

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

А. Г. Ус, В. В. Бахмутская

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к курсовому проектированию по разработке системы
внутрицехового электроснабжения для студентов
специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение
(по отраслям)», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
электрооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2010

УДК 621.311.031(075.8)
ББК 31.29-5я73
У74

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 29.06.2009 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Автоматизированный электропривод»
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. В. Тодарев*

Ус, А. Г.
У74 Электроснабжение промышленных предприятий : метод. указания к курсовому проектированию по разработке системы внутрицехового электроснабжения для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация электрооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / А. Г. Ус, В. В. Бахмутская. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 65 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-955-5.

Приведено задание с исходными данными для выполнения курсового проекта по разработке системы внутрицехового электроснабжения, дано содержание расчетно-пояснительной записки и состав графического материала.

Для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация электрооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 621.311.031(075.8)
ББК 31.29-5я73**

ISBN 978-985-420-955-5

© Ус А. Г., Бахмутская В. В., 2010
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2010

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий рассматриваются при выполнении двух курсовых проектов: проекта по цеховому электроснабжению (проектирование распределительных сетей напряжением до 1 кВ) и проекта по внешнему и внутризаводскому электроснабжению (проектирование сетей напряжением выше 1 кВ).

В общем случае целью проектирования системы электроснабжения (СЭ) промышленного предприятия является разработка проекта технической системы, обеспечивающей электроэнергией электроприемники и удовлетворяющей требованиям надежности, экономичности и безопасности технического обслуживания и ее ремонта.

Эта цель достижима путем выполнения многовариантных расчетов СЭ и выбора наиболее оптимального с учетом требований действующих нормативных материалов на проектирование, монтаж и эксплуатацию систем электроснабжения.

Проектирование СЭ может выполняться в одну или две стадии.

Для предприятий, зданий и сооружений, строительство которых будет осуществляться по типовым и повторно применяемым проектам, а также для технически несложных объектов проектирование СЭ ведется в одну стадию, разрабатывается рабочий проект (РП) со сводным сметным расчетом стоимости. Для других объектов строительство, в том числе крупных и сложных, ведется путем двухстадийного проектирования. На первой стадии выполняется технический проект (П) со сводным сметным расчетом стоимости, на второй – рабочая документация (РД) со сметами.

При одностадийном проектировании в состав рабочего проекта входят: общая пояснительная записка, чертежи, сметная документация, паспорт рабочего проекта, рабочая документация.

При двухстадийном проектировании на первой стадии П решаются основные принципиальные вопросы электроснабжения. При этом степень глубины и детализации проработки вопросов может изменяться в значительных пределах. На следующей, второй стадии, разрабатываются РД – рабочие чертежи, выполненные в соответствии с требованиями государственных стандартов системы проектной документации для строительства.

Курсовые проекты по электроснабжению промышленных предприятий по характеру вопросов, предлагаемых для проектирования, и требованиям к уровню разработки ближе всего подходят к техниче-

ским проектам. В некоторых случаях стадию разработки можно ограничить эскизным проектом или же, наоборот, довести до рабочей документации на отдельные части проектируемого объекта.

Данные методические материалы разработаны в качестве рекомендаций для выполнения курсового проекта по цеховому электрообеспечению. Эти материалы состоят из задания на проектирование; содержания расчетно-пояснительной записки и состава графического материала; рекомендаций по выполнению курсового проекта.

Основными исходными данными для выполнения курсового проекта являются планы цехов с размещением технологического оборудования и значением установленной мощности. Эти данные приведены в [6].

1. ОБЩЕЕ ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Задан план цеха [6] с указанием на нем расположенного силового оборудования. Название оборудования и его установленная мощность приведены в таблице на той же странице, где и план цеха.

Необходимо разработать систему электроснабжения силовых электроприемников цеха. При разработке системы электроснабжения необходимо учесть осветительную нагрузку цеха.

Источником питания (ИП) может быть трансформаторная подстанция (ТП) – ТП-10/0,4-0,23 кВ или водно-распределительное устройство (ВРУ), расположенные в самом проектируемом цехе. Выбор того или иного типа ИП определяется величиной питаемых им электрических нагрузок. При относительно небольших величинах нагрузок в качестве ИП принимается ВРУ, при величинах нагрузок, позволяющих выбрать силовой трансформатор мощностью 630 кВ·А и более – цеховая ТП.

Если в качестве источника питания цехового электроснабжения принято ВРУ, то расстояние от него до ТП, от которой питается ВРУ (L), указано в таблице П.1.1. В этой же таблице приведены: номинальная мощность трансформатора ТП ($S_{н.т}$), его коэффициент загрузки (β) и коэффициент мощности нагрузки трансформатора ($\cos\varphi$), установившийся ток трехфазного КЗ на выводах 10 кВ трансформатора ($I_{кз}$).

Если в качестве источника питания принята ТП в самом проектируемом цехе, то данные по силовым трансформаторам принимаются в результате расчетов при проектировании системы электроснабжения за исключением $I_{кз}$. Установившийся ток трехфазного КЗ на выводах 10 кВ трансформатора принимается в соответствии с вариантом по таблице П.1.1.

Данные по разработанной системе цехового электроснабжения должны быть сохранены для последующего периода обучения с целью учета их при выполнении курсового проекта по внутризаводскому электроснабжению.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И СОСТАВ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Тема проекта: «Электроснабжение _____ цеха».

2.1. Содержание расчетно-пояснительной записки

Введение

1. Характеристика и анализ основных исходных данных для проектирования системы цехового электроснабжения.

2. Формирование первичных групп электроприемников для проектируемой электрической сети цеха.

3. Расчет электрических нагрузок первичных групп электроприемников.

4. Расчет осветительных нагрузок цеха.

5. Разработка схемы питания силовых электроприемников цеха и выбор системы заземления электрической сети.

6. Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети и всего цеха.

7. Выбор конструктивного исполнения электрической сети, марки проводов, кабелей и типа шинпроводов, способов их прокладки.

8. Выбор сетевых электротехнических устройств (ШР, ШРА, ШМА) и аппаратов защиты в них.

9. Расчет защитных аппаратов электроприемников и электрических сетей.

10. Выбор сечений проводов и жил кабелей, шинпроводов для подключения ЭП и силовых объектов.

11. Выбор единичных мощностей и количества трансформаторов цеховых ТП или ВРУ.

12. Компенсация реактивных нагрузок в электрических сетях цеха.

13. Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания на напряжение до 1 кВ.

14. Проверка на электродинамическую стойкость к токам КЗ ШР (ШРА) и на успешность срабатывания от токов КЗ защитного аппарата линии, питающей ШР (ШРА).

15. Определение величины напряжения на зажимах наиболее удаленного от ВРУ (ТП) электроприемника цеха.

Заключение.

Список используемой литературы.

2.2. Состав графического материала

Лист 1 (А1) – план цеха с расположением технологического оборудования и силовой электрической сетью. Расчетная схема силовой сети.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

3.1. Выполнение разделов расчетно-пояснительной записки

Раздел «Введение» курсового проекта, как правило, пишется после того, как все остальные пункты по проектированию системы электроснабжения, в том числе и «Заключение», выполнены.

Во введении необходимо привести краткую характеристику систем цехового электроснабжения, перспективы их развития.

Должны быть указаны цель выполнения курсового проекта и задачи для ее достижения, состав курсового проекта.

Объем раздела «Введение» не должен превышать 2-х страниц.

3.1.1. Характеристика и анализ основных исходных данных для проектирования систем цехового электроснабжения

Для определения электрических нагрузок промышленных предприятий необходимо учитывать режим работы, мощность, напряжение и род тока электроприемников.

По режиму работы электроприемники разделены на три группы: продолжительный, кратковременный и повторно-кратковременный.

Длительно с неизменной или маломеняющейся нагрузкой работают электроприводы вентиляторов, насосов, компрессоров, преобразователей, механизмов непрерывного транспорта.

В повторно-кратковременном режиме работают электродвигатели подъемно-транспортных механизмов и сварочные аппараты.

К подъемно-транспортным устройствам относятся краны, кран-балки, тельферы, передвижные тележки. На всех кран-балках и тельферах устанавливают реверсивные двигатели с короткозамкнутым ротором, а на мостовых кранах – двигатели с фазным ротором. Электроснабжение подъемно-транспортных устройств может осуществляться при помощи троллейных линий, выполненных из угловой стали, полосовой стали или в виде швеллера, троллейных

шинопроводов или гибкого кабеля. При расчетах сетей и троллейных линий кратность пускового тока принимается для двигателей с фазным ротором, равной 2,5, а с короткозамкнутым ротором – 7.

Технологическое оборудование может быть оснащено одним двигателем (электроприемник) или несколькими (многодвигательный привод). Аппарат защиты электроприемников совместно с аппаратами управления могут быть встроены в технологические механизмы, установлены около них или размещены в отдельных помещениях в шкафах управления. Для отдельных установок (вентиляторов, насосов и т. п.), поставляемых без пускозащитной аппаратуры, защитные аппараты выбираются при проектировании системы электроснабжения и устанавливаются по месту.

Основными исходными данными для выбора сечений проводов и кабелей питающих сетей, ответвлений, а также защитных аппаратов является длительный рабочий ток (расчетный, номинальный) и кратковременный максимальный (пусковой, пиковый). Для технологического оборудования (станков) с многодвигательным приводом для определения этих токов необходимы номинальные данные составляющих их электродвигателей и режимы их пусков и работы. В выполняемом курсовом проекте, исключительно только в учебных целях, предлагается многодвигательный привод заменить эквивалентным двигателем.

Электродвигатель необходимо выбирать таким образом, чтобы его номинальная мощность соответствовала мощности приводного механизма

$$P_{\text{уст}} \leq P_{\text{н.эд}}$$

где $P_{\text{уст}}$ – установленная мощность оборудования, кВт; $P_{\text{н.эд}}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт.

Двигатель должен быть выбран в соответствии с напряжением заводской сети

$$U_{\text{н.эд}} \geq U_{\text{с}}$$

где $U_{\text{н.эд}}$ – номинальное напряжение электродвигателя, кВ; $U_{\text{с}}$ – номинальное напряжение сети, кВ.

К выбору рекомендуется выбрать асинхронные электродвигатели серии А4 основного исполнения, с синхронной частотой 1500–3000 об/мин.

Технические характеристики асинхронных электродвигателей приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

**Технические данные асинхронных электродвигателей
с короткозамкнутым ротором серии 4А основного исполнения**

Тип двигателя	P_n , кВт	При номинальной нагрузке		$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{I_n}{I_n}$
		η , %	$\cos \varphi$		
3000 об/мин (синхр.)					
4А 71В2У3	1,1	77,5	0,87	2,0	5,5
4А 80А2У3	1,5	81,0	0,85	2,0	6,5
4А 80В2У3	2,2	83,0	0,87	2,0	6,5
4А 90L2У3	3,0	84,5	0,88	2,0	6,5
4А 100S2У3	4,0	86,5	0,89	2,0	7,5
4А 100L2У3	5,5	87,5	0,91	2,0	7,5
4А 112M2У3	7,5	87,5	0,88	2,0	7,5
4А 132M2У3	11,0	88,0	0,90	1,6	7,5
4А 160S2У3	15,0	88,0	0,91	1,4	7,5
4А 160M2У3	18,5	88,5	0,92	1,4	7,5
4А 180S2У3	22,0	88,5	0,91	1,4	7,5
4А 180M2У3	30,0	90,0	0,92	1,4	7,5
4А 200M2У3	37,0	90,0	0,89	1,4	7,5
4А 200L2У3	45,0	91,0	0,90	1,4	7,5
1500 об/мин (синхр.)					
4А 80А4У3	1,1	75,0	0,81	2,0	5,0
4А 80В4У3	1,5	77,0	0,83	2,0	5,0
4А 90L4У3	2,2	80,0	0,83	2,0	6,0
4А 100S4У3	3,0	82,0	0,83	2,0	6,5
4А 100L4У3	4,0	84,0	0,84	2,0	6,5
4А 112M4У3	5,5	85,5	0,85	2,0	7,0
4А 132S4У3	7,5	87,5	0,86	2,0	7,0
4А 160M4У3	11,0	87,5	0,87	1,6	7,0
4А 160S4У3	15,0	88,5	0,88	1,4	7,0
4А 160M4У3	18,5	89,5	0,88	1,4	7,0
4А 180S4У3	22,0	90,0	0,90	1,4	7,0
4А 180M4У3	30,0	90,5	0,9	1,4	7,0
4А 200M4У3	37,0	91,0	0,9	1,4	7,0
4А 200L4У3	45,0	92,0	0,90	1,4	7,0

Номинальная мощность электродвигателей повторно-кратковременного режима работы (краны, подъемники и т. д.), приведенная к длительному режиму, определяется по формуле

$$P_n = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}},$$

где ПВ – продолжительность включения в относительных единицах.

Технические характеристики асинхронных крановых электродвигателей приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Технические данные крановых асинхронных электродвигателей (ПВ = 40 %)

Тип двигателя	P_n , кВт	η , %	$\cos \varphi$	I_n , А при 380 В	I_n , А при 380 В
МКТФ 012-6	2,2	67	0,69	7,2	22
МКТФ111-6	3,5	72	0,79	9,4	35
МКТФ 112-6	5,0	74	0,74	13,8	53
МКТФ 211-6	7,5	75,5	0,77	19,5	78
МКТФ 311-6	11	77,5	0,76	28,5	130
МКТФ 312-6	15	81	0,78	36	205
МКТФ411-6	22	82,5	0,79	51	275
МКТФ 412-6	30,0	83,5	0,78	70	380

Важным свойством, характеризующим систему электроснабжения, является надежность обеспечения ее электроэнергией. Это определяет соответствующее схемное построение электрической сети. В связи с этим схемное построение определяется категорированием электроприемников по степени надежности электроснабжения.

При проектировании систем электроснабжения одним из основных факторов, определяющих конструктивное исполнение электрической сети, является окружающая среда. Окружающая среда определяется влажностью и температурой воздуха, наличием агрессивных газов или пыли, взрывоопасных и пожароопасных зон.

Необходимо привести характеристику и анализ исходных данных, с точки зрения надежности электроснабжения, соответствующих условий окружающей среды. Определить требования к проектируемой системе электроснабжения и принцип ее построения. Выбрать эквивалентные электродвигатели.

3.1.2. Формирование первичных групп электроприемников для проектируемой электрической сети (ЭС) цеха

Под первичной группой электроприемников понимается совокупность электроприемников, объединенных сетевыми объектами (ШР, ШРА и др.). Электроприемники относительно большой мощности могут быть запитаны непосредственно от ТП, ВРУ, ШМА. Большинство

же электроприемников питаются через силовые шкафы, распределительные шинопроводы. Одной из задач при проектировании цехового электроснабжения является формирование таких групп электроприемников. По этим группам определяются расчетные нагрузки, которые учитываются при намечаемых вариантах схем электроснабжения.

При неупорядоченном, стабильном расположении электрооборудования в системах электроснабжения для их питания часто применяются силовые шкафы.

При упорядоченном, большом количестве электроприемников для разработки более гибкой, совершенной схемы электроснабжения – распределительные шинопроводы.

Недопустимо в одном узле нагрузки, тем более если он является маломощным, применять совместно приемники с резкопеременным графиком нагрузки и приемники, чувствительные к изменениям напряжения.

Необходимо также учитывать и тот факт, что не всякий электроприемник может быть присоединен к конкретному сетевому объекту. Например, шинопровод типа ШРА4 на ток 100 А оснащается трехфазными ответвительными коробками с предохранителями на ток 25 А или с автоматами АЕ2033 на ток 25 А. В ряде случаев применение ответвительных коробок с предохранителями может быть ограничено (питание более мощных электроприемников от предохранителей невозможно). Распределительные шинопроводы ШРА4 (5), ШРА73 на 250 А комплектуются ответвительными коробками с предохранителями ПН2-100, или автоматическими выключателями на 100 и 160 А. Шинопроводы на 400, 630 А могут комплектоваться также защитными аппаратами на 250 А. Шкафы распределительные имеют максимальный ток аппарата линейного присоединения: ПР85 – 250 А, ПР88 – 63 А. Шкафы типа ШР86 комплектуются предохранителями НПН2-63, ПН2-100, ПН2-250 с максимальным количеством присоединений – 8.

Сетевые объекты, как правило, на вводе имеют коммутационный аппарат в виде рубильника или автоматического выключателя, возможность отключения их учитывается при составлении графиков ППР элементов систем электроснабжения и одновременно технологического оборудования. Это в свою очередь определяет необходимость учитывать при формировании первичных групп электроприемников.

Недопустимо питание подъемно-транспортных механизмов от распределительных шинопроводов. Питание их, а также сварочных аппаратов может осуществляться от силовых шкафов, трансформаторных подстанций, магистральных шинопроводов через коммутационные или коммутационно-защитные ящики.

При формировании первичных групп электроприемников учитывается возможность организации технического (внутрипроизводственного) учета расхода электроэнергии, т. к. важным является получение учетной информации о расходе электроэнергии группой электроприемников на единицу выпускаемой продукции или выполняемой работы.

3.1.3. Расчет электрических нагрузок первичных групп электроприемников

Расчетные нагрузки от силовых электроприемников для первичной группы определяются методом упорядоченных диаграмм. Определение расчетной нагрузки производится согласно методу упорядоченных диаграмм.

Необходимо помнить, что определение расчетных нагрузок необходимо вести по установленной мощности электрооборудования, а не по мощности эквивалентного электродвигателя.

Расчетная нагрузка для группы электроприемников определяется по выражению

$$P_p = K_p \cdot \sum_1^n k_{ni} \cdot P_{ni},$$

где K_p – коэффициент расчетной нагрузки; k_{ni} – коэффициент использования i -го электроприемника (табл. 3.4); P_{ni} – номинальная мощность i -го электроприемника; n – количество электроприемников в группе.

Величина K_p принимается в зависимости от эффективного числа электроприемников группы и группового коэффициента использования

$$K_p = f(K_{и}, n_{э}).$$

Групповой коэффициент использования определяется по формуле

$$K_{и} = \frac{\sum P_{ni} \cdot k_{ni}}{\sum P_{ni}}.$$

Величина $n_{э}$ называется эффективным числом электроприемников, которая обуславливает ту же величину расчетной нагрузки, что и группа электроприемников различных по мощности и режиму, определяется по формуле

$$n_{э} = \frac{(\sum P_{ni})^2}{\sum P_{ni}^2},$$

где p_n – номинальная активная нагрузка группы электроприемников или всего цеха, кВт.

Значение K_p принимается по таблице 3.3, если определяется расчетная нагрузка для сетей напряжением до 1 кВ, питающих силовые шкафы, сборки, щиты, распределительные шинопроводы. В этих случаях постоянная времени нагрева $T_o = 10$ мин. Если определяется расчетная нагрузка магистральных шинопроводов, цеховых трансформаторов, цеха или корпуса в целом значение K_p принимается по таблице 3.7. В этом случае постоянная времени нагрева $T_o = 2,5$ ч.

Расчетная реактивная нагрузка определяется следующим образом:

а) для сетей, питающих силовые шкафы (пункты, сборки, щиты, распределительные шинопроводы):

$$\text{– при } n_s \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \sum_1^n k_{ni} \cdot P_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i;$$

$$\text{– при } n_s \geq 10 \quad Q_p = \sum_1^n k_{ni} \cdot P_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i,$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – номинальное значение коэффициента реактивной мощности i -го электроприемника;

б) для магистральных шинопроводов, на цеховых ТП, а также для цеха, корпуса и предприятия в целом

$$Q_p = K_p \cdot \sum_1^n k_{ni} \cdot P_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i.$$

При необходимости к расчетной активной и реактивной мощности силовых электроприемников до 1 кВ прибавляются осветительные активная и реактивная нагрузка.

Полная расчетная нагрузка

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}.$$

Расчетный ток

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n}, \text{ А.}$$

Пиковый ток группы электроприемников, А

$$I_{п} = i_{п \max} + I_p - i_{н \max} \cdot k_n.$$

Значение коэффициента расчетной нагрузки для питающих сетей напряжением до 1 кВ приведено в таблице 3.3.

Таблица 3.3

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

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

Значения коэффициента использования и мощности для некоторых механизмов и аппаратов промышленных предприятий приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Значение коэффициента использования и мощности для некоторых механизмов и аппаратов промышленных предприятий

Оборудование	Коэффициенты	
	использования	мощности $\cos\varphi$
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы	0,12÷0,14	0,5
То же при крупносерийном производстве	0,16	0,6
Штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные и расточные станки	0,17÷0,25	0,65
Поточные линии, станки с ЧПУ	0,6	0,7
Вентиляторы	0,6÷0,8	0,8
Насосы, компрессора	0,7÷0,8	0,8
Краны, кран-балки с ПВ = 25 %	0,06	0,5
Краны, кран-балки с ПВ = 40 % и более	0,1	0,5
Стенд испытательный	0,4	0,5
Сварочный трансформатор дуговой сварки	0,25÷0,3	0,35÷0,4
Сварочные дуговые автоматы	0,35	0,5
Печь сопротивления с автоматической загрузкой, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75÷0,8	0,95
Моечные машины	0,6	0,8

3.1.4. Расчет осветительных нагрузок цеха

Определение расчетной осветительной нагрузки выполнить методом коэффициента спроса. Установленная мощность освещения вычисляется методом удельной мощности на единицу площади освещаемого помещения.

Удельная мощность освещения представляет собой отношение суммарной мощности всех источников света к площади освещаемого ими помещения.

Расчет данным методом сводится к следующему:

а) по таблице 3.5 или 3.6, наиболее близко отвечающей заданным условиям, принимается величина удельной мощности. Если нормируемая освещенность E_{\min} отличается от 100 лк (табличное значение), величина удельной мощности корректируется

$$P_{\text{уд.д}} = P_{\text{уд}} \cdot \frac{E_{\text{min}}}{100};$$

б) определяется установленная мощность источников света в помещении

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{уд.д}} \cdot S,$$

где S – площадь освещаемого помещения, м^2 .

Для различных типов светильников составлены таблицы удельной мощности в зависимости от нормируемой освещенности, площади помещения и высоты подвеса светильников.

Для некоторых типов светильников в упрощенной форме значения удельных мощностей освещения приведены в таблицах 3.5 и 3.6.

Таблица 3.5

Удельная мощность для светильников с лампами ДРЛ

Светильники с лампами ДРЛ при освещенности 100 лк				
$H_p, \text{м}$	$S, \text{м}^2$	УПДРЛ	РСП05	СЗ4ДРЛ
6...8	50...65	13	7,3	6,7
	65...90	11,2	6,8	6,3
	90...135	9,4	6,2	5,9
	135...250	7,9	5,6	5,3
	250...500	6,8	5	4,9
	> 500	5,4	4,5	4,3
8...12	70...100	15,8	7,9	7,4
	100...130	13,1	7,4	6,8
	130...200	11,2	6,7	6,2
	200...300	9,3	6,1	5,7
	300...600	7,8	5,5	5,3
	600...1500	6,2	4,8	4,7
	> 1500	5,3	4,4	4,2

Таблица 3.6

Удельная мощность для светильников с люминесцентными лампами при освещенности 100 лк

$H_p, \text{м}$	$S, \text{м}^2$	ЛБ 40, 65	ЛД 40, ЛБ 80, ЛХБ 65	ЛХБ 80, ЛДЦ 40, ЛД 65	ЛД 80, ЛДЦ 65, 80
2...3	10...15	9,8	11	12,4	14,9
	15...25	7,8	8,7	9,7	11,2
	25...50	5,8	6,8	7,5	8,6
	50...150	4,4	5,4	6	6,9
	150...300	4	4,7	5,2	6,1
	> 300	3,6	4,1	4,7	5,4

$H_p, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	ЛБ 40, 65	ЛД 40, ЛБ 80, ЛХБ 65	ЛХБ 80, ЛДЦ 40, ЛД 65	ЛД 80, ЛДЦ 65, 80
3...4	10...15	13	15,2	17,6	20
	15...20	11,6	13,6	15,5	18
	20...30	9,9	11,2	13	15,6
	30...50	7,7	8,6	10	12,1
	50...120	5,5	6,4	7,4	8,4
	120...300	4,4	5,2	5,9	6,7
	> 300	3,6	4,1	4,7	5,4
4...6	10...17	15	17,3	20,1	22
	17...25	13,6	15,8	18,2	20
	25...35	12,4	14,4	16,5	18,5
	35...50	10,8	12,1	14,2	15,8
	50...80	8,5	9,5	10,5	11,8
	80...150	6	7	7,9	9,2
	150...400	4,6	5,4	6,2	7
	> 400	3,5	4,1	4,7	5,4

Для получения расчетной мощности применяется коэффициент спроса (K_c). Значение коэффициента спроса для сети рабочего освещения производственных зданий применяется:

1,0 – для мелких производственных помещений;

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

0,85 – для зданий, состоящих из малых отдельных помещений;

0,8 – для административно-бытовых и лабораторных зданий промышленных предприятий;

0,6 – для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений.

Расчетная нагрузка определяется:

– для люминесцентных ламп низкого давления

$$P_{\text{р.осв}} = K_c \cdot (1,08 \div 1,2) \cdot \sum P_{\text{ЛЛ}};$$

– для дуговых ртутных ламп высокого давления

$$P_{\text{р.осв}} = K_c \cdot 1,1 \cdot \sum P_{\text{р.ЛВД}}.$$

Расчетный ток осветительной нагрузки определяется по формуле

$$I_p = \frac{P_{\text{р.осв}}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{S_{\text{р.осв}}}{\sqrt{3} \cdot U_n}.$$

Расчетная реактивная осветительная нагрузка

$$Q_{p.осв} = P_{p.осв} \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) следует принимать:

0,85 – для одноламповых светильников с люминесцентными лампами низкого давления;

0,92 – для многоламповых светильников с люминесцентными лампами низкого давления;

0,5 – для светильников с разрядными лампами высокого давления (ДРЛ, ДРИ) для групповых линий;

0,85 – для светильников с разрядными лампами высокого давления, имеющими ПРА с конденсатором, или при групповой компенсации реактивной нагрузки.

3.1.5. Разработка схемы питания силовых электроприемников цеха и выбор системы заземления электрической сети

Электрические сети цехового электроснабжения выполняются по радиальным, магистральным и смешанным схемам.

Выбор той или иной схемы электрической сети определяется множеством факторов: расположением технологического оборудования (сформированные первичные группы электроприемников), источников питания на плане помещения; планировкой помещения; величиной и характером (спокойная, резкопеременная) нагрузки электроприемников; требованиями бесперебойности электроснабжения; технико-экономическими соображениями; условиями окружающей среды.

В качестве источника питания в зависимости от величины расчетной нагрузки цеха может быть ТП-10/0,4 кВ (при величине расчетной нагрузки, позволяющей выбрать силовой трансформатор мощностью 630 кВ·А и более) или ВРУ, представляющее собой распределительный щит, состоящий из вводной (вводных) и линейной (линейных) и (секционной) панелей.

Место расположения ИП в цехе выбирается самостоятельно и согласовывается с руководителем проекта.

Выбор места расположения ИП определяется множеством факторов, иногда противоречащих друг другу. Это прежде всего величина и характер электрических нагрузок цеха, размещение электрических нагрузок (технологического оборудования) на плане цеха, условия окружающей среды, условия охлаждения, пожарной и электрической безопасности, наличие строительных и коммуникационных сооружений.

Общим же правилом при выборе места расположения ИП является то, что он как можно ближе должен быть расположен к центру электрических нагрузок, обуславливать отсутствие или минимальные обратные потоки энергии одного напряжения, на котором распределяется электроэнергия.

От ИП по линейным присоединениям питаются сетевые объекты (ШР, ШРА и др.) и отдельные энергоемкие приемники по радиальным или магистральным схемам [1]. При относительно небольших нагрузках сетевых объектов они могут быть соединены в магистраль шлейфом. На ответвлениях к электроприемникам небольшой мощности также может быть применена схема магистрального шлейфа (цепочки).

На ИП должно быть предусмотрено минимум одно линейное присоединение для осветительных нагрузок цеха.

Трехфазные электрические сети напряжением до 1 кВ (цеховые сети) в соответствии с ПУЭ могут быть с глухозаземленной или изолированной нейтралью.

Большинство электрических сетей выполняются с глухозаземленной нейтралью.

Сети с изолированной нейтралью составляют около 30 % всех сетей напряжением до 1 кВ. Применяются эти сети при повышенных требованиях к электробезопасности и надежности электроснабжения.

В соответствии с международным электротехническим стандартом МЭК 364 возможны следующие типы систем заземления электрических сетей: TN-S, TN-C, TN-C-S, TT, IT.

В соответствии с нормативно-правовой документацией для вновь строящихся и реконструируемых предприятий должны применяться системы заземления электрической сети TN-S или TN-C-S.

Выбор сечений нулевых рабочих (N), совмещенных нулевых рабочих и защитных (PEN) и защитных проводников (PE).

Нулевые рабочие проводники (N)

Для однофазных, а также трехфазных сетей при питании по ним однофазных нагрузок сечение нулевого рабочего N-проводника во всех случаях должно быть равно сечению фазных проводников.

Для варианта питания трехфазных симметричных нагрузок (в том числе и многоламповых светильников, включаемых в трехфазную сеть):

– нулевой рабочий N-проводник должен иметь сечение, равное сечению фазных проводников, если те имеют сечение до 16 мм^2 по меди или до 25 мм^2 по алюминию;

– при больших сечениях фазных проводников он может иметь сечение, составляющее не менее 50 % сечения фазных проводников.

Совмещенные нулевые рабочие и защитные проводники (PEN)

Для совмещенного PEN-проводника можно принимать его сечение равным 10 мм² и выше по меди и 16 мм² и выше по алюминию, при этом сечение PEN-проводника должно быть не менее требуемого сечения N-проводника.

Защитные проводники (PE)

Сечение защитного PE-проводника должно равняться:

- сечению фазных проводников при сечении последних до 16 мм²;
- 16 мм², при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм²;
- не менее 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях последних.

В качестве защитных проводников наряду с жилами кабелей, проводников, отдельных проводников могут использоваться металлические покровы кабелей, металлические трубы.

3.1.6. Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети и всего цеха

Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети выполняется в соответствии с материалами, изложенными в п. 3.1.3.

Расчетный коэффициент при расчете электрической нагрузки всего цеха определяется по таблице 3.7.

Таблица 3.7

Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p на шинах НН цеховых трансформаторов и для ШМА до 1 кВ

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

Общая нагрузка цеха определяется с учетом осветительной нагрузки

$$P_{\text{р.общ}} = P_{\text{р}} + P_{\text{р.осв}} ;$$

$$Q_{\text{р.общ}} = Q_{\text{р}} + Q_{\text{р.осв}} ;$$

$$S_{\text{р.общ}} = \sqrt{P_{\text{р.общ}}^2 + Q_{\text{р.общ}}^2} .$$

3.1.7. Выбор конструктивного исполнения электрической сети, марки проводов, кабелей и типа шинпроводов, способов их прокладки

Способы выполнения внутрицеховых электрических сетей изменяются в направлении повышения их экономичности, надежности, эксплуатационных свойств. Подземная прокладка кабелей в каналах, туннелях, блоках и трубах уступает место открытой прокладке проводников на металлических конструкциях, лотках, тросах и струнах; кабельные сети заменяют магистральными и распределительными шинпроводами.

Основные требования, предъявляемые к внутрицеховым электрическим сетям, заключаются в обеспечении:

- надежности, т. е. минимальной повреждаемости сети при механических воздействиях окружающего оборудования и обслуживающего персонала и вредном воздействии окружающей среды;
- экономичности, обуславливающей минимальные капитальные и годовые эксплуатационные расходы. Сеть должна иметь минимально возможную протяженность и минимальное количество составляющих ее элементов;
- универсальности, т. е. способности к подключению новых нагрузок без замены, перекладки или усиления проводников;
- гибкости, т. е. возможности легко и просто вносить изменения в действующую сеть и приспособлять ее к новым условиям работы при увеличении количества цеховых электроприемников, изменении их характера и размещения.

Этим требованиям наиболее удовлетворяют шинпровода, состоящие из сборных элементов, пригодных для быстрого монтажа и демонтажа с многократным использованием их.

Для подключения электроприемников используют провода АПВ, проложенные в трубах. Шинпровода, силовые пункты и ВРУ подключаются кабелями АВВГ и ААШВ. Питающая линия от ТП до ВРУ выполняется кабелем.

3.1.8. Выбор электротехнических устройств (ШР, ШРА, ШМА и ВРУ) и аппаратов защиты в них

Шкафы и распределительные шинопроводы выбираются по номинальному току и количеству присоединений

$$I_{\text{ш}} \geq I_{\text{р}}, \quad N_{\text{ш}} \geq N_{\text{эп}}.$$

Если распределительный шинопровод подключается не в начале, то он выбирается по расчетному току наиболее нагруженного плеча от точки присоединения питающей линии до конца шинопровода. Для этого предварительно вычисляется ток нагрузки на 1 м шинопровода по выражению

$$i_{\text{р.ш}} = \frac{S_{\text{р.ш}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}} l_{\text{ш}}},$$

где $S_{\text{р.ш}}$ – полная мощность расчетной группы электроприемников, питающихся от шинопровода; $l_{\text{ш}}$ – длина распределительного шинопровода.

Расчетный ток плеча шинопровода, имеющий длину $l_{\text{р}}$, определяется как $I_{\text{р}} = i_{\text{р.ш}} \cdot l_{\text{р}}$.

При присоединении питающей линии в начале шинопровода $l_{\text{р}} = l_{\text{ш}}$.

Технические характеристики шинопроводов приведены в таблицах 3.8–3.10.

Таблица 3.8

Основные технические характеристики шинопроводов
ШРА 73 и ШРА 5

Показатель	Для шинопровода на номинальный ток, А		
	250	400	630
Электродинамическая стойкость, кА	15	25	35
Размеры шин, мм	35 × 5	50 × 5	80 × 5
Сопrotивление на фазу, Ом/км			
активное	0,21	0,15	0,10
индуктивное	0,21	0,17	0,13
Сопrotивление петли фаза-нуль (полное), Ом/км	0,55	0,49	0,29
Линейная потеря напряжения на длине 100 м при равномерно распределенной нагрузке и $\cos \varphi = 0,8$	8,5	7,5	8,5

Таблица 3.9

Номенклатура прямых секций шинопроводов

Наименование	Тип шинопровода		Количество ответвлений
	ШРА 5	ШРА 73	
Номинальный ток 250 А			
Секция прямая 1000 мм	У 5020	У 2020	2
Секция прямая 3000 мм	У 5018	У 2018	2
Секция прямая 3000 мм	У 5022	У 2022	4
Номинальный ток 400 А			
Секция прямая 1000 мм	У 5040	У 2040	2
Секция прямая 3000 мм	У 5054	У 2054	2
Секция прямая 3000 мм	У 5042	У 2042	4
Номинальный ток 400 А			
Секция прямая 1000 мм	У 5060	У 2060	2
Секция прямая 3000 мм	У 5074	У 2074	2
Секция прямая 3000 мм	У 5062	У 2062	4

Таблица 3.10

Номенклатура ответвительных коробок

Тип	Наименование	Номинальная сила тока защитного аппарата, А	Номинальный ток шинопровода, А
У 2031 У 5031	Коробка ответвительная с предохранителями ПН 2–100	100	250 400
У 2032 У 5032	Коробка ответвительная с разъединителем на 160А	–	630
У 2033 У 5033	Коробка ответвительная с разъединителем на 250А	–	400 630
У 2038 У 5038	Коробка ответвительная с автоматическим выключателем	100	250 400
У 2039 У 5039	Коробка ответвительная с автоматическим выключателем	160	630
У 2051 У 5051	Коробка ответвительная с автоматическим выключателем	250	400 630

Технические характеристики распределительных пунктов приведены в таблицах 3.11–3.13.

Таблица 3.11

Основные параметры и характеристики ПР 85–Ин1 и ПР 88–Ин1

Показатель	Значение	
	ПР 85	ПР 88
Номинальное напряжение, В	380	380
Номинальная частота, Гц	50	50
Номинальный ток ввода, А, не более	630	250
Номинальный ток аппарата распределения, А, не более	250	63
Номинальный ударный ток КЗ на шинах, кА при I_n шкафа до 250 А при I_n шкафа до 630 А	10	
	40	
Номинальный режим работы	продолжительный	
Исполнение по способу установки	(1) утопленные	
	(3) навесные	
	(7) напольные	–
Степень защиты	IP 21. IP 54	

Таблица 3.12

Техническая характеристика ПР 85–Ин1

Номер схемы			I_n шкафа, А	Автоматические выключатели I_n , А						
Исполнение				Ввод			Распределения			
утоплен- ное	навес- ное	наполь- ное		160, 250	400	630	одно- полюс- ные до 63	трехполюсные		
								до 63	до	
							63	100	200	
001	001		225/200					6		
002	002		360/ 320				12	8		
004	004						18	6		
003	003						24	4		
005	005							4	2	2
006	006							4	4	
007	007							6	4	
008	008			550/ 500				6	4	
009	009							6		
010	010							8		
011	011							12		
012	012								2	2
013	013								2	4
014	014								4	2
015	015								4	4
016	016								6	2
017	017								8	2
018	018							12	6	

Окончание табл. 3.12

Номер схемы			I_n шкафа, А	Автоматические выключатели I_n , А							
Исполнение				Ввод			Исполнение				
углопенное	навесное	напольное		160, 250	400	630	одно-полюсные	трехполюсные			
								до 63	до		
						63 100 200					
100	100		225/ 200	1			6	4			
101	101			1			12	6			
	102	102		1			12	8			
103	103			1					6	1	
104	104								8		
200	200		360/ 320		1		12	6			
	201	201			1		12	8			
	202	202			1			4	2	2	
203	203				1			4	4		
	204	204			1			6	4		
205	205				1			12			
206					1				2	2	
	207	207			1				2	4	
	208				1				4	2	
	209	209			1				4	4	
	210				1				6	2	
211	211				1				8		
	212	212			1				8	2	
	213	213			1				10		
	214				1					6	
	300	300		550/ 500			1	18	6		
	301	301						1	24	4	
302	302							1		8	
	303	303						1		12	
	304						1			2	
	305						1			4	
306	306						1			6	
	307	307					1			8	
	308	308					1			12	
	309	309					1				
										6	

Таблица 3.13

Техническая характеристика ПР 88–Ин1

Номер схемы	I_n шкафа, А	Аппараты учета		ТТ, 3 шт., А	УЗО, А	Автоматические выключатели I_n , А		
		счетчик				Ввод	Распределения	
		одно- фазный	трех- фазный				однопо- люсные 10÷63	трехпо- люсные 10÷63
001	250	+	+	300/5	250	250	8	4
002	200			200/5		200		
003	160			200/5		160		
004	125			200/5		125		
005	100			100/5	100	100		
006	80			100/5	80			
007	63			75/5	63			
008	50			75/5	50			
009	250	+	+	300/5	-	250	8	4
010	200			200/5		200		
011	160			200/5		160		
012	125			200/5		125		
013	100			100/5		100		
014	80			100/5		80		
015	63			75/5		63		
016	50			75/5		50		
017	250	-	+	300/5	250	250	-	8
018	200			200/5		200		
019	160			200/5		160		
020	125			200/5		125		
021	100			100/5	100	100		
022	80			100/5	80			
023	63			75/5	63			
024	50			75/5	50			
025	63	-	+	-	-	63	18	-
026	50	-	+	-		50		
027	63	+	-	-		63		
028	50	+	-	-		50		
029	250	-	+	300/5	-	250	-	8
030	200			200/5		200		
031	160			200/5		160		
032	125			200/5		125		
033	100			100/5		100		
034	80			100/5		80		
035	63			75/5		63		

Окончание табл. 3.13

Номер схемы	I_n шкафа, А	Аппараты учета		ТТ, 3 шт., А	УЗО, А	Автоматические выключатели I_n , А		
		счетчик				Ввод	Распределения	
		одно- фазный	трех- фазный				однопо- люсные 10÷63	трехпо- люсные 10÷63
036	50	–	+	75/5	–	50	–	8
037	63	–	+	–	–	63	–	6
038	50	–	+	–	–	50		
039	63	+	–	–	–	63	18	–
040	50	+	–	–	–	50		
041	63	+	+	–	100	63	8	4
042	50	+	+	–		50		
043	63	+	+	–	–	63	8	4
044	50	+	+	–	–	50		

Технические характеристики ящиков серии Я5000 приведены в таблице 3.14.

Таблица 3.14

Технические характеристики ящиков серии Я5000

Тип ящика	Номинальный ток ящика, А	Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, А
Я5110 Я5111 Я5410 Я5411 Я5141 Я5441	0,6	1,6
	1	1,6
	1,6	2,0
	2,5	3,15
	4	5,0
	6	8,0
	8	10,0
	10	12,5
	12,5	16,0
	16	20,0
	25	31,5
	32	40,0
	40	50,0
	50	63,0
	63	80,0
	80	100,0
100	125,0	
125	160,0	
160	160,0	

3.1.9. Расчет защитных аппаратов электроприемников и электрических сетей

Защиту электродвигателей целесообразно выполнять предохранителями или автоматическими выключателями.

Многие производственные механизмы и установки, например, обрабатывающие станки, мощные электрические печи, выпускаются со встроенной аппаратурой управления и защиты. Поэтому при проектировании электрооборудования выбор такой аппаратуры не осуществляется.

Вентиляционные установки, насосы и грузоподъемные механизмы (кран-балки, подъемники и др.) поставляются без коммутационных и защитных аппаратов. Для этих установок выбор коммутационной и защитной аппаратуры должен осуществляться.

Для управления электродвигателями рекомендуется применять магнитные пускатели серии ПМЛ или ПМА.

Выбор магнитных пускателей осуществляется из соотношения

$$I_{н.э} \geq I_n,$$

где $I_{н.э}$ – номинальный ток нагревательного элемента теплового реле.

Технические характеристики магнитных пускателей приведены в таблице 3.15.

Таблица 3.15

Технические характеристики магнитных пускателей

Тип в зависимости от степени защиты		Номинальный ток, А, 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

Условия выбора плавких вставок предохранителей:

$$I_B \geq I_p;$$

$$I_B \geq \frac{I_n}{\alpha},$$

где $I_{\text{п}}$ – пиковый ток линии или ответвления; α – коэффициент кратковременной тепловой перегрузки, который при легких условиях пуска двигателя, а также магистрали, принимается равным 2,5, при тяжелых – 1,6÷2,0, для ответственных электроприемников – 1,6.

Технические характеристики предохранителей приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.16

Технические параметры предохранителей на напряжение до 1 кВ

Наименование	Номинальный ток, А		Предельный отключающий ток, кА
	предохранителя	плавкой вставки	
НПН2–60	63	6; 10; 16; 20; 25; 31; 40; 63	10
ПН2–100	100	31,5; 40; 50; 63; 80; 100	100
ПН2–250	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	100
ПН2–400	400	200; 250; 315; 355; 400	40
ПН2–600	630	315; 400; 500; 630	25

Условия выбора автоматических выключателей:

$$I_{\text{в}} \geq I_{\text{р}};$$

$$I_{\text{н.р}} \geq I_{\text{р}};$$

$$I_{\text{ср.р}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{п}}.$$

Номинальные токи уставок автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам защищаемых участков сети.

Расчетный ток трехфазного электродвигателя определяется по выражению

$$I_{\text{р}} = i_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{ном}}}.$$

Пусковой ток двигателя

$$I_{\text{пуск}} = i_{\text{н}} \cdot \left(\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}} \right).$$

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

$$I_{\text{в}} = 1,2 \cdot I_{\text{н}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}},$$

где I_n – номинальный ток сварочного аппарата при паспортной продолжительности включения ПВ.

Технические характеристики автоматических выключателей приведены в таблице 3.17.

Таблица 3.17

Технические данные автоматических выключателей серий ВА51 и ВА52 с комбинированным расцепителем

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Кратность тока отсечки $I_{отс}$
	выключателя	расцепителя	
Однополюсные			
ВА51-29	63	6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 63	3; 7; 10
ВА51-31-1	100	6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 63; 80; 100	
Трехполюсные			
ВА51Г-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25	14
ВА51-25	25	6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25	7; 10
ВА51-31	100	6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	7; 10
ВА52-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА51-33 ВА52-33	160	80; 100; 125; 160	10
ВА51-35 ВА52-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	12
ВА51-37 ВА52-37	400	250; 320; 400	10
ВА51-39 ВА52-39	630	400; 500; 630	10

3.1.10. Выбор сечения проводов и жил кабелей, шинпроводов для подключения электроприемников и сетевых объектов

Сечение жил проводников и кабелей напряжением до 1 кВ по нагреву определяется по таблицам длительно-допустимых токов, составленных для нормальных условий прокладки.

Определение допустимых токов проводников осуществляется по формуле

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{п}}},$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток выбираемого проводника, А; $K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки проводов и кабелей (при нормальных условиях прокладки $K_{\text{п}} = 1$).

Длительно допустимые токовые нагрузки проводников приведены в таблицах 3.18 и 3.19.

Таблица 3.18

**Длительно допустимые токовые нагрузки
для проводов с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией
с алюминиевыми жилами**

Сечение жил, мм ²	Длительно допустимый ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в трубе				
		два одножильных	три одножильных	четыре одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
2,0	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3,0	27	24	22	21	22	18
4,0	32	28	28	23	25	21
5,0	36	32	30	27	28	24
6,0	39	36	32	30	31	28
8,0	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 3.19

**Длительно допустимые токовые нагрузки для кабелей с резиновой
или поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами**

Сечение жил, мм ²	Длительно допустимый ток, А				
	Одножильный в воздухе	Двухжильный		Трехжильный	
		в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4,0	31	29	42	27	38
6,0	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115

Окончание табл. 3.19

Сечение жил, мм ²	Длительно допустимый ток, А				
	Одножильный в воздухе	Двухжильный		Трехжильный	
		в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
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

Поправочные коэффициенты на допустимый длительный ток для проводников, в зависимости от условий прокладки, приведены в таблицах 3.20–3.22.

Таблица 3.20

Поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

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

Таблица 3.21

Поправочные коэффициенты на токи для проводов и кабелей в зависимости от температуры земли и воздуха

Условная температура среды, °С	Нормированная температура жил, °С	Поправочные коэффициенты на токи при расчетной температуре среды, °С										
		-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74

Условная температура среды, °С	Нормированная температура жил, °С	Поправочные коэффициенты на токи при расчетной температуре среды, °С										
		-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71
15	60	1,20	1,15	1,12	1,05	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,75	0,66
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,85	0,79	0,71	0,61	0,50
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58

Таблица 3.22

Поправочный коэффициент на допустимый длительный ток для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от удельного сопротивления земли

Характеристика земли	Удельное сопротивление, Ом · К/Вт	Поправочный коэффициент
Песок влажностью более 9 %, песчано-глинистая почва влажностью более 1 %	80	1,05
Нормальная почва и песок влажностью 7÷9, песчано-глинистая почва влажностью 12÷14 %	120	1,00
Песок влажностью более 4 и менее 7 %, песчано-глинистая почва влажностью 8÷12 %	200	0,87
Песок влажностью до 4 %, каменистая	300	0,75

Выбранные проводники должны согласовываться с защитным аппаратом

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п}}},$$

где K_3 – кратность длительно допустимого тока проводника по отношению к номинальному току защитного аппарата (I_3), принимается по таблице 3.23.

Таблица 3.23

Соотношение между допустимыми токами проводов I_n
и номинальными токами аппаратов защиты I_3
и значение коэффициента защиты K_3

Ток защиты	Коэффициенты защиты			
	сетей, для которых защита от перегрузки обязательна			сетей, не требующих защиты от перегрузки (требуется только защита от токов КЗ)
	Проводники с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией		Кабели с бумажной изоляцией и изоляцией из вулканизированного полиэтилена	
	Взрыво- и пожароопасные производственные, служебно-бытовые помещения (осветительные сети) независимо от рода проводника	Невзрыво- и пожароопасные помещения		
$I_{в}$	1,25	1		
$I_{уст.э.о}$	1,25	1	1	0,22
$I_{н.р.нр}$	1	1	1	1
$I_{сраб.рег}$	1	1	0,8	0,8

Примечание. $I_{уст.э.о}$ – ток уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенный расцепитель (отсечку); $I_{н.р.нр}$ – номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой; $I_{сраб.рег}$ – ток трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратной зависящей от тока характеристикой.

Ответвления к электроприемникам прокладываются в трубах.

Трассы участков трубных прокладок условно делятся на три степени сложности в зависимости от их длины и числа углов.

Характеристика трассы по сложности приведена в таблице 3.24.

Таблица 3.24

Характеристика трассы	Примерная длина участков, м		
	средних	сложных	простых
Прямая или слабо искривленная	75	100	50
С одним прямым или двумя тупыми углами	50	75	30
С двумя прямыми углами	30	50	20

Условный проход стальных и пластмассовых труб в зависимости от числа марки и сечения проводников приведены в таблице 3.25.

**Условный проход стальных и пластмассовых труб
в зависимости от числа, марки и сечения проводников, мм**

Сечение, мм ²	Одножильные провода АПВ, ПВ, ПР, АПР при числе проводов, равном							Кабели АБВГ с однопроволочными жилами при числе жил			
	2	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5
1,5	15	15	15	15+	20-	20	20	-	-	-	-
2,5	15	15	15+	20-	20	20	20+	25-	25+	-	-
4	15	15	15+	20	20	20+	25-	25+	25+	25+	-
6	15	15+	20	20+	20+	25	25+	25+	25+	32-	32+
10	20	20+	25+	32-	32-	32+	32+	32-	32+	32+	40-
16	25	25+	32-	32	32+	40+	40+	32+	32+	40-	40+
25	32-	32	32+	40+	50-	50	50+	40+	50+	50+	70-
35	32	32+	40+	50-	50	50+	70-	50-	50+	70-	70+
50	40-	40+	50	50+	70-	70	70+	50+	70-	70-	80-
75	50	50	70-	70	70+	80-	80+	50+	70+	70+	80+
95	70-	70-	70+	-	-	-	-	70-	80+	70+	100-
120	70	70	80-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	70	70+	80+	-	-	-	-	-	-	-	-
185	80-	80+	100-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание. Указаны условные проходы труб для трасс средней сложности; (+) обозначает необходимость выбора ближайшего большего условного прохода при сложных трассах; (-) обозначает необходимость выбора ближайшего меньшего условного прохода при простых трассах.

3.1.11. Выбор единичных мощностей и количества трансформаторов цеховых ТП и ВРУ

Источником питания (ИП) электроприемников в цехе могут быть ТП 6–10/0,4–0,23 кВ или ВРУ. Выбор одного из них определяется в первую очередь величиной питания ИП электрической нагрузки. При относительно небольших величинах нагрузки до 300÷350 кВ·А принимается для установки в цехе ВРУ, часто представляющее собой распределительный щит, состоящий из одного или нескольких вводных панелей (количество их определяется количеством секций сборных шин ИП в цехе, требуемой надежностью электроснабжения) и линейных панелей (количество их определяется величиной питаемых ИП электрических нагрузок, количеством линейных присоединений). При использовании нескольких вводных панелей для комплектования распределительного щита применяются секционные панели.

Из существующего многообразия панелей ВРУ распространенным является тип Щ20–Ин1, ЩО-94-3 (табл. 3.26) или устройства вводно-распределительные типа ВРУ-1 (табл. 3.27).

При относительно больших величинах электрической нагрузки, позволяющих выбрать мощность силового трансформатора в ТП – $S_{н.т} = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ в качестве ИП в цехе применяется трансформаторная подстанция. В основном в системе электроснабжения промышленных предприятий применяются ТП с единичной номинальной мощностью 630; 1000 и 1600 кВ·А, реже – 400 и 2500 кВ · А.

Выбор числа и мощности трансформаторов на подстанциях определяются величиной и характером электрических нагрузок (требуемой надежностью электроснабжения и характером потребления электроэнергии, территориальным размещением нагрузок, их перспективным изменением и при необходимости обуславливается технико-экономическими расчетами).

Как правило, в системах электроснабжения применяются одно- и двухтрансформаторные подстанции. Применение трехтрансформаторных подстанций вызывает дополнительные капитальные затраты и повышает годовые эксплуатационные расходы. Трехтрансформаторные подстанции используются редко, как вынужденное решение при реконструкции, расширении подстанции, при системе отдельного питания силовой и осветительных нагрузок.

Однотрансформаторные ТП 6–10/0,4–0,23 кВ применяются при питании нагрузок, допускающих перерыв электроснабжения на время не более одних суток, необходимых для ремонта или замены поврежденного элемента (питание электроприемника III категории надежности), а также для питания электроприемников II категории, при условии резервирования мощности по переключке на вторичное напряжение или при наличии складского резерва трансформаторов.

Таблица 3.26

Основные технические данные панелей ЩО-94

Тип панели	Номинальный ток, А					
	панелей	трансформаторов тока	предохранителей	рубильников	автоматических выключателей	амперметров
Панели линейные						
ЩО-94-3-01	2 × 100 + 2 × 250	100/5, 200/5	100, 250	100, 250	–	100/5, 200/5
ЩО-94-3-02	4 × 250	200/5	250	250	–	200/5
ЩО-94-3-03	2 × 250 + 2 × 400	200/5, 400/5	250, 400	250, 400	–	200/5, 400/5
ЩО-94-3-04	1 × 600	600/5	600	600	–	600/5
ЩО-94-3-05	6 × 100	100/5	–	600	25–100	100/5
ЩО-94-3-06	4 × 250	200/5	–	600	40–250	200/5
ЩО-94-3-07	2 × 600	600/5	–	600	300-600	600/5
Панели вводные						
ЩО-94-3-17	1 × 600	600/5	600	600	–	600/5
ЩО-94-3-18	1 × 1000	1000/5	–	1000	–	1000/5
ЩО-94-3-18П	1 × 1000	1000/5	1000	1000	–	1000/5
ЩО-94-3-20	1 × 1000	1000/5	–	1000	400, 630, 1000	1000/5
ЩО-94-3-22	1 × 1600	1500/5	–	2000	1600	1500/5
ЩО-94-3-24	1 × 2000	2000/5	–	2000	2000	2000/5
Панели секционные						
ЩО-94-3-35	1 × 600	–	–	600	–	–
ЩО-94-3-36	1 × 1000	–	–	1000	–	–
ЩО-94-3-37	1 × 1000	–	–	1000	400, 630, 1000	–
ЩО-94-3-38	1 × 1600	–	–	2000	1600	–

Основные технические данные ВРУ-1

Тип ВРУ	Назначение	Номинальный ток, А	
		ввода	отходящих линий
ВРУ-1-2×250	Вводные	2×250	–
ВРУ-1-2×400		2×400	–
ВРУ-1-2×100 АВР		2×100	–
ВРУ-1-2×250 АВР		2×250	–
ВРУ-1-2×100 + 7×100	Распределительные	–	2×100 + 7×100
ВРУ-1-2×250 + 7×100		–	2×250 + 7×100
ВРУ-1-2×100 + 7×100 ОС		–	2×100 + 7×100
ВРУ-1-2×250 + 7×100 ОС		–	2×250 + 7×100
ВРУ-1-1×250/6×100	Вводно- распределительные	1×250	6×100
ВРУ-1-1×400/6×100		1×400	
ВРУ-1-1×630/6×100		1×630	
ВРУ-1-2×250/6×100		2×250	
ВРУ-1-1×250/6×100 ОС		1×250	
ВРУ-1-1×400/6×100 ОС		1×400	
ВРУ-1-1×630/6×100 ОС		1×630	
ВРУ-1-2×250/6×100 ОС		2×250	

Такие ТП могут быть экономичны и в плане максимального приближения напряжения 6–10 кВ к электроприемникам, поскольку за счет децентрализации трансформирования электрической энергии уменьшается протяженность сетей до 1 кВ. В этом случае вопрос решается в пользу применения двух однострансформаторных по сравнению с одной двухтрансформаторной подстанций.

Двухтрансформаторные ТП применяются при преобладании электроприемников I и II категорий. При этом мощность выбирается такой, чтобы при выходе из работы одного другой трансформатор с учетом допускаемой перегрузки принял бы на себя нагрузку всех потребителей. Такие подстанции желательны и независимо от категории надежности потребителей, но при наличии неравномерного суточного или годового графика нагрузки. В этих случаях выгодно менять присоединенную мощность трансформаторов, например, при наличии сезонных нагрузок, одно- и двухсменной работе со значительным изменением загрузки смен.

Основным критерием при выборе единичной мощности трансформаторов также является минимум приведенных затрат.

Ориентировочно выбор единичной мощности трансформаторов может выполняться по удельной расчетной нагрузке и полной расчетной нагрузке цеха. При удельной плотности нагрузки до $0,2\text{--}0,3 \text{ кВ} \cdot \text{А}/\text{м}^2$

и суммарной нагрузке до 3000 кВ · А целесообразно применять трансформаторы 630, 1000 кВ · А с вторичным напряжением 0,4/0,23 кВ. При удельной плотности нагрузки вышеуказанных значений более экономичны трансформаторы мощностью 1600 и 2500 кВ · А.

Мощность трансформаторов выбирается с учетом следующих рекомендуемых коэффициентов их загрузки (β):

$\beta = 0,65-0,7$ – двухтрансформаторные ТП с преобладающей нагрузкой I категории;

$\beta = 0,7-0,8$ – однотрансформаторные ТП с преобладающей нагрузкой II категории при наличии взаимного резервирования по перемычкам с другими подстанциями на вторичном напряжении;

$\beta = 0,9-0,95$ – ТП с нагрузкой III категории или с преобладающей нагрузкой II категории при возможности использования складского резерва трансформаторов.

Практика проектирования и эксплуатации показали необходимость применения однотипных трансформаторов одинаковой мощности, так как разнообразие их создает неудобства в обслуживании и вызывает дополнительные затраты на ремонт.

Таблица 3.28

Основные технические данные КТП

Наименование параметра	Значение параметра для КТП				
	250	400	630	1000	1600
Мощность силового трансформатора, кВ · А	250	400	630	1000	1600
Номинальное напряжение, кВ на стороне ВН на стороне НН	6; 10				
	0,4; 0,66				
Ток термической стойкости в течение 1с, кА УВН РУНН	16	16	16	16	16
	10	10	20	20	30
Ток электродинамической стойкости, кА УВН РУНН	40	40	40	40	40
	25	25	50	50	70
Номинальный ток сборных шин РУНН, кА	0,36	0,58	0,91	1,445	2,4
Ток предохранителя УВН, А, для напряжения кВ: 6 10	50	80	100	100	–
	31,5	50	80	100	–
Диапазон номинальных токов автоматических выключателей, А: в шкафах линий в шкафах ввода НН	16–630			16–1600	
	630–1600			630–3200	

Для вновь проектируемых и реконструируемых цеховых ТП должны применяться только комплектные трансформаторные подстанции (КТП). КТП могут быть с силовыми трансформаторами ТМГ, ТМЗ или ТСЗГЛ. Основные технические данные КТП приведены в таблице 3.28.

3.1.12. Компенсация реактивных нагрузок в электрических сетях цеха

Выбор средств компенсации реактивной мощности в электрических сетях осуществляется в соответствии с РТМ 36.18.32.6–92 «Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий». В качестве источников реактивной мощности на промышленных предприятиях на напряжение до 1 кВ используются батареи статических конденсаторов.

Расчет мощности конденсаторных установок осуществляется по условию выбора оптимального числа цеховых трансформаторов.

Для проектируемого цеха находится минимальное количество трансформаторов, необходимое для питания активной нагрузки:

$$N_{\min} = \frac{P_p}{\beta \cdot S_{\text{тр}}},$$

где β – желаемый коэффициент загрузки трансформаторов; $S_{\text{тр}}$ – принятая номинальная мощность трансформаторов.

Полученная величина округляется до ближайшего большего целого числа.

Если число трансформаторов не может быть уменьшено по условию надежности электроснабжения, то их номинальная мощность выбирается по условию

$$S_{\text{тр}} = \frac{P_p}{\beta \cdot N_{\min}}.$$

Если в проектируемом цехе нецелесообразно устанавливать трансформаторную подстанцию, при расчете используется мощность трансформатора, данная в таблице П.1.1.

Наибольшее значение реактивной мощности, которое может быть передано через трансформаторы в сеть до 1 кВ при принятом коэффициенте загрузки трансформаторов β , определяется по выражениям:

– для масляных трансформаторов

$$Q_{\text{тр}} = \sqrt{(1,1 \cdot S_{\text{тр}} \cdot \beta \cdot N_{\text{min}})^2 - P_{\text{р}}^2} ;$$

– для сухих трансформаторов

$$Q_{\text{тр}} = \sqrt{(1,05 \cdot S_{\text{тр}} \cdot \beta \cdot N_{\text{min}})^2 - P_{\text{р}}^2} .$$

Суммарная мощность батарей низковольтных конденсаторов по критерию минимума числа трансформаторов определяется:

$$Q_{\text{н.к}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{тр}} .$$

Если $Q_{\text{н.к}} < 0$, то следует принять $Q_{\text{н.к}} = 0$.

Величина $Q_{\text{н.к}}$ распределяется между цеховыми трансформаторами прямо пропорционально их реактивным нагрузкам.

Затем выбираются стандартные номинальные мощности батарей низковольтных конденсаторов для сети до 1 кВ для каждого трансформатора. Основные технические характеристики конденсаторных установок (КУ) типа УКМ58 приведены в таблице 3.29.

Таблица 3.29

Основные технические характеристики КУ типа УКМ58

Тип КУ	Номинальная мощность, квар	Мощность ступени, квар	Число ступеней, шт.
АКУ 0,4-50-10УЗ	50	50	1
АКУ 0,75-12,5УЗ	75	75	1
УКМ58-0,4-100-33 $\frac{1}{3}$ УЗ	100	33 $\frac{1}{3}$	3
УКМ58-0,4-200-33 $\frac{1}{3}$ УЗ	200	33 $\frac{1}{3}$	6
УКМ58-0,4-268-67УЗ	268	67	4
УКМ58-0,4-402-67УЗ	402	67	6
УКМ58-0,4-536-67УЗ	536	67	8

3.1.13. Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания в электрических сетях на напряжение до 1 кВ

В данном курсовом проекте должны быть рассчитаны токи трех- и однофазного КЗ на выводах ближайшего от ИП силового шкафа или распределительного шинпровода.

Для вычисления токов КЗ должна быть составлена расчетная схема, включающая все элементы, по которым протекают токи к выбранной точке расчета. На схеме приводятся основные параметры оборудования, которые используются для последующего расчета.

По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой каждый элемент заменяется соответствующим сопротивлением.

Расчет токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ выполняется, как правило, в именованных единицах миллиомах (мОм). При этом учитываются активные и индуктивные сопротивления всех элементов цепи КЗ.

Заметное влияние на результаты расчета оказывают сопротивления различных контактных соединений. При отсутствии достоверных данных о числе и сопротивлении контактов рекомендуется учитывать их совокупно. Для этого вводится в цепь КЗ дополнительное сопротивление следующей величины: при КЗ на щите ТП – 15 мОм; при КЗ на цеховых ШР и зажимов аппаратов, питаемых радиальными и магистральными линиями от щитов ТП – 20 мОм; при КЗ на вторичных цеховых РП, а также на зажимах аппаратов, питаемых от первичных РП – 25 мОм; при КЗ на зажимах аппаратов, получающих питание от вторичных РП – 30 мОм.

Влияние сопротивления энергосистемы на результаты расчетов токов КЗ на стороне до 1 кВ невелико, поэтому в практических расчетах сопротивлением энергосистемы на стороне 6–10 кВ можно пренебречь, считая его равным нулю.

Вообще же сопротивление системы в миллиомах до понижающего трансформатора цеховых ТП, приведенное к низшему напряжению можно определить по выражению

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.в}}}{\sqrt{3} I_{\text{к.с}}^3} \left(\frac{U_{\text{ср.н}}}{U_{\text{ср.в}}} \right)^2 \cdot 10^3,$$

где $I_{\text{к.с}}^3$ – ток КЗ на выводах высшего напряжения трансформатора, кА;
 $U_{\text{ср.в}}$ – среднее номинальное напряжение сети высшего напряжения, кВ;
 $U_{\text{ср.н}}$ – среднее номинальное напряжение сети, в которой рассчитываются токи КЗ.

Полное, активное и индуктивное сопротивления силового трансформатора цеховой ТП, приведенные к ступени низшего напряжения, определяются по формулам:

$$z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{КЗ}} \% U_{\text{н.н}}^2}{S_{\text{н.т}}} \cdot 10^4;$$

$$r_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{КЗ}} \% U_{\text{н.н}}^2}{S_{\text{н.т}}} \cdot 10^6;$$

$$x_{\text{тр}} = \sqrt{z_{\text{тр}}^2 - r_{\text{тр}}^2},$$

где $U_{\text{КЗ}} - \%$; $U_{\text{н.н}} - 0,4 \text{ кВ}$; $S_{\text{н.т}} - \text{кВ} \cdot \text{А}$; $\Delta P_{\text{КЗ}} - \text{кВт}$.

Активные и индуктивные сопротивления проводов, кабелей, шин и шинопроводов длиной l рассчитываются по выражениям:

$$r = r_0 l; \quad x = x_0 l,$$

где r_0, x_0 – погонные (на единицу длины) активное и индуктивное сопротивления (могут быть приняты по табл. 3.30, 3.31).

Таблица 3.30

**Сопротивление проводников с алюминиевыми жилами
в непроводящей оболочке**

Сечение кабеля, мм ²	Сопротивление проводника, мОм/м			
	r	x	r_0	x_0
5 × 4	9,61	0,098	11,71	2,11
5 × 6	6,41	0,094	8,71	1,968
5 × 10	3,84	0,088	5,9	1,811
5 × 16	2,4	0,084	4,39	1,558
5 × 25	1,54	0,072	3,42	1,258
3 × 35 + 2 × 16	1,1	0,068	2,97	1,241
3 × 50 + 2 × 25	0,769	0,066	2,449	0,949
3 × 70 + 2 × 35	0,549	0,035	2,039	0,741
3 × 95 + 2 × 50	0,405	0,064	1,665	0,559
3 × 120 + 2 × 50	0,32	0,064	1,54	0,545
3 × 150 + 2 × 70	0,256	0,063	1,276	0,43

Таблица 3.31

Сопротивления контактных соединений кабелей

Сечение алюминиевого кабеля, мм ²	16	25	35	50	70	95	120	150	240
Сопротивление, мОм	0,085	0,064	0,056	0,043	0,029	0,027	0,024	0,021	0,012

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 миллиомах может быть также найдено по формуле

$$r_{\text{л}} = \frac{l}{\gamma F} \cdot 10^3,$$

где l – длина линии, м; γ – удельная проводимость (для алюминия $\gamma = 32$ м/Ом·мм²); F – сечение провода или жилы кабеля, мм².

Для прямоугольных шин погонное индуктивное сопротивление (мОм/м) можно вычислить по формуле

$$x_0 = 0,1445 \cdot \lg \frac{4a_{\text{ср}}}{h},$$

где $a_{\text{ср}}$ – среднегеометрическое расстояние между шинами; h – высота шины.

При расположении шин в одной плоскости

$$a_{\text{ср}} = 1,26a,$$

где a – расстояние от средней шины до крайней.

Сопротивления катушек расцепителей автоматических выключателей и первичных обмоток трансформаторов тока могут быть ориентировочно приняты из таблиц 3.32, 3.33.

Таблица 3.32

Приближенные значения сопротивлений разъемных контактов коммутационных аппаратов напряжением до 1 кВ

Номинальный ток аппарата, А	Активное сопротивление, мОм, разъемных соединений		
	автоматического выключателя	рубильника	разъединителя
50	1,3	–	–
70	1	–	–
100	0,75	0,5	–
150	0,65	–	–
200	0,6	0,4	–
400	0,4	0,2	0,2
600	0,25	0,15	0,15
1000	0,12	0,08	0,08
3000	–	–	–

**Сопротивления первичных обмоток
многовитковых трансформаторов тока**

Коэффициент трансформации трансформатора тока	Сопротивление первичной обмотки многовиткового трансформатора, мОм, класса точности			
	1		2	
	<i>X</i>	<i>R</i>	<i>X</i>	<i>R</i>
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	1,3
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	0,088
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

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

$$r_{\Sigma} = \sum_1^n r_i;$$

$$x_{\Sigma} = \sum_1^n x_i,$$

где n – число элементов в цепи КЗ.

Ток трехфазного КЗ, кА, вычисляется по выражению

$$I_K = \frac{U_{\text{ср.н}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}},$$

где $U_{\text{ср.н}}$ – средненоминальное напряжение сети ($U_{\text{ср.н}} = 400 \text{ В}$).

Ударный ток КЗ определяется по формуле

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K.$$

Значение ударного коэффициента K_y находят по кривым в зависимости от x_{Σ}/r_{Σ} .

В приближенных расчетах при определении ударного тока значение K_y можно принять по таблице 3.34.

Таблица 3.34

Определение ударного коэффициента K_y

Наименование	Мощность трансформатора, кВ · А	Значение K_y
На стороне до 1 кВ трансформаторов мощностью	1600, 2500	1,4
	630, 1000	1,3
	100, 250, 400	1,2
Удаленные точки КЗ с учетом активного сопротивления	1600, 2500	1,0
	630, 1000	
	100, 250, 400	

На величину тока КЗ оказывают влияние мощные асинхронные двигатели, если они присоединены вблизи места КЗ. Тогда

$$I_k = \frac{U_{\text{ср.н}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma}} + 4,5 \cdot \sum i_{\text{н.д}};$$

$$i_y = K_y \sqrt{2} \cdot I_k + 6,5 \cdot \sum i_{\text{н.д}}.$$

Действующее значение периодической составляющей тока однофазного КЗ

$$I_k^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.н}}}{\sqrt{(r_{1\Sigma} + r_{2\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}},$$

где $r_{1\Sigma}$ и $x_{1\Sigma}$ – суммарные активные и индуктивные сопротивления прямой последовательности, мОм; $r_{2\Sigma}$ и $x_{2\Sigma}$ – то же обратной последовательности, мОм; $r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ – то же нулевой последовательности, мОм.

Отметим, что $r_{1\Sigma} = r_{2\Sigma}$ и $x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma}$.

Сопротивления нулевой последовательности однофазных электрических аппаратов равны их сопротивлениям прямой последовательности. При схеме соединения обмоток силовых трансформаторов Δ/Y их активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности равны соответствующим сопротивлениям прямой последовательности. Сопротивления нулевой последовательности кабелей с алюминиевыми жилами определяются по таблице 3.35.

Таблица 3.35

Сопротивление проводов и кабелей

Сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление жилы, Ом/км		Индуктивное сопротивление, Ом/км			
			кабеля напряжением, кВ			провода
	алюминиевой	медной	1	6	10	
1,5	–	12,3	–	–	–	0,126
2,0	–	9,2	–	–	–	0,121
2,5	15,5	7,4	0,104	–	–	0,116
3,0	10,4	6,13	0,095	–	–	0,113
4	7,81	4,63	–	–	–	0,107
5	6,24	3,68	–	–	–	0,103
6	5,21	3,09	0,9	–	–	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
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

Однофазный ток КЗ можно вычислить и по упрощенной (приближенной) формуле

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\frac{z_{\text{тр}}}{3} + z_{\text{п}}},$$

где $z_{\text{тр}}$ – полное сопротивление трансформатора току однофазного замыкания на корпус; $z_{\text{п}}$ – полное сопротивление фазный провод–нулевой провод.

3.1.14. Проверка на электродинамическую стойкость к токам короткого замыкания ШР (ШРА) и на успешность срабатывания от токов короткого замыкания защитного аппарата линии, питающей ШР (ШРА)

По результатам расчета токов КЗ на выводах, ближайших от ИП силового шкафа или распределительного шинопровода, необходимо проверить на электродинамическую стойкость силовой шкаф (распределительный шинопровод) и на успешность срабатывания от токов КЗ защитного аппарата линии, питающей этот сетевой объект (силовой шкаф или распределительный шинопровод).

Ток электродинамической стойкости ШР (ШРА) должен быть не менее ударного тока трехфазного КЗ.

Успешность срабатывания защитных аппаратов проверяется по коэффициенту чувствительности ($K_{\text{ч}}$):

$$K_{\text{ч}} = \frac{I'_{\text{КЗ}}}{I_3},$$

где I_3 – номинальный ток плавкой вставки или номинальный ток расцепителя автоматического выключателя.

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 3, а во взрывоопасных зонах для предохранителей не менее 4, для автоматических выключателей не менее 6.

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), для автоматов с номинальным током до 100 А кратность тока КЗ относительно уставки тока мгновенного срабатывания должен быть не менее 1,4, а для автоматов с номинальным током более 100 А – не менее 1,25.

Если указанные требования не выполняются, то необходимы мероприятия по уменьшению полного сопротивления цепи фаза-нуль или отключение однофазных КЗ в сети должно обеспечиваться специальной защитой.

3.1.15. Определение величины напряжения на зажимах наиболее удаленного от ВРУ (ТП) электроприемника цеха

Электрические сети напряжением до 1 кВ рассчитываются на нагрев и проверяются на потерю напряжения.

В нормальном режиме на зажимах электроприемников величина напряжения должна быть в диапазоне $95 \div 105 \% U_H$.

Величина напряжения на зажимах наиболее удаленного от ТП электроприемника определяется по выражению

$$U_{\text{э}} = U_{\text{ИП}} - \sum_{i=1}^m \Delta U_i,$$

где $U_{\text{ИП}}$ – напряжение на шинах до 1 кВ ТП; ΔU_i – потери напряжения на i -м участке сети; m – число участков на пути от шин вторичного напряжения ТП до точки, в которой определяется $U_{\text{э}}$.

Напряжение на шинах источника питания (ИП) вычисляется по формуле

$$U_{\text{ИП}} = U_x - \Delta U_{\text{тр}},$$

где U_x – потери холостого хода трансформатора и составляют 105 %.

Потери напряжения в трансформаторе можно определить

$$\Delta U_{\text{тр}} = \beta(U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi),$$

где β – коэффициент загрузки трансформатора; U_a и U_p – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора, которые определяются следующими выражениями:

$$U_a = \frac{P_{\text{КЗ}}}{S_{\text{н.т}}} \cdot 100;$$

$$U_p = \sqrt{U_{\text{КЗ}}^2 - U_a^2},$$

где $P_{\text{КЗ}}$ – потери короткого замыкания, кВт; $S_{\text{н.т}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ · А; $U_{\text{КЗ}}$ – напряжение короткого замыкания, %.

Потери напряжения в линии электропередачи в процентах вычисляется по формуле

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot \sum_{i=1}^n I_{\text{pi}} \cdot l_i}{U_H} \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi),$$

где I_p и l – расчетный ток и длина линии; r_0 и x_0 – удельное активное и индуктивное сопротивление линии; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки линии.

Для распределительных шинопроводов с равномерной нагрузкой потеря напряжения не должна превышать 2,0–2,5 %. При ее определении равномерно распределенная нагрузка заменяется сосредоточенной нагрузкой той же величины, приложенной в середине расчетного участка. В этом случае

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 0,5 \cdot I_p \cdot l_{ш}}{U_n} (r_{0ш} \cos \varphi + x_{0ш} \sin \varphi),$$

где I_p и $l_{ш}$ – расчетный ток и длина наиболее нагруженного плеча шинопровода; $r_{0ш}$ и $x_{0ш}$ – удельное активное и индуктивное сопротивление шинопровода.

3.1.16. Заключение

В разделе «Заключение» расчетно-пояснительной записки приводится информация, характеризующая конечную цель, достигнутую в результате проектирования системы электроснабжения цеха. Например, в результате выполнения курсового проекта разработан проект системы электроснабжения, обеспечивающей электроэнергией электроприемники механического цеха и удовлетворяющей требованиям надежности, экономичности и безопасности технического обслуживания и ее ремонта.

В разделе должна быть приведена характеристика спроектированной системы электроснабжения. Что принято в качестве источника питания, его характеристика, примененные другие сетевые объекты (ШР, ШРА и др.) и схемы их соединения. Принятая система заземления электрической сети, марки проводов, кабелей и способы их прокладки.

4. ЛИТЕРАТУРА

1. Радкевич, В. Н. Проектирование систем электроснабжения : учеб. пособие / В. Н. Радкевич. – Минск : Пион, 2001. – 292 с.
2. Правила устройства электроустановок / М-во топлива и энергетики РФ. – 6-е изд. перераб. и доп. – Москва : Главгосэнергонадзор России, 1998. – 608 с.
3. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – Раздел 1, 6, 7. – Москва : Энергосервис, 2002. – 280 с.
4. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – Раздел 1, 2, 4. – Москва : Энергосервис, 2003. – 421 с.
5. Выбор и применение асинхронных двигателей / А. Э. Кравчик [и др.]. – Москва : Энергоиздат, 1987. – 96 с.
6. Ус, А. Г. Планы цехов: практикум к курсовому проекту / А. Г. Ус. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007.
7. Ус, А. Г. Технические сведения об оборудовании. В 2 ч. Ч. 2 / А. Г. Ус, О. Г. Широков, Т. В. Алферова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 1997. – 92 с.
8. Ус, А. Г. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий : практ. пособие / А. Г. Ус, Т. В. Алферова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2001. – 19 с.
9. Электрические кабели, провода и шнуры : справочник / Н. И. Белорусов [и др.]. – Москва : Энергоатомиздат, 1987.
10. Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий : СН 357–77. – Москва : Стройиздат, 1977. – 96 с.
11. Электроустановки зданий : ГОСТ 30331.15–2001 (МЭК364-5-52-93), 2001. – 17 с.
12. Электроустановки зданий : ГОСТ 30331.10–2001 (МЭК364-5-54-80). – 9 с.
13. Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий : СН 174-74. – Москва : Стройиздат, 1976. – 56 с.
14. Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий // Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок. – 1993. – № 2. – С. 24–53.
15. Проектирование систем электроснабжения / В. Н. Винославский [и др.]. – Киев : Вища шк., 1987. – 360 с.
16. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю. Г. Барыбина [и др.]. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

17. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Д. Г. Барыкина [и др.]. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 464 с.

18. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.

19. Кнорринг, Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – Санкт-Петербург : Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.

20. Ус, А. Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий : учеб. пособие / А. Г. Ус, Л. И. Евминов. – Минск : Пион, 2002. – 457 с.

21. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки : ГОСТ 14209–85. – Москва : Изд-во стандартов, 1987.

22. Основы построения промышленных электрических сетей / Г. М. Каялов [и др.]. – Москва : Энергия, 1978. – 352 с.

23. Силовое электрооборудование. Рабочие чертежи : ГОСТ 21.613–88.

24. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Ю. Г. Барыкина [и др.]. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 464 с.

25. Миронов, Ю. М. Электрооборудование и электроснабжение электротермических, плазменных и лучевых установок / Ю. М. Миронов, А. Н. Миронова. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 376 с.

26. Коновалова, Л. Л. Электроснабжение промышленных предприятий и установок / Л. Л. Коновалова, Л. Д. Ропекова. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.

27. Мукосеев, Д. Л. Электроснабжение промышленных предприятий / Д. Л. Мукосеев. – Москва : Энергия, 1973. – 584 с.

28. Федоров, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.

29. Прокопчик, В. В. Канализация электроэнергии по территории предприятия : практ. рук. / В. В. Прокопчик. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2001. – 27 с.

30. Князевский, Б. А. Электроснабжение промышленных предприятий / Б. А. Князевский, Б. Д. Липкин. – Москва : Высш. шк., 1986. – 400 с.

31. Алферова, Т. В. Учебно-методическое пособие по оформлению курсовых проектов по курсу «Основы ЕСКД в энергетике» / Т. В. Алферова, О. М. Попова, Н. В. Токочакова. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 1999. – 48 с.

32. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения : ГОСТ 13109–97. – Минск : Изд-во стандартов, 1998. – 30 с.

33. Электрические комплектные устройства : каталог «Иносат–2004». – Москва : Юнипак, 2004. – 117 с.

34. Оборудование на напряжение 10(6)–35 кВ : каталог «Иносат–2004». – Москва : Юнипак, 2004. – 57 с.

35. Комплектные трансформаторные подстанции 6(10)/0,4 кВ : каталог ОАО «Самарский завод «Электроцит». – Москва, 2004. – 48 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица П.1.1

Исходные данные по питающей сети

Вариант	$I_{кз}$, кА	$S_{нт}$, кВ · А	β	$\cos \varphi$	L , м
1	14,6	400	0,7	0,85	120
2	22,5	630	0,8	0,75	80
3	43,5	1000	0,9	0,91	60
4	8,7	1000	0,75	0,88	95
5	9,2	1600	0,85	0,74	110
6	28,8	2500	0,9	0,88	80
7	12,9	400	0,7	0,91	45
8	17,8	1600	0,75	0,76	60
9	34,2	2500	0,8	0,83	75
10	55,1	1000	0,85	0,94	70
11	46,8	630	0,9	0,8	80
12	47,1	400	0,9	0,86	85
13	54,6	630	0,88	0,9	90
14	9,7	1000	0,76	0,94	120
15	16,8	1000	0,92	0,88	150
26	30,1	1600	0,81	0,74	80
17	28,1	2500	0,7	0,88	260
18	8,7	400	0,8	0,91	410
19	16,7	1600	0,9	0,76	280
20	12,1	2500	0,75	0,85	60
21	24,6	1000	0,85	0,75	80
22	11,9	630	0,9	0,91	90
23	10,6	400	0,7	0,88	120
24	21,5	630	0,75	0,74	170
25	26,7	1000	0,8	0,88	120
26	18,3	1000	0,85	0,91	80
27	13,4	1600	0,9	0,76	60
28	14,9	2500	0,9	0,83	95
29	8,1	400	0,88	0,94	110
30	19,4	1600	0,76	0,8	80
31	9,6	2500	0,92	0,86	45
32	17,2	1000	0,81	0,9	60
33	14,3	630	0,7	0,94	75
34	25,6	400	0,8	0,88	70
35	8,7	630	0,9	0,74	80
36	9,2	1000	0,75	0,88	85

Продолжение табл. П.1.1

Вариант	$I_{кз}, \text{кА}$	$S_{нт}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	β	$\cos \varphi$	$L, \text{м}$
37	28,8	1000	0,85	0,91	90
38	12,9	1600	0,9	0,76	120
39	17,8	2500	0,7	0,85	150
40	34,2	400	0,75	0,75	80
41	55,1	1600	0,8	0,91	260
42	46,8	2500	0,85	0,88	410
43	47,1	1000	0,9	0,74	280
44	54,6	630	0,9	0,88	60
45	9,7	400	0,88	0,91	80
46	16,8	630	0,76	0,76	90
47	30,1	1000	0,92	0,83	120
48	28,1	1000	0,81	0,94	170
49	8,7	1600	0,7	0,8	120
50	16,7	2500	0,8	0,86	80
51	12,1	400	0,9	0,9	60
52	24,6	1600	0,75	0,94	95
53	11,9	2500	0,85	0,88	110
54	10,6	1000	0,9	0,74	80
55	14,8	630	0,7	0,88	45
56	28,1	1000	0,75	0,91	90
57	8,7	630	0,8	0,76	120
58	16,7	400	0,85	0,85	150
59	12,1	630	0,9	0,75	120
60	24,6	1000	0,9	0,91	80
61	11,9	1000	0,88	0,88	60
62	10,6	1600	0,76	0,74	95
63	16	2500	0,92	0,88	110
64	18,4	400	0,81	0,91	80
65	12,5	1600	0,7	0,76	45
66	28,6	2500	0,8	0,83	60
67	23,1	1000	0,9	0,94	75
68	8,7	630	0,75	0,8	70
69	9,2	400	0,85	0,86	80
70	28,8	630	0,9	0,9	85
71	12,9	1000	0,7	0,94	90
72	17,8	1000	0,75	0,88	120
73	34,2	1600	0,8	0,74	150
74	55,1	2500	0,85	0,88	80
75	46,8	400	0,9	0,91	260
76	47,1	1600	0,9	0,76	410
77	54,6	2500	0,88	0,85	280

Окончание табл. П.1.1

Вариант	$I_{кз}, \text{кА}$	$S_{нт}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	β	$\cos \varphi$	$L, \text{м}$
78	9,7	1000	0,76	0,75	60
79	16,8	630	0,92	0,91	80
80	30,1	400	0,81	0,88	90
81	28,1	630	0,7	0,74	120
82	8,7	1000	0,8	0,88	170
83	16,7	1000	0,9	0,91	120
84	12,1	1600	0,75	0,76	80
85	24,6	2500	0,85	0,83	60
86	11,9	400	0,7	0,94	95
87	10,6	1600	0,8	0,8	110
88	28,1	2500	0,9	0,86	80
89	8,7	1000	0,75	0,9	45
90	16,7	630	0,85	0,94	60
91	12,1	400	0,9	0,88	75
92	24,6	630	0,7	0,74	70
93	11,9	1000	0,75	0,88	80
94	10,6	1000	0,8	0,91	85
95	15,4	1600	0,85	0,76	90
96	17,8	2500	0,9	0,85	120
97	12,6	400	0,9	0,75	150
98	8,7	1600	0,88	0,91	80
99	9,2	2500	0,76	0,88	260
100	28,8	1000	0,92	0,74	410
101	12,9	630	0,81	0,88	280
102	17,8	400	0,7	0,91	60
103	34,2	630	0,8	0,76	80
104	55,1	1000	0,9	0,83	90
105	46,8	1000	0,75	0,94	120
106	47,1	1600	0,85	0,8	170
107	54,6	2500	0,76	0,86	60
108	9,7	400	0,9	0,9	75
109	16,8	1600	0,85	0,94	70
110	30,1	2500	0,78	0,88	80

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
"Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого"

Наименование факультета Энергетический

Утверждаю

Зав. кафедрой _____

"__" _____ 20__ г.

З А Д А Н И Е

по курсовому проектированию

Студенту Иванову Петру Николаевичу, гр. Э-44

1. Тема проекта Электроснабжение ... цеха
2. Срок сдачи студентом законченного проекта 10.12.2010 г.
3. Исходные данные к проекту план цеха №

4. Содержание расчетно-пояснительной записки

Введение

1. Характеристика и анализ основных исходных данных для проектирования системы цехового электроснабжения.

2. Формирование первичных групп электроприемников для проектируемой электрической сети цеха.

3. Расчет электрических нагрузок первичных групп электроприемников.

4. Расчет осветительных нагрузок цеха.

5. Разработка схемы питания силовых электроприемников цеха и выбор системы заземления электрической сети.

6. Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети и всего цеха.

7. Выбор конструктивного исполнения электрической сети, марки проводов, кабелей и типа шинпроводов, и способов их прокладки.

8. Выбор сетевых электротехнических устройств (ШР, ШРА, ШМА) и аппаратов защиты в них.

9. Расчет защитных аппаратов электроприемников и электрических сетей.

10. Выбор сечений проводов и жил кабелей, шинпроводов для подключения ЭП и силовых объектов.

11. Выбор единичных мощностей и количества трансформаторов цеховых ТП или ВРУ.

12. Компенсация реактивных нагрузок в электрических сетях цеха.

13. Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания на напряжение до 1 кВ.

14. Проверка на электродинамическую стойкость к токам КЗ ШР (ШРА) и на успешность срабатывания от токов КЗ защитного аппарата линии, питающей ШР (ШРА).

15. Определение величины напряжения на зажимах наиболее удаленного от ВРУ (ТП) электроприемника цеха.

Заключение.

Список используемой литературы.

5. Перечень графического материала

План цеха с расположением технологического оборудования и силовой сетью. Принципиальная схема силовой электросети. Формат А1

6. Консультанты по проекту Бахмутская В. В.

7. Дата выдачи задания 05.09.2010 г.

8. Календарный график работы над проектом на весь период проектирования (с указанием сроков выполнения и трудоемкости отдельных этапов)

п. 1, 2, 3 – 15.09

п. 10, 11, 12 – 27.10

п. 4, 5 – 29.09

п. 13, 14 – 10.11

п. 6, 7 – 13.10

лист 1 – 17.11

п. 8, 9 – 20.10

сдача проекта на проверку – _____

Руководитель _____
(подпись)

Задание принял к исполнению

(дата и подпись студента)

Приложение 3

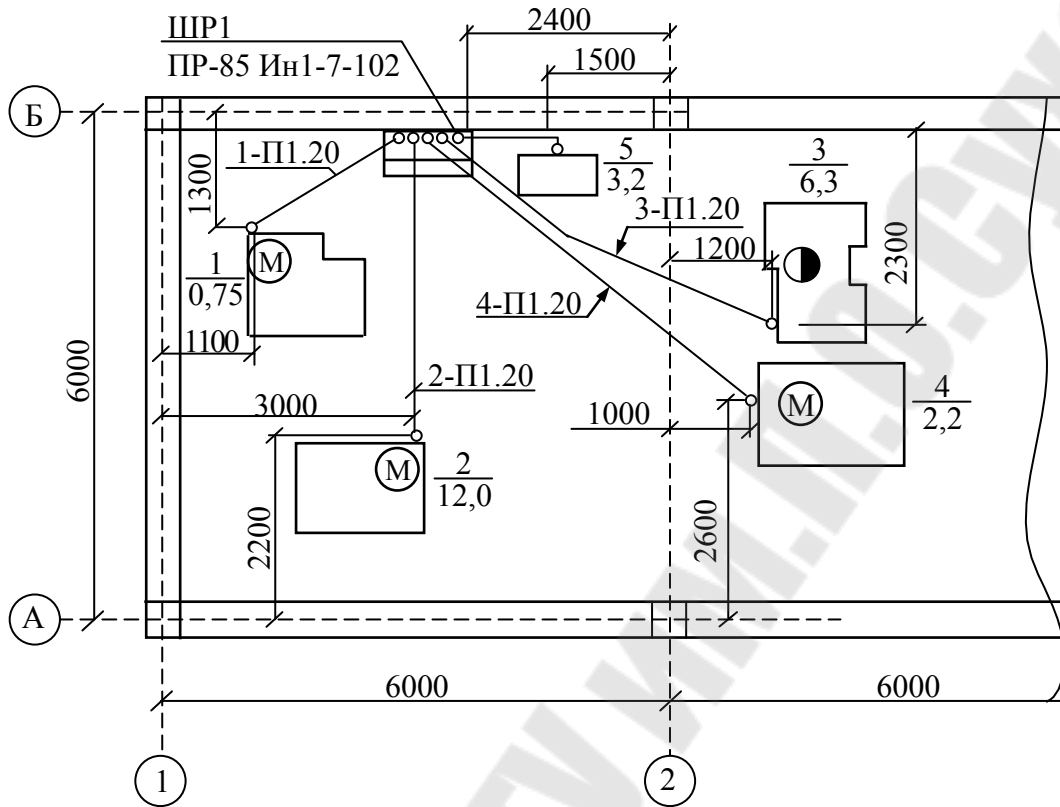


Рис. П.3.1. Фрагмент плана цеха с силовой сетью

Приложение 4

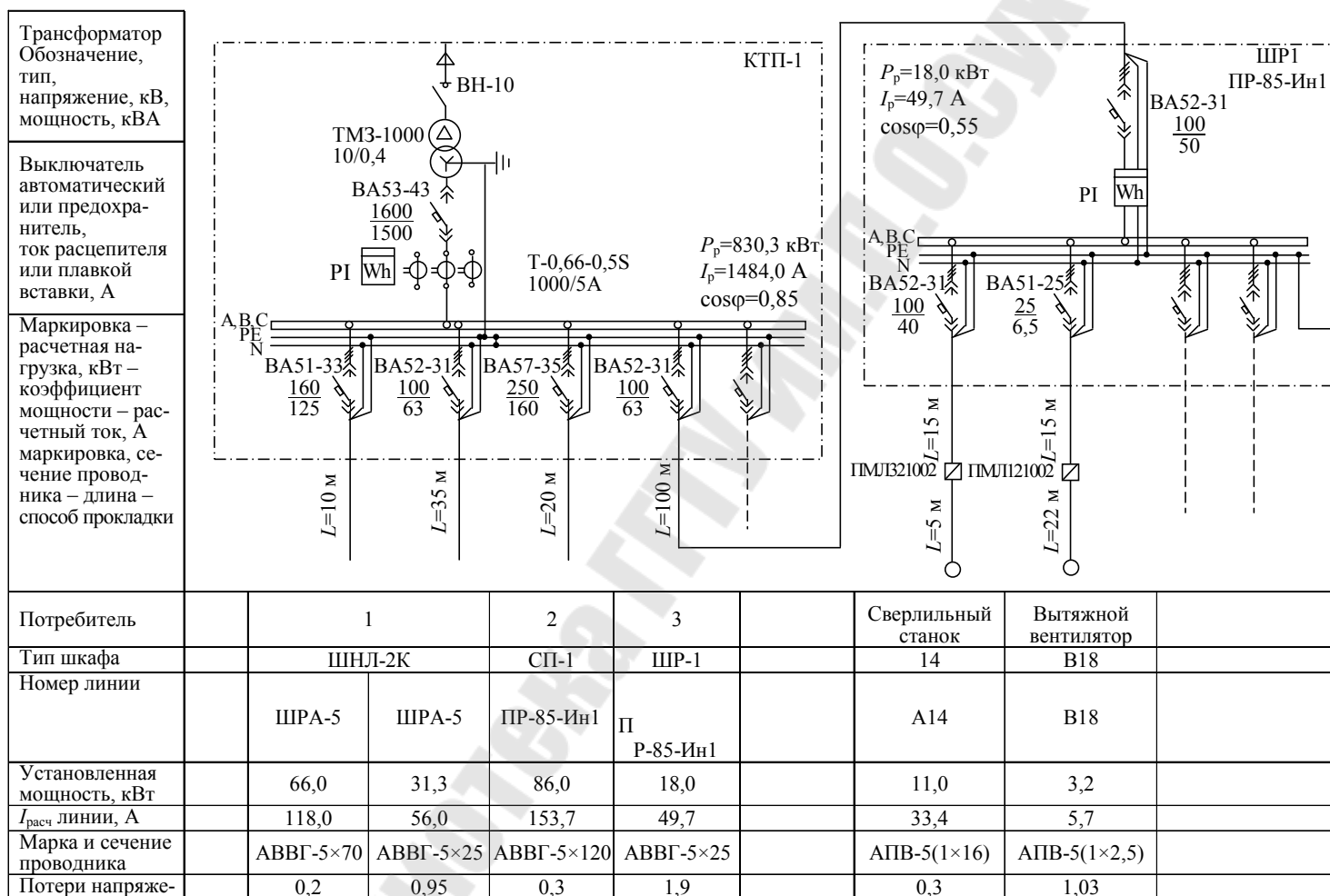


Рис. П.4.1. Фрагмент принципиальной схемы электроснабжения цеховой КТП

Распределительное устройство	Аппарат отходящей линии, обозначение, тип, $I_{ном}$, А, расцепитель или плавкая вставка, А	Участок сети 1	Пусковой аппарат, обозначение, тип, $I_{ном}$, А, расцепитель или плавкая вставка, А, уставка теплового реле, А	Участок сети 2	Кабель, провод				Труба		Электроприемник				
					Участок сети	Обозначение	Марка	Количество жил и сечение	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	$P_{уст}$ или $P_{ном}$, кВт	$I_{расч}$ или $I_{ном} / I_{пуск}$, А	Наименование или тип, обозначение чертежа принципиальной схемы
СП7 ПР85-Ин1-- 7102	A3716Б 160 100		-		1	СП7-н1	АВВГ	5×70	30	-	-	СП7	99,1	81,0	Ввод от ВРУ
					-										
	ВА 51 63 20		ПМЛ-2600 25 16		1	24-н1	АПВ	5(1×2,5)	13,7	П20	11,2	24	7,5	15,14 113,57	Резьбонарезной станок
					-										
	ВА 51 63 63		50		1	23-н1	АПВ	5(1×16)	10,4	П32	7,9	23	18	45,58 182,33	Сварочный трансформатор
					-										
	ВА 51 63 63		50		1	23-н1	АПВ	5(1×16)	7,4	П32	4,9	23	18	45,58 182,33	Сварочный трансформатор
					-										
	ВА 51 63 63		50		1	23-н1	АПВ	5(1×16)	5,2	П32	2,7	23	18	45,58 182,33	Сварочный трансформатор
					-										
4 шт.															Резерв

Рис. П.5.1. Однолинейная принципиальная схема распределительной сети

Приложение 6

Таблица П.6.1

Условные обозначения элементов сети

Условное обозначение	Наименование
На планах	
	Провод, кабель
	Кабель 10 кВ
	Распределительный пункт
	Трансформаторная подстанция
	Силовой шкаф
	Вводно-распределительное устройство
	Ящик с аппаратурой
	Электродвигатель (А – номер, В+С, мощность в кВт)
	Шинопровод
	Шинопровод на стойках
	Шинопровод на подвесах
	Шинопровод на кронштейнах
	Проводка гибкая
	Магнитный пускатель

Условное обозначение	Наименование
На схемах	
	Счетчик активной энергии
	Счетчик реактивной энергии
	Заземление
	Соединение разъемное
	Силовой двухобмоточный трансформатор
	Трансформатор тока с двумя вторичными обмотками
	Выключатель высокого напряжения
	Разъединитель
	Выключатель нагрузки
	Предохранитель
	Автоматический выключатель
	Шина, шинопровод

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Общее задание на выполнение курсового проекта	5
2. Содержание расчетно-пояснительной записки и состав графического материала	6
2.1. Содержание расчетно-пояснительной записки	6
2.2. Состав графического материала	7
3. Рекомендации по выполнению курсового проекта	7
3.1. Выполнение разделов расчетно-пояснительной записки.....	7
3.1.1. Характеристика и анализ основных исходных данных для проектирования систем цехового электроснабжения	7
3.1.2. Формирование первичных групп электроприемников для проектируемой электрической сети (ЭС) цеха	10
3.1.3. Расчет электрических нагрузок первичных групп электроприемников	12
3.1.4. Расчет осветительных нагрузок цеха	15
3.1.5. Разработка схемы питания силовых электроприемников цеха и выбор системы заземления электрической сети	18
3.1.6. Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети и всего цеха.....	20
3.1.7. Выбор конструктивного исполнения электрической сети, марки проводов, кабелей и типа шинпроводов, способов их прокладки.....	21
3.1.8. Выбор электротехнических устройств (ШР, ШРА, ШМА и ВРУ) и аппаратов защиты в них	22
3.1.9. Расчет защитных аппаратов электроприемников и электрических сетей.....	28
3.1.10. Выбор сечения проводов и жил кабелей, шинпроводов для подключения электроприемников и сетевых объектов.....	30
3.1.11. Выбор единичных мощностей и количества трансформаторов цеховых ТП и ВРУ.....	35
3.1.12. Компенсация реактивных нагрузок в электрических сетях цеха	40
3.1.13. Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания в электрических сетях на напряжение до 1 кВ.....	41
3.1.14. Проверка на электродинамическую стойкость к токам короткого замыкания ШР (ШРА) и на успешность срабатывания от токов короткого замыкания защитного аппарата линии, питающей ШР (ШРА)	48

3.1.15. Определение величины напряжения на зажимах наиболее удаленного от ВРУ (ТП) электроприемника цеха	48
3.1.16. Заключение	50
4. Литература	51
Приложения	54

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Ус Анатолий Георгиевич
Бахмутская Валентина Владимировна**

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Методические указания
к курсовому проектированию по разработке системы
внутрицехового электроснабжения для студентов
специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение
(по отраслям)», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
электрооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. И. Жукова*
Компьютерная верстка *М. В. Аникеенко*

Подписано в печать 20.09.10.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Ризография. Усл. печ. л. 3,95. Уч.-изд. л. 3,7.

Изд. № 235.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.