществления защиты автоматическими выключателями в цеховых распределительных устройствах, на ответвлениях от магистральных шинопроводов, а также в щитах трансформаторных подстанций

(ТП) рекомендуется применять выключатели серии ВА [8], технические данные которых приводятся в табл. П2.3 и П2.4.

Номинальные токи автомата $I_{на}$ и его расцепителей $I_{нр}$ выбирают по длительному расчетному току линии:

$$I_{на} \geq I_p; \quad (I.II)$$

$$I_{нр} \geq I_p. \quad (I.I2)$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя $I_{срз}$ проверяется по максимальному кратковременному току линии:

$$I_{срз} \geq 1,25 I_{кр}. \quad (I.I3)$$

Выбирая автоматические выключатели, нужно по возможности обеспечивать селективность их работы. При наличии у выключателей, расположенных последовательно друг за другом, только электромагнитных расцепителей при коротких замыканиях селективное отключение, как правило, не обеспечивается.

Автоматические выключатели, которые содержат обратно зависящие от тока расцепители, будут действовать селективно, если

$$I_{нрб} \geq 1,5 I_{нрм}, \quad (I.I4)$$

где $I_{нрб}$ и $I_{нрм}$ - номинальные токи соответственно большего и меньшего расцепителей автоматов.

2. СХЕМЫ И КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ВНУТРИЦЕХОВЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

Внутрицеховые сети условно делят на питающие и распределительные. К первым относят провода и кабели, отходящие непосредственно от распределительных устройств трансформаторных подстанций к первичным силовым пунктам и щитам, ко вторым - отходящие от пунктов, щитов или шинпроводов к электроприемникам. Питающие сети могут выполняться по радиальным или магистральным схемам. Распределительные сети чаще всего бывают радиальными.

Для электроснабжения силовых электроприемников следует выбирать наиболее экономичные системы, обеспечивающие необходимую надежность, безопасность и удобство эксплуатации электроустановок.

Большое влияние на принимаемые решения оказывают условия окружающей среды в проектируемом цехе. Располагать электрооборудование в пожаро- и взрывоопасных или пыльных помещениях следует только в случаях острой необходимости. При этом, как правило, применяется специальное оборудование. В условиях неблагоприятных сред магистральные схемы питания нежелательны. В таких цехах наибольшее распространение находят радиальные схемы, при которых все коммутационные аппараты находятся в отдельных изолированных помещениях.

Для питающих сетей во всех случаях, когда этому не препятствуют местные условия, следует предусматривать магистральные схемы с минимальным числом ступеней защиты. Применение схемы блока трансформатор-магистраль (БТМ) позволяет отказаться от установки громоздкого и дорогого распределительного устройства ТП. Такое решение при проектировании внутрицеховых сетей следует считать наиболее рациональным.

Схемы БТМ должны иметь число отходящих от ТП магистралей, равное количеству трансформаторов. Непосредственно к трансформатору подстанции, кроме одной главной магистрали, разрешается присоединение лишь небольшого распределительного устройства необходимого подключения электрического освещения и других нагрузок, отключение которых вместе с главной магистралью недопустимо.

Главные магистрали прокладывают на высоте не менее 3 м над полом. При наличии кранов, усложнении ответвлений и электроприемникам, установленным в других пролетах цеха, а также затруднении устройства перемычек между магистралями рекомендуется располагать главные магистрали на уровне нижнего пояса ферм. В качестве главных магистралей должны применяться комплектные магистральные шинопроводы переменного тока типа ПМА4 и др. (табл. П2.11). К главным магистралям следует присоединять возможно меньшее число ответвлений для питания лишь крупных потребителей электроэнергии (распределительных магистралей, силовых пунктов и единичных электроприемников). Ответвительные секции магистральных шинопроводов выполняются без коммутационных аппаратов, с разъединителем или автоматическим выключателем.

Радиальные схемы питающих сетей с распределительными щитами на подстанциях целесообразно использовать для подключения мощных

электроприемников, силовых пунктов и щитов станций управления, если магистральные схемы не могут быть приняты из-за территориального расположения потребителей, условий среды или по технико-экономическим соображениям.

В схемах радиального питания и БТМ на участках сближения магистралей разных ТП желательно иметь нормально разомкнутые переключки, рассчитанные на пропуск 20-30% мощности трансформатора [10].

Для питания значительного числа электроприемников небольшой мощности, расположенных компактно по площади цеха, следует применять распределительные шинопроводы (серий ШРА4, ШРП и др.), присоединяемые к шинам до 1 кВ ТП или главным магистралям с помощью аппаратов управления и защиты (табл. П2.3, П2.4, П2.10).

Распределительные шинопроводы ШРА4 (табл. П2.12) предназначены для передачи и распределения электроэнергии при напряжении 380/220 В в сетях промышленных предприятий с нормальной средой, ШРП - в помещениях с пыльной средой (в том числе в пожароопасных зонах класса П-II и П-IIа). Шинопроводы выполняются комплектно и прокладываются на стойках, кронштейнах или подвесах.

Для подключения электроприемников распределительные шинопроводы имеют ответвительные коробки, которые могут иметь предохранители, автоматические выключатели или разъединители (табл. П2.13). Отметим, что шинопровод типа ШРА4 на 100 А оснащается ответвительными коробками с защитными аппаратами на 25 А, что в ряде случаев может ограничивать его применение.

От распределительных шинопроводов к электроприемникам провода прокладываются в пластмассовых трубах, металлорукавах, коробах, на лотках и перфополосах.

Радиальные схемы распределительных сетей с силовыми пунктами следует предусматривать в тех случаях, когда применению распределительных шинопроводов препятствуют условия среды, территориальное размещение электроприемников, наличие кранов или другие местные условия. При этом рекомендуется использовать выпускаемые в Республике Беларусь силовые распределительные шкафы серий ШР1, ШРС1 и СПУ62, а также производимые за ее пределами ШР11 с трехфазными группами плавких предохранителей ПН2 и НПН2 для защиты отходящих линий (табл. П2.6...П2.9). Каждый тип шкафа имеет два

варианта исполнения: со степенью защиты IP22 и IP54.

Кроме силовых шкафов с предохранителями выпускаются распределительные пункты типа ПРБ50I с автоматическими выключателями серии ВА50, которые следует применять обоснованно.

При радиальной схеме питания сеть выполняется изолированными проводами марки АПВ или АПРТО в пластмассовых трубах и, реже, небронированными кабелями марки АВВГ, АНРГ и т.п. Применение стальных труб должно рассматриваться как исключение и обосновываться в проекте. Нужно избегать радиальных схем для питания малоамперных (до 15...20 А) электроприемников от силовых РП, в особенности от пунктов с автоматическими выключателями.

Конкретные условия производства не всегда позволяют использовать радиальные или магистральные схемы в чистом виде. В связи с этим широкое распространение на практике находят смешанные схемы, сочетающие в себе элементы радиальных и магистральных схем.

При построении схем необходимо стремиться к тому, чтобы длина линий была минимальной. Следует также исключать или сводить к минимуму случаи обратных потоков мощности.

Цеховые распределительные устройства (щиты, силовые распределительные пункты, станции управления) должны располагаться как можно ближе к электроприемникам. При отсутствии ТП в цехе, как правило, предусматривается цеховой распределительный пункт, который рекомендуется выполнять панелями ЩО70М (табл. П2.5) и т.п.

В схеме цехового электроснабжения с целью повышения ее надежности следует максимально ограничивать число ступеней защиты, которое не должно превышать трех. На вводе в силовой пункт, распределительный шинопровод или другое распределительное устройство не следует предусматривать аппарат защиты, дублирующий защиту главного участка линий. В случае необходимости в конце питающей линии может быть предусмотрен рубильник для возможности аварийного отключения распределительного устройства.

Распределительная сеть в цехах промышленных предприятий с нормальной средой может быть выполнена в виде модульной разводки. Модульная сеть представляет собой проложенные под полом магистрали с утопленными в пол распределительными коробками (без аппаратов) или напольными распределительными колонками, предназначенными для подключения электроприемников и расположенными с

определенным шагом (модулем) между ними. Распределительные коробки называются модульными коробками, а питающие линии, соединяющие группу модульных коробок с РП, — модульными магистралями. Расстояние между магистралями рекомендуется принимать 3 м, а от стены (или оси колонн) до магистрали — 1,5 м. Магистрали располагаются вдоль пролетов цеха и выполняются алюминиевыми проводами сечением от 3 (1x16) + 1x8 до 3 (1x35) + 1x25 мм² в полиэтиленовых или виниловых трубах.

Модульные коробки целесообразно располагать вдоль магистралей через 2 м для малогабаритного и через 3 м для крупного технологического оборудования.

Выпускаемая промышленностью модульная коробка КМ-4 на ток до 100 А позволяет выполнить ответвления от магистрали алюминиевыми проводами сечением от 4 (1x4) до 3 (1x10) + 1x5 мм² специальными зажимами без разрезания магистрали.

Для ответвлений применяются также распределительные колонки на ток до 100 А (с коммутационными и защитными аппаратами), которые устанавливаются на коробках. Выпускаются колонки на два и четыре ответвления серии КРА с автоматическими выключателями и КРП с рубильником на вводе и предохранителями ППН2-63 на отходящих линиях. Электропроводка от колонок к электроприемникам выполняется проводами в гибком металлорукаве.

3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

3.1. Метод упорядоченных диаграмм

Исходной информацией для определения расчетных нагрузок по данному методу является перечень электроприемников с указанием их номинальных мощностей, наименований механизмов или технологических установок, режимов работы и числа фаз. Предварительно приемники разбиваются на характерные группы, для которых вычисляются суммарные номинальные мощности рабочих механизмов. При этом для двигателей повторно-кратковременного режима номинальная мощность приводится к длительному режиму (ПВ = 100%) по выражению (I.1), а для сварочных трансформаторов

$$P_n = S_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \sqrt{P_n} \quad (3.1)$$

где S_n - паспортная мощность трансформатора, кВ·А;
 $\cos \varphi_n, \Pi B_n$ - соответственно паспортные значения коэффициента
 мощности и продолжительности включения.

Расчетная активная нагрузка группы электроприемников опреде-
 ляется по формуле

$$P_p = K_m \cdot K_n \cdot P_n, \quad (3.2)$$

где K_n - групповой коэффициент использования;
 P_n - суммарная номинальная мощность группы электроприем-
 ников, кВт;
 K_m - коэффициент максимума.

В справочных материалах [9] значения коэффициентов использо-
 вания приведены по характерным (однородным) категориям электро-
 приемников.

К одной характерной категории относятся электроприемники,
 имеющие одинаковое технологическое назначение, а также одинако-
 вые верхние границы возможных значений K_n и коэффициентов
 реактивной мощности $\tan \varphi$.

Для электроприемников одной категории значения индивидуаль-
 ного (K_n) и группового (K_n) коэффициентов использования
 совпадают.

Для группы электроприемников различных категорий (т.е. с
 разными K_n) средневзвешенный коэффициент использования будет

$$K_n = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ni} P_{ni}}{\sum_{i=1}^n P_{ni}}, \quad (3.3)$$

где n - число электроприемников в группе;
 P_{ni} - номинальная мощность i -го электроприемника.

Средние значения коэффициентов использования K_n и мощ-
 ности $\cos \varphi$ для различных приемников электроэнергии приведе-
 ны в табл. ПЗ.1.

Коэффициент максимума представляет собой отношение расчетно-
 го максимума активной (реактивной) мощности нагрузки группы элек-
 троприемников к средней мощности нагрузки за наиболее загруженную
 смену:

$$K_m = \frac{P_p}{P_{cm}} ; \quad (3.4)$$

$$K'_m = \frac{Q_p}{Q_{cm}} , \quad (3.5)$$

где P_p , Q_p - расчетные активная и реактивная нагрузки;
 P_{cm} , Q_{cm} - средние активная и реактивная нагрузки за наиболее загруженную смену.

Средние нагрузки за наиболее загруженную смену силовых электроприемников одинакового режима работы определяются по формулам

$$P_{cm} = K_m \cdot P_n ; \quad (3.6)$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi , \quad (3.7)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ - среднее значение коэффициента реактивной мощности для электроприемников данного режима работы.

Для группы электроприемников с разными режимами работы

$$P_{cm} = \sum_{i=1}^n K_{mi} \cdot P_{ni} ; \quad (3.8)$$

$$Q_{cm} = \sum_{i=1}^n K_{mi} \cdot P_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \quad (3.9)$$

Величину K_m находим по графикам или таблицам [2, 3, 4] в зависимости от величины группового коэффициента использования K_m за наиболее загруженную смену и эффективного числа электроприемников в группе $n_{\text{э}}$ (табл. ПЗ.4).

Эффективное (приведенное) число электроприемников определяется по формуле

$$n_{\text{э}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{ni} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{ni}^2} . \quad (3.10)$$

Допускается вычислять эффективное число электроприемников при $K_m \geq 0,2$ по следующему упрощенному выражению:

$$n_3 = 2 \sum_{i=1}^n P_{Hi} / P_{Hmax}, \quad (3.11)$$

где P_{Hmax} - номинальная мощность наиболее мощного электроприемника группы.

Если найденное по упрощенному выражению n_3 окажется больше n , то следует принимать $n_3 = n$.

Если $(P_{Hmax} / P_{Hmin}) \leq 3$, то $n_3 = n$.

Здесь P_{Hmin} - номинальная мощность наименее мощного электроприемника группы.

Расчетная нагрузка группы или многодвигательного привода с тремя и менее электроприемниками определяется как сумма их номинальных мощностей.

При числе электроприемников в группе больше трех (но при эффективном их числе меньше четырех) расчетная нагрузка может быть принята как для группы электроприемников с n_3 , равным четырем, но не менее суммы номинальных мощностей трех наибольших электроприемников.

Расчетная реактивная нагрузка группы определяется по формуле

$$Q_p = K'_m \cdot Q_{cm}. \quad (3.12)$$

Величина $K'_m = 1,1$ при $n_3 \leq 10$. В остальных случаях $K'_m = 1$.

Полная расчетная нагрузка силовых электроприемников по распределительному пункту, магистрали или цеху находится из выражения

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (3.13)$$

Расчетный ток группы приемников

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} \quad (3.14)$$

По значению найденного тока выбираются сечения проводов, кабелей, распределительные пункты и шинопроводы.

3.2. Метод расчетных коэффициентов

Метод разработан институтом "Тяжпромэлектропроект" (г. Москва) и учитывает значение постоянной времени нагрева T_0 различных элементов сети. Для линий напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, питы, принято $T_0 = 10$ мин, для магистральных шинопроводов и трансформаторов - $T_0 = 2,5$ ч, для кабельных линий 6...10 кВ - $T_0 = 30$ мин.

Исходной информацией для выполнения расчетов по данному методу является перечень электроприемников с указанием их номинальных мощностей P_{Ni} . Для каждого электроприемника по справочной литературе подбираются средние значения коэффициентов использования K_{Ni} , активной ($\cos \varphi$) и реактивной ($\operatorname{tg} \varphi$) мощности. При наличии интервальных значений K_{Ni} рекомендуется принимать большее.

Расчетная активная нагрузка группы электроприемников определяется по выражению

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n K_{Ni} \cdot P_{Ni}, \quad (3.15)$$

где K_p - коэффициент расчетной нагрузки.

Величина K_p принимается по табл. ПЗ.5, ПЗ.6 в зависимости от n_3 и группового коэффициента использования K_{Ni} .

Величина n_3 определяется способами, указанными в разделе 3.1. При этом найденное по формулам (3.10) и (3.11) значение n_3 округляется до ближайшего меньшего целого числа.

При расчете нагрузок кабельных линий, питающих цеховые трансформаторы, необходимо принимать $K_p = 1$.

Если расчетная активная нагрузка P_p окажется меньше номинальной мощности наиболее мощного электроприемника группы $P_{N_{\max}}$, следует принимать $P_p = P_{N_{\max}}$.

Расчетная реактивная мощность определяется следующим образом: для питающих линий напряжением до 1 кВ, в зависимости от величины n_3 :

$$Q_p = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n K_{Ni} \cdot P_{Ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, & \text{при } n_3 \leq 10; \\ \sum_{i=1}^n K_{Ni} \cdot P_{Ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, & \text{при } n_3 > 10; \end{cases} \quad (3.16)$$

для магистральных шинопроводов (МШ), на шинах цеховых трансформаторных подстанций напряжением до 1 кВ, а также для цеха, корпуса, предприятия в целом:

$$Q_p = K_p \sum_{i=1}^n K_{ni} \cdot P_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \quad (3.17)$$

Полная расчетная мощность и ток нагрузки определяются по (3.13) и (3.14).

При необходимости к расчетным активной и реактивной мощностям силовых приемников добавляются расчетные осветительные нагрузки P_{po} и Q_{po} .

Расчетные активная и реактивная нагрузки предприятия на шинах 6...10 кВ распределительного пункта или главной понижающей подстанции (ГПП) определяются по выражениям

$$P_p = K_o \sum_{i=1}^n K_{ni} \cdot P_{ni}; \quad (3.18)$$

$$Q_p = K_o \sum_{i=1}^n K_{ni} P_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (3.19)$$

где K_{ni} и $\operatorname{tg} \varphi_i$ - средние значения коэффициентов использования и реактивной мощности для i -го подразделения предприятия;

P_{ni} - суммарная установленная мощность электроприемников i -го подразделения;

n - количество подразделений предприятия;

K_o - коэффициент одновременности расчетных нагрузок, принимаемый по табл. ПЗ.7 в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования и числа присоединений на сборных шинах 6...10 кВ РП или ГПП.

Результирующая нагрузка на стороне высшего напряжения определяется с учетом выбранных компенсирующих устройств и потерь мощности в элементах сети 6...10 кВ.

3.3. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок

3.3.1. Метод коэффициента спроса

При отсутствии данных о количестве электроприемников, их мощности, об удельном потреблении электроэнергии допускается в ориентировочных расчетах определять нагрузки цеха или предприятия по выражениям

$$P_p = K_c \cdot P_n ; \quad (3.20)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi , \quad (3.21)$$

где K_c - коэффициент спроса, характерный для данной группы электроприемников.

Величины коэффициентов спроса для различных приемников электроэнергии приведены в табл. ПЗ.1. Значения K_c в зависимости от K_n даны в табл. ПЗ.2.

Метод коэффициента спроса может быть использован для приближенного определения расчетных нагрузок цехов и предприятия в целом.

3.3.2. Метод удельного расхода электроэнергии на единицу продукции

При наличии данных об удельных расходах электроэнергии на единицу продукции $W_{уд}$, о годовом выпуске продукции M и годовом числе часов использования полугодового максимума нагрузки T_M расчетная нагрузка цеха или предприятия в целом может быть определена по формуле

$$P_p = \frac{W_{уд} \cdot M}{T_M} . \quad (3.22)$$

В этом случае значения Q_p и S_p определяются по выражениям (3.21) и (3.13).

3.3.3. Метод удельных плотностей нагрузок

Согласно данному методу, расчетная активная нагрузка группы

приемников находится по выражению

$$P_p = P_{\gamma} \cdot F, \quad (3.23)$$

где P_{γ} - удельная расчетная мощность на 1 м^2 производственной площади;

F - площадь, на которой размещена группа приемников.

Величины Q_p , S_p и I_p рассчитываются по формулам (3.21), (3.13) и (3.14). Значения P_{γ} зависят от вида производства и выявляются путем статистических исследований. Метод может применяться при ориентировочных расчетах нагрузок производств с большой динамичностью технологического процесса и относительно равномерно распределенной по площади нагрузкой.

3.4. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников в трехфазных сетях

Однофазные электроприемники, включенные на фазные и линейные напряжения и распределенные по фазам с неравномерностью не выше 15% по отношению к общей мощности трехфазных и однофазных электроприемников в группе, учитываются в расчетах как трехфазные той же мощности. При превышении указанной неравномерности расчетная нагрузка однофазных приемников принимается равной утроенному значению нагрузки наиболее загруженной фазы.

При числе однофазных электроприемников $n \leq 3$ для них определяют условную трехфазную номинальную мощность $P_{н\gamma}$ следующим способом:

1) при включении приемников на фазное напряжение

$$P_{н\gamma} = 3 P_{н\text{ф}}, \quad (3.24)$$

где $P_{н\text{ф}}$ - номинальная мощность максимально загруженной фазы;

2) при включении приемников на линейное напряжение

$$P_{н\gamma} = \begin{cases} \sqrt{3} P_n & , \text{ если } \bar{n} = 1; \\ 3 P_{н\text{ф}} & , \text{ если } \bar{n} = 2 \dots 3. \end{cases} \quad (3.25)$$

Расчетную нагрузку группы однофазных приемников при $\bar{n} > 3$ и одинаковых значениях K_n и $\cos \varphi$ определяют по формулам

$$P_p = 3 K_m \cdot K_n \cdot P_{нмф} \quad (3.26)$$

$$Q_p = 3 K_m \cdot K_n \cdot P_{нмф} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3.27)$$

Величина P_3 для группы однофазных приемников вычисляется по выражению

$$P_3 = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{нои}}{3 P_{нотмак}}, \quad (3.28)$$

где $P_{нои}$ - номинальная мощность i -го однофазного приемника;
 $P_{нотмак}$ - номинальная мощность наибольшего приемника в группе.

При $n > 3$ и различных значениях K_m и $\cos \varphi$ электроприемников, включенных на фазное и линейное напряжения, расчетная нагрузка определяется с помощью коэффициентов приведения линейных нагрузок к фазным по [7].

3.5. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок

Выбор места расположения ГПП, РП и цеховых ТП удобно производить с помощью картограммы нагрузок, которая представляет собой размещенные на генеральном плане предприятия окружности. Площади, ограниченные этими окружностями, в выбранном масштабе отражают расчетные нагрузки цехов.

Радиус окружности в мм для каждого цеха определяется по выражению

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot m}}, \quad (3.29)$$

где m - масштаб площади круга, кВт/мм².

Каждый круг разделяется на секторы, соответствующие осветительной и силовой нагрузкам. Угол сектора осветительной нагрузки α в градусах вычисляется по формуле

$$\alpha = \frac{P_{по}}{P_p} 360^\circ. \quad (3.30)$$

Величины осветительной и силовой нагрузок указываются внутри секторов.

Картограммы строятся отдельно для активной и реактивной нагрузок.

Центр электрических нагрузок (ЦЭН) предприятия определяется с помощью положения из курса теоретической механики. Если считать нагрузки цеха равномерно распределенными по площади цеха, то центр нагрузок цеха можно принять совпадающим с центром тяжести фигуры, изображающей цех на плане.

Проводя аналогию между массами и электрическими нагрузками цехов P_{Pi} , координаты ЦЭН предприятия можно определить в соответствии с формулами

$$X_{цэн} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Pi} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{Pi}} ; \quad Y_{цэн} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Pi} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{Pi}} , \quad (3.31)$$

где X_i ; Y_i - координаты центра нагрузок цехов.

Цеховые ТП и ГПП следует располагать как можно ближе к центру нагрузок цеха, предприятия. Распределительные устройства (РУ) без преобразования энергии размещаются на границе питаемых ими участков сети со стороны ввода таким образом, чтобы не было обратных потоков энергии. По возможности РУ совмещают с цехами, имеющими высоковольтные электроприемники.

Выбор места расположения ГПП определяется с учетом центра электрических нагрузок предприятия и условий окружающей среды.

4. РАСЧЕТ ВНУТРИЦЕХОВОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

4.1. Выбор сечений жил проводов кабелей

Сечения жил проводов и кабелей напряжением до 1 кВ по нагреву определяются по таблицам допустимых токов из [2, 8, 10], составленным для нормальных условий прокладки, в зависимости от расчетных значений длительно допустимых токовых нагрузок $I_{дон}$ из соотношения

$$I_{дон} \geq \frac{I_p}{K_n} , \quad (4.1)$$

где I_p - расчетный ток проводника;
 K_n - поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей (при нормальных условиях прокладки $K_n = 1$).

Допустимые длительные токи проводов, шнуров и кабелей приведены в табл. П.4.2...П.4.5.

При определении количества проводов, прокладываемых в одной трубе, или жил многожильного проводника нулевой рабочий проводник, а также заземляющие и нулевые защитные проводники в расчет не принимаются [10].

Для цеховых электрических сетей, как правило, должны применяться провода и кабели с алюминиевыми жилами.

Проводники с медными жилами следует применять в электрических сетях во взрывоопасных помещениях классов ВІ и ВІа, а также в силовых цепях крановых установок.

По механической прочности минимальные сечения алюминиевых жил проводов и кабелей для присоединения к неподвижным электроприемникам внутри помещений должны быть не менее 4 мм^2 при прокладке на изоляторах, 2 мм^2 - при других способах прокладки.

Сечение нулевого провода следует принимать равным или большим половины фазного сечения, но не меньшим, чем требуемое по механической прочности.

Выбранные проводники должны соответствовать их защитным аппаратам, что проверяется по условию

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{K_3 I_3}{K_n}, \quad (4.2)$$

где K_3 - кратность длительно допустимого тока провода или кабеля по отношению к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата, определяемая по табл. П4.І;
 I_3 - номинальный ток или ток срабатывания защитного аппарата.

Наличие аппаратов защиты с завышенными значениями I_3 не является обоснованием для увеличения сечения проводников сверх принятого по выражению (4.1). По (4.2), допускается применение ближайшего меньшего сечения, но не меньшего, чем это требуется по условию нагрева расчетным током [10].

При длительности использования максимума нагрузки $T_n \geq 5000 \text{ ч}$ сечения проводов сетей до 1 кВ (кроме ответвлений к отдельным электроприемникам и осветительных сетей) проверяются по экономической плотности тока. В этом случае допускается повышать экономическую плотность тока на 40% для изолированных проводников сечением 16 мм^2 и менее.

4.2. Выбор шинпроводов

Магистральные и распределительные шинпроводы выбираются таким образом, чтобы номинальный ток шинпровода I_N был не меньше расчетного тока I_P , т.е.

$$I_N > I_P. \quad (4.3)$$

При этом для магистральных шинпроводов I_P принимается равным номинальному току силового трансформатора.

Если распределительный шинпровод подключается не в начале, то он выбирается по расчетному току наиболее нагруженного плеча от точки присоединения питающей линии до конца шинпровода. Для этого предварительно вычисляется ток нагрузки на I м шинпровода по выражению

$$i_{PM} = \frac{S_{PM}}{\sqrt{3} U_n l_m}, \quad (4.4)$$

где S_{PM} - полная мощность расчетной нагрузки группы электроприемников, питающихся от шинпровода;
 l_m - длина распределительного шинпровода.

Расчетный ток плеча шинпровода, имеющего длину l_P , определяется как

$$I_P = i_{PM} \cdot l_P. \quad (4.5)$$

При присоединении питающей линии в начале шинпровода $l_P = l_m$.

Технические данные шинпроводов приведены в табл. П2.11... П2.13.

4.3. Определение потерь напряжения в цеховой сети

Электрические сети до 1 кВ, рассчитанные на нагрев, проводятся на потерю напряжения за исключением силовых сетей, питающихся от встроенных, пристроенных и внутрицеховых комплектных ТП. В нормальном режиме допускаются отклонения напряжения от номинального на зажимах электродвигателей в пределах от -5 до +10%, осветительных приборов - от -2,5 до +5%, печей сопротивления и дуговых печей - от -5 до +5%.

Для определения напряжения на зажимах электроприемников необходимо найти потери напряжения в питающем трансформаторе, линиях и шинпроводах. Потеря напряжения в трансформаторе в процентах рассчитывается по выражению

$$\Delta U_T = \beta_T (U_a \cos \varphi_T + U_p \sin \varphi_T) + \frac{\beta_T}{200} (U_a \sin \varphi_T + U_p \cos \varphi_T)^2, \quad (4.6)$$

где β_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 $S_n \leq 1000$ кВ·А вторым членом формулы можно пренебречь. Тогда

$$\Delta U_T = \beta_T (U_a \cos \varphi_T + U_p \sin \varphi_T). \quad (4.7)$$

Значения U_a и U_p в процентах определяются по формулам:

$$U_a = \frac{\Delta P_K}{S}; \quad (4.8) \quad U_p = \sqrt{U_K^2 - U_a^2}, \quad (4.9)$$

где ΔP_K - потери короткого замыкания трансформатора, кВт;

S - номинальная мощность трансформатора, кВ·А.

Потери напряжения в линии электропередачи в процентах вычисляются по формуле

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_p \cdot l}{U_n} (\gamma_0 \cos \varphi + \chi_0 \sin \varphi), \quad (4.10)$$

где I_p и l - расчетный ток и длина линии;

γ_0 и χ_0 - удельные активное и индуктивное сопротивления линии (табл. П6.1);

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности нагрузки линии.

В питающем шинпроводе потеря напряжения не должна превышать 1,5...1,8%. Ее величина при одинаковых значениях $\cos \varphi$ ответвлений вычисляется по выражению

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \sum_{i=1}^n I_{pi} l_i}{U_n} (\gamma_{0n} \cos \varphi + \chi_{0n} \sin \varphi), \quad (4.11)$$

где I_{pi} и l_i - расчетный ток и длина i -го участка шинпровода;
 n - количество участков, на которых определяются потери напряжения;
 τ_{ow} и χ_{ow} - удельные активное и индуктивное сопротивления шинпровода.

При неодинаковых значениях $\cos \varphi$ ответвлений от шинпровода

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 (\tau_{ow} \sum_{i=1}^n I_{pi} \cos \varphi_i l_i + \chi_{ow} \sum_{i=1}^n I_{pi} \sin \varphi_i l_i)}{U_n}, \quad (4.12)$$

где $\cos \varphi_i$ - коэффициент мощности нагрузки i -го участка шинпровода.

Для распределительных шинпроводов с равномерной нагрузкой потеря напряжения не должна быть больше 2...2,5%. При ее определении равномерно распределенная нагрузка заменяется сосредоточенной нагрузкой той же величины, приложенной в середине расчетного участка. В этом случае

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 0,5 I_p l_w}{U_n} (\tau_{ow} \cos \varphi + \chi_{ow} \sin \varphi), \quad (4.13)$$

где I_p и l_w - расчетный ток и длина наиболее нагруженного плеча шинпровода.

Значения τ_{ow} и χ_{ow} для магистральных и распределительных шинпроводов приведены в табл. П2.11 и П2.12.

Потерей напряжения в ответвлениях и отдельным электроприемникам можно пренебречь. Тогда напряжение на зажимах электроприемника в % определяется как

$$U_{\Sigma} = U_{xx} - \sum_{i=1}^n \Delta U_i, \quad (4.14)$$

где U_{xx} - напряжение холостого хода трансформатора, $U_{xx} = 105\%$;
 ΔU_i - потеря напряжения в i -м элементе сети;
 n - число элементов на пути от ТП до точки, в которой определяется U_{Σ}

4.4. Расчет троллейных линий

Питание двигателей кранов, кран-балок и тельферов может осуществляться при помощи троллейных линий, выполненных из угловой стали, троллейных шинопроводов или гибкого кабеля (лрпровода). В помещении с нормальной средой, как правило, применяются троллейные линии и троллейные шинопроводы типа ШМТ-АУ2, ШМТ-АУ2. Основные технические данные шинопровода ШМТ-АУ2 приведены в табл. П2.14.

В крановых установках имеются двигатели для подъема груза, перемещения тележки и моста, которые работают в повторно-кратковременном режиме с низким коэффициентом использования ($K_{и} = 0,15 \dots 0,35$). При расчете троллеев следует учитывать, что на кранах малой грузоподъемности устанавливаются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серии МТК F (табл. П1.2), работающие с $\cos \varphi = 0,45 \dots 0,5$, а на кранах большой грузоподъемности - двигатели с фазным ротором серии МТГ F, для которых среднее значение $\cos \varphi = 0,6$.

Расчет троллейных линий сводится к выбору размеров угловой стали или типа троллейного шинопровода, удовлетворяющих условиям нагрева и допустимой потере напряжения. Первое условие проверяют, сравнивая расчетный ток I_p с допустимым током угловой стали $I_{доп}$ (табл. 4.1) или номинальным током шинопровода I_n (табл. П2.14):

$$I_{доп} > I_p ; \quad I_n \geq I_p . \quad (4.15)$$

Таблица 4.1

Допустимый ток для угловой стали

Допустимый ток, А, для размеров сечения				
25x25x3	40x40x4	50x50x5	60x60x6	75x75x8
150	250	315	395	520

Величина I_p троллейной линии определяется при расчете электрических нагрузок.

Для крановых установок рекомендуется использовать гибкий

четырёхжильный кабель марки КГ или КГН. Отметим, что кабели данных марок имеют все жилы одинакового сечения.

Потеря напряжения в троллейном шинопроводе

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_{\text{лик}}}{U_n} (R_{\text{ш}} \cos \varphi + X_{\text{ш}} \sin \varphi), \quad (4.16)$$

где $I_{\text{лик}}$ - пиковый ток группы крановых электродвигателей;
 $R_{\text{ш}}$ и $X_{\text{ш}}$ - активное и индуктивное сопротивления участка шинопровода.

Расчет потерь напряжения в стальных крановых троллеях производится по специальным таблицам [8].

Напряжение на зажимах электродвигателей крана при всех режимах работы должно быть не ниже 85% номинального [10].

5. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ

5.1. Системы и виды электрического освещения

В помещениях могут применяться системы:

а) общего освещения, равномерного или локализованного (т.е. осуществляющего распределение светового потока с учетом расположения освещаемых поверхностей);

б) комбинированного освещения, состоящего из общего освещения помещений и местного освещения отдельных рабочих мест.

Общее равномерное освещение применяют при относительно невысокой точности выполняемых работ, большой плотности рабочих мест, возможности выполнения работ в любой точке помещения и отсутствии специальных требований к качеству освещения.

Различают два вида освещения: рабочее и аварийное. Рабочее освещение служит для обеспечения нормальной освещенности на рабочих местах.

Аварийное освещение служит для временного продолжения работы или эвакуации людей при аварийном отключении рабочего освещения. Аварийное освещение для безопасной эвакуации предусматривается в помещениях с числом работающих более 50 человек, в местах, опасных для прохода в темноте.

При нормальных условиях работы оба вида освещения, как пра-

вило, совместно обеспечивают требуемую освещенность. Аварийное освещение для продолжения технологического процесса должно создавать освещенность не менее 5% от установленной нормы общего освещения, а для эвакуации людей - не менее 0,5 люкса. Аварийное освещение может осуществляться лампами накаливания и люминесцентными лампами при температуре в помещении не ниже 10°C. Ртутные лампы высокого давления, люминесцентные (ДРЛ) для аварийного освещения применять запрещено.

Сеть аварийного освещения должна быть отдельной от сети рабочего освещения и получать питание от независимого источника.

Светильники аварийного освещения рекомендуется по возможности выделять из числа светильников рабочего освещения и устанавливать в удалении от оконных проемов над основными проходами.

Самостоятельные дополнительные светильники для аварийного освещения следует предусматривать в следующих случаях:

- а) в зданиях с некруглосуточной работой при мощности светильников рабочего освещения свыше 150 Вт;
- б) в случаях, когда источники света, принятые для рабочего освещения, запрещены к применению для аварийного освещения;
- в) в случаях, когда предусматривается включение аварийного освещения только в аварийном режиме.

5.2. Выбор источников света

Согласно СНиП, для общего освещения промышленных помещений следует применять газоразрядные лампы (люминесцентные, ДРЛ и ДРИ) для работ I-УП разрядов, а в помещениях без естественного освещения при постоянном пребывании работающих - независимо от разряда. Применение ламп накаливания допускается при технической невозможности применения газоразрядных ламп, а также для освещения вспомогательных бытовых помещений. Основные параметры применяемых ламп приведены в табл. ПБ.3...ПБ.5.

Величина требуемой освещенности производственных помещений принимается по справочной литературе [6].

5.3. Выбор светильников и их размещение

Для светильников ГОСТ 13828-74 устанавливает следующие ос-

новные типы кривых силы света: К - концентрированная, Г - глубокая, Д - косинусная, Л - полуширокая, М - равномерная, Ш - широкая, С - синусная. В справочной литературе для каждого типа светильников указывается соответствующий ему тип кривой [6].

При общем равномерном освещении с увеличением расчетной высоты и нормированной освещенности следует выбирать более концентрированное светораспределение. При наибольшем значении этих параметров рекомендуется принимать кривые силы света типов К или Г, при средних - Г, при малых - Д. Кривые М следует, как правило, выбирать только при малых значениях высоты и освещенности, если при этом необходимо осветить высоко расположенные поверхности или увеличить расстояние между светильниками [II].

Светильники выбираются также по степени защиты от пыли и воды.

В соответствии с ГОСТ 13828-74 тип светильника должен иметь обозначение, состоящее из букв и цифр. При этом вначале записываются буквы, обозначающие тип лампы (Л - люминесцентные, Н - накаливания, Р - лампы ДРЛ, Г - лампы ДРИ, Ж - натриевые, И - галогенные, К - ксеноновые), конструктивное исполнение (С - подвесной, П - потолочный, Б - настенный, В - встроенный, К - консольный и т.д.) и назначение светильника (П - для промышленных предприятий, О - для общественных зданий, У - для наружного освещения, Р - для рудников и шахт и т.д.). В обозначении также указывают номер серии, число и мощность ламп (цифра I не записывается), номер модификации, климатическое исполнение (У - для умеренного климата, Т - для тропиков и т.д.) и категорию размещения.

При общем равномерном освещении, а по возможности также и при локализованном освещении, светильники с лампами накаливания, лампами ДРЛ, ДРИ и натриевыми лампами рекомендуется располагать по вершинам квадратных, прямоугольных (с отношением большей стороны прямоугольника к меньшей не более 1,5) или ромбических (с острым углом ромба, близким к 60°) полей.

Светильники с люминесцентными лампами следует преимущественно размещать рядами, параллельными стенам с окнами или рядам колонн. Ряды следует выполнять непрерывными или с разрывами (в свету), не превышающими примерно 0,5 расчетной высоты [II].

Расчетная высота подвеса светильников находится по формуле

$$H_p = H - h_c - h_p, \quad (5.1)$$

где H - высота помещения, м;

h_p - высота рабочей поверхности над полом;

h_c - расстояние от точки крепления до светильника.

Из названных размеров H и h_p являются заданными, а h_c принимается в пределах от нуля (при установке на потолке) до 1,5 м.

При общем равномерном освещении отношение расстояний между соседними светильниками или рядами светильников L к высоте их установки H_p над освещаемой поверхностью рекомендуется выбирать в зависимости от типа кривой силы света светильников (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Отношение	Типы кривой силы света				
	К	Г	Д	М	Л
L/H_p	0,4-0,7	0,8-1,1	1,4-1,6	1,8-2,6	1,6-1,8

Расстояние от крайних рядов светильников до стен принимается в пределах $(0,3 \dots 0,5) \cdot L$, в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест.

Число рядов светильников R определяется по формуле

$$R = \frac{B - 2\ell}{L} + 1, \quad (5.2)$$

где B - ширина помещения, м;

ℓ - расстояние от крайних светильников до стены, м.

Число светильников в ряду N_R находится из выражения

$$N_R = \frac{A - 2\ell}{L} + 1, \quad (5.3)$$

где A - длина помещения, м.

Найденные значения R , N_R округляются до ближайшего целого числа.

Действительные расстояния между рядами светильников и лампами в ряду находятся по формулам

$$L_a = \frac{B - 2l}{R - 1} ; \quad (5.4)$$

$$L_r = \frac{A - 2l}{N_r - 1} .. \quad (5.5)$$

По полученным данным на плане помещения, вычерченном в масштабе, производится окончательное уточнение расположения светильников и их количества. Технические данные наиболее распространенных светильников приведены в табл. ПБ.6.

5.4. Расчет освещенности

Основной задачей данного расчета является определение числа и мощности ламп светильников, необходимых для обеспечения заданной освещенности. При освещении лампами накаливания, а также лампами типа ДРЛ, ДРИ и ДНаТ число и месторасположение светильников намечают до светотехнического расчета, а в процессе расчета определяют необходимую мощность лампы. При выборе лампы стандартной мощности допускается отклонение ее светового потока от расчетного в пределах от -10% до +20%. При невозможности выбрать лампу, поток которой соответствует этим пределам, изменяют число светильников.

При освещении люминесцентными лампами предварительно намечают число и расположение рядов светильников, а затем рассчитывают число и мощность светильников, устанавливаемых в каждом ряду.

Согласно [II], расчет общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов должен производиться методом коэффициента использования светового потока. Для расчета освещения произвольно расположенных поверхностей, а также аварийного освещения применяется точечный метод.

5.4.1. Метод коэффициента использования светового потока

Метод коэффициента использования светового потока применяют для расчета общего равномерного освещения помещения. При этом световой поток одной лампы определяют по формуле

$$\Phi = \frac{E \cdot K \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (5.6)$$

- где E - нормируемая наименьшая освещенность, лк;
 K - коэффициент запаса (в зависимости от загрязнения воздушной среды принимается: для ламп накаливания $K = 1,3 \dots 1,7$; для люминесцентных ламп $K = 1,5 \dots 2$);
 F - освещаемая площадь, м²;
 Z - отношение средней освещенности к минимальной ($Z = 1,1 \dots 1,15$);
 N - количество светильников, шт.;
 η - коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока для каждого типа светильника определяют в зависимости от коэффициентов отражения: потолка ρ_n , стен ρ_c , рабочей поверхности ρ_p , - определяемых по [6], а также в зависимости от индекса помещения (табл. П5.2).

Индекс помещения находят по формуле

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (A + B)}, \quad (5.7)$$

- где A - длина помещения, м;
 B - ширина помещения, м.

По найденной величине светового потока Φ подбирают мощность лампы.

При освещении, выполненном рядами люминесцентных светильников, для расчета освещенности следует, исходя из требований строительной и технологической части проекта, задаться числом рядов, а также типом и мощностью лампы, что определит ее световой поток. Требуемое число светильников в ряду находят по выражению

$$N_R = \frac{E \cdot K \cdot F \cdot Z}{m \cdot R \cdot \Phi \cdot \eta}, \quad (5.8)$$

- где m - число ламп в светильнике;
 R - число рядов.

Метод коэффициента использования светового потока применяют только для расчета освещения горизонтальных поверхностей.

5.4.2. Точечный метод

Точечный метод позволяет определить освещенность в контрольной точке при заданном расположении источников света. В основу данного метода положены пространственные кривые условной горизонтальной освещенности (изолюксы). Эти кривые составлены для стандартных светильников при световом потоке условной лампы 1000 лм в прямоугольной системе координат в зависимости от расчетной высоты и от расстояния проекции светильника на горизонтальную поверхность до контрольной точки [II].

Условную освещенность в контрольной точке находят как сумму условных освещенностей от "ближайших" светильников по формуле

$$\Sigma e = e_1 + e_2 + \dots + e_n, \quad (5.9)$$

где e_1, e_2, \dots, e_n - условная освещенность в контрольной точке от отдельных источников света.

В качестве контрольных выбирают те точки освещаемой поверхности, в которых Σe имеет наименьшее значение (между светильниками крайних рядов или в местах затенения).

Световой поток Φ одной лампы определяют по формуле

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot K}{\mu \cdot \Sigma e}, \quad (5.10)$$

где μ - коэффициент добавочной освещенности за счет отражения от потолка и удаленных светильников (находится в пределах 1,1...1,2).

По найденному потоку выбирают мощность стандартной лампы.

Применение точечного метода является обязательным при расчете освещения негоризонтальных поверхностей, локализованного, местного, аварийного и наружного освещения.

5.5. Расчет электрической осветительной сети

5.5.1. Расчетные нагрузки

Расчетная мощность осветительной нагрузки определяется по формуле

$$P_{po} = K_{co} \cdot K_n \cdot P_{yo}, \quad (5.11)$$

где K_{co} - коэффициент спроса осветительной нагрузки;
 K_n - коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующих аппаратах (ПРА);
 P_{yo} - установленная мощность ламп, кВт.

Значение коэффициента спроса осветительной нагрузки следует принимать:

- 1 - для небольших производственных зданий и для линий, питающих отдельные групповые щитки;
- 0,95 - для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;
- 0,85 - для производственных зданий, состоящих из многих отдельных помещений;
- 0,8 - для административно-бытовых, инженерно-лабораторных и других корпусов;
- 0,6 - для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений.

Величина K_n принимается равной:

- 1,1 - для ламп типа ДРЛ, ДРИ, ДНаТ;
- 1,2 - для люминесцентных ламп (ЛЛ) со стартерной схемой пуска;
- 1,3 - для ЛЛ при бесстартерной схеме пуска.

Расчетный ток групповой сети определяют по следующим формулам:

а) для трехфазных линий

$$I_{po} = \frac{P_{po} \cdot 10^3}{3 U_{\phi} \cdot \cos \varphi}; \quad (5.12)$$

б) для двухфазных линий с нулевым проводом

$$I_{po} = \frac{P_{po} \cdot 10^3}{2 U_{\phi} \cdot \cos \varphi}; \quad (5.13)$$

в) для однофазных линий

$$I_{po} = \frac{P_{po} \cdot 10^3}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi}. \quad (5.14)$$

Для групповых линий осветительной сети рекомендуется принимать следующие значения коэффициента мощности нагрузки: 0,9... 0,95 - для ЛЛ; 0,5...0,6 - для ламп типа ДРЛ, ДРИ и ДНаТ. Для питающих линий при использовании газоразрядных ламп $\cos \varphi = 0,9...0,95$.

Длительно допустимые токи проводов и кабелей групповой осветительной сети должны быть не менее I_{po} .

5.5.2. Расчет сети по потере напряжения

Допустимое значение потерь напряжения в осветительной сети ΔU_d рассчитывают по формуле

$$\Delta U_d = U_{xx} - U_{min} - \Delta U_r, \quad (5.15)$$

где U_{xx} - номинальное напряжение при холостом ходе трансформатора (105%);

U_{min} - минимально допустимое напряжение у наиболее удаленных ламп (97,5%);

ΔU_r - потери напряжения в трансформаторе, %.

Потери напряжения в трансформаторе вычисляют по формулам (4.6)...(4.9).

Сечение проводов осветительной сети определяют по формуле

$$q = \frac{M}{c \cdot \Delta U_d}, \quad (5.16)$$

где M - момент нагрузки, кВт·м;

c - коэффициент, определяемый в зависимости от системы напряжения, системы сети и материала проводника (табл. П5.7).

В общем случае момент нагрузки вычисляют по формуле

$$M = P_{po} \cdot L, \quad (5.17)$$

где P_{po} - расчетная нагрузка, кВт;

L - длина участка, м.

Если группа светильников одинаковой мощности присоединена к линии с равными интервалами L_A , то

$$L = l_1 + \frac{L_A (N_R - 1)}{2}, \quad (5.18)$$

где l_1 - расстояние от осветительного щитка до первого светильника.

Если линии состоят из нескольких участков с одинаковым сече-

нием и различными нагрузками, то суммарный момент нагрузки равен сумме моментов нагрузок отдельных участков.

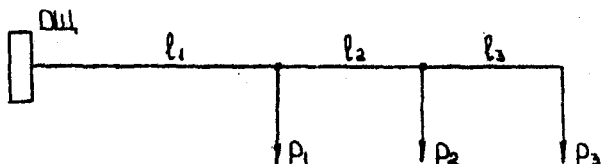


Рис. 5.1. Схема групповой осветительной линии

Для линии, показанной на рис. 5.1, суммарный момент нагрузки

$$M = (P_1 + P_2 + P_3)l_1 + (P_2 + P_3)l_2 + P_3l_3. \quad (5.19)$$

При различных сечениях проводников на участке сети (рис. 5.1) суммарные потери напряжения определяются по выражению

$$\Delta U = \frac{M_3}{c \cdot q_3} + \frac{M_2}{c \cdot q_2} + \frac{M_1}{c \cdot q_1}. \quad (5.20)$$

Полученное значение ΔU сравнивается с ΔU_{∂} :

$$\Delta U \leq \Delta U_{\partial}. \quad (5.21)$$

При расчете разветвленной осветительной сети на минимум проводникового материала сечение проводников для участка сети до разветвления равно

$$q = \frac{M_{\text{прив}}}{c \cdot \Delta U_{\partial}}, \quad (5.22)$$

где $M_{\text{прив}}$ - приведенный момент нагрузки.

Приведенный момент определяют по формуле

$$M_{\text{прив}} = \sum M + \sum \alpha \cdot m, \quad (5.23)$$

где $\sum M$ - сумма моментов данного и всех последующих по направлению тока участков с тем же числом проводов линии, что и на данном участке;

$\sum \alpha \cdot m$ - сумма приведенных моментов участков с другим числом проводов;

α - коэффициент приведения моментов (см. табл. ПБ.8).

Определив по $M_{прив}$ и ΔU_d сечение проводника участка (его округляют до стандартного большего), по q и фактическому моменту участка вычисляют действительное значение потери напряжения на участке :

$$\Delta U_{\phi} = \frac{M}{c \cdot q} . \quad (5.24)$$

Последующие участки рассчитываются аналогично по оставшейся потере напряжения :

$$\Delta U_{d0} = \Delta U_d - \Delta U_{\phi} . \quad (5.25)$$

При раздельном расчете питающей и групповой сети ΔU_d распределяется между ними приближенно, исходя из ожидаемого соотношения моментов.

Как правило, 1,5...2% потерь относят на групповую сеть, а оставшуюся часть - на питающую линию.

При проектировании следует стремиться к равномерной нагрузке и равенству моментов различных фаз. В трехфазных сетях с нулевым проводом для получения равенства моментов следует присоединять светильники к фазам в порядке А, В, С, С, В, А, ... , считая от конца линии.

Из найденных двух значений сечений проводников (по длительному нагреву и допустимой потере напряжения) выбирается большее, удовлетворяющее обоим условиям. При этом по механической прочности сечение алюминиевого провода должно быть не менее 2,0 мм².

5.6. Защита осветительных сетей

Согласно ПУЭ, все сети должны иметь защиту от коротких замыканий. Защита от токов перегрузки осуществляется в следующих случаях:

- 1) для сетей, выполненных открыто незащищенными изолированными проводами с горючей изоляцией (АПР, АПВ, ПРД и т.д.);
- 2) для сетей жилых и общественных зданий, торговых помещений, служебно-бытовых помещений промышленных предприятий, пожароопасных помещений и взрывоопасных установок.

Номинальные токи аппаратов защиты должны быть не менее расчетных токов защищаемых участков.

Определение токов срабатывания плавких вставок предохранителей или расцепителей автоматов производится в соответствии с условиями, приведенными в табл. ПБ.13.

5.7. Электрооборудование осветительных установок

Осветительные щитки и шкафы в основном выпускаются с автоматическими выключателями серии АЕ-1000, АЕ-2000, ВА-51 и др. [6].

Для утопленной установки применяются щитки УЩОВ, ЩОЗІ...ЩОЗЗ. При размещении на колоннах и других узких основаниях применяются щитки ЩО4І. Для питания освещения с лампами ДРЛ при необходимости компенсации реактивной мощности используются осветительные щитки ПР-4І с конденсаторами. Эти же щитки выпускаются и без конденсаторов.

В качестве осветительных щитков могут применяться распределительные пункты серии ПР850І с однополюсными и трехполюсными автоматическими выключателями ВА51 [8].

Данные по осветительным щиткам приведены в табл. ПБ.9...ПБ.12.

Групповые осветительные щитки должны располагаться в помещениях с благоприятными условиями среды и удобных для обслуживания, по возможности ближе к центру питаемых от них нагрузок. Нельзя их располагать в кабинетах, складах и других запираемых помещениях. В многоэтажных зданиях осветительные щитки размещают на лестничных клетках или вблизи от них, в цехах промышленных предприятий - в электропомещениях, проходах или других удобных для обслуживания помещениях.

Если управление освещением производится со щитков, то рекомендуется щитки размещать так, чтобы с места их установки были видны выключаемые светильники.

В больших зданиях и помещениях могут устанавливаться несколько осветительных щитков. В этом случае щитки целесообразно размещать на расстоянии 30...60 м один от другого при однофазных групповых линиях и до 100 м - при трехфазных линиях.

Пример. Рассчитать по минимуму проводникового материала и допустимому нагреву осветительную сеть напряжением 380/220 В,

схема которой дана на рис. 5.2. Провода с алюминиевыми жилами проложены на тросе. Источник питания - трансформатор мощностью $S_T = 1000$ кВ·А, коэффициент загрузки $\beta_T = 0,85$; $\cos \varphi = 0,8$; $\sin \varphi = 0,6$; $\Delta P_k = 10,8$ кВт; $U_k \% = 5,5$.

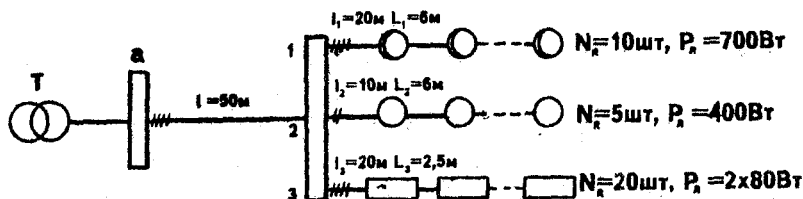


Рис. 5.2. Схема к расчету осветительной сети

Сечение каждого участка сети определяется по допустимой величина ΔU_a .

С помощью формул (4.7), (4.8) и (4.9) находим потери напряжения в трансформаторе:

$$U_a = \frac{10,8}{1000} \times 100 = 1,08\%;$$

$$U_p = \sqrt{5,5^2 - 1,08^2} = 5,4\%;$$

$$\Delta U_T = 0,85 (1,08 \times 0,8 + 5,4 \times 0,6) = 3,48\%.$$

По (5.15) определяем допустимую потерю напряжения для осветительной сети

$$\Delta U_{\partial} = 105 - 97,5 - 3,48 = 4,02\%.$$

Вычислим приведенный момент для питающей линии. Для этого необходимо рассчитать моменты отдельных групп светильников.

Предварительно по выражению (5.11) определяем расчетную мощность для групп 1...3.

Группа 1 (лампы ДРЛ): $P_1 = 1,1 \times 10 \times 0,7 = 7,7$ кВт;

группа 2 (лампы накаливания): $P_2 = 5 \times 0,4 = 2,0$ кВт;

группа 3 (люминесцентные лампы):

$$P_3 = 1,2 \times 20 (2 \times 0,08) = 3,84 \text{ кВт.}$$

Для питающей линии

$$P_{\Pi} = 7,7 + 2,0 + 3,84 = 13,54 \text{ кВт.}$$

Определяем расстояния до центров приложения нагрузки по (5.18):

$$L_1 = 20 + 6 \frac{10 - 1}{2} = 47 \text{ м;}$$

$$L_2 = 10 + 6 \frac{5 - 1}{2} = 22 \text{ м;}$$

$$L_3 = 20 + 2,5 \frac{20 - 1}{2} = 43,75 \text{ м.}$$

Тогда, по (5.17):

$$M_1 = 7,7 \times 47 = 362 \text{ кВт}\cdot\text{м;}$$

$$M_2 = 2,0 \times 22 = 44 \text{ кВт}\cdot\text{м;}$$

$$M_3 = 3,84 \times 43,75 = 168 \text{ кВт}\cdot\text{м;}$$

$$M_{\Pi} = 13,54 \times 50 = 677 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

Согласно (5.23), при $\alpha = 1,85$

$$M_{\text{прив}} = 362 + 168 + 677 + 1,85 \times 44 = 1283,4 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

По формуле (5.22) находим сечение питающей линии, равное

$$q_{\Pi} = \frac{1283,4}{44 \times 4,02} = 7,28 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод сечением 8 мм^2 с $I_{\text{доп}} = 46 \text{ А}$.

По выражению (5.12) находим расчетный ток, равный

$$I_{\text{рп}} = \frac{13,54 \times 10^3}{3 \times 220 \times 0,95} = 21,6 \text{ А.}$$

Так как $I_{\text{доп}} > I_{\text{рп}}$, то сечение провода, выбранного по потере напряжения, удовлетворяет условиям нагрева.

По (5.24) находим потерю напряжения в питающей линии

$$\Delta U_n = \frac{677}{44 \times 8} = 1,92\%.$$

Рассчитываем допустимую потерю напряжения в групповых лин

$$\Delta U_{до} = \Delta U_{в} - \Delta U_n ;$$

$$\Delta U_{до} = 4,02 - 1,92 = 2,1\%.$$

Находим сечение проводов по (5.22) для каждой группы.

Группа I:

$$q_1 = \frac{362}{44 \times 2,1} = 3,9 \text{ мм}^2.$$

Принимаем $q_1 = 4 \text{ мм}^2$ с $I_{доп} = 32 \text{ А}$.

$$I_{ро1} = \frac{7,7 \times 10^3}{3 \times 220 \times 0,95} = 12,3 \text{ А};$$

$$I_{доп} > I_{ро1}.$$

Находим действительную потерю напряжения по (5.24)

$$\Delta U_{\phi_1} = \frac{362}{44 \times 4} = 2,06\%.$$

Аналогично рассчитываем остальные группы.

Группа 2:

$$q_2 = \frac{44}{7,4 \times 2,1} = 2,83 \text{ мм}^2.$$

Принимаем $q_2 = 3 \text{ мм}^2$ с $I_{доп} = 27 \text{ А}$.

$$I_{ро2} = \frac{2,0 \times 10^3}{220 \times 1} = 9,1 \text{ А};$$

$$I_{доп} > I_{ро2};$$

$$\Delta U_{\phi_2} = \frac{44}{7,4 \times 3} = 1,98\%$$

Группа 3:

$$q_3 = \frac{168}{44 \times 2,1} = 1,8 \text{ мм}^2.$$

Принимаем $q_3 = 2,0 \text{ мм}^2$ с $I_{\text{доп}} = 21 \text{ А}$.

$$I_{\text{роз}} = \frac{3,84 \times 10^3}{3 \times 220 \times 0,60} = 9,70 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{роз}};$$

$$\Delta U_{\phi_3} = \frac{168}{44 \times 2,0} = 1,90\%$$

6. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ ЦЕХОВЫХ ТП

6.1. Расчет мощности компенсирующих устройств

Наибольшая суммарная нагрузка предприятия, по которой определяется мощность компенсирующих устройств (КУ), вычисляется по формуле

$$Q_{\text{м1}} = K \cdot Q_{\text{р}} \quad , \quad (6.1)$$

где K - коэффициент, учитывающий несовпадение во времени максимумов активной нагрузки энергосистемы и реактивной мощности промышленного предприятия (табл. 6.1);

$Q_{\text{р}}$ - суммарная расчетная реактивная нагрузка предприятия.

Таблица 6.1

Значение коэффициента несовпадения максимумов

№ пп	Отрасль промышленности	K
1.	Нефтеперерабатывающая, текстильная	0,95
2.	Черная и цветная металлургия, химическая, нефтедобывающая, пищевая, строительных материалов, бумажная	0,9
3.	Угольная, газовая, машиностроительная и металлообрабатывающая	0,85
4.	Торфоперерабатывающая, деревообрабатывающая	0,8
5.	Прочие	0,75

Для предприятий с присоединенной мощностью электроприемников 750 кВ·А и более разрешенная к использованию реактивная мощность в режиме максимальной активной нагрузки задается энергосистемой. При проектировании системы электроснабжения величина этой мощности определяется как меньшее из значений, рассчитываемых по выражениям

$$\begin{aligned} Q'_{Э1} &= Q_{н1} - 0,7 Q_{см} ; \\ Q''_{Э1} &= \alpha \cdot P_{н1} , \end{aligned} \quad (6.2)$$

где $Q_{см}$ - суммарная номинальная реактивная мощность синхронных двигателей напряжением 6...10 кВ;

α - коэффициент, определяемый по табл. 6.2;

$P_{н1}$ - расчетная активная нагрузка предприятия с учетом коэффициента одновременности максимумов K_0

Величина $P_{н1}$ вычисляется по формуле

$$P_{н1} = K_0 \cdot P_p , \quad (6.3)$$

где P_p - суммарная расчетная активная нагрузка предприятия.

Значения коэффициента α

Р а й о н ы ОЭС	Коэффициент α при высшем напряжении понижающей подстанции, кВ		
	35	110...150	220...330
Прибалтика, Россия, Украина, Северный Казахстан, Беларусь	0,23	0,28	0,37

При питании потребителей от шин генераторного напряжения $\alpha = 0,6$.

Величина реактивной мощности, получаемой из энергосистемы, принимается равной

$$Q_{Э1} = \min(Q'_{Э1}, Q''_{Э1}).$$

Для промышленных предприятий с присоединенной мощностью трансформаторов менее 750 кВ·А значение мощности низковольтных батарей конденсаторов (НБК) и высоковольтных батарей конденсаторов (ВБК) задается энергосистемой.

В качестве средств компенсации реактивной мощности в сетях промышленных предприятий следует применять батареи конденсаторов и синхронные двигатели (СД).

6.2. Определение мощности батарей конденсаторов напряжением до 1 кВ и выбор трансформаторов цеховых ТП

Суммарная мощность батарей конденсаторов напряжением до 1кВ вычисляется по выражению

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}, \quad (6.4)$$

где $Q_{нк1}$ - мощность НБК, определяемая при выборе экономически целесообразного числа трансформаторов цеховых ТП;
 $Q_{нк2}$ - мощность НБК, необходимая для оптимального снижения потерь мощности в сетях 6...10 кВ.

Найденная мощность $Q_{нк}$ распределяется между отдельными

трансформаторами цеховых ТП пропорционально их реактивным нагрузкам.

6.2.1. Определение мощности батарей конденсаторов по условию оптимального числа цеховых трансформаторов

Для каждой технологически концентрированной группы электроприемников (цеха, корпуса и т.д.) минимальное число трансформаторов одинаковой мощности определяется по формуле

$$N_{T \min} = \frac{P_{MT}}{\beta_T \cdot S_T} + \Delta N, \quad (6.5)$$

где P_{MT} - суммарная расчетная активная мощность рассматриваемой группы;

β_T - коэффициент загрузки трансформаторов;

S_T - принятая номинальная мощность одного трансформатора;

ΔN - добавка до ближайшего целого числа.

Для цеховых ТП принимаются в основном трансформаторы мощностью 630...1000 кВ·А. В энергоемких цехах при плотностях нагрузки более 0,2 кВ·А/м² применяются трансформаторы мощностью 1600...2500 кВ·А [12].

Экономически целесообразное число трансформаторов находят по выражению

$$N_{Tэ} = N_{T \min} + m, \quad (6.6)$$

где m - дополнительное число трансформаторов, соответствующее минимуму приведенных затрат.

При отсутствии достоверных стоимостных показателей по передаче реактивной мощности допускается дополнительное число трансформаторов находить по рис. 6.1 в зависимости от $N_{T \min}$ и ΔN .

При числе трансформаторов $N_T \leq 3$ их мощность определяется по выражению

$$S_T = \frac{P_{MT}}{\beta_T \cdot N_T}. \quad (6.7)$$

В этом случае $N_{Tэ} = N_T$

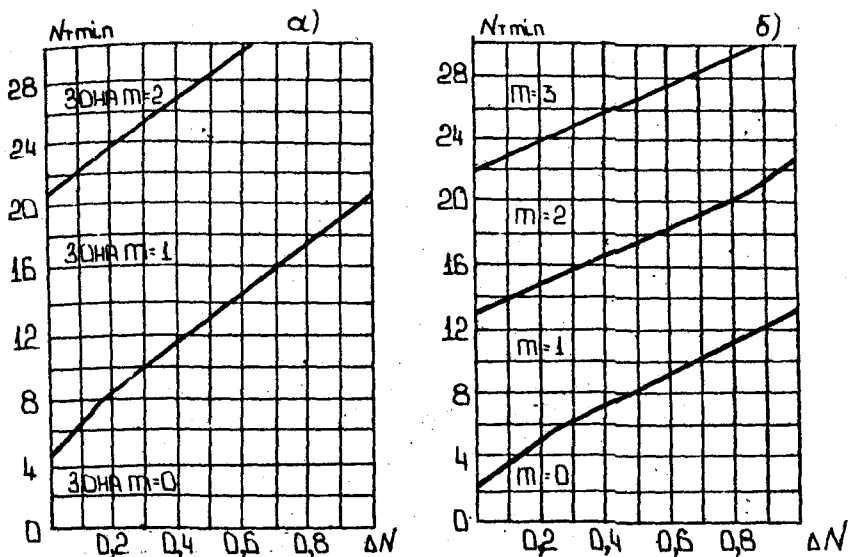


Рис. 6.1. Зоны для определения дополнительного числа трансформаторов: а) при $\beta_T = 0,7 \dots 0,8$; б) при $\beta_T = 0,9 \dots 1,0$

По найденному количеству трансформаторов и их мощности рассчитывают наибольшую мощность, которую можно передать через трансформаторы в сеть до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_{TЭ} \beta_T S_T)^2 - P_{MT}^2} \quad (6.8)$$

Суммарная мощность НБК для данной группы трансформаторов находится по выражению

$$Q_{НК1} = Q_{MT} - Q_T \quad (6.9)$$

где Q_{MT} - суммарная расчетная реактивная нагрузка рассматриваемой группы ТП.

Если $Q_{НК1} < 0$, то установка НБК не требуется, а $Q_{НК1}$ принимается равным нулю.

6.2.2. Определение мощности батарей конденсаторов в целях оптимального снижения потерь

Дополнительная суммарная мощность НБК для данной группы трансформаторов определяется по формуле

$$Q_{НК2} = Q_{MT} - Q_{НК1} - \gamma \cdot N_{ТЗ} \cdot S_T, \quad (6.10)$$

где γ - расчетный коэффициент, определяемый по рис. 6.2 и 6.3 в зависимости от показателей K_1 и K_2 и схемы питания цеховой ТП.

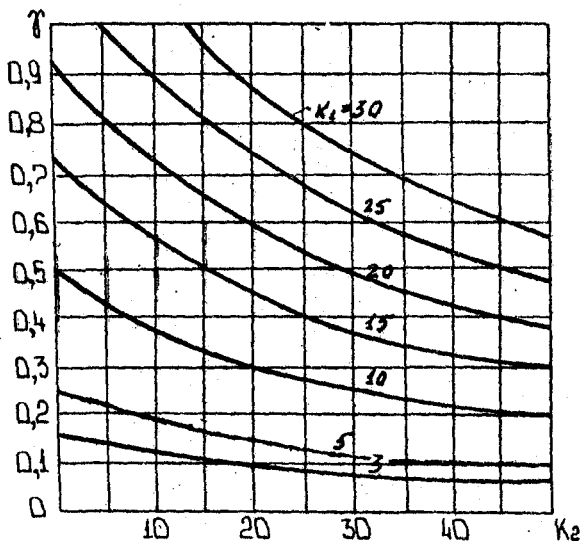


Рис. 6.2. Кривые для определения коэффициента γ для радиальной схемы питания трансформаторов при напряжении сети 10 кВ

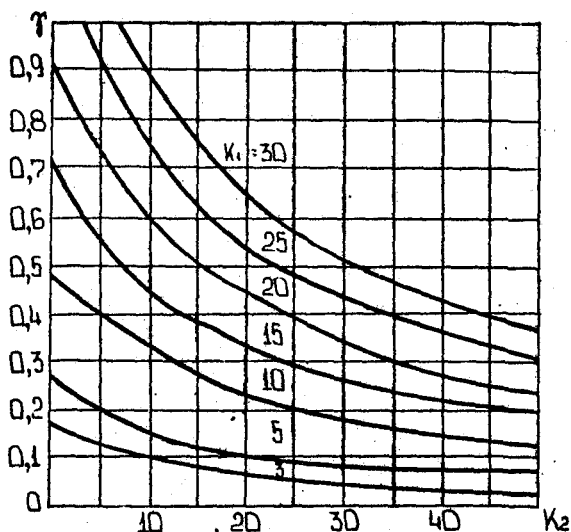


Рис. 6.3. Кривые для определения коэффициента γ для магистральной схемы питания трансформаторов при напряжении сети 10 кВ

Для магистральной схемы питания ТП с тремя и более трансформаторами, подключенными к магистрали,

$$\gamma = \frac{K_1}{30} \quad (6.11)$$

Значение K_1 может быть вычислено по следующему выражению:

$$K_1 = \frac{Z_{нк} - Z_{вк}}{C_0} \cdot 10^3, \quad (6.12)$$

где C_0 - расчетная стоимость потерь, определяемая по табл. 6.3;
 $Z_{нк}$ и $Z_{вк}$ - удельные приведенные затраты на НБК и ВБК, руб/Мвар.

При отсутствии достоверных стоимостных показателей для практических расчетов допускается K_1 принимать по табл. 6.3.

Значение коэффициента K_2 определяется по формуле

$$K_2 = \frac{l \cdot S}{q}, \quad (6.13)$$

где l - длина линии (при магистральной схеме длина участка до первого трансформатора), км;

q - сечение проводника линии, мм².

При отсутствии соответствующих данных значение K_2 можно принимать по табл. 6.4.

Таблица 6.3
Значения расчетной стоимости потерь C_0 и удельного коэффициента потерь K_I

Районы ОЭС	Количество рабочих смен	C_0 , руб/кВт	K_I
Россия, Прибалтика, Украина,	1	52	24
Беларусь	2	106	12
	3	112	11

Примечание: значения C_0 даны по состоянию на 01.01.91 г.

Таблица 6.4
Значения коэффициента K_2

Мощность трансформатора, кВ·А	Коэффициент K_2 при длине питающей линии, км				
	до 0,5	0,5...1,0	1,0...1,5	1,5...2,0	свыше 2,0
400	2	4	7	10	17
630	2	7	10	15	27
1000	2	7	10	15	27
1600	3	10	17	23	40
2500	5	16	26	36	50

Если окажется, что $Q_{нк2} \leq 0$, то для данной группы трансформаторов реактивная мощность $Q_{нк2}$ принимается равной нулю.

6.3. Определение мощности батарей конденсаторов в сетях напряжением выше 1 кВ

Для цеховых ТП определяются некомпенсированные реактивные нагрузки на стороне 6...10 кВ каждого трансформатора по формуле

$$Q_{T \text{ наг}} = Q_{MT} - Q_{нкф} + \Delta Q_T, \quad (6.14)$$

где Q_{MT} - наибольшая расчетная реактивная нагрузка трансформатора;

$Q_{нкф}$ - фактически принятая мощность НБК;

ΔQ_T - реактивные потери в трансформаторе, определяемые по табл. 6.5.

Таблица 6.5

Суммарные реактивные потери в трансформаторах

Номинальная мощность трансформатора, кВ·А	Потери реактивной мощности в трансформаторе, квар. при коэффициенте загрузки					
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
400	13	15	18	20	23	26
630	20	23	28	33	39	45
1000	28	34	41	49	58	69
1600	41	51	62	75	90	107
2500	62	79	99	121	146	175

Некомпенсированная реактивная нагрузка РП определяется по формуле

$$Q_{рп} = \sum_{i=1}^n Q_{T \text{ наг}i} - Q_{сдэ}, \quad (6.15)$$

где $Q_{сдэ}$ - экономически целесообразная реактивная мощность, генерируемая синхронными двигателями; n - число двигателей.

Суммарная реактивная мощность высоковольтных батарей конденсаторов для предприятия, имеющего m РП:

$$Q_{вк} = \sum_{i=1}^m Q_{рпi} - Q_{эл}, \quad (6.16)$$

Если окажется, что $Q_{вк} < 0$, то следует принять ее равной нулю.

Реактивная мощность $Q_{вк}$ распределяется между отдельными ПП и секциями шин пропорционально их нескомпенсированным реактивным нагрузкам на напряжении 6...10 кВ и округляется до ближайшей стандартной мощности комплектных конденсаторных установок (табл. П.6).

6.4. Определение реактивной мощности, генерируемой синхронными двигателями

Величина реактивной мощности, генерируемой синхронными двигателями (СД), определяется по формуле

$$Q_{сд} = P_{сдн} \cdot \beta_{сд} \cdot \operatorname{tg} \varphi_n, \quad (6.17)$$

где $P_{сдн}$ - номинальная активная мощность СД;

$\beta_{сд}$ - коэффициент загрузки СД по активной мощности;

$\operatorname{tg} \varphi_n$ - номинальный коэффициент реактивной мощности СД.

Величина располагаемой реактивной мощности СД вычисляется по формуле

$$Q_{сдр} = \alpha_m S_{сдн} = \alpha_m \sqrt{P_{сдн}^2 + Q_{сдн}^2}, \quad (6.18)$$

где α_m - коэффициент допустимой перегрузки СД, зависящий от его загрузки по активной мощности и определяемый по номограмме рис. 6.4.

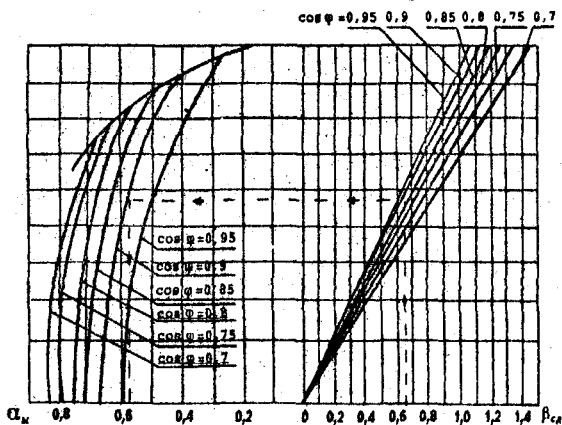


Рис. 6.4. Номограмма определения α_m при U_n

Если $\beta_{сд} < 1$ и номинальная активная мощность СД равна значению, указанному в табл. 6.6, или больше их, то экономически целесообразна реактивная мощность СД:

$$Q_{сдз} = Q_{сдв} \quad (6.19)$$

Для синхронных двигателей, номинальная мощность которых менее указанной в табл. 6.6, экономически целесообразна загрузка по реактивной мощности, определяемая по формуле

$$Q_{сдз} = \frac{Q_{сдн} (Z_{вк} \cdot Q_{сдн} - D_1 \cdot C_0)}{2 D_2 C_0} \quad (6.20)$$

где D_1 и D_2 - потери в СД при номинальной реактивной мощности (принимаются по справочной литературе).

Если $Q_{сдз} < Q_{сдв}$, то принимается $Q_{сдз} = Q_{сдв}$

При отсутствии достоверных данных по стоимости ВВК и значению потерь D_1 и D_2 допускается принимать $Q_{сдз} = Q_{сдв}$

Таблица 6.6

Номинальная активная мощность СД, при которой $Q_{сдз} = Q_{сдв}$

Районы ОЭС	Кол-во рабочих смен	Номинальная активная мощность СД, кВт, при частоте вращения, об/мин							
		3000	1000	750	600	500	375	300	250
Россия,	1	1000	1000	1600	1600	1600	2000	2000	2500
Прибал- тика,	2	2500	5000	6300	5000	6300	-	-	-
Беларусь, Украина	3	2500	5000	6300	5000	6300	-	-	-

Пример. Машиностроительный завод, находящийся в ОЭС

Беларуси и работающий в две смены, питается от подстанции системы 110/10 кВ. Расчетные активные и реактивные нагрузки технологически концентрированных групп электроприемников составляют:

1) группа основных цехов - $P_{мт} = 10,0$ МВт, $Q_{мт} = 12,0$ Мвар;

2) блок вспомогательных цехов - $P_{мт} = 3,0$ МВт,

$Q_{мт} = 5,0$ Мвар;

3) компрессорная: на $U_n = 0,38$ кВ $P_{мт} = 0,9$ МВт;
 $Q_{мт} = 1,0$ Мвар;

на $U_n = 10$ кВ имеется четыре СД: $P_n = 1000$ кВт;
 $n_n = 1000$ об/мин; $t_{гф_n} = 0,5$; $\beta_{св} = 0,8$.

Определить разрешенную к использованию реактивную мощность в режиме наибольшей активной нагрузки энергосистемы, количество и мощность цеховых трансформаторов, мощность батарей конденсаторов на напряжении до и выше 1 кВ.

На заводе имеется РП на $U_n = 10$ кВ.

Решение

1. Находим максимальную активную и реактивную нагрузки завода по формулам (6.1) и (6.3), приняв $K = 0,85$ и $K_0 = 0,95$:

$$Q_m = 0,85 (12,0 + 5,0 + 1,0) = 15,3 \text{ Мвар};$$

$$P_m = 0,95 (10,0 + 3,0 + 0,9 + 4 \cdot 1,0 \cdot 0,8) = 16,25 \text{ МВт}.$$

2. По (6.2) определяем значение разрешенной к использованию реактивной мощности:

$$Q'_{вк} = 15,3 - 0,7 (4,0 \cdot 0,5) = 13,9 \text{ Мвар};$$

$$Q'_{вк} = 0,28 \cdot 16,25 = 4,55 \text{ Мвар}.$$

Следовательно, $Q_{вк} = 4,55$ Мвар.

3. Для группы основных цехов принимаем $S_{г} = 1000$ кВ·А;
 $\beta_{г} = 0,85$; для блока вспомогательных цехов - $S_{т} = 630$ кВ·А,
 $\beta_{т} = 0,9$.

По выражению (6.5) находим минимальное число трансформаторов для группы, а по (6.6) и рис. 6.1 - их экономически целесообразное число.

а). Группа основных цехов:

$$N_{T \min} = 10 / (0,85 \cdot 1,0) + 0,24 = 12,0 \text{ шт.}$$

Согласно рис. 6.1, $m = 1$.

Следовательно,

$$N_{T3} = 12 + 1 = 13 \text{ шт.}$$

б). Блок вспомогательных цехов:

$$N_{T \min} = 3 / (0,9 \cdot 0,63) + 0,71 = 6.$$

В этом случае (по рис. 6.1) $m = 0$.

$$N_{T3} = 6 + 0 = 6 \text{ шт.}$$

в). Компрессорная. По выражению (6.7) находим мощность одного трансформатора при их числе $N = 2$ и $\beta_T = 0,75$:

$$S_T = 0,9 / (0,75 \cdot 2) = 0,6 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Принимаем ближайшее большее стандартное значение

$$S_T = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

4. По формулам (6.8) и (6.9) вычисляем наибольшую реактивную мощность, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть 0,38 кВ, и мощность НБК для каждой группы ТП:

а) группа основных цехов:

$$Q_T = \sqrt{(I_3 \cdot 0,85 \cdot I)^2 - I_0^2} = 4,7 \text{ Мвар};$$

$$Q_{нк1} = I_2 - 4,7 = 7,3 \text{ Мвар};$$

б) блок вспомогательных цехов:

$$Q_T = \sqrt{(6,0 \cdot 0,9 \cdot 0,63)^2 - 3^2} = 1,6 \text{ Мвар};$$

$$Q_{нк1} = 5 - 1,6 = 3,4 \text{ Мвар};$$

в) компрессорная:

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,75 \cdot 0,63)^2 - 0,9^2} = 0,37 \text{ Мвар};$$

$$Q_{нк1} = I - 0,37 = 0,63 \text{ Мвар}.$$

5. Определим дополнительную мощность НБК с целью оптимального снижения потерь по выражению (6.10) и фактически установленную мощность НБК.

Для группы основных цехов. При расстоянии от РП до ТП $\ell < 0,5$ км и двухсменной работе, по табл. 6.3, $K_1 = I_2$, а по табл. 6.4, при $S_T = 1000$ кВ·А и $\ell = 0,5$ км $K_2 = 2$. Тогда, согласно рис. 6.2, $\gamma = 0,5$.

$$Q_{нк2} = I_2 - 4,7 - 0,5 \cdot I_3 \cdot I = 0,8 \text{ Мвар}.$$

Суммарная мощность НБК, по (6.4):

$$Q_{нк} = 7,3 + 0,8 = 8,1 \text{ Мвар}.$$

Вычисляем мощность НБК, приходящуюся на каждый трансформатор группы:

$$Q_{нкТ} = Q_{нк} / N \text{ тэ}; \quad Q_{нкТ} = 8,1 / 13 = 0,623 \text{ Мвар}.$$

Принимаем комплектную установку конденсаторов УКЛН-0,38-600-150 (табл. П.6) для каждого трансформатора с $Q_n = 600$ квар.

Находим фактически установленную мощность НБК :

$$Q_{\text{нкф}} = Q_{\text{н}} \cdot \sqrt{3}; \quad Q_{\text{нкф}} = 0,6 \cdot 13 = 7,8 \text{ Мвар.}$$

Для блока вспомогательных цехов при $S_{\text{т}} = 630 \text{ кВ}\cdot\text{А}$

$$K_1 = 12; \quad K_2 = 2; \quad \gamma = 0,5.$$

$$Q_{\text{нк2}} = 5 - 3,4 - 0,5 \cdot 6 \cdot 0,63 = - 0,29 \text{ МВ}\cdot\text{А.}$$

Принимаем $Q_{\text{нк2}} = 0$.

$$Q_{\text{нк}} = 3,4 + 0 = 3,4 \text{ Мвар.}$$

$$Q_{\text{икт}} = 3,4/6 = 0,57 \text{ Мвар.}$$

Принимаем УМЛН-0,38-600-150 с $Q_{\text{н}} = 600 \text{ квар.}$

$$Q_{\text{нкф}} = 0,6 \cdot 6 = 3,6 \text{ Мвар.}$$

Для компрессорной при $S_{\text{т}} = 630 \text{ кВ}\cdot\text{А}$, $K_1 = 12; K_2 = 2,$
 $\gamma = 5.$

$$Q_{\text{нк2}} = 1 - 0,63 - 0,5 \cdot 2 \cdot 0,63 = - 0,26 \text{ Мвар.}$$

Принимаем $Q_{\text{нк}} = 0$.

$$Q_{\text{нк}} = 0,63 + 0 = 0,63 \text{ Мвар;} \quad Q_{\text{икт}} = 0,63/2 = 0,315 \text{ Мвар.}$$

Устанавливаем УМЛН-0,38-300-150 с $Q_{\text{н}} = 300 \text{ квар.}$

$$Q_{\text{нкф}} = 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ Мвар.}$$

Находим фактически установленную мощность НБК на заводе

$$Q_{\text{нкф}} = 7,8 + 3,6 + 0,6 = 12,0 \text{ Мвар.}$$

6. Определяем некомпенсированную реактивную нагрузку на стороне 10 кВ для каждой группы ТП по выражению (6.14):

а) группа основных цехов

$$Q_{\text{т.наг.}} = 12 - 7,8 + 13 \cdot 0,054 = 4,9 \text{ Мвар;}$$

б) блок вспомогательных цехов

$$Q_{\text{т.наг.}} = 5 - 3,6 + 6 \cdot 0,39 = 1,63 \text{ Мвар;}$$

в) компрессорная

$$Q_{\text{т.наг.}} = 0,9 - 0,6 + 2 \cdot 0,03 = 0,36 \text{ Мвар.}$$

7. Вычисляем экономически целесообразную загрузку СД по реактивной мощности, Так как мощность СД меньше значений, указанных в табл. 6.6, то, по выражению (6.17),

$$Q_{\text{сдв}} = Q_{\text{сд}} = 4 \cdot 0,8 \cdot 0,5 = 1,6 \text{ Мвар.}$$

8. Находим некомпенсированную реактивную нагрузку для РП по (6.15):

$$Q_{\text{рп}} = 4,9 + 1,63 + 0,36 - 1,6 = 5,29 \text{ Мвар.}$$

9. Определяем суммарную мощность ВБК для завода по формуле (6.16):

$$Q_{\text{вк}} = 5,29 - 4,55 = 0,74 \text{ Мвар.}$$

Принимаем к установке на каждой секции шин 10 кВ РП шкаф УИЛ-10,5-450 с $Q_{\text{н}} = 450$ квар.

10. Фактически установленная мощность ВБК

$$Q_{\text{вкф}} = 2 \cdot 0,45 = 0,9 \text{ Мвар.}$$

11. Уточняем величину реактивной мощности, которую предполагается получать в часы максимума из энергосистемы:

$$Q_{\text{эл}} = 5,29 - 0,9 = 4,39 \text{ Мвар.}$$

Значение $Q_{\text{эл}}$ подлежит согласованию с энергосистемой.

7. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ

Внешнее электроснабжение крупных и средних промышленных предприятий осуществляется на напряжении 110 кВ и выше с помощью ГПП или систем глубокого ввода. Для приема и распределения электроэнергии на напряжении 6...35 кВ на небольших и средних предприятиях, как правило, предусматриваются РП. Количество РП на предприятии зависит от суммарной нагрузки. На напряжении 6...10 кВ распределительные устройства комплектуются камерами КСО-385, КСО-285, КСО-293, КМ-1Ф, КЭ-10 и т.д. Выкатные комплектные распределительные устройства (типа КМ-1Ф, КЭ-10 и т.п.) следует применять для электроснабжения потребителей первой категории, а также в РП, при числе отходящих линий 20 и более.

В системе электроснабжения необходимо предусматривать раздельную работу линий и трансформаторов, так как при этом снижаются токи короткого замыкания (КЗ), упрощаются схемы коммутации и релейной защиты. В схемах должно обеспечиваться глубокое секционирование всех звеньев от источника питания до шин низшего напряжения цеховых ТП, что значительно повышает надежность электроснабжения.

Распределение электрической энергии на территории промышленного предприятия на напряжении 6...35 кВ может выполняться по радиальным, магистральным и смешанным схемам в зависимости от расположения потребителей, их мощности и требуемой степени беспере-

бойности питания.

Радиальные схемы применяются в тех случаях, когда нагрузки расположены в различных направлениях от источника питания. Они используются для питания крупных сосредоточенных нагрузок (насосные, компрессорные, электропечи и т.п.), а также цеховых ТП, расположенных вблизи (до 100 м) от РП. При этом, как правило, предусматривается глухое присоединение трансформаторов. Цеховые трансформаторы могут также присоединяться через выключатель нагрузки или разъединитель. Двухтрансформаторные ТП питаются по схеме блока линия-трансформатор. На вторичном напряжении таких ТП применяется автоматический ввод резерва. Взаимное резервирование однострансформаторных ТП осуществляется при помощи кабельных или шинных перемычек на вторичном напряжении. Пропускная способность перемычек должна составлять 20...30% мощности трансформатора.

Магистральные схемы следует применять при упорядоченном расположении ТП, когда линии могут быть проложены без значительных обратных перетоков энергии. Число трансформаторов, присоединяемых к одной магистрали, не должно превышать 2...3 при мощности трансформаторов 1000...2500 кВ·А и 4...5 - при мощности 250...630 кВ·А. Магистрали бывают одиночные и двойные сквозные. Присоединение трансформаторов к магистралям может выполняться через разъединители или выключатели нагрузки. При двойных сквозных магистралях допускается глухое присоединение трансформаторов.

В практике проектирования обычно применяются смешанные схемы, при которых крупные и ответственные потребители питаются по радиальным схемам, а мелкие и средние - по магистральным. Такое построение схем распределения электроэнергии позволяет получить лучшие технико-экономические показатели системы электроснабжения.

Распределительная сеть напряжением 6...10 кВ обычно выполняется кабелями марки ААШвУ, ААШв, ААБ и др.

Трассы кабельных линий намечаются вдоль зданий и проездов с учетом наименьшего расхода кабеля. Наиболее экономичной и простой является прокладка кабелей в траншеях. В одной траншее рекомендуется размещать не более 6 кабелей напряжением 6...10 кВ. Глубина заложения кабельных линий от планировочной отметки должна быть не менее 0,7 м.

Внутри зданий кабельные линии можно прокладывать непосредственно по конструкциям зданий (открыто, в коробах или трубах),

в каналах, блоках, туннелях, трубах (проложенных в полах и перекрытиях, а также по фундаментам машин), шахтах, кабельных этажах и двойных полах [10].

При выборе схемы электроснабжения намечается 2...3 возможных варианта, из которых на основе технико-экономических расчетов выбирается один, имеющий наименьшие приведенные затраты.

8. РАСЧЕТ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ И ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Потери активной (ΔP_T) и реактивной (ΔQ_T) мощности в двухобмоточных трансформаторах вычисляются по формулам

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_k \cdot \beta_T^2 ; \quad (8.1)$$

$$\Delta Q_T = \frac{S_n}{100} (I_{xx} + U_k \cdot \beta_T^2) , \quad (8.2)$$

где ΔP_{xx} - потери холостого хода, кВт;
 ΔP_k - потери короткого замыкания, кВт;
 U_k - напряжение короткого замыкания, %;
 I_{xx} - ток холостого хода, %;
 S_n - номинальная мощность трансформатора, кВ·А;
 β_T - коэффициент загрузки трансформатора, определяемый как

$$\beta_T = \frac{S_P}{S_n} , \quad (8.3)$$

где S_P - расчетная нагрузка трансформатора, кВ·А.

Выражение (8.2) можно представить в виде

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + \Delta Q_n \beta_T^2 , \quad (8.4)$$

где $\Delta Q_{xx} = \frac{S_n I_{xx}}{100}$ - потери реактивной мощности в трансформаторе при холостом ходе, квар;

$\Delta Q_n = \frac{S_n \cdot U_k}{100}$ - потери реактивной мощности рассеяния в трансформаторе при номинальной нагрузке, квар.

Потери активной и реактивной энергии в трансформаторе за год вычисляются по формулам

$$\Delta W_T = \Delta P_{xx} T_0 + \Delta P_k \cdot \beta_T^2 \tau ; \quad (8.5)$$

$$\Delta V_T = \Delta Q_{XX} \cdot T_B + \Delta Q_{H} \beta^2 \tau, \quad (8.6)$$

где T_B - число часов включения трансформатора в году;
 τ - время максимальных потерь, определяемое по табл. П4.П, графикам из [4] или приближенно по следующему эмпирическому выражению:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_B}{10000} \right)^2 \cdot 8760. \quad (8.7)$$

В схеме электроснабжения находят потери мощности и энергии для каждого трансформатора отдельно в соответствии с его нагрузкой, а затем суммируют.

При проектировании потери активной и реактивной мощности в линиях электропередачи определяются, как правило, по следующим выражениям:

$$\Delta P_\lambda = 3 I_p^2 \cdot z_0 \cdot \ell \cdot 10^{-3}; \quad (8.8)$$

$$\Delta Q_\lambda = 3 I_p^2 \cdot x_0 \cdot \ell \cdot 10^{-3}, \quad (8.9)$$

где I_p - расчетный ток линии, А;

z_0 и x_0 - удельное активное и индуктивное сопротивление линии, Ом/км;

ℓ - длина линии, км.

Годовые потери активной и реактивной энергии в линиях подсчитываются по формулам

$$\Delta W_\lambda = \Delta P_\lambda \cdot \tau; \quad (8.10)$$

$$\Delta V_\lambda = \Delta Q_\lambda \cdot \tau. \quad (8.11)$$

Расчет нагрузочных потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения можно также производить по среднеквадратическому току и времени действительной работы.

9. ВЫБОР КАБЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ

Сечения жил кабелей выбираются по экономической плотности тока и проверяются по нагреву и термической стойкости при КЗ. Кабели, защищенные токоограничивающими предохранителями, на термическую стойкость не проверяются [10] .

Сечения жил кабеля по экономической плотности тока определяются по выражению

$$q_3 = \frac{I_p}{j_3} , \quad (9.1)$$

где I_p - расчетный ток кабеля в нормальном режиме работы, А;
 j_3 - экономическая плотность тока (А/мм²), принимаемая по табл. П4.9 в зависимости от времени использования максимальной нагрузки (табл. П4.10), вида изоляции и материала проводника жил.

Величина тока в нормальном режиме работы

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} , \quad (9.2)$$

где S_p - расчетная нагрузка линии с учетом потерь в трансформаторах.

Для определения сечений жил кабелей по нагреву вычисляется наибольший расчетный ток $I_{рн}$ в нормальном режиме и по таблицам [10] выбирается стандартное сечение, имеющее допустимый ток

$$I_{доп} \geq I_{рн} . \quad (9.3)$$

При этом $I_{доп}$ для конкретных условий работы кабеля уточняется по выражению

$$I_{доп} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot I_{н0} , \quad (9.4)$$

где K_1 , K_2 , K_3 - коэффициенты, учитывающие соответственно фактическую температуру окружающей среды, число проложенных в траншее рабочих кабелей, фактическое удельное тепловое сопротивление земли [10] ;

$I_{н0}$ - допустимая по нагреву токовая нагрузка на кабель при нормальных условиях прокладки, определяемая по табл. П4.5.

Величину I_{PM} кабелей, питающих цеховые ТП, можно найти по формуле

$$I_{PM} = \frac{S_{HT}}{\sqrt{3} \cdot U_{лн}}, \quad (9.5)$$

где S_{HT} - суммарная номинальная мощность цеховых трансформаторов, питающихся по данному кабелю.

Сечения жил кабелей, которые в послеаварийных или ремонтных режимах могут работать с перегрузкой (например, линий, питающих РП), выбираются по условию

$$K_n I_{доп} \geq I_{ра}, \quad (9.6)$$

где K_n - допустимая кратность перегрузки, принимаемая согласно [10];

$I_{ра}$ - расчетный ток линии в послеаварийном или ремонтном режиме.

После расчета токов КЗ в сети 6...10 кВ сечения жил кабелей выбираются по термической стойкости. В инженерных расчетах минимально допустимое сечение проводника по данному условию определяется по выражению

$$q_T = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad (9.7)$$

где B_k - тепловой импульс от тока КЗ, $A^2 \cdot c$;

C - расчетный коэффициент, принимаемый по табл. П4.7.

Результирующий тепловой импульс от тока КЗ

$$B_k = I_n^2 \cdot (t_{отк} + T_a), \quad (9.8)$$

где I_n - действующее значение периодической составляющей тока КЗ в начале линии;

$t_{отк}$ - время отключения КЗ;

T_a - постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, определяемая как

$$T_a = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \cdot Z_{\Sigma}}, \quad (9.9)$$

где X_{Σ} и Z_{Σ} - результирующие индуктивное и активное сопротивления схемы относительно точки КЗ;

ω - угловая частота, $\omega = 314$.

В распределительных сетях 6...10 кВ при отсутствии конкрет-

ных данных приближенно можно принимать $T_a = 0,01$ с, а значения $t_{отк}$ - по табл. П4.8.

Из трех найденных сечений (по экономической плотности тока, нагреву и термической стойкости) принимается большее.

Пример 9.1. Выбрать сечения Л1 и Л2 напряжением 10 кВ, питающих две однострансформаторные подстанции ТП1 и ТП2 по магистральной схеме (рис. 9.1). Кабели прокладываются в траншее при температуре земли $+10^{\circ}\text{C}$. Расчетные нагрузки трансформаторов на напряжении до 1 кВ: $S_{T1} = 700 + j 400$ кВ·А; $S_{T2} = 400 + j 250$ кВ·А. Время использования максимальной нагрузки $T_m = 3500$ ч. Установившийся ток КЗ в начале линии $I_{\infty} = 4,4$ кА, $t_{отк} = 0,6$ с;

$T_a = 0,01$ с. На подстанциях установлены трансформаторы со следующими данными:

ТП1 $S_{H1} = 1000$ кВ·А; $\Delta P_{xx} = 3,3$ кВт; $\Delta P_k = 12,2$ кВт;
 $I_{xx} = 2,8\%$; $U_k = 5,5\%$.

ТП2 $S_{H2} = 630$ кВ·А; $\Delta P_{xx} = 2,27$ кВт; $\Delta P_k = 8,5$ кВт;
 $I_{xx} = 2\%$; $U_k = 5,5\%$.

Решение. Определим потери активной и реактивной мощности в трансформаторах по выражениям (8.1) и (8.2).

Тогда для ТП1

$$\beta_{T1} = \frac{\sqrt{700^2 + 400^2}}{1000} = 0,81;$$

$$\Delta P_{T1} = 3,3 + 12,2 \cdot 0,81^2 = 11,3 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T1} = \frac{(2,8 + 5,5 \cdot 0,81^2) 1000}{100} = 64,1 \text{ квар.}$$

Для ТП2

$$\beta_{T2} = \frac{\sqrt{400^2 + 250^2}}{630} = 0,75;$$

$$\Delta P_{T2} = 2,27 + 8,5 \cdot 0,75^2 = 7,05 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T2} = \frac{(2 + 5,5 \cdot 0,75^2) 630}{100} = 32,1 \text{ квар.}$$

Найдем расчетную нагрузку линии Л2 с учетом потерь в трансформаторе ТП2:

$$S_{P2} = (400 + 7,05) + j(250 + 32,1) = 407,05 + j 282,1 \text{ кВ·А.}$$

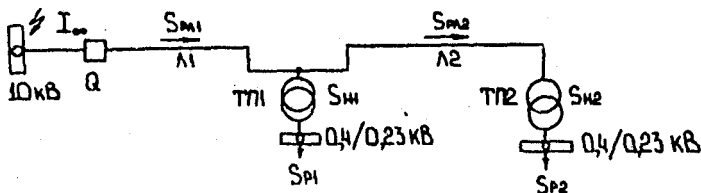


Рис. 9.1. Схема сети к примеру 9.1

Расчетный ток линии Л2

$$I_{m2} = \frac{\sqrt{407,05^2 + 282,1^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 28,63 \text{ А.}$$

Выбираем сечение жил кабеля Л2 по экономической плотности тока (согласно табл. П4.9) при $T_m = 3500$ ч и $j_э = 1,4 \text{ А/мм}^2$:

$$q_{э2} = \frac{28,63}{1,4} = 20,5 \text{ мм}^2.$$

Принимаем трехжильный кабель напряжением 10 кВ марки ААШВУ с сечением жил 25 мм^2 . Выбранный кабель ААШВУ - 10(3 × 25) при прокладке в земле в нормальных условиях имеет $I_{до} = 90 \text{ А}$ (табл. П4.5). С учетом фактической температуры земли (согласно [10]), поправочный коэффициент $K_I = 1,06$

$$I_{доп} = 1,06 \cdot 90 = 95,4 \text{ А.}$$

Максимальный расчетный ток линии Л2 определяется по номинальной мощности трансформатора :

$$I_{m2} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А.}$$

Так как $95,4 > 36,4 \text{ А}$, то выбранный по экономической плотности тока кабель по условию нагрева проходит.

Произведем выбор сечения жил кабеля по нагреву током КЗ. С этой целью определим тепловой импульс тока по формуле (9.8) :

$$W_k = (4,4 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,6 + 0,01) = 11,8 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с.}$$

Минимальное сечение жил кабеля по термической стойкости, по выражению (9.7) :

$$q_T = \frac{\sqrt{11,8 \cdot 10^6}}{100} = 34,4 \text{ мм}^2.$$

Принимаем ближайшее большее стандартное сечение жилы 35 мм². Следовательно, по термической стойкости для линии Л2 необходимо выбрать кабель ААШвУ - 10 (3х35).

Определим сечение жил кабеля Л1. Для этого найдем расчетную нагрузку линии с учетом потерь в трансформаторах ТП1 и ТП2:

$$S_{P\text{Л1}} = (700 + 11,3 + 407,05) + j(400 + 64,1 + 282,1) = \\ = 1118,35 + j746,2 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Расчетный ток кабеля Л1

$$I_{P\text{Л1}} = \frac{\sqrt{1118,35^2 + 746,2^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 77,7 \text{ А}.$$

Сечение кабеля по экономической плотности тока

$$q_{\text{Э1}} = \frac{77,7}{1,4} = 55,5 \text{ мм}^2.$$

Выбираем кабель ААШвУ-10 (3х50).

Проверяем выбранное сечение жил кабеля по нагреву. При прокладке кабеля в земле он допускает ток нагрузки $I_{\text{до}} = 140 \text{ А}$, а с учетом действительных условий прокладки

$$I_{\text{доп}} = 1,06 \cdot 140 = 148,4 \text{ А}.$$

Максимальный расчетный ток линии Л1 находится по сумме номинальных мощностей подключенных к линии трансформаторов:

$$I_{P\text{Л1}} = \frac{1000 + 630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 94,2 \text{ А}.$$

Так как $I_{\text{доп}} > 94,2 \text{ А}$, то выбранный кабель выдерживает максимальный расчетный ток.

Минимальное сечение жил кабеля по термической стойкости определено выше и является одинаковым для всей магистрали - 35 мм². Окончательно для линии Л1 выбираем кабель ААШвУ - 10 (3х50).

Пример 9.2. Заводской РП, имеющий расчетную нагрузку

$S_p = 11 \text{ МВ}\cdot\text{А}$, питается от подстанции энергосистемы по двум кабельным линиям 10 кВ (рис. 9.2). Кабели прокладываются в

граншее с температурой земли $+15^{\circ}\text{C}$. Расстояние между кабелями в свету 200 мм. Установившийся ток КЗ в начале линии $I_{\infty} = 9,2\text{ кА}$; $t_{\text{отк}} = 1,6\text{ с}$; $T_a = 0,01$. Время использования максимальной нагрузки 4200 ч. Определить сечение жил кабелей, питающих РП.

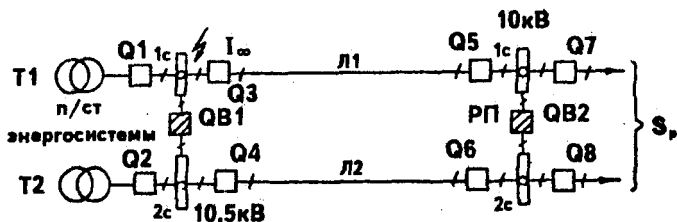


Рис. 9.2. Схема сети к примеру 9.2

Решение. Расчетный ток линии находится из условия, что в нормальном режиме каждая линия несет половину нагрузки РП:

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} U_n} = \frac{11000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 317,9 \text{ А.}$$

Экономическое сечение жил кабеля определяем по (9.1):

$$q_{\text{э}} = \frac{317,9}{I_{\text{э}}} = 227 \text{ мм}^2.$$

Выбираем для линий Л1 и Л2 кабели марки ААШвУ-10 (Эх240) с допустимым током $I_{\text{нд}} = 355 \text{ А}$.

Проверяем выбранное сечение жил кабеля на нагрев в послеаварийном режиме при отключении одной из линий. В этом случае по кабелю проходит ток

$$I_{\text{ра}} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 635,8 \text{ А.}$$

С учетом коэффициента перегрузки кабеля в послеаварийном режиме $K_n = 1,3$

$$I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 355 = 461,5 \text{ А,}$$

что менее $I_{\text{ра}}$. Следовательно, выбранные кабели по условию нагрева не проходят.

Так как трехжильные кабели 10 кВ имеют наибольшее сечение

240 мм², то необходимо для каждой линии принять по два кабеля сечением 150 мм² ($I_{нд} = 275 \text{ А}$). Поправочный коэффициент при двух кабелях в одной траншее $K_2 = 0,92$ (табл. П4.6). Допустимый ток для двух кабелей с сечением жил 150 мм²

$$I_{доп} = 1,3 \cdot 0,92 \cdot 275 \cdot 2 = 657,8 \text{ А} > 635,8 \text{ А}.$$

Определим сечение кабеля по термической стойкости. Тепловой импульс тока КЗ

$$W_k = (9,2 \cdot 10^3)^2 \cdot (1,6 + 0,01) = 136,3 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

Минимальное сечение жил по термической стойкости

$$q_{г} = \frac{\sqrt{136,3 \cdot 10^6}}{100} = 116,7 \text{ мм}^2.$$

Термически устойчивым является сечение 120 мм². Выбираем для каждой линии по два кабеля ААШвУ-10 (3х150). При этом определяющим явилось условие нагрева расчетным током в послеаварийном режиме.

10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

10.1. Расчет токов КЗ в сетях напряжением выше 1 кВ

Вычисление токов КЗ производится с целью:

- а) выбора электрических аппаратов;
- б) проверки устойчивости элементов схемы при электродинамическом и термическом действии токов КЗ;
- в) расчета релейной защиты.

Расчетным видом КЗ является трехфазное, т.к. при нем обычно получаются большие значения сверхпереходного и ударного токов, чем при двухфазном и однофазном. Токи КЗ должны рассчитываться на всех напряжениях в таких точках схемы, где они имеют наибольшие значения (сборные шины ГПП, РП).

Для вычисления токов КЗ составляется расчетная схема, включающая все элементы, по которым протекают токи к выбранным точкам. На схеме приводятся основные параметры оборудования, которые потребуются для последующего расчета. По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой каждый элемент заменяется своим сопротивлением. Генераторы, трансформаторы, высоковольтные линии и короткие участки распределительных сетей обычно представ-

ляются индуктивными сопротивлениями. Активные сопротивления учитываются, если $Z_{\Sigma} / X_{\Sigma} > \frac{1}{3}$, где Z_{Σ} , X_{Σ} - соответственно активное и индуктивное сопротивление цепи.

Расчет токов КЗ может выполняться в относительных или именованных единицах. В сетях напряжением выше 1 кВ наибольшее распространение получил метод расчета в относительных величинах, при котором все расчетные данные приводятся к базисным напряжениям и мощностям. За базисные напряжения U_{δ} принимаются средние номинальные напряжения $U_{\text{ср}} = 0,23; 0,4; 0,69; 6,3; 10,5; 21; 37; 115; 230$ кВ.

В качестве базисной мощности S_{δ} может выбираться мощность источника питания (ИП), мощность короткого замыкания на шинах подстанции или любое удобное для расчетов число.

Приведение сопротивлений к базисным условиям производится по следующим формулам.

Генераторов:

$$X_{\Gamma} = X_{\delta}'' \cdot \frac{S_{\delta}}{P_{\text{н}}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}}, \quad (10.1)$$

где X_{δ}'' - сверхпереходное относительное индуктивное сопротивление;

$P_{\text{н}}$ - активная номинальная мощность, МВт;

$\cos \varphi_{\text{н}}$ - номинальное значение коэффициента мощности генератора.

Двухобмоточных трансформаторов:

$$X_{\Gamma} = \frac{U_{\text{к}} \%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{нт}}}, \quad (10.2)$$

где $U_{\text{к}}$ - напряжение короткого замыкания, %;

$S_{\text{нт}}$ - номинальная мощность трансформатора, МВ·А.

Для трансформаторов с расщепленной обмоткой схема замещения состоит из двух лучей, сопротивление которых

$$X_{\Gamma 1} = X_{\Gamma 2} = \frac{1,875 \cdot U_{\text{к}} \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{\text{нт}}}. \quad (10.3)$$

Воздушных и кабельных линий:

а) индуктивное сопротивление:

$$X_{\text{л}} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\text{ср}}^2}, \quad (10.4)$$

где X_0 - индуктивное сопротивление одного км линии, Ом/км (для воздушных линий 6-10 кВ $x_0 = 0,4$ Ом/км, кабельных - $x_0 = 0,08$ Ом/км);

l - длина линии, км;

б) активное сопротивление

$$z_a = z_0 \cdot l \cdot \frac{S_b}{U_{cr}^2} \quad (10.5)$$

Удельное активное (z_0) и индуктивное (X_0) сопротивления проводов и кабелей приведены в табл. Пб.1.

Схема замещения после преобразования должна содержать между ИП и точкой КЗ результирующее сопротивление $X_{рез}$. При питании от энергосистемы ток и мощность короткого замыкания определяются по следующим выражениям:

$$I_k = \frac{I_b}{X_{рез}} \quad ; \quad S_k = \sqrt{3} U_{cr} \cdot I_k \quad (10.6)$$

где I_b - базисный ток, определяемый по выбранной базисной мощности S_b :

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b} \quad (10.7)$$

Если мощность ИП выражается конечной величиной, то определение тока КЗ ведется по расчетным кривым [4]. При наличии электродвигателей 6...10 кВ необходимо учитывать их влияние на величину сверхпереходного тока КЗ.

10.2. Расчет токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ

Расчет токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ производится в именованных единицах. При этом учитываются активные и индуктивные сопротивления всех элементов цепи КЗ в мОм. Заметное влияние на результаты расчета оказывают сопротивления различных контактных соединений. При отсутствии достоверных данных о числе и сопротивлении контактов рекомендуется учитывать их совокупно, вводя в цепь КЗ дополнительное сопротивление следующей величины:

- 1) при КЗ на шите ТП - 15 мОм;
- 2) при КЗ на цеховых РП и зажимах аппаратов, питаемых радиальными и магистральными линиями от щитов ТП, - 20 мОм;
- 3) при КЗ на вторичных цеховых РП, а также на зажи-

мах аппаратов, питаемых от первичных РП, - 25 мОм; 4) при КЗ на зажимах аппаратов, получающих питание от вторичных РП, - 30 мОм [II]

При расчете токов КЗ в сетях до 1 кВ считают, что напряжение на первичной обмотке трансформатора цеховой ТП равно номинальному. Сопротивление системы в мОм до понижающего трансформатора определяется по формуле

$$\chi_c = \frac{U_{срв} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot I_{кв}^2} \quad (10.8)$$

где $U_{срв}$ - среднее номинальное напряжение сети высшего напряжения, кВ;

$I_{кв}^2$ - начальное значение периодической составляющей тока КЗ на выводах высшего напряжения трансформатора, кА.

Сопротивление χ_c приводится к ступени низшего напряжения по выражению

$$\chi_c = \chi_c \cdot \frac{U_{срн}^2}{U_{срв}^2} \quad (10.9)$$

где $U_{срн}$ - среднее номинальное напряжение сети, в которой рассчитываются токи КЗ.

Величиной χ_c можно пренебречь, если она не превышает 5% полного сопротивления трансформатора цеховой ТП.

Активное сопротивление трансформатора в мОм вычисляется по формуле

$$\tau_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_n^2}{S_n^2} \cdot 10^6 \quad (10.10)$$

где ΔP_k - потери КЗ в трансформаторе, кВт;

S_n - номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

U_n - номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора, кВ.

Индуктивное сопротивление трансформатора

$$\chi_T = \left(\sqrt{\left(\frac{U_k}{100} \right)^2 - \left(\frac{\Delta P_k}{S_n} \right)^2} \right) \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \cdot 10^6 \quad (10.11)$$

Сопротивления трансформаторов тока принимаются по табл. Пб.3. Активные и индуктивные сопротивления проводов, кабелей, шин и шинопроводов длиной l подсчитываются по выражениям

$$z = z_0 \cdot l; \quad (10.12) \quad X = X_0 \cdot l, \quad (10.13)$$

где z_0 и X_0 - удельные активное и индуктивное сопротивления (табл. Пб.1).

Для проводов, проложенных открыто, приближенно можно принять $X_0 = 0,3$ мОм/м, а для кабелей и проводов в трубах - $X_0 = 0,06$ мОм/м. Активное сопротивление проводов и кабелей в мОм может быть также найдено по формуле

$$z_0 = \frac{l}{\gamma \cdot q} \cdot 10^3, \quad (10.14)$$

где q - сечение провода или жилы кабеля, мм²;
 γ - удельная проводимость (для алюминия $\gamma = 32 \text{ м} / (\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$);
 l - длина линии, м.

Удельные активные z_0 и индуктивные X_0 сопротивления шин находятся по табл. Пб.2.

Для прямоугольных шин удельное индуктивное сопротивление в мОм/м можно вычислить по формуле

$$X_0 = 0,1445 \lg \frac{4 a_{cp}}{h}, \quad (10.15)$$

где a_{cp} - среднегеометрическое расстояние между шинами;
 h - наибольший размер стороны поперечного сечения шины.
 При расположении шин в одной плоскости

$$a_{cp} = 1,26 \cdot a, \quad (10.16)$$

где a - расстояние от средней шины до крайней.

Сопротивления катушек автоматов принимаются по табл. Пб.4.

Преобразование схемы для определения токов КЗ сводится к сложению последовательно соединенных активных и индуктивных сопротивлений:

$$z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n z_i; \quad (10.17) \quad X_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n X_i, \quad (10.18)$$

где n - число элементов в цепи КЗ.

Ток трехфазного КЗ в кА вычисляется по выражению

$$I_k = \frac{U_{cpH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{z_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}. \quad (10.19)$$

Ударный ток КЗ определяется по формуле

$$i_v = K_v \cdot \sqrt{2} \cdot I_k . \quad (10.20)$$

Значение ударного коэффициента K_v находят по графикам [4] в зависимости от X_{Σ} / Z_{Σ} . При расчете токов КЗ с учетом сопротивлений переходных контактов можно принять $K_v = 1$.

Если к месту КЗ подключены асинхронные электродвигатели, то их влияние учитывается лишь при определении суммарного ударного тока по формуле

$$i_v = K_v \cdot \sqrt{2} \cdot I_k + 6,5 I_{\text{нД}}, \quad (10.21)$$

где $I_{\text{нД}}$ - суммарный номинальный ток одновременно работающих электродвигателей.

Действующее значение периодической составляющей тока однофазного КЗ

$$I_k^{(1)} = \frac{\sqrt{3} U_{\text{ГРН}}}{\sqrt{(Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma})^2 + (X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (10.22)$$

где $Z_{1\Sigma}$ и $X_{1\Sigma}$ - суммарные активные и индуктивные сопротивления прямой последовательности, мОм;

$Z_{2\Sigma}$ и $X_{2\Sigma}$ - то же, обратной последовательности, мОм;

$Z_{0\Sigma}$ и $X_{0\Sigma}$ - то же, нулевой последовательности, мОм.

Сопротивления нулевой последовательности однофазных электрических аппаратов равны их сопротивлениям прямой последовательности. Трансформаторы мощностью 400 кВ·А и более должны иметь схему соединения обмоток Δ/γ . При такой схеме их активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности равны соответствующим сопротивлениям прямой последовательности. Сопротивления нулевой последовательности кабелей с алюминиевыми жилами определяются по табл. П6.5 и П6.6.

Выбранные аппараты защиты в сетях напряжением до 1 кВ проверяются по условию их успешного срабатывания при однофазном КЗ. Для этого $I_k^{(1)}$ должен превышать не менее, чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя, номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику. При использовании автоматических выключателей, имеющих только электромагнитный расцепитель, кратность

$I_k^{(1)}$ относительно уставки следует принимать не ниже 1,4 для выключателей с номинальным током $I_n \leq 100$ А и не менее 1,25 - для выключателей с $I_n > 100$ А.

Если указанные требования не удовлетворяются, то отключение однофазных КЗ в сети до 1 кВ должно обеспечиваться специальной защитой.

Пример. Для схемы рис. 10.1 рассчитать токи трехфазного и однофазного КЗ в точках К1 и К2. Трансформатор цеховой ТП имеет следующие данные: $S_n = 1000$ кВ·А; $U_k = 5,5\%$; $\Delta P_k = 12,2$ кВт. Ток КЗ на выводах обмотки 10 кВ $I_{k3} = 6,1$ кА. В цепи трансформатора 0,4/0,23 кВ установлен автомат QF1 типа ВА с $I_n = 1600$ А. В цепях отходящих от шин 0,4/0,23 кВ линий - автоматы QF2 типа ВА с $I_n = 630$ А. Шина Ш1 длиной $l = 8$ м, сечением 10×80 мм². Шины Ш2, т.е. участки сборных шин между ответвлениями, имеют длину 1 м, сечение 10×80 мм². Шины Ш3 (ответвления к автоматам) $l = 2,5$ м, сечение 4×40 мм². На всех участках шины алюминиевые и расположены в одной плоскости с расстоянием между фазами $a = 240$ мм. Асинхронные двигатели М1, М2, М3 имеют следующие параметры: $P_n = 200$ кВт; $\eta = 0,94$; $U_n = 380$ В; $\cos \varphi_n = 0,91$. Линия к СП выполнена кабелем АВВГ-3х35+1х16 длиной 100 м. Трансформаторы тока - типа ТКФ-600/5 А.

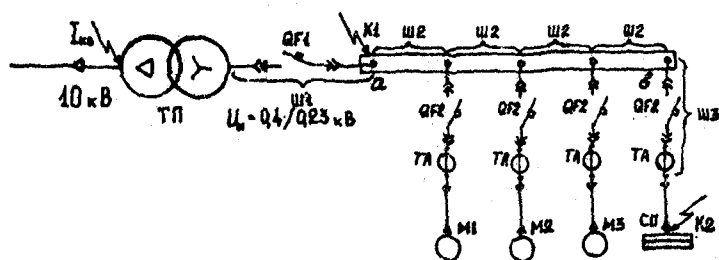


Рис. 10.1. Схема сети к примеру

Решение. 1) Короткое замыкание в точке К1. Определим индуктивное сопротивление системы по выражению (10.8):

$$X_c = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,1} = 994,98 \text{ мОм.}$$

Приведем сопротивление схемы к ступени напряжения 0,4 кВ:

$$\dot{X}_c = 994,98 \cdot \frac{0,4^2}{10,5^2} = 1,44 \text{ мОм.}$$

Активное сопротивление трансформатора, по (10.10):

$$\gamma_T = \frac{12,2 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{1000^2} = 1,95 \text{ мОм.}$$

Индуктивное сопротивление трансформатора

$$X_T = \left(\sqrt{\left(\frac{5,5}{100} \right)^2 - \left(\frac{12,2}{1000} \right)^2} \right) \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^6 = 8,58 \text{ мОм.}$$

Удельные сопротивления шин III при среднем симметрическом расстоянии $a_{cp} = 1,26 \cdot a = 1,26 \cdot 240 = 300 \text{ мм}$ находим по табл. П6.2. Тогда сопротивления шин III $\gamma_{ш1} = \gamma \cdot l = 0,044 \cdot 8 = 0,352 \text{ мОм.}$

$X_{ш1} = X_0 \cdot l = 0,17 \cdot 8 = 1,36 \text{ мОм.}$ Активное и индуктивное сопротивления катушки автомата QF1 (по табл. П6.4) $\gamma_{A1} = 0,13 \text{ мОм.}$

$X_{A1} = 0,06 \text{ мОм.}$ При КЗ в точке К1 совокупное сопротивление переходных контактов $\gamma_{пер} = 15 \text{ мОм.}$ Вычислим суммарные сопротивления цепи КЗ: $\gamma_{\Sigma} = \gamma_T + \gamma_{A1} + \gamma_{ш1} + \gamma_{пер} = 1,95 + 0,13 + 0,352 + 15 = 17,43 \text{ мОм.}$ $X_{\Sigma} = \dot{X}_c + X_T + X_{A1} + X_{ш1} = 1,44 + 8,58 + 0,06 + 1,36 = 11,44 \text{ мОм.}$

Ток трехфазного КЗ в точке К1, по (10.19):

$$I_k = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{17,43^2 + 11,44^2}} = 11,09 \text{ кА.}$$

Определим ударный ток КЗ от системы: По [4], при $X_{\Sigma} / \gamma_{\Sigma} = 11,44 / 17,43 = 0,66$ $K_v = 1,02$. Следовательно, ударный ток КЗ $I_v = 1,02 \sqrt{2} \cdot 11,09 = 16 \text{ кА.}$ Учтем влияние электродвигателей, пренебрегая сопротивлениями ответвлений к ним. Суммарный номинальный ток двигателей

$$I_{уд} = \frac{3 \cdot 200}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,94 \cdot 0,91} = 1,06 \text{ кА.}$$

Тогда ударный ток, по формуле (10.21), $I_y = 16 + 6,5 \cdot 1,06 = 22,89 \text{ кА}$.
 Вычислим ток однофазного КЗ в точке К1. Сопротивления прямой последовательности цепи до точки К1:

$$\mathcal{Z}_{1\Gamma} = \mathcal{Z}_T + \mathcal{Z}_{A1} + \mathcal{Z}_{B1} = 1,95 + 0,13 + 0,352 = 2,43 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Gamma} = X_T + X_{A1} + X_{B1} = 8,58 + 0,06 + 1,36 = 10 \text{ мОм}.$$

Сопротивления обратной и нулевой последовательностей данной цепи можно принять равными сопротивлению прямой последовательности.

Следовательно, $\mathcal{Z}_{2\Gamma} = 2,43 \text{ мОм}$; $X_{2\Gamma} = 10 \text{ мОм}$; $\mathcal{Z}_{0\Gamma} = 2,43 \text{ мОм}$;

$$X_{0\Gamma} = 10 \text{ мОм}.$$

Ток однофазного КЗ в точке К1 с учетом $\mathcal{Z}_{лс} = 15 \text{ мОм}$ и $X_{лс} = 1,44 \text{ мОм}$, по выражению (10.22):

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(3 \cdot 2,43 + 15)^2 + (3 \cdot 10 + 1,44)^2}} = 17,95 \text{ кА}.$$

2. Короткое замыкание в точке К2. Сопротивления сборных шин на участке а-в и шин ШЗ находим по табл. П6.2 при $\alpha_{св} = 300 \text{ мм}$:

$$\mathcal{Z}_{шав} = 4 \cdot 0,044 = 0,176 \text{ мОм}; \quad X_{шав} = 4 \cdot 0,17 = 0,68 \text{ мОм};$$

$$\mathcal{Z}_{шз} = 2,5 \cdot 0,222 = 0,555 \text{ мОм}; \quad X_{шз} = 2,5 \cdot 0,214 = 0,535 \text{ мОм};$$

$$\mathcal{Z}_{A2} = 0,37 \text{ мОм}; \quad X_{A2} = 0,094 \text{ мОм}.$$

Активное сопротивление кабеля АВВГ-3х35+1х16 вычисляем по формуле (10.14):

$$\mathcal{Z}_к = \frac{100 \cdot 10^3}{32 \cdot 35} = 89,29 \text{ мОм}.$$

Удельное индуктивное сопротивление кабеля находим по табл. П6.1.

Согласно (10.13), $X_к = X \cdot \ell = 0,088 \cdot 100 = 8,8 \text{ мОм}$.

Переходное сопротивление контактов для точки К2 $\mathcal{Z}_{лср} = 20 \text{ мОм}$.

Тогда активное и индуктивное сопротивления цепи

$$\mathcal{Z}_\Sigma = \mathcal{Z}_T + \mathcal{Z}_{A1} + \mathcal{Z}_{B1} + \mathcal{Z}_{шав} + \mathcal{Z}_{шз} + \mathcal{Z}_{A2} + \mathcal{Z}_к + \mathcal{Z}_{лср} = 1,95 + 0,13 + 0,352 + 0,176 + 0,555 + 0,37 + 89,29 + 20 = 112,82 \text{ мОм};$$

$$X_\Sigma = X_{лс} + X_T + X_{A1} + X_{B1} + X_{шав} + X_{шз} + X_{A2} + X_к = 1,44 + 8,58 + 0,06 + 1,36 + 0,68 + 0,535 + 0,094 + 8,8 = 21,55 \text{ мОм}.$$

Ток трехфазного КЗ в точке К2

$$I_к = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{112,82^2 + 21,55^2}} = 2,01 \text{ кА}.$$

При $X_{\Sigma} / Z_{\Sigma} = 21,55/112,82 = 0,191$ $K_V = 1$. Следовательно,
 $I_V = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,01 = 2,84$ кА.

Ток подпитки двигателей не учитываем, так как при КЗ в точке К2 на их зажимах сохраняется частичное напряжение. Определим ток однофазного КЗ в точке К2. Суммарные сопротивления прямой последовательности цепи КЗ $Z_{12} = Z_T + Z_{A1} + Z_{ш1} + Z_{шад} + Z_{ш3} + Z_{A2} + Z_K = 1,95 + 0,13 + 0,352 + 0,176 + 0,555 + 0,37 + 89,29 = 92,82$ мОм.

$X_{12} = X_T + X_{A1} + X_{ш1} + X_{шад} + X_{ш3} + X_{A2} + X_K = 8,58 + 0,06 + 1,36 + 0,68 + 0,535 + 0,094 + 8,8 = 20,11$ мОм.

Активные и индуктивные сопротивления обратной последовательности для рассматриваемой цепи можно принять равными соответствующим сопротивлениям прямой последовательности. Таким образом, $Z_{2\Sigma} = 92,82$ мОм; $X_{2\Sigma} = 20,11$ мОм. Активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабельной линии с использованием данных табл. Пб.6 определяются следующим образом:

$Z_{0к} = 2,79 \cdot 100 = 279$ мОм; $X_{0к} = 1,241 \cdot 100 = 124,1$ мОм.

Для всех остальных элементов цепи КЗ сопротивления нулевой последовательности принимаем равными сопротивлениям прямой последовательности. Следовательно, суммарные сопротивления нулевой последовательности

$Z_{0\Sigma} = 1,95 + 0,13 + 0,352 + 0,176 + 0,555 + 0,37 + 279 = 282,53$ мОм;

$X_{0\Sigma} = 8,58 + 0,06 + 1,36 + 0,68 + 0,535 + 0,094 + 124,1 = 135,41$ мОм.

Ток однофазного КЗ в точке К2 (с учетом $Z_{пер} = 20$ мОм и $X_C = 1,44$ мОм)

$$I_K^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(92,82 + 92,82 + 282,53 + 20)^2 + (18,11 + 18,11 + 135,41 + 1,44)^2}} = 1,34 \text{ кА.}$$

II. ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ШИН НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ

Электрические аппараты в условиях эксплуатации работают в трех основных режимах: длительном, перегрузки и в режиме короткого замыкания.

В длительном режиме надежная работа аппаратов обеспечивается правильным выбором их по номинальному напряжению и номинальному току.

В режиме перегрузки - ограничением величины и длительности повышения напряжения или тока в таких пределах, при которых гарантируется нормальная работа за счет запаса прочности.

При коротких замыканиях надежная работа аппаратов обеспечивается их термической и электродинамической стойкостью.

Условие электродинамической стойкости аппарата:

$$I_{дин} \geq I_y, \quad (II.1)$$

где $I_{дин}$ - максимально допустимый ток динамической стойкости аппарата, определяемый заводом-изготовителем;

I_y - ударный ток трехфазного короткого замыкания в цепи, для которой выбирается аппарат.

Условие термической стойкости определяется выражением

$$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_\infty, \quad (II.2)$$

где I_t и t - ток термической стойкости и допустимое время его действия;

I_∞ и t_∞ - установившийся ток КЗ и время его действия.

Выбор электрических аппаратов основывается на сравнении расчетных величин с каталожными данными (табл. П7.1...П7.5), при этом расчетные величины не должны превосходить каталожных для данного аппарата.

Таблица II.1

Условия выбора электрических аппаратов

Расчетные данные	Каталожные данные					
	масляный выключ.	выключ. нагрузки	разъединитель	предохранитель	трансф-р тока	трансф-р напряжен.
U_p , кВ	U_n , кВ	U_n , кВ	U_n , кВ	U_n , кВ	U_n , кВ	U_n , кВ
I_p , А	I_n , А	I_n , А	I_n , А	I_n , А	I_n , А	-
I_y , кА	$I_{дин}$, кА	-	$I_{дин}$, кА	-	$K_{дин} \sqrt{2} I_n$	-
I_k , кА	$I_{отк}$, кА	-	-	-	-	-
B_k , кА ² ·с	$B_T = I_t^2 \cdot t$	-	$B_T = I_t^2 \cdot t$	-	$B_T = I_t^2 \cdot t$	-
S_n , МВА	$S_{отк}$, МВА	-	-	$S_{отк}$, МВА	-	-

В табл. II.1 приняты следующие обозначения величин:

U_H , I_H - соответственно номинальные напряжения и ток аппарата; U_P , I_P - напряжение и ток сети, в которой установлен аппарат; $I_{дин}$ - ток электродинамической стойкости аппарата; I_v - ударный ток короткого замыкания; $B_T = I_e^2 \cdot t$ - тепловой импульс аппарата, нормированный заводом-изготовителем; $B_K = I_{\infty}^2 \cdot t_{\infty}$ - тепловой импульс расчетный; $S_{отк}$ - номинальная мощность отключения; $K_{дин}$ - кратность электродинамической стойкости; $I_{отк}$ - номинальный ток отключения.

Трансформаторы тока выбираются также по номинальному току вторичной цепи, классу точности и номинальной мощности вторичной обмотки.

Номинальная мощность вторичной обмотки трансформатора тока должна быть не меньше суммы мощности $S_{пр}$, потребляемой приборами, и мощности, теряемой в проводах и контактах:

$$S_2 \geq S_{пр} + I_2^2 (\tau_{пр} + \tau_{кон}), \quad (II.3)$$

где $\tau_{пр}$, $\tau_{кон}$ - сопротивления проводов и контактов, Ом;
 I_2 - ток вторичной обмотки, А.

Сопротивление всех переходных контактов принимается равным 0,1 Ом, величина тока $I_2 = 5$ А.

Таким образом, можно определить сопротивление проводов между трансформатором тока и измерительными приборами, равное

$$\tau_{пр} = \frac{S_2 - S_{пр} - I_2^2 \cdot \tau_{кон}}{I_2^2} \quad (II.4)$$

При соединении трансформаторов тока в неполную звезду сечение соединительных проводов (мм^2)

$$q = \frac{\sqrt{3} \cdot l}{\gamma \cdot \tau_{пр}} \quad (II.5)$$

При соединении трансформаторов тока в полную звезду сечение (мм^2)

$$q = \frac{l}{\gamma \cdot \tau_{пр}} \quad (II.6)$$

При установке одного трансформатора тока сечение (мм^2)

$$q = \frac{2 \cdot l}{\gamma \cdot \tau_{пр}} \quad (II.7)$$

Трансформаторы напряжения выбираются по номинальным параметрам, классу точности и нагрузке, определяемой мощностью, которая потребляется катушками электроизмерительных приборов, подключенных к данному трансформатору. Номинальная мощность трансформатора напряжения S_H должна быть равна или больше суммарной активной и реактивной мощности, потребляемой параллельными катушками приборов и реле, S_2 :

$$S_H \geq S_2 = \sqrt{P_\Sigma^2 + Q_\Sigma^2}, \quad (II.8)$$

где $P_\Sigma = S_{np} \cdot \cos \varphi_{np}$ - суммарная активная мощность, потребляемая катушками приборов;

$Q_\Sigma = P_{np} \cdot \operatorname{tg} \varphi$ - реактивная мощность.

Значения мощностей P_{np} , потребляемых электроизмерительными приборами, даются в справочниках [8, 9] и табл. П7.8.

Шины распределительных устройств выбираются по нагреву максимальным расчетным током I_{pm} и проверяются на электродинамическую и термическую стойкость.

При выборе шин по нагреву учитываются наиболее тяжелые послеаварийные и ремонтные режимы. Допустимый ток шины $I_{доп}$ должен быть не менее I_p , т.е.

$$I_{доп} \geq I_p. \quad (II.9)$$

При расположении шин плашмя (большая грань полосы находится в горизонтальной плоскости) допустимый ток, указанный в табл. П7.6, должен быть уменьшен на 5% для полос шириной до 60 мм и на 8% - для полос большей ширины [10].

Проверка на электродинамическую стойкость выполняется сравнением механического напряжения в материале шины σ_r с допустимыми значениями $\sigma_{доп}$ (табл. П7.7) по условию

$$\sigma_{доп} \geq \sigma_r.$$

Механическое напряжение в материале шины, возникающее под действием изгибающего момента, кгс/см²:

$$\sigma_r = 1.76 \cdot 10^{-3} \frac{i_y^2 \cdot l^2}{a \cdot W}, \quad (II.10)$$

где i_y - ударный ток КЗ, кА;

l - расстояние между опорными изоляторами, см;

a - расстояние между осями шин смежных фаз, см;

W - момент сопротивления шины относительно оси, перпендикулярной действию усилия, см³.

При расположении шин плашмя

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (II.11)$$

где b и h - соответственно меньший и больший размеры сторон поперечного сечения шины.

Проверка шин на термическую стойкость сводится к определению минимально допустимого сечения q по формуле

$$q_r = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad (II.12)$$

где C - коэффициент, принимаемый для алюминиевых шин, А·с^{0,5}/мм².

Пример. Выбрать шины РП напряжением 10 кВ и проверить их на термическую и динамическую стойкость к токам КЗ. Действующее значение периодической составляющей тока КЗ $I_n = 11,5$ кА, время отключения КЗ $t_{отк} = 1,6$ с, постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ $T_a = 0,01$ с, ударный ток КЗ

$I_v = 23$ кА. Шины установлены на изоляторах плашмя с расстоянием между фазами $a = 25$ см, между изоляторами в пролете - $\ell = 100$ см. Максимальный расчетный ток шин $I_{PM} = 820$ А.

Решение. Выбираем по нагреву шины шириной до 60 мм. В этом случае условие выбора

$$0,95 \cdot I_{доп} \geq I_{PM} \quad \text{или} \quad I_{доп} \geq \frac{I_{PM}}{0,95}$$

$$\text{Тогда} \quad I_{доп} > \frac{820}{0,95} = 863,2 \text{ А.}$$

По табл. П7.6 принимаем шины размером 60x6 мм, имеющие площадь сечения 360 мм² и $I_{доп} = 870$ А.

Проверяем шины на термическую стойкость. Для этого найдем тепловой импульс тока КЗ

$$B_k = (11,5 \cdot 10^3)^2 \cdot (1,6 + 0,01) = 212,9 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с.}$$

Минимальное сечение шин, по условию термической стойкости

$$q_r = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad q_r = \frac{\sqrt{212,9 \cdot 10^6}}{91} = 160,3 \text{ мм}^2,$$

что меньше выбранного. Следовательно, шины термически устойчивы.

Выполним проверку на электродинамическую стойкость. Момент сопротивления шин при установке их плашмя

$$W = \frac{0,6 \cdot 6^2}{6} = 3,6 \text{ см}^3.$$

Расчетное напряжение в металле шин, по (II.10):

$$\sigma_p = 1,76 \cdot 10^{-3} \frac{23^2 \cdot 100^2}{25 \cdot 3,6} = 103,4 \text{ кгс/см}^2,$$

что составляет примерно 10,3 МПа.

Для материала шин марки АДО $\sigma_{dyn} = 49 \text{ МПа}$ (табл. П7.7).
Так как $\sigma_{dyn} > \sigma_p$ ($49 > 10,3$), то выбранные шины динамически устойчивы.

12. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В системе электроснабжения промышленного предприятия следует измерять текущие значения величин тока, напряжения и мощности, характеризующие режим работы как самой системы, так и ее элементов, а также осуществлять учет потребляемой и вырабатываемой электроэнергии. Некоторые данные применяемых электроизмерительных приборов приведены в табл. П7.8.

Амперметры устанавливаются в цепях, в которых необходим контроль тока (вводы ГПП и РП, трансформаторы, отходящие линии, переключки между секциями сборных шин, конденсаторные установки, некоторые электроприемники). Как правило, измеряется ток одной фазы. Измерение тока каждой фазы выполняется при неравномерной нагрузке фаз, в цепях дуговых электропечей, а также мощных комплектных конденсаторных установок, что позволяет заметить отключение части конденсаторов при перегорании предохранителей.

Напряжение измеряется на каждой секции сборных шин ГПП, РП и ТП. На понижающих подстанциях допускается измерять напряжение только на стороне низшего напряжения, если установка трансформатора напряжения на первичной стороне не требуется для других целей. В трехфазных электроустановках обычно производится измерение одного междуфазного напряжения. В сетях с изолированной нейт-

ралью (напряжением 6...35 кВ) вольтметры используются также для контроля изоляции. Для этой цели применяют три вольтметра (или один вольтметр с переключателем), включаемые на фазные напряжения через измерительный трансформатор типа НТМИ, присоединенный к секции РП или ГПП.

Измерение мощности выполняется в цепях понижающих трансформаторов ГПП. При напряжении первичной стороны 220 кВ и выше измеряется активная и реактивная мощность, при 110 кВ - только активная. В цепях двухобмоточных трансформаторов измерение производится со стороны низшего напряжения, трехобмоточных - со стороны среднего и низшего напряжения.

Учет электроэнергии на промышленных предприятиях подразделяется на расчетный (коммерческий) и технический (контрольный).

Расчетный учет электроэнергии предназначен для осуществления денежных расчетов за выработанную, а также отпущенную потребителям электроэнергию. Устанавливаемые для этой цели электрические счетчики называются расчетными. Основные положения по организации и осуществлению расчетного учета на предприятиях заключаются в следующем [10]: 1) расчетные счетчики активной и реактивной энергии рекомендуется устанавливать на границе раздела (по балансовой принадлежности) электроснабжающей организации и предприятия; 2) счетчики реактивной энергии устанавливаются на тех же элементах схемы, что и счетчики активной электроэнергии; 3) учет электроэнергии трехфазного тока должен производиться с помощью трехфазных счетчиков; 4) если со стороны предприятия с согласия энергосистемы производится выдача реактивной энергии в сеть энергосистемы, необходимо устанавливать два счетчика реактивной энергии со стопорами, в других случаях должен устанавливаться один счетчик реактивной энергии со стопором; 5) счетчики активной энергии должны иметь класс точности не ниже 2,0; класс точности счетчика реактивной энергии должен выбираться на одну ступень ниже класса точности счетчика активной энергии; 6) для предприятия, рассчитывающегося с электроснабжающей организацией по двухставочному тарифу (с оплатой как максимальной нагрузки, так и потребленной электроэнергии), следует предусматривать установку счетчика с указанием максимума нагрузки при наличии одного пункта учета, при двух и более пунктах - применение автоматизированных систем учета электроэнергии.

Технический учет предназначен для контроля расхода электроэнергии внутри предприятий. Для предприятия следует предусматривать возможность установки стационарных или переносных счетчиков с целью контроля за соблюдением лимитов расхода электроэнергии цехами, линиями и агрегатами, для определения расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции. Приборы технического учета находятся в ведении самих потребителей. Для их установки и снятия разрешения электроснабжающей организации не требуется.

Для учета электроэнергии используются индукционные и электронные счетчики электроэнергии различных типов, информационно-измерительные системы и комплексы (табл. 12.1).

Таблица 12.1

Системы учета и контроля электропотребления

Наименование системы	Т и п	Наибольшее число пунктов учета, шт.	Производитель
Система информационно-измерительная многоуровневого энергоконтроля	СИМЭК	256	Республика Беларусь, г. Гродно, предприятие "Грант"
Программируемая многоканальная импульсная система (сумматор)	Е871	16	Республика Беларусь, г. Витебск, ПО "Электроизмеритель"
Информационно-измерительная система учета и контроля электроэнергии	ИИСЭЗ	64	Республика Литва
Дистанционный счетный и суммирующий прибор	ETS.L	8	Республика Венгрия, фирма "Ганц-прибор"
Программируемая микропроцессорная система дистанционного учета электроэнергии	ETS _μ P	12	- // -
Электронный программируемый прибор для дистанционного учета электроэнергии	ETS -M	12	- // -

Автоматизированные системы обеспечивают расчетный и технический учет электроэнергии, контроль и фиксацию превышения лимита

электропотребления и максимальной получасовой мощности, а также позволяют обрабатывать исходную информацию по сменной программе с выдачей результатов на табло или печатающее устройство.

Счетчики, используемые с целью получения исходной информации для автоматизированной системы учета электроэнергии, должны иметь телеметрические выходы. Такие импульсные счетчики выполняют функции датчиков. С этой целью могут применяться электронные счетчики типа Ф443 и т.п., а также импульсные счетчики ДН₁ и ДН₂, выпускаемые фирмой "Ганц-прибор". Для использования в качестве датчиков обычных индукционных счетчиков в них встраиваются фотоэлектрические преобразователи типа Е-440 или Е-870, с помощью которых формируются импульсы.

В системах автоматизации учета электроэнергии может применяться устройство сбора данных Е-441, к которому подключаются до 16-ти счетчиков-датчиков, удаленных на расстояние до 3 км. Само устройство может находиться на расстоянии до 30 км от автоматизированной системы учета.

Правильное построение системы учета и контроля электропотребления способствует снижению нерационального расхода электроэнергии и облегчает составление электрических балансов, являющихся основой для анализа состояния электрического хозяйства и выявления возможных резервов экономии энергоресурсов на предприятии.

Л и т е р а т у р а

1. Кудрин Б.И., Прокопчик В.В. Электроснабжение промышленных предприятий. - Мн.: Выш. школа, 1988.
2. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. - М.: Высш. школа, 1986.
3. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. - М.: Высш. школа, 1990.
5. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. - Л.: Энергоиздат, 1981.
6. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М.Кнорринга. - Л.: Энергия, 1976.
7. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
8. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г.Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 1991.
9. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г.Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
11. Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий. - М.: Стройиздат, 1977.
12. Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий. - М.: Стройиздат, 1976.
13. Бондаренко В.П., Коба Н.Ф. Справочник прораба-электромонтажника. - Киев : БудІвельник, 1989.

III. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ, СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ
И КОНДЕНСАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

Таблица III.I

Технические характеристики асинхронных электродвигателей
серии АИ ($U_n = 220, 380$ и 660 В; $n = 1500$ об/мин)

Т и п	P_n , кВт	КПД, %	$\cos \varphi_n$	$\frac{I_{пуск}}{I_n}$
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	0,87	6,5
АИР180М4	30	91,5	0,86	7

Таблица П.2

Технические характеристики крановых
асинхронных электродвигателей серии МТКР
($U_n = 220/380$ В; $\cos \varphi_n = 40\%$)

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

Таблица П.3

Технические характеристики синхронных электродвигателей
серии СДН ($U_n = 10$ кВ, $\cos \varphi_n = 0,9$)

Тип двигателя	P_n , кВт	n , об/мин	КПД, %
СДН16-41-16У3	630	375	92,4
СДН15-49-12У3	800	500	93,2
СДН16-51-12У3	1250	500	93,8
СДН16-54-10У3	1600	600	94,6
СДН15-49-10У3	1000	600	94,0
СДН15-64-10У3	1250	600	94,7
СДН14-59-8У3	630	750	94,0
СДН15-59-8У3	800	750	94,0
СДН15-64-8У3	1600	750	95,0
СДН16-64-8У3	2000	750	94,8
СДН15-76-6У3	2500	1000	96,0

Таблица П1.4

Технические характеристики синхронных
электродвигателей для привода компрессоров
серий СДК и СДКП ($\cos\phi_n = 0,9$)

Тип двигателя	P_n , кВт	U_n , кВ	n , об/мин	I_n , А	КПД, %
СДК2-16-24-10КУ4	400	6	600	45,5	93,4
СДК2-16-24-12КУ4	315	6	500	37	92,3
СДК2-16-36-12КУ4	500	6	500	57	93,7
СДК2-17-26-12КУ4	630	6	500	71	94,1
СДКП2-16-29-10КУХЛ4	500	6	600	37	94
СДКП2-16-29-12КУХЛ4	315	6	500	37	92,2
СДКП2-16-29-12КУХЛ4	400	6	500	45	93
СДКП2-17-26-12КУХЛ4	630	6	500	71	94
СДКП2-17-31-12КУХЛ4	800	6	500	90,5	94,5
СДКП2-16-24-12КУХЛ4	315	10	500	21,9	91,9
СДКП2-17-24-26-12КУХЛ4	630	10	500	43,1	93,8

Примечание: двигатели СДК предназначены для невзрыво-
опасной, а СДКП - для взрывоопасной окружающей среды.

Таблица П.5

Технические характеристики трансформаторов
для комплектных трансформаторных подстанций

Т и п	Номиналь- ная мощ- ность, кВ·А	Потери, кВт		Напряжение кВ, %	Ток КХ, %
		ХХ	КЗ		
ТМЗ-630/10	630	1,31	7,6	5,5	1,8
ТМЗ-1000/10	1000	1,9	10,8	5,5	1,2
ТМЗ-1600/10	1600	2,65	16,5	6,0	1,0
ТМЗ-2500/10	2500	3,75	24,0	6,0	0,8
ТММЗ-630/10	630	1,2	8,5	5,5	0,4
ТММЗ-1000/10	1000	1,65	11,0	5,5	0,4

Таблица П.6

Комплектные конденсаторные установки

0,38 кВ		10,5 кВ	
Т и п	Мощность, квар	Т и п	Мощность, квар
Для осветительных сетей			
УК2-0,38-50	50	УКЛ-10,5-450	450
УК3-0,38-75	75	УКЛ-10,5-900	900
УК4-0,38-100	100	УКЛ-10,5-1350	1350
Для силовых сетей			
УКЕН-0,38-100-50	100	УКЛ-10,5-1800	1800
УКЕТ-0,38-150	150	УКЛ-10,5-2700	2700
УКТ-0,38-150	150		
УКБ-0,38-150	150		
УКЕН-0,38-200-50	200		
УКЛН-0,38-300-150	300		
УКЛН-0,38-450-150	450		
УКЛН-0,38-600-150	600		

Обозначения: Б - бесшкафного исполнения; Н,Т - регулирование по напряжению, току; Л - левое расположение вводной ячейки.

Таблица ПІ.7

Технические данные трехфазных масляных
двухобмоточных трансформаторов общего назначения

Т и п	Номи- наль- ная мощ- ность, кВ·А	Сочетание напряжений, кВ		Потери, кВт		Напря- жение кЗ, %	Ток ХХ, %
		ВН	НН	ХХ	кЗ		
ТМ-100/10	100	6;10	0,4	0,33	2,27	4,7	2,6
ТМ-160/10	160	6;10	0,4	0,51	3,1	4,7	2,4
ТМ-250/10	250	6;10	0,4	0,74	4,2	4,7	2,3
ТМ-400/10	400	6;10	0,4;0,69	0,90	5,5	4,5	1,5
ТМ-630/10	630	6;10	0,4;0,69	1,25	7,6	5,5	1,25
ТМ-1000/10	1000	6;10	0,4;0,69	1,9	10,5	5,5	1,15
ТМ-1600/10	1600	10	6,3	3,3	16,5	5,5	1,3
ТМ-2500/10	2500	10	6,3	3,85	23,5	6,5	1,0
ТМН-6300/110	6300	115	6,6; 11	10	44	10,5	1,0
ТДН-10000/110	10000	115	6,6; 11	14	58	10,5	0,9
ТДН-16000/110	16000	115	6,6; 11	18	85	10,5	0,7
			6,3-6,3				
ТРДН-25000/110	25000	115	10,5-10,5	25	120	10,5	0,65
			6,3-10,5				
			6,3-6,3				
ТРДН-40000/110	40000	115	10,5-10,5	34	170	10,5	0,55
			6,3-10,5				
			6,3-6,3				
ТРДН-63000/110	63000	115	10,5-10,5	50	245	10,5	0,5
			6,3-10,5				
			6,3-6,3				
ТРДН-80000/110	80000	115	10,5-10,5	58	310	10,5	0,45
			6,3-10,5				

П2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

Таблица П2.1

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

Т и п в зависимости от степени защиты		Номинальный ток, А, в ре- жиме 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 П2.2

Технические данные предохранителей

Т и п	Номиналь- ное на- пряжение, В	Номинальный ток, А,		Предель- ный от- ключае- мый ток, кА
		предо- храни- теля	плавкой вставки	
ПН2-63	500	63	6, 10, 16, 20, 25, 31, 40, 63	10
ПН2-100	380	100	31,5; 40, 50, 63, 80, 100	100
ПН2-250	380	250	80, 100, 125, 160, 200, 250	100
ПН2-400	380	400	200, 250, 315, 400, 355	40
ПН2-600	380	630	315, 400, 500, 630	25

Таблица П2.3

Технические данные автоматических выключателей серий ВА51
и ВА52 с комбинированным расцепителем

Т и п выключателя	Номинальный ток, А		Кратность тока отсеч- ки по отно- шению к $I_{нр}$
	выключателя	расцепителя, $I_{нр}$	
Однополюсные			
ВА 51-29	63	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 63	-
ВА 51-31-I	100	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
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; 10; 12,5; 16; 20; 25	14
ВА 51-25	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	7; 10
ВА 51-31	100	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА51Г-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	14
ВА 52-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА 51-33 ВА 52-33	160	80; 100; 125; 160	10
ВА 51Г-33 ВА 52Г-33	160	80; 100; 125; 160	14
ВА 51-35 ВА 52-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	12
ВА 51-37 ВА 52-37	400	250; 320; 400	10
ВА 51-39	630	400; 500; 630	10
ВА 52-39	630	250; 400; 500; 630	10

Таблица П2.4

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

Т и п выключателя	Номинальный ток выключателя I_N , А	Уставка тока расце- пителя в зоне КЗ, кратная $I_{нр}$
ВА53 - 37	160; 250; 400	2; 3; 5; 7; 10
ВА55 - 37		
ВА55 - 39		
ВА53 - 39	160; 250; 400; 630	-
ВА53 - 41	1000	2; 3; 5; 7
ВА55 - 41	1600	
ВА53 - 43	2500	2; 3; 5
ВА55 - 43		
ВА75 - 45	2500	2; 3; 5; 7
ВА75 - 47	4000	2; 3; 5

П р и м е ч а н и е: Выключатели допускают регулировку но-
минального тока уставки максимального расцепителя ($I_{нр}$) тремя
ступенями в пределах от номинального тока выключателя I_N до
0,8 I_N или до 0,63 I_N . Например, ВА55 - 37 на 250 А может иметь
 $I_{нр} = 250; 200; 157, 5$ А.

Технические данные основных типов панелей ЩО70М

Тип панели	Номинальный ток (А) и количество присоединений	Коммутационные и защитные аппараты
Линейные панели		
2 X ЩО70М-01	100x2+250x2	Рубильники с предохранителями ПН 2
ЩО70М-02	250x4	То же
ЩО70М-03	250x2+400x2	То же
ЩО70М-04	600x1	То же
ЩО70М-05	100x6	A3I24
ЩО70М-06	200x4	A3726Ф
ЩО70М-07	600x2	A3I44
ЩО70М-08	100x4	Разъединители (один на 4 присоединения), A3I24(осветительная)
ЩО70М-13	400x1	Разъединитель, АВМ-4
ЩО70М-14	1000x1	То же, АВМ-10
Вводные панели		
ЩО70М-19	400	Разъединитель, АВМ-4
ЩО70М-20	1000	То же, АВМ-10
ЩО70М-21	1500	То же, АВМ-15
ЩО70М-22	2000	То же, АВМ-20
ЩО70М-15	600	Рубильник, ПН2-600
ЩО70М-16	1000	Рубильник
Секционные панели		
ЩО70М-30	600	Рубильник
ЩО70М-31	1000	То же
ЩО70М-34	400	Разъединители, АВМ-4
ЩО70М-35	1000	То же, АВМ-10
ЩО70М-36	1500	То же, АВМ-15

Примечание: приведенные линейные и вводные панели допускают ввод снизу проводами или кабелем.

Таблица П2.6

Шкафы распределительные силовые типа ШРС I
Гомельского завода электромонтажных изделий

Тип шкафа	Номинальный ток рубильника на вводе, А	Число трехполюсных групп предохранителей на отходящих линиях и их номинальные токи, А
ШРС1-20У3		
ШРС1-50У3	250	5 x 63
ШРС1-21У3		
ШРС1-51У3	250	5 x 100
ШРС1-22У3		
ШРС1-52У3	250	2 x 63 + 3 x 100
ШРС1-23У3		
ШРС1-53У3	400	8 x 63
ШРС1-24У3		
ШРС1-54У3	400	8 x 100
ШРС1-25У3		
ШРС1-55У3	400	4 x 63 + 4 x 100
ШРС1-26У3		
ШРС1-56У3	400	5 x 250
ШРС1-27У3		
ШРС1-57У3	400	5 x 100 + 2 x 250
ШРС1-28У3		
ШРС1-58У3	400	2 x 63 + 4 x 100 + 2 x 250

Примечание: предельный ток динамической стойкости для всех типов шкафов - 12,5 кА.

Таблица П2.7

Шкафы распределительные типа ШР1
Миносского завода электромонтажных изделий

Тип шкафа	Номинальный ток рубильника РБ-20 на вводе, А	Число трехполюсных групп предохранителей на отходящих линиях и их номинальные токи, А
ШР1-20	250	5 x 63
ШР1-21	250	5 x 100
ШР1-22	400	2 x 63 + 3 x 100
ШР1-23	400	8 x 63
ШР1-24	400	8 x 100
ШР1-25	400	4 x 63 + 4 x 100
ШР1-26	400	5 x 250
ШР1-27	400	5 x 100 + 2 x 250
ШР1-28	400	2 x 63 + 4 x 100 + 2 x 250

Таблица П2.8

Силовые пункты типа СПУ62
Гомельского завода "Сельстройэнергооборудование"

Тип шкафа	Номинальный ток рубильника РБ-20 на вводе, А	Число трехполюсных групп предохранителей на отходящих линиях и их номинальные токи, А
СПУ62-3/1У3		
СПУ62-3/1У2	250	5 x 100
СПУ62-8/11У3		
СПУ62-8/11У2	400	2 x 63 + 4 x 100 + 2 x 250
СПУ62-0/1У3		
СПУ62-0/1У2	400	5 x 100 + 2 x 250

Таблица П2.9

Шкафы распределительные серии IP22-

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

Таблица П2.10

Силовые ящики

№ пп	Т и п	Номинальный ток аппарата, А	Номинальный ток предохранителей, А
1.	ЯВ1ВУ-1м	100	100
2.	ЯВ1ВУ-2	200	250
3.	ЯВ1ВУ-4	250	315
		315	400
4.	ЯВ1-2	160	200
		200	250
5.	ЯРП-20	20	20
6.	ЯРП11-311	100	250
7.	ЯРП11-351	250	250
8.	ЯПП-15	16	16
9.	ЯВЗ-33	300	300
10.	ЯВЗВ-32	200	200
11.	ЯВЗ-32-Г	250	-
12.	ЯВЗ-34-Л	400	-
13.	ЯВЗВ-31-Г	100	-

Таблица П2.11

Основные технические данные магистральных
шинопроводов переменного тока ПГА 4

№ пп	Показатели	Тип шин			
		ПГА4-1250	ПГА4-1600	ПГА4-2500	ПГА4-3200
1.	Номинальный ток, А	1250	1600	2500	3200
2.	Номинальное на- пряжение, В	660	660	660	660
3.	Электродинамичес- кая стойкость, кА	70	70	70	70
4.	Сопrotивление на фазу, Ом/км:				
	активное	0,0338	0,0297	0,0169	0,015
	индуктивное	0,0161	0,0143	0,0082	0,0072
5.	Полное сопротив- ление петли фаза- нуль, Ом/км	0,0862	0,0872	0,0822	0,053
6.	Линейная потеря напряжения, В, на 100 м при I_n , $\cos \varphi = 0,8$ и нагрузке, сосре- доченной в конце линии	8,93	9,13	9,7	9,0
7.	Степень защиты по ГОСТ 14254-80	IP44	IP44	IP44	IP44

Таблица П2.12

Основные технические данные распределительных
шинопроводов ШРА 4

№ пп	Показатели	Тип шинопровода			
		ШРА4-100	ШРА4-250	ШРА4-400	ШРА4-630
1.	Номинальный ток, А	100	250	400	630
2.	Электродинамическая стойкость, кА	7	15	25	35
3.	Сопrotивление на фазу, Ом/км:				
	активное	-	0,21	0,15	0,10
	индуктивное	-	0,21	0,17	0,13
4.	Линейная потеря нап- ряжения, В, на длине 100м при I_n и $\cos \varphi = 0,8$	-	6,5	8,0	6,5
5.	Степень защиты	IP44	IP44	IP44	IP44

Таблица П2.13
 Ответвительные коробки шинопровода ШРА 4

Тип коробки	Наименование аппарата	I _н , А	Номинальный ток ШРА 4, А	
У2031	Предохранитель ПМ2-100	100	250, 400, 630	
У2032	Разъединитель	160	250, 400, 630	
У2033	Разъединитель	250	400, 630	
У2034	Автомат АЗ710	160	250, 400, 630	
У2035	Автомат АЗ720	250	400, 630	
У2038	Автомат АЕ2050	100	250, 400, 630	
У2180	Разъединитель	400	400, 630	

Таблица П2.14
 Основные технические данные троллейного
 шинопровода ШМТ-АУ2

№ пп	Показатель	Номинальный ток ШМТ-АУ2	
		250 А	400 А
1.	Электродинамическая стойкость, кА	10	15
2.	Номинальный ток токоъемной каретки, А	40	-
3.	Номинальный ток спаренных токоъемных кареток, А	-	63
4.	Степень защиты	IP2I	IP2I

Таблица П2.15
 Трансформаторы тока напряжением до 1 кВ
 типа ТНШЛ

Т и п	U _н , кВ	Класс точности	Номинальный первичный ток, А
ТНШЛ-0,66	0,66	0,5	800; 1000; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000; 8000; 10000

ПЗ. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Таблица ПЗ.1

Расчетные коэффициенты электрических нагрузок
электроприемников

№ пп	Электроприемники	Коэффициенты		
		K_{Σ}	$\cos \varphi$	K_c
1	2	3	4	5
1.	Металлорежущие станки мелко-серийного производства, мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные и др.	0,12-0,14	0,4-0,5	0,14-0,16
2.	То же, при крупносерийном производстве	0,16	0,5-0,6	0,2
3.	То же, при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки	0,17	0,65	0,4
4.	То же, с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистных барабанов и др.	0,2-0,24	0,65	0,4
5.	Многошпиндельные автоматы	0,2	0,6	0,23
6.	Краны мостовые, грейферные, кран-балки, тельферы, лифты	0,15-0,35	0,5	0,2-0,5
7.	Вентиляторы, санитарно-гигиеническая вентиляция	0,65-0,8	0,8	0,7-0,8
8.	Насосы, компрессоры, двигатели-генераторы	0,7	0,85	0,75
9.	Сварочные трансформаторы дуговой электросварки	0,2	0,4	0,3
10.	Печи сопротивления, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75-0,8	1,00	0,75-0,9
11.	Индукционные печи низкой частоты	-	0,35	0,8
12.	Индукционные печи высокой частоты	-	0,65-0,8	0,6

1	2	3	4	5
13.	Элеваторы, транспортеры, конвейеры	0,4-0,55	0,75	0,5-0,65
14.	Дуговые сталеплавильные печи	0,5-0,75	0,8-0,9	-
15.	Гальванические установки	0,4-0,5	0,6-0,8	0,5-0,6
16.	Шлифовальные станки металлообработки	0,2-0,35	0,65	0,25-0,4

Таблица ПЗ.2

Значение коэффициента спроса K_c в зависимости от коэффициента использования K_n

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

Таблица ПЗ.3

Значения коэффициентов спроса K_c и коэффициентов мощности для отдельных цехов и корпусов

№ пп	Наименование	K_c	$\cos \varphi$
1	2	3	4

Корпуса, цеха, насосные и прочие установки общепромышленного назначения (кроме поименованных в разделах 2-8)

- | | | | |
|----|---|---------|-----------|
| 1. | Ремонтно-механические | 0,2-0,3 | 0,65-0,75 |
| 2. | Электроремонтные | 0,3-0,4 | 0,7-0,8 |
| 3. | Насосные, кислородные и компрессорные станции с электродвигателями низкого напряжения | 0,7-0,8 | 0,7-0,85 |
| 4. | То же, с электродвигателями высокого напряжения: | | |

1	2	3	4
	а) асинхронными	0,75-0,85	0,8-0,9
	б) синхронными	0,75-0,85	0,7-0,8
5.	Вентиляционные установки и отопление	0,65-0,8	0,8
6.	Газогенераторные станции	0,4-0,6	0,7-0,8
7.	Литейные черных металлов	0,6-0,8	0,7-0,9
8.	Литейные цветных металлов	0,7-0,8	0,8-0,95
9.	Блоки основных цехов	0,3	0,75
10.	Блоки вспомогательных цехов	0,25	0,7
11.	Штампо-механические и токарные	0,25-0,4	0,6-0,8
12.	Инструментальные	0,2-0,25	0,65-0,8
13.	Механо-сборочные и заготовительные	0,25-0,4	0,65-0,75
14.	Металлоконструкций	0,5-0,7	0,6
15.	Закалочные	0,7	0,75
16.	Кузнечно-прессовые	0,25-0,4	0,65-0,7
17.	Термическая нагрузка (нагревательные печи)	0,8-0,9	0,85-0,95
18.	Крановая нагрузка, подъемники	0,3-0,4	0,5-0,7
19.	Электросварка	0,3-0,5	0,3-0,5
20.	Деревообделочные, столярные	0,2-0,4	0,6-0,8
21.	Малярные, модельные	0,5-0,6	0,5-0,6
22.	Собственные нужды ТЭЦ, ТЭС	0,7-0,8	0,75-0,8
23.	Лаборатории	0,6-0,9	0,7-0,9
24.	Заводоуправление, проходные, КБ и т.п. (силовая нагрузка)	0,3-0,5	0,5-0,7
25.	Депо (железнодорожные, пожарные)	0,4-0,6	0,6-0,8
26.	Депо электрокар	0,6-0,8	0,75-0,9
27.	Гаражи	0,4-0,6	0,65-0,8
28.	Котельные	0,6-0,8	0,7-0,8
29.	Склады открытые	0,2-0,4	0,6-0,7
30.	Склады закрытые, готовой продукции, магазины	0,6-0,8	0,8-1,0
31.	Столовые	0,6-0,8	0,9
32.	Лесозаводы	0,4-0,6	0,7
33.	Лесосушки	0,76-0,8	0,75-0,9

1	2	1	3	4	4
Заводы тяжелого машиностроения					
1. Главный корпус		0,5		0,75	
2. Моторный цех		0,3		0,75	
3. Кузнечный цех		0,4		0,75	
4. Экспериментальный цех		0,2		0,7	
Машиностроительные заводы					
1. Главный корпус		0,2		0,65	
2. Кузнечный корпус		0,27		0,65	
3. Термический цех		0,8		0,65	
4. Гальванический цех		0,5-0,6		0,7-0,8	
Электротехнические заводы					
1. Изоляционный корпус		0,7		0,9	
2. Лаковарочный цех		0,7		0,9	
Автомобильные и тракторные заводы					
1. Цех шасси и главный конвейер		0,4		0,75	
2. Моторный цех		0,27		0,7	
3. Прессово-кузнечный цех		0,25		0,7	
4. Кузнечный цех		0,25		0,75	
5. Арматурно-агрегатный цех		0,2		0,7	
6. Рессорный цех		0,3		0,55	
7. Кузовной цех		0,4		0,8	
8. Цех обкатки двигателей		0,7-0,8		0,6	
Бумажные фабрики					
1. Бумажные машины		0,65-0,8		0,75-0,85	
2. Кислотный цех		0,6		0,6	
3. Дереворубка		0,3		0,5	
4. Варочное отделение		0,4		0,7	
5. Отбельный отдел		0,7		0,7	

1	2	3	4
6. Трялковарка		0,7	0,75
7. Лесотаски		0,4	0,5

Текстильные, ситценабивные и меланжевые фабрики

1. Прядильное отделение	0,7-0,8	0,75
2. Ткацкое отделение	0,8	0,8
3. Красильное отделение	0,6-0,7	0,65-0,75†
4. Отбельное отделение	0,5	0,7
5. Сновальный корпус	0,7	0,7
6. Красильно-сортировочный корпус	0,6	0,7
7. Сортировочно-трепальный корпус	0,4	0,75
8. Крутильный корпус	0,6	0,8

Строительная промышленность

1. Завод железобетонных изделий	0,45-0,5	0,73
2. Арматурный завод	0,3-0,4	0,6-0,65
3. Арматурная мастерская	0,45	0,5
4. Механическая мастерская	0,2-0,4	0,5
5. Сантехническая мастерская	0,35-0,4	0,5
6. Опалубочная мастерская	0,7	0,7
7. Плотничная мастерская	0,6	0,7
8. Растворный узел	0,4-0,6	0,5-0,6
9. Формовочная машина	0,2-0,25	0,6

Таблица ПЗ.4

Коэффициенты максимума K_M в зависимости
от коэффициента использования K_U
и эффективного числа электроприемников n_e

n_e	Значение K_M при K_U , равном								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14
5	3,23	2,87	2,42	2,00	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,10
7	2,88	2,48	2,10	1,80	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,40	1,30	1,20	1,08
9	2,56	2,20	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08
10	2,42	2,10	1,84	1,60	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07
18	1,91	1,70	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06
20	1,84	1,65	1,50	1,34	1,24	1,20	1,15	1,11	1,06
25	1,71	1,55	1,40	1,28	1,21	1,17	1,14	1,10	1,06
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,10	1,05
35	1,56	1,41	1,30	1,21	1,17	1,15	1,12	1,09	1,05
40	1,50	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05
45	1,45	1,33	1,25	1,17	1,14	1,12	1,11	1,08	1,04
50	1,40	1,30	1,23	1,16	1,14	1,11	1,10	1,08	1,04
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,10	1,10	1,09	1,06	1,03
80	1,25	1,20	1,15	1,11	1,10	1,10	1,08	1,06	1,03
90	1,23	1,18	1,13	1,10	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02
160	1,16	1,13	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02
180	1,16	1,12	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01

Таблица ПЗ.5

Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p
для питающих сетей напряжением до I кВ

n_2	Коэффициент использования K_{II}								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,98	1,62	1,28	1,14	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,1	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,1	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,3	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

№	Коэффициент использования $K_{\text{и}}$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица ПЗ.6

Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_{ρ} на шинах цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

№	Коэффициент использования $K_{\text{и}}$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более	
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0	
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0	
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97	
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93	
6 - 8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	
9 - 10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
11 - 25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9	
26 - 50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85	
Воле 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8	

Таблица ПЗ.7

Значения коэффициентов одновременности K_D для определения расчетной нагрузки на шинах 6–10 кВ РП и ГПП

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

П4. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫБОРА ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ

Таблица П4.1

Кратности (K_z) длительно допустимых токов проводников по отношению к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата (I_z) (для сетей, не требующих защиты от перегрузки)

Тип защитного аппарата	I_z	K_z
Плавкий предохранитель	Номинальный ток плавкой вставки	0,33
Автоматический выключатель, имеющий только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсежку)	Ток уставки	0,22
Автоматический выключатель с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсежки)	Номинальный ток расцепителя	1,0
Автоматический выключатель с регулируемой обратно зависимой характеристикой	Ток трогания зависимого расцепителя	0,66

Таблица П4.2

Допустимые длительные токи для проводов с алюминиевыми жилами и поливинилхлоридной изоляцией

Сечение токопроводящей жилы мм ²	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	33	32	30	31	28
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
150	340	275	255	-	-	-

Таблица П4.3

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 ²	Ток кабелей, А				
	одно- жильных	двужильных		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

Таблица П4.4

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 ²	Допустимый ток проводников, А			
	одножильных		трехжильных	
	1	2	3	4
0,5		-	12	-

1	1	2	1	3	1	4
0,75		-		16		14
1,0		-		18		16
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 П4.5

Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке

Сечение жилы, мм ²	Ток кабелей, А						
	одно-жильных до I кВ	двух-жильных до I кВ	трехжильных напряжением, кВ				четырёхжильных напряж. до I 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	400/375	290/210	260/190	225/165	205/155	240/165	
120	460/320	335/245	300/220	260/120	240/185	270/200	
150	520/360	385/290	330/255	300/225	275/210	385/230	
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 П4.6

Поправочный коэффициент на количество работающих кабелей,
лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

Расстояние между кабе- лями в све- ту, 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

Таблица П4.7

Значение коэффициента С для алюминиевых проводников

№ пп	В и д п р о в о д н и к а	Предельно допустимая температура, °С	Величина С, $A \cdot c^{0,5}/mm^2$
1.	Шины	200	91
2.	Кабели 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией	200	100
3.	То же, с полиэтиленовой изоляцией	120	65
4.	То же, с поливинилхлоридной изоляцией	150	78

Таблица П4.8

Время действия токов КЗ для различных участков сети 6-10 кВ

Участок сети	Число ступеней защиты в схеме сети	Время действия токов КЗ, с
ГПП-ЦРП	3	2,6
ГПП-РП	2	1,6 (1,1)
ЦРП-РП	2	1,6 (1,1)
РП-ТП	2-3	0,6
ГПП-ТП	2-3	0,6

Примечание: значения в скобках не учитывают выдержки времени на секционном выключателе РП.

Таблица П4.9
Экономическая плотность тока для алюминиевых проводников

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм ² , при числе часов максимума нагрузки в год		
	более 1000, до 3000	более 3000, до 5000	более 5000
Неизолированные провода и шины	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией	1,9	1,7	1,6

Таблица П4.10
Средние значения числа часов использования максимума нагрузки в промышленности

Потребители	T_m , ч/год
I	2

По сменности

Односменные	2000-3000
Двухсменные	3000-4500
Трёхсменные	4500-8000

По отраслям промышленности

Металлургическая	6500
Химическая	6200
Горнорудная	5000
Целлюлозно-бумажная	5500-6000
Деревообрабатывающая и лесная	2500-3000
Обувная	3000
Текстильная	4500
Пищевая	5000
Полиграфическая	3000

I	1	2
По отдельным предприятиям		
Завод тяжелого машиностроения		3800-4000
Станкостроительный завод		4300-4500
Шарикоподшипниковый завод		5000-5300
Автотракторный завод		5000
Завод подъемно-транспортного оборудования		3300-3500
Завод сельхозмашин		5000-5300
Автомобильный завод		3500-4000
Паровозовагоноремонтный завод		3500-4000
Завод электротехнического оборудования		4300-4500
Металлообрабатывающий завод		4300-4400
Приборостроительный завод		3000-3200

Таблица П4.11

Число часов максимальных потерь Σ в зависимости
от времени использования максимальной нагрузки T_M

$T_M, ч$	$\Sigma, ч$	$T_M, ч$	$\Sigma, ч$
3000	1300	5500	3650
3500	1650	6000	4300
4000	2000	6500	5000
4500	2500	7000	5700
5000	3000	7500	6450

ПБ. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Таблица ПБ.1

Удельная мощность общего равномерного освещения на 1 м² площади цехов, E = 100 лк ($\rho_n = 0,5$; $\rho_c = 0,3$; $\rho_p = 0,1$; K = 1,5; Z = 1,1)

Расчетная высота подвеса светильников, м	Площадь помещения, м ²	Удельная мощность, Вт/м ² , для светильников		
		с лампами накаливания	с люминесцентными лампами	с лампами ДРЛ
2 - 3	50-150	19-35	8-11	
	150-300	17-30	7-10	-
	> 300	15-26	6-8	
3 - 4	50-120	20-37	10-13	
	120-300	17-30	8-11	-
	> 300	15-27	6-8	
4 - 6	80-150	19-27	11-15	
	150-400	16-23	9-12	-
	> 400	13-19	6-8	
6 - 8	135-250	14-27	-	8,5
	250-500	13-24	-	7,0
	> 500	12-20	-	6,0

Таблица ПБ.2

Коэффициент использования светового потока светильников с типовыми КСС

Тип КСС	Коэффициент использования, %												
	при $\rho_n = 0,5$; $\rho_c = 0,5$; $\rho_p = 0,1$ и \angle , равном						при $\rho_n = 0,5$; $\rho_c = 0,3$; $\rho_p = 0,1$ и \angle , равном						
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II	12	13
M	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75	

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Д1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73
Д2	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86
Г1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88
Г2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93
Г3	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90
Г4	66	71	78	81	84	85	62	68	74	81	83	85
К1	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90
К2	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99
К3	72	79	88	94	97	99	68	76	85	93	95	99
Л	30	45	55	65	70	78	24	40	49	60	70	76

Таблица П5.3

Параметры ламп накаливания общего назначения

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Тип цоколя
1	2	3	4
В 215-225-15	15	105	
В 215-225-25	25	220	
В 215-225-40	40	415	Е 27/27
БК 215-225-40	40	460	
В 215-225-60	60	715	
БК 215-225-60	60	790	

Продолжение табл. ПБ.3

1	2	3	4
В 215-225-75	75	950	
ВК 215-225-75	75	1020	
В 215-225-100	100	1350	
ВК 215-225-100	100	1450	Е 27/27
В 215-225-150	150	2100	
Г 215-225-150	150	2090	
В 215-225-200	200	2920	
Г 215-225-200	200	2920	
Г 215-225-300	300	4610	Е 27/30
Г 215-225-500	500	8300	
Г 215-225-750	750	13100	Е 27/45
Г 215-225-1000	1000	18600	

Таблица ПБ.4

Параметры люминесцентных ламп общего назначения

Мощность, Вт	Световой поток, лм				
	ЛВ	ЛПЕ	ПХВ	ЛД	ЛДЦ
30	2180	2020	1940	1800	1500
40	3200	3100	3000	2500	2200
65	4800	4650	4400	4000	3160
80	5400	5200	5040	4300	3800

Таблица ПБ.5

Параметры ламп ртутных дуговых высокого давления

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Тип цоколя
ДРЛ 80	80	3400	Е 27/32
ДРЛ 125	125	6000	- " -
ДРЛ 250	250	13000	Е 40/45
ДРЛ 400	400	23000	- " -
ДРЛ 700	700	40000	- " -
ДРЛ 1000	1000	57000	- " -
ДРЛ 2000	2000	120000	- " -

Таблица П5.6

Основные параметры светильников для общего освещения
производственных помещений

Наименование серии, тип	Источник света		Кривая силы света	Длина, мм	Степень защиты
	тип	мощность, Вт			
РСПО5	ДРЛ	250, 400,	Г	-	IP23
		700, 1000	К	-	IP23
РСП17	ДРЛ	250, 400,	Г	-	IP20
		700, 1000,	Г	-	IP20
		2000	Г	-	IP20
ГСП17	МГЛ	700	Г	-	IP20
		700	К	-	IP20
		2000	К	-	IP20
НСП17	ЛН	200, 500	Л	-	IP20
		500, 1000	Г	-	IP20
ПСХ	ЛН	60	Д	-	IP54
НСПО2	ЛН	100	М	-	IP53
НСПО3	ЛН	60	М	-	IP54
НСПО4	ЛН	200	М	-	IP50
НСП11	ЛН	500	Д	-	IP54
ЛСПО2	ЛЛ	2x40	Д, Г	1234	IP20
		2x65		1534	IP20
		2x80		1534	IP20
ЛСП12	ЛЛ	2x40	Д, Г	1234	5°0
		2x65		1540	5°0
		2x80		1540	5°0
ПВЛМ	ЛЛ	2x40	Д, Г	1325	5°0
		2x80		1625	5°0
		1x80		1625	5°0

Таблица П5.7

Значения коэффициента C для расчета сети по
потере напряжения

Номинальное напряжение сети, В	Система сети и род тока	Значение коэффициен- та для алюминиевых проводников
380/220	Трехфазная с нулем	44
220	Трехфазная без нуля	14,7
36	Трехфазная без нуля	0,396
380/220	Двухфазная с нулем	19,5
220	Двухпроводная переменного или постоянного тока	7,4

Таблица П5.8

Значения коэффициента приведения моментов α

Линия	Ответвление	Коэффициент приведения моментов α
Трехфазная с нулем	Однофазное	1,85
Трехфазная с нулем	Двухфазное с нулем	1,39
Двухфазная с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная без нуля	Двухпроводное	1,15

Таблица П5.9

Щитки групповые осветительные типов
ЩОЗ1, ЩОЗЗ, ОП, ОЦ, ОЩВ, УОЩВ, ОГМ

Тип	Исполнение по способу установки	Аппарат на вводе	Автоматы на группах		Степень защиты по ГОСТ 14254- 80
			тип	коли- чество	
1	2	3	4	5	6
ЩОЗ1-21-У4	Встроенное	АЗ114	АЕ1031-1	6	IP21
ЩОЗ1-32-У4	— " —	АЗ114	АЕ1031-1	12	— " —

1	2	3	4	5	6
ЩОЗЗ-13-У4	Встроенное	-	АЕ1031-1	6	IP2I
ЩОЗЗ-24-У4	—//—	-	АЕ1031-1	12	—//—
ОП-6	Навесное	-	АЕ1000-1	6	IP4X
ОП-12	—//—	-	АЕ1000-1	12	—//—
ОЩ-6	—//—	-	АЗ161 или А63	6	—//—
ОЩ-12	—//—	-	- " -	12	—//—
ОЩВ-6	—//—	-	- " -	6	—//—
ОЩВ-12	—//—	-	- " -	12	—//—
УОЩВ-6	Встроенное	АЗ114	АЗ161	6	—//—
УОЩВ-12	—//—	- " -	- " -	12	—//—
ОПМ1	Навесное	ПВ3-60	АЗ161	3	Пыленепро- ницаемое
ОПМ3	—//—	ПВ3-100	АЗ161	9	—//—
—//—	—//—	- " -	АЗ162	3	—//—
—//—	—//—	- " -	АЗ163	3	—//—

Таблица ПБ.10

Щитки групповые осветительные серии ЩО41

Т и п	Номер схемы	Количество автоматов	
		однополюсных АЕ2041	трекполюсных АЕ2043
ЩО41-5101-43У4	01	13	1
ЩО41-5102-43У4	02	6	2
ЩО41-5203-43У4	03	12	2
ЩО41-5204-43У4	04	6	4
ЩО41-5205-43У4	05	18	2
ЩО41-5206-43У4	06	12	4
ЩО41-5207-43У4	07	6	6

Таблица ПБ.11

Пункты распределительные осветительные ПР41

Т и п	Номер схемы	Количество автоматов			Количество конденсато- ров КС-0,38- 18У3
		вводных А3720	групповых		
			одно- полюсных АЕ2041	трех- полюсных АЕ2043	
ПР41-4301-43У3	01	I	-	4	4
ПР41-4302-43У3	02	-	-	4	4
ПР41-4303-43У3	03	I	3	5	-
ПР41-4304-43У3	04	I	3	7	-
ПР41-4305-43У3	05	I	3	9	-

Таблица ПБ.12

Распределительные пункты серии ПР 8501

№ схемы		Номинальное напряжение, В	Число автоматов	
с зажимами на вводе	с автоматом ВА51-33 на вводе		одно- полюсных ВА51-29	трех- полюсных ВА51-31
001	045	380	3	-
002	046	380	6	-
003	047	380	3	1
004	048	660	-	2
005	049	380	12	-
006	050	380	6	2
007	051	660	-	4
008	052	660	18	-
009	053	380	12	2
010	054	380	6	4
011	055	660	-	6

П р и м е ч а н и е: номинальный ток ввода 160 А, рабочий ток для IP21 128 А, для IP54 120 А.

Таблица ПБ.13

Отношения тока срабатывания аппарата защиты
к расчетному току осветительной линии

Аппарат защиты	Тип лампы		
	накали- вания	ДРЛ	люминес- центные
Плавкие предохранители	1,0	1,2	1,0
Автоматические выключатели с тепло- выми расцепителями, с уставками:			
менее 50 А	1,0	1,4	1,0
50 А и более	1,0	1,0	1,0
Автоматические выключатели с комби- нированными расцепителями, с устав- ками:			
менее 50 А	1,4	1,4	1,0
50 А и более	1,4	1,0	1,0

П6. СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Таблица П6.1

Сопротивления проводов и трехжильных кабелей

Сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление жилы при 30°C, Ом/км (мОм/м)		Индуктивное сопротивление, Ом/км (мОм/м)			
	алюми- ниевой	медной	Кабель с поясной изоля- цией напряжением, кВ			Три провода в трубе, кабель с резиновой или поливинилхлорид- ной изоляцией
			1	6	10	
1	2	3	4	5	6	7
1	-	18,5	-	-	-	0,133
1,5	-	12,3	-	-	-	0,126
2	15,6	9,2	-	-	-	0,121
2,5	12,5	7,4	0,104	-	-	0,116
3	10,4	6,13	-	-	-	0,113

1	2	3	4	5	6	7
4	7,81	4,63	0,095	-	-	0,107
5	6,24	3,68	-	-	-	0,103
6	5,21	3,09	0,9	-	-	0,1
8	3,9	2,3	-	-	-	0,1
10	3,12	1,84	0,073	0,11	-	0,099
16	1,95	1,16	0,0675	0,102	0,113	0,095
25	1,25	0,74	0,0662	0,091	0,099	0,091
35	0,894	0,53	0,0637	0,087	0,095	0,088
50	0,625	0,37	0,0625	0,083	0,09	0,085
70	0,447	0,265	0,0612	0,08	0,086	0,082
95	0,329	0,195	0,0602	0,078	0,083	0,081
120	0,261	0,154	0,0602	0,076	0,081	0,08
150	0,208	0,124	0,0596	0,074	0,079	0,079
185	0,169	0,1	0,0596	0,073	0,077	0,078
240	0,13	0,077	0,0587	0,071	0,075	0,077

Таблица П6.2

Активное и индуктивное сопротивления
алюминиевых шин прямоугольного сечения

Размеры шин, мм	Сопротивление, мОм/м				
	Активное при 65° С	Индуктивное при среднегеометрическом расстоянии, мм			
		100	150	200	300
1	2	3	4	5	6
25 x 3	0,475	0,179	0,200	0,295	0,244
30 x 3	0,394	0,163	0,189	0,206	0,235
30 x 4	0,296	0,163	0,189	0,206	0,235
40 x 4	0,222	0,145	0,170	0,189	0,214
40 x 5	0,177	0,145	0,170	0,189	0,214
50 x 5	0,142	0,137	0,156	0,180	0,200
50 x 6	0,118	0,137	0,156	0,180	0,200

I	2	3	4	5	6
60 x 6	0,099	0,119	0,145	0,163	0,189
60 x 8	0,074	0,119	0,145	0,163	0,189
80 x 8	0,056	0,102	0,126	0,145	0,170
80 x 10	0,044	0,102	0,126	0,145	0,170
100 x 10	0,016	0,090	0,113	0,133	0,157

Таблица П6.3

Сопротивления первичных обмоток
катушечных трансформаторов тока

Коэффициент трансформа- ции	Сопротивления, мОм			
	Класс точности 1,0		Класс точности 2,0	
	индуктивное	активное	индуктивное	активное
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,22
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3,0
100/5	2,7	1,7	0,7	0,75
150/5	1,2	0,75	0,3	0,33
200/5	0,67	0,42	0,17	0,19
300/5	0,3	0,2	0,08	0,08
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

Примечание: сопротивления трансформаторов тока на токи более 500 А при расчете токов КЗ допускается не учитывать.

Таблица П6.4

Сопротивления катушек максимального тока
автоматических выключателей

Номинальный ток катушки (расцепителя), А	Сопротивление, мОм	
	активное	индуктивное
100	2,55	0,86
140	1,39	0,55
200	0,96	0,28
400	0,55	0,1
600	0,37	0,094
1000	0,22	0,08
1600	0,13	0,06
2500	0,12	0,05

Таблица П6.5

Сопротивления нулевой последовательности
четырёхжильных кабелей с алюминиевой оболочкой

Число (шт) и сечение (мм ²) жил кабеля	Сопротивления, мОм/м	
	активное	индуктивное
3 x 4 + 1 x 2,5	10,87	0,57
3 x 6 + 1 x 4	7,6	0,463
3 x 10 + 1 x 6	4,94	0,401
3 x 16 + 1 x 10	3,39	0,336
3 x 25 + 1 x 16	2,41	0,256
3 x 35 + 1 x 16	1,98	0,212
3 x 50 + 1 x 25	1,44	0,179
3 x 70 + 1 x 35	1,11	0,145
3 x 95 + 1 x 50	0,887	0,124

Таблица П6.6

Сопротивления нулевой последовательности
четырёхжильных кабелей с непроводящей оболочкой

Число (шт.) ₂ и сечение (мм ²) жил кабелей	Сопротивления, мОм/м	
	активное	индуктивное
3 x 4 + 1 x 2,5	11,71	2,11
3 x 6 + 1 x 4	8,71	1,968
3 x 10 + 1 x 6	5,9	1,811
3 x 16 + 1 x 10	4,39	1,588
3 x 25 + 1 x 16	3,42	1,254
3 x 35 + 1 x 16	2,79	1,241
3 x 50 + 1 x 25	2,449	0,949
3 x 70 + 1 x 35	2,039	0,741
3 x 95 + 1 x 50	1,665	0,659
3 x 120 + 1 x 50	1,54	0,545
3 x 150 + 1 x 70	1,276	0,43

П7. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫБОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
И ШИН НАПРЯЖЕНИЕМ 10 кВ

Таблица П7.1

Выключатели для внутренней установки

Т и п	U _н , кВ	I _н , А	Номинальный ток отклю- чения, кА	I _{днн} , кА	Ток термической стойкости, кА/ допустимое время его действия, с
ВМ-10-20	10	630	20	52	20/4
— // —	10	1000	20	52	20/4
ВМП-10-20	10	630	20	52	20/4
ВМПЭ-10-20	10	1000	20	52	20/4
— // —	— // —	1600	20	52	20/4

Таблица П7.2

Выключатели нагрузки

Т и п	$U_{н},$ кВ	$I_{н},$ А	Наибольший ток отклю- чения, А	$I_{дин},$ кА	Ток термической стойкости, кА/ допустимое время его действия, с
ВНР-10/400	10	400	800	25	10/1
ВНРП-10/400	10	400	800	25	10/1

Таблица П7.3

Разъединители для внутренней установки

Т и п	$U_{н},$ кВ	$I_{н},$ А	$I_{дин},$ кА	Ток термической стойко- сти, кА/ допустимое время его действия, с
РВ, РВФ	10	400	41	16/4
— " —	— " —	630	52	20/4
— " —	— " —	1000	100	40/4
РВЗ	10	400	41	16/4
— " —	— " —	630	52	20/4
— " —	— " —	1000	81	31,5/4
РВФЗ	10	630	52	20/4
— " —	— " —	1000	81	31,5/4

Таблица П7.4

Трансформаторы тока для внутренней установки
напряжением 10 кВ

Т и п	Номинальный первичный ток $I_{н1},$ А	Клас- с точности измери- тельной обмотки	Номи- нальная нагруз- ка, Ом	Электродин. стойкость	Термическая стойкость
				кратность тока $I_{н1}$	кратность/ допустимое время, с
1	2	3	4	5	6
ТПЛ-10	30; 50;	0,5	0,4	250	45/3

1	2	3	4	5	6
ТШ-10	75; 100;	0,5	0,4	250	45/3
— // —	150; 200	— // —	— // —	— // —	— // —
— // —	300	0,5	0,4	175	45/3
— // —	400	0,5	0,4	165	35/3
ТПОЛ-10	600	0,5	0,4	81	32/3
— // —	800	0,5	0,4	81	32/3
— // —	1000	0,5	0,4	69	27/3
— // —	1500	0,5	0,4	45	18/3

Таблица П7.5

Трансформаторы напряжения.

Т и п	Номинальная мощность, В·А, в классе точности			Предельная мощность, В·А
	0,5	1	3	
НОМ-10	75	150	300	640
НТМИ-10	120	200	500	1000

Таблица П7.6

Допустимый длительный ток
для алюминиевых шин прямоугольного сечения

Размеры, мм	Допустимый ток, А
1	2
25 x 3	265
30 x 4	365
40 x 4	480
40 x 5	540
50 x 5	665
50 x 6	740
60 x 6	870
80 x 6	1150

I	2
100 x 6	1425
60 x 8	1025
80 x 8	1320
100 x 8	1625
120 x 8	1900
60 x 10	1155
80 x 10	1480
100 x 10	1820
120 x 10	2070

Таблица П7.7

Временные сопротивления разрыву
и допустимые напряжения в материале шин

Материал	Марка	Площадь поперечного сечения см ²	σ_B		$\sigma_{доп} = 0,7 \sigma_B$	
			МПа, не менее	кгс/мм ² , не менее	МПа, не более	кгс/мм ² , не более
Алюминий	АДО	До 100	70	7	49	4,9
—//—	—//—	От 100 до 300	60	6	42	4,2
Алюминиевый сплав	АДЗ1Т	Все размеры	130	13	91	9,1
—//—	АДЗ1Т1	- " -	200	20	136	13,6
—//—	АДЗ1Т5	- " -	160	16	108	10,8

Примечания: 1 кгс/мм² = 9,8 МПа \approx 10 МПа;
 σ_B - временное сопротивление разрыву материала шин.

Таблица П7.8

Цифровые электроизмерительные приборы

Прибор	Тип	Класс точности	Потребляемая мощность катушки, В·А (Вт)	
			напряжения	тока
Амперметр	Э335	1,0	-	0,5
— // —	Э350	1,5	-	0,5
Вольтметр	Э335	1,0	2	-
— // —	Э350	1,5	2	-
Ваттметр	Д335	1,5	1,5	0,5
— // —	Д350	1,5	2,0	0,5
Варметр	Д335	1,5	1,5	0,5
Счетчик активной энергии	СА4-И672М	1,0	8(2)	2,5
Счетчик реактивной энергии	СР4-И676М	1,5	12(3)	2,5

ПВ. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Таблица ПВ.1

Рекомендуемые масштабы для чертежей

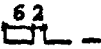
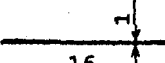
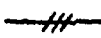







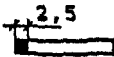












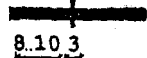







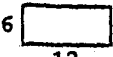

I:1	I:2	I:5
I:10	I:20	I:50
I:100	I:200	I:500
I:1000	I:2000	I:5000
и т.д.	и т.д.	и т.д.

Таблица №.2

Значения тригонометрических функций

$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
1,00	0	0	0,48	0,877	1,828
0,98	0,199	0,203	0,46	0,888	1,930
0,96	0,280	0,292	0,45	0,893	1,985
0,95	0,312	0,329	0,44	0,898	2,041
0,94	0,341	0,363	0,42	0,908	2,161
0,92	0,392	0,426	0,40	0,917	2,291
0,90	0,435	0,483	0,38	0,925	2,434
0,88	0,475	0,540	0,36	0,933	2,592
0,86	0,510	0,593	0,35	0,937	2,676
0,85	0,527	0,620	0,34	0,940	2,766
0,84	0,543	0,646	0,32	0,947	2,961
0,82	0,572	0,698	0,30	0,954	3,180
0,80	0,600	0,750	0,28	0,960	3,429
0,78	0,626	0,802	0,26	0,966	3,714
0,76	0,650	0,855	0,25	0,968	3,873
0,75	0,661	0,882	0,24	0,971	4,045
0,74	0,673	0,909	0,22	0,975	4,434
0,72	0,694	0,964	0,20	0,980	4,899
0,70	0,714	1,020	0,18	0,984	5,465
0,68	0,733	1,078	0,16	0,987	6,169
0,66	0,751	1,138	0,15	0,989	6,591
0,65	0,760	1,169	0,14	0,990	7,073
0,64	0,768	1,201	0,12	0,993	8,273
0,62	0,785	1,265	0,10	0,995	9,950
0,60	0,800	1,333	0,08	0,997	12,46
0,58	0,815	1,405	0,06	0,998	16,64
0,56	0,829	1,479	0,05	0,9987	19,97
0,55	0,835	1,518	0,04	0,9992	24,98
0,54	0,842	1,559	0,02	0,9998	49,99
0,52	0,854	1,643	0,00	1,000	∞
0,50	0,866	1,732			

Условные обозначения на планах

	- линия сети аварийного освещения		- провод, кабель
	- линия из трех проводов		- РП
	- светильник с лампой накаливания		- ТП
	- светильник с лампой типа ДРЛ, ДРИ		- силовой шкаф
	- светильник с люминесцентными лампами		- щит из трех панелей
	- светильник - световод щелевой		- ящик с аппаратурой
	- светильник с лампой накаливания на тропе		- двухдвигательный электропривод (А-номер; В, С-мощности в кВт)
	- выключатель однополюсный		- однодвигательный электропривод
	- то же, двудвойный		- шинпровод
	- то же, строенный		- шинпровод на стойках
	- выключатель двухполюсный		- то же, на подвесах
	- выключатель трехполюсный		- то же, на кронштейнах
	- светильники с люминесцентными лампами, установленными в линию		- троллейная линия
	- магнитный пускатель		- щиток рабочего освещения
	- автоматический выключатель		- щиток аварийного освещения
	- светофор сигнальный (на три лампы)		- устройство электротехническое
	- проводка гибкая		

Условные обозначения на схемах



Международная система обозначения единиц (СИ)

Наименование величины	Единица измерения	Сокращенные обозначения единиц измерения	
		русские	латинские
Основные единицы			
Длина	метр	м	m
Масса	килограмм	кг	kg
Время	секунда	с	s
Сила электрического тока	ампер	А	A
Термодинамическая температура	кельвин	К	K
Сила света	кандела	кд	cd
Дополнительные единицы			
Плоский угол	радиан	рад	rad
Телесный угол	стерадиан	ср	sr
Производные единицы			
Площадь	квадратный метр	м ²	m ²
Объем	кубический метр	м ³	m ³
Частота	герц	Гц	Hz
Плотность (объемная масса)	килограмм на кубический метр	кг/м ³	kg/m ³
Скорость	метр в секунду	м/с	m/s
Угловая скорость	радиан в секунду	рад/с	rad/s
Ускорение	метр на секунду в квадрате	м/с ²	m/s ²
Угловое ускорение	радиан на секунду в квадрате	рад/с ²	rad/s ²
Сила, сила тяжести (вес)	ньютон	Н	N
Давление (механическое напряжение)	паскаль	Па	Pa
Динамическая вязкость	паскаль-секунда	Па·с	Pa·s
Кинематическая вязкость	квадратный метр на секунду	м ² /с	m ² /s
Работа, энергия, количество теплоты	джоуль	Дж	J
Мощность	ватт	Вт	W
Количество электричества (электрический заряд)	кулон	Кл	C
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	вольт	В	V
Напряженность электрического поля	вольт на метр	В/м	V/m
Электрическое сопротивление	ом	Ом	Ω

Наименование величины	Единица измерения	Сокращенные обозначения единиц измерения	
		русские	латинские
Электрическая проводимость	сименс	См	S
Электрическая емкость	фарада	Ф	F
Поток магнитной индукции	вебер	Вб	Wb
Индуктивность	генри	Гн	H
Магнитная индукция	тесла	Тл	T
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	А/м	A/m
Магнитодвижущая сила	ампер	А	A
Световой поток	люмен	лм	lm
Яркость	кандела на квадратный метр	кд/м ²	cd/m ²
Освещенность	люкс	лк	lx
Частота вращения	секунда в минус первой степени	1/с	1/s
Момент инерции	килограмм-метр в квадрате	кг·м ²	kg·m ²
Момент силы	ньютон-метр	Н·м	N·m

Таблица П8.6
Обозначения электротехнических единиц

Наименование	Обозначения	Наименование	Обозначения	Наименование	Обозначения
Ампер	А	Гигаватт	ГВт	Киловатт-час	кВт·ч
Вольт	В	Вольт-ампер	В·А	Гектоватт-час	гВт·ч
Киловольт	кВ	Вольт-ампер реактивный	вар	Мегаватт-час	МВт·ч
Ватт	Вт	Киловольт-ампер реактивный	квар	Гигаватт-час	ГВт·ч
Киловатт	кВт	Киловольт-ампер-час	кВ·А·ч	Ом	Ом
Мегаватт	МВт			Килоом	кОм

Таблица П8.7
Приставки для образования кратных и дольных единиц

Кратность и дольность	Приставка	Сокращенные обозначения		Кратность и дольность	Приставка	Сокращенные обозначения	
		русские	латинские или греческие			русские	латинские или греческие
10 ¹²	тера	Т	T	10 ⁻²	(санти)	с	c
10 ⁹	гига	Г	G	10 ⁻³	милли	м	m
10 ⁶	мега	М	M	10 ⁻⁶	микро	мк	μ
10 ³	кило	к	k	10 ⁻⁹	нано	н	n
10 ²	(гекто)	г	h	10 ⁻¹²	пико	п	p
10	(дека)	да	da	10 ⁻¹⁵	фемто	ф	f
10 ⁻¹	(деци)	д	d	10 ⁻¹⁸	атто	а	a

Перечень элементов схемы

185

Поз. обозн.	НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛ	ПРИМЕЧАНИЕ
R1...R3	Резистор МЛТ-025-56к±5% ГОСТ 7113-66	6	
R4	- " - МЛТ-05-2,4к±5% - " - " -	2	
C1	Конденсатор КТ-1а-М1300-150±10%-10Ж0.460	2	
C2...C5	КПМ-3-Н-22000±8% ОЖ0.460	4	
D1...D6	Диод полупроводниковый Д106 ТТ3.362	12	

Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют в виде последующих листов.

Перечень элементов оформляют в виде таблицы, заполняемой сверху вниз. Если перечень помещают на первом листе схемы, то располагают его, как правило, над основной надписью.

При отсутствии места для продолжения граф перечня элементов над основной надписью продолжение перечня помещают слева от нее.

П р и м е ч а н и я:

1). В графе "Поз. обозначение" записывают позиционное обозначение элемента.

2). В графе "Наименование" записывают наименование элемента в соответствии с документом, на основании которого этот элемент применен, и номер документа (ГОСТ, ТУ).

3). При необходимости указания технических данных элемента, не содержащихся в его наименовании, эти данные рекомендуется указывать в графе "Примечание".

					185					
					(2) ДП.10.04.106311.96.33.					
41x5=55	Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	(1)		Литера	Масса	Масштаб
	Разраб.							5	15	17
	Консульт.					(3)		Лист		Листов
	Консульт.				20					
	Н.контр.									
Руковод.							БГПА			

Рис. П8.1. Пример выполнения основной надписи на чертеже

Шифр чертежа состоит из последующих составных частей - ДП (дипломный проект), 10.04 (специальность), 106311 (номер группы), 96 - год разработки дипломного проекта, 33 - шифр схемы.

Шифр схемы: Э - электрическая, С - комбинированная, Г - гидравлическая, П - план.

1 - структурная, 2 - функциональная, 3 - принципиальная, 4 - соединений, 5 - подключения, 6 - общая, 7 - расположения, 8 - прочие, 0 - если на одном чертеже выполнено два типа схем.

В основной надписи указывается: (1) - название темы дипломного проекта; (2) - шифр чертежа; (3) - название чертежа; "У" - учебный проект.

Рекомендуемые названия чертежей (в скобках указаны их шифры):

1. Генплан завода с высоковольтной сетью (ПЗ)
2. Принципиальная схема высоковольтной сети завода (ЗЗ)
3. План цеха с распределительной сетью (ПЗ)
4. План цеха с осветительной сетью (ПЗ)
5. Принципиальная схема релейной защиты (ЭЗ)
6. Принципиальная схема распределительной сети цеха (ЗЗ)
7. Название спецопроса (ЗЗ)
8. Техничко-экономические показатели (РР)

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ
Кафедра "Электроснабжение"

Допустить к защите
Зав. кафедрой
"Электроснабжение" В. А. Андрианов
" " июня 1998 г.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЗАВОДА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Д и п л о м н ы й п р о е к т

Пояснительная записка

ДП.Т.01.01.08.106314.98.ПЗ

Разработал	Н.А.Бахун
Консультант	А.А.Гончар
Консультант	В.П.Керного
Консультант	Л.П.Филинович
Консультант	Е.В.Глинский
Консультант	В.Н.Радкевич
Корректура	В.К.Сацкевич
Руководитель проекта	А.А.Гончар

Минск 1998

Рис. П8.2. Пример выполнения титульного листа
пояснительной записки

С о д е р ж а н и е

Предисловие.....	3
Введение.....	4
1. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, ПУСКОВЫХ И ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ.....	7
1.1. Выбор электродвигателей.....	7
1.2. Выбор магнитных пускателей и тепловых реле.....	8
1.3. Выбор защитных аппаратов.....	8
2. СХЕМЫ И КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ВНУТРИЦЕХОВЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ.....	11
3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК.....	15
3.1. Метод упорядоченных диаграмм.....	15
3.2. Метод расчетных коэффициентов.....	19
3.3. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок.....	21
3.4. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников в трехфазных сетях.....	22
3.5. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок.....	23
4. РАСЧЕТ ВНУТРИЦЕХОВОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ.....	24
4.1. Выбор сечений жил проводов кабелей.....	24
4.2. Выбор шинпроводов.....	26
4.3. Определение потерь напряжения в цеховой сети.....	26
4.4. Расчет троллейных линий.....	29
5. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ.....	30
5.1. Системы и виды электрического освещения.....	30
5.2. Выбор источников света.....	31
5.3. Выбор светильников и их размещение.....	31
5.4. Расчет освещенности.....	34
5.5. Расчет электрической осветительной сети.....	36
5.6. Защита осветительных сетей.....	40
5.7. Электрооборудование осветительных установок.....	41
6. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ ЦЕХОВЫХ ТП.....	45
6.1. Расчет мощности компенсирующих устройств.....	45

6.2. Определение мощности батарей конденсаторов напряжением до 1 кВ и выбор трансформаторов цеховых ТП.....	47
6.3. Определение мощности батарей конденсаторов в сетях напряжением выше 1 кВ.....	53
6.4. Определение реактивной мощности, генерируемой синхронными двигателями.....	54
7. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ.....	59
8. РАСЧЕТ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ И ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.....	61
9. ВЫБОР КАБЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ.....	63
10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.....	69
10.1. Расчет токов КЗ в сетях напряжением выше 1 кВ.....	69
10.2. Расчет токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ.....	71
11. ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ШИН НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ.....	78
12. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	83
Л и т е р а т у р а	87
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	88
П1. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ, СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И КОНДЕНСАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ.....	88
П2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ.....	93
П3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК.....	102
П4. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫБОРА ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ.....	110
П5. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ.....	117
П6. СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	124
П7. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫБОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ШИН НАПРЯЖЕНИЕМ 10 кВ.....	128
П8. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	132

Учебное издание

КОРОЛЕВ Олег Петрович
РАДЖЕВИЧ Владимир Николаевич
САЦУКЕВИЧ Валерий Николаевич

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Учебно-методическое пособие
по курсовому и дипломному проектированию

Редактор Г.В.Ширкина

Подписано в печать 17.09.97.

Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага тип. № 2. Офсет. печать.

Усл.печ.л. 8,4. Уч.-изд.л. 6,5. Тир. 300. Зак. 327.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусская государственная политехническая академия.

Лицензия ЛВ № 155 от 30.01.98. 220027, Минск, пр. Ф.Скорины, 65.