

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ
по дисциплине
«Цеховое электроснабжение»

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Профиль подготовки: Электроснабжение
Квалификация выпускника бакалавр
Форма обучения: заочная

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

- 1 Практическое занятие №1. Текстовые и графические документы проектов и порядок их разработки
- 2 Практическое занятие №2 Определение расчетной электрической нагрузки цеха
- 3 Практическое занятие №3. Выбор схем и расчет режимов распределительной сети напряжением 0,4 кВ
- 4 Практическое занятие №4. Выбор и проверка комплектных шинопроводов с номинальным напряжением 380/220 В
- 5 Практическое занятие №5. Выбор и проверка сечений силовых кабельных линий на напряжении до 1 кВ
- 6 Практическое занятие №6. Расчет потерь электроэнергии в силовых цеховых трансформаторах
- 7 Практическое занятие №7 Изменение параметров режима при компенсации реактивной мощности
- 8 Практическое занятие № 8 Разработка вариантов цехового электроснабжения и технико-экономическое сравнение вариантов
- 9 Практическое занятие №9. Расчет токов короткого замыкания
- 10 Практическое занятие №10 Выбор защитной аппаратуры и пускателей
- 11 Практическое занятие №11. Изучение конструктивного выполнения цеховых ТП
- 12 Практическое занятие №12. Изучение конструктивного выполнения шинопроводов напряжением 0,4 кВ

Приложение А

Приложение Б

ВВЕДЕНИЕ

Цель изучения дисциплины является формировании у студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», теоретических и практических навыков в области оптимального построения, функционирования и развития систем цехового электроснабжения, а также методов их проектирования.

Для достижения данной цели решаются следующие задачи:

- ознакомление с теоретическими и методологическими основами проектирования СЭС цехов ПП;
- формирование способности обоснования проектных решений.
- изучение методов оптимизационного анализа систем электроснабжения промышленных предприятий;
- формирование системных и профессиональных компетенций по проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий;
- решение вопросов повышения энергоэффективности с учетом экологических требований;
- систематизация, углубление и расширение теоретических знаний и практических навыков.

Практическое занятие № 1

Текстовые и графические документы проектов и порядок их разработки

Целью занятия является изучение текстовых и графических документов проектов и порядка их разработки.

В результате практического занятия студенты должны изучить текстовые и графические документы проектов и порядок их разработки.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью изучения текстовых и графических документов проектов и порядка их разработки.

Теоретическая часть

Пояснительные записки (ПЗ) оформляют на листах форматов, установленных ГОСТ 2.301-68. Составляют их по форме 9 и 9а (рисунок 1.1 и 1.2). При этом основную надпись и дополнительные графы к ней необходимо выполнять по ГОСТ 2.104-68 по форме 2а (см. основные надписи).

ПЗ в общем случае должна состоять из следующих разделов:

- введение (с указанием, на основании каких документов разработан проект);
- наименование и назначение проектируемой СЭС (ЭУ);
- техническая характеристика;
- описание и обоснование выбранных технических решений с указанием, какие элементы заимствованы из типовых проектов;
- расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность работы СЭС (ЭУ): «расчет электрических нагрузок»;
- расчеты по выбору линий электроснабжения, коммутационных аппаратов, основного электрооборудования;
- расчеты внешнего и внутреннего электрического освещения;
- расчеты по выбору узла учета электрической энергии;
- расчеты по обеспечению безопасности от атмосферного электричества, от

электрического тока и т.д.

- описание организации эксплуатации ЭУ с расчетом численности персонала для эксплуатации;
- ожидаемые технико-экономические показатели.

В зависимости от особенностей СЭС (ЭУ) отдельные разделы допускается объединять или исключать, а также вводить новые разделы.

Спецификация. Спецификацию составляют на отдельных листах на каждую ЭУ объекта или СЭС по форме 1 и 1а (рисунок 1.3 и 1.4). В спецификацию вносят составные части и элементы, из которых будут монтироваться ЭУ (СЭС).

210

5

20

5

297

Дополнительные графы по ГОСТ 2.104-68

Форма пояснительной записки (ПЗ);
программы и методики испытаний (ПМ);
таблиц (ТБ);
расчетов (РР);
инструкций (И);
документов прочих (Д).

Основная надпись по ГОСТ 2.104-68

5

Копировал

Формат А4

Рисунок 1.4 – Форма 9 пояснительной записки - заглавный лист

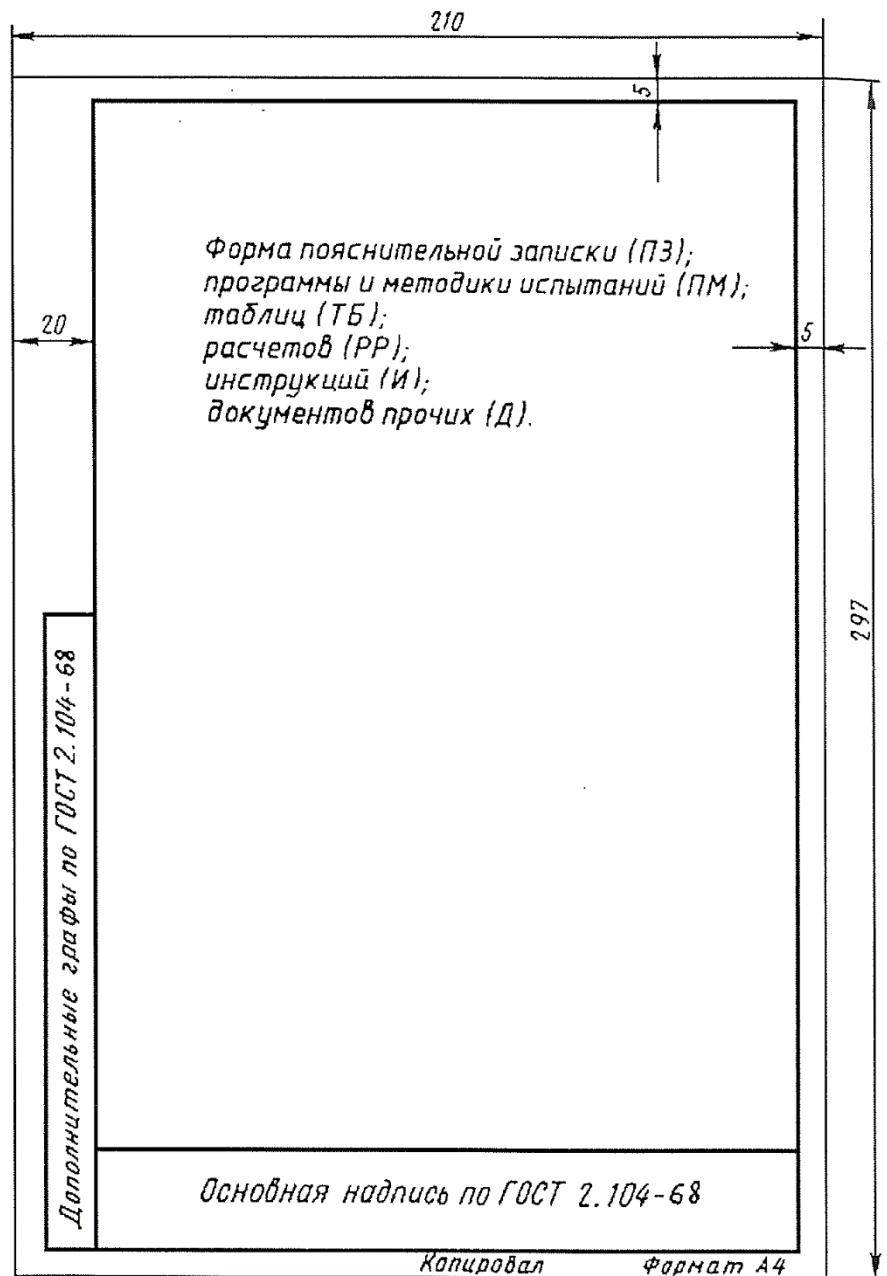


Рисунок 1.5 – Форма 9а пояснительной записки - последующие листы

В общем случае спецификация должна состоять из разделов, которые располагаются в следующей последовательности:

- документация;
- комплексы (дизель-электрические станции, агрегаты бесперебойного питания и т.д.);
- составные части (щит управления дизельгенератором и т.д.);
- кабельная продукция и провода;

- электроустановочные устройства и коммутационные аппараты;
- элементы системы освещения;
- прочие изделия;
- материалы;
- комплекты.

Наличие тех или иных разделов определяется назначением, типом и составом СЭС. Наименование каждого раздела указывают в виде заголовка в графе «Наименование» и подчеркивают. Допускается объединять разделы «Прочие изделия» и «Материалы» под наименованием «Прочие изделия».

В раздел «Документация» вносят документы, составляющие основной комплект. Документы внутри раздела записывают в следующей последовательности:

- документы на проектирование:
 - технические условия на присоединение к сетям электроснабжающей организации;
 - справку на электрическую мощность;
 - акт разграничения сетей по балансовой и эксплуатационной ответственности (акт технологическом присоединении);
 - акт выполнения технических условий;
 - документы на изделия (комплексы, составные части, кабельную продукцию, электроустановочные устройства и коммутационные аппараты; элементы систем освещения);
 - документы на материалы (металлические уголок и полоса и т.д.);
 - документы на комплекты (средства защиты, пожаротушения и безопасности). Документы рекомендуется записывать в алфавитном порядке сочетания букв кодов организаций разработчиков (изготовителей).

В разделах «Комплексы» и «Составные части» запись указанных изделий рекомендуется производить также в алфавитном порядке, как и для раздела «Документы».

В разделах «Кабельная продукция и провода», «Электроустановочные

устройства и коммутационные аппараты» и «Элементы систем освещения» вносят марки кабелей и проводов с указанием их длин, типы установочных изделий: выключатели, розетки, разветви-гельные коробки, типы коммутационных аппаратов и т.п. Иногда эти разделы объединяют в один раздел «Стандартные изделия», т.к. их выполняют по стандартам:

- межгосударственным;
- государственным;
- отраслевым;
- предприятий (для вспомогательного производства, инициативных разработок или если их применение установлено договором на разработку изделия).

В пределах каждой категории стандартов запись рекомендуется производить по группам изделий, объединенных по их функциональному назначению в пределах каждой группы - в алфавитном порядке наименований изделий, в пределах каждого наименования - в порядке возрастания обозначений стандартов, а в пределах каждого обозначения стандарта - в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

В раздел «Прочие изделия» вносят изделия, примененные по техническим условиям. Запись изделий рекомендуется производить по группам, объединенным по их функциональному назначению, в пределах каждой группы - в алфавитном порядке наименований изделий, а в пределах каждого наименования - в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

В раздел «Материалы» вносят все материалы, непосредственно входящие в специфицируемое изделие, относящееся к СЭС (ЭУ) объекта.

Technical drawing of a specification form (Form 1) with dimensions and layout details.

Overall dimensions: 210 (width) x 297 (height).

Header section (top):

- Top margin: 5
- Header row height: 15
- Header row labels: Формат, Зона, Поз., Обозначение, Наименование, Кол., Примечание.
- Header row widths: 6, 5, 8, 70, 53, 10, 22.

Main table area:

- Table height: 20
- Table width: 210
- Table columns: 7 (Формат, Зона, Поз., Обозначение, Наименование, Кол., Примечание).
- Table rows: 20 (including header row).

Additional details:

- Left margin: 5
- Right margin: 5
- Bottom margin: 5
- Bottom section label: Основная надпись по ГОСТ 2.104-68
- Bottom section width: 210
- Bottom section height: 5
- Bottom section label: Копировал, Формат А4

Рисунок 1.6 – Форма 1 спецификации - заглавный лист.

Материалы рекомендуется записывать по видам в следующей последовательности:

- металлы черные;
- металлы магнитоэлектрические и ферромагнитные;
- металлы цветные;

- [illegible]

В пределах каждого вида материала рекомендуется записывать в алфавитном поряд наименований, а в пределах каждого наименования - по

возрастанию размеров или друп технических параметров.

В раздел «Материалы» не записывают материалы, необходимое количество которое не может быть определено проектировщиком по размерам элементов изделия и в следств этого устанавливается технологом. К таким материалам относят, например: лаки, краск клей, смазки, замазки, припой, электроды. Указание о применении таких материалов да в технических требованиях на поле чертежа.

В раздел «Комплекты» вносят ведомость эксплуатационных документов, ведомое документов для ремонта и комплекты, которые непосредственно входят в специфицир мое изделие и поставляются вместе с ним и записывают их в следующей последовательности:

- ведомость эксплуатационных документов;
- ведомость документов для ремонта;
- комплект монтажных частей;
- комплект запасных частей;
- комплект инструмента и принадлежностей;
- комплект средств пожаротушения и защиты персонала;
- прочие комплекты (за присвоенными им наименованиями).

Если комплектов одного и того же наименования несколько, то их записывают в пределах одного наименования в порядке возрастания обозначений.

Если в состав комплекта входит не более трех наименований, то спецификацию можно не составлять, а изделия, входящие в комплект, должны быть записаны непосредственно в спецификацию соответствующего изделия в разделе «Комплекты». При этом наименование комплекта, к которому относятся вносимые в спецификацию изделия. записывают в графу «Наименование» в виде заголовка и не подчеркивают.

Спецификацию комплекта монтажных частей составляют на комплект монтажных частей изделий и материалов, предназначенных для связи составных частей комплекса между собой и монтажа комплекса или сборочной

единицы на месте эксплуатации.

В спецификацию комплекта запасных частей вносят изделия и материалы, необходимые для замены пришедших в негодность соответствующих составных частей изделия при эксплуатации.

В спецификацию комплекта инструмента и принадлежностей вносят инструмент, принадлежности, приспособления и материалы, используемые при эксплуатации изделия.

Запись по разделам можно производить в следующей последовательности:

- инструмент;
- принадлежности;
- приспособления;
- материалы.

Если комплекты поставляют отдельно от изделия, для которого они предназначены, то в спецификацию изделия их не записывают. При необходимости в конце спецификации изделия помещают примечание, в котором приводят обозначения всех спецификаций комплектов, которые предназначены для эксплуатации и ремонта, соответствующего количества экземпляров (групп) данного изделия, но поставляемых отдельно от него.

Графы спецификации заполняют следующим образом:

- в графе «Формат» указывают форматы документов, обозначения которых записывают в графе «Обозначение». Если документ выполнен на нескольких листах различных форматов, то в графе «Формат» проставляют «звездочку» со скобкой, а в графе «Примечание» перечисляют все форматы в порядке их увеличения.

Для документов, записанных в разделе «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы». Графу «Формат» не заполняют. Для деталей, на которые не выпущены чертежи, в графе «Формат» указывают БЧ (без чертежей).

Для документов, изданных типографским, литографским и подобными

способами на форматах, предусмотренных соответствующими государственными стандартами для типографских изданий, в графе «Формат» ставят прочерк;

- в графе «Зона» указывают обозначение зоны, в которой находится номер позиции

- уписываемой составной части (при разбивке поля чертежа на зоны по ГОСТ 2.104-68).

Если имеются повторяющиеся номера позиций, то в спецификации в графе «Зона» проставляют «звездочку» со скобкой, а в графе «Примечание» указывают все зоны;

- в графе «Поз.» указывают порядковые номера составных частей, непосредственно

«ходящих в специфицируемое изделие, в последовательности записи их в спецификации.

Чтя разделов «Документация», «Комплекты» графу «Поз.» не заполняют.

В разделе «Материалы» - общее количество материалов на одно специфицируемое изделие с указанием единиц измерения. Допускается единицы измерения записывать в графе «Примечание» в непосредственной близости от графы «Кол.».

В разделе «Документация» графу не заполняют;

- в графе «Примечание» указывают дополнительные сведения для планирования и организации производства, а также другие сведения, относящиеся к записанным в спецификацию изделиям, материалам и документам, например, для деталей, на которые не выпущены чертежи, - массу.

Для документов, выпущенных на двух и более листах различных форматов, указывают обозначение форматов, перед перечислением которых проставляют знак «звездочки», например, *) А4, А3.

После каждого раздела спецификации допускается оставлять несколько свободных строк для дополнительных записей (в зависимости от стадии

разработки, объема записей и т.п.). Допускается резервировать и номера позиций, которые проставляют в спецификацию при заполнении резервных строк.

В проекте обязательно должна быть ведомость ссылочных документов, документов на которые делались ссылки в пояснительной записке. Ведомость ссылочных документов ВД составляют по формам 4 и 4а (рис. 2.5 и 2.6). В ВД перечисляют документы, на которые имеются ссылки в конструкторских документах изделия, например:

- отраслевые стандарты и стандарты предприятий;
- технические условия на покупные изделия и материалы;
- технологические инструкции, устанавливающие отдельные требования к изделию (к покрытию, термообработке, сварке и т.п.).

Запись ссылочных документов в ВД производят по разделам в следующей последовательности:

- документы предприятий;
- отраслевые документы;
- государственные документы;
- межгосударственные документы.

Наименование разделов записывают в виде заголовков в графе «Наименование» и подчеркивают. В каждом разделе документы рекомендуется группировать по видам в следующей последовательности:

- стандарты;
- технические условия на покупные изделия и материалы;
- инструкции и т.п.

Документы одного вида рекомендуется записывать в порядке возрастания обозначений.

Графы ВД заполняют следующим образом:

- в графе «Обозначение» указывают обозначение документа;
- в графе «Наименование» указывают наименование документа.

В ВД комплекса не перечисляют ссылочные документы составных частей

комплекс, на которые имеются свои ВД. В этом случае в конце ведомости дают ссылку на ВД в'хо: щих составных частей.

Таблицы. Таблицы выполняют на формах 9 и 9а, допускается применять форматы / при этом основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют в соответствии требованиями ГОСТ 2.104-68 (формы 2 и 2а).

Расчеты. Расчеты выполняют на формах 9 и 9а, допускается применять форматы, п этом основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют также в соответствии1 требованиями ГОСТ 2.104-68.

Порядок изложения расчетов определяется характером рассчитываемых величин.

Расчеты в общем случае должны содержать:

- эскиз или схему рассчитываемого изделия;
- задачу расчета (с указанием, что требуется определить при расчете);
- данные для расчета;
- условия расчета;
- расчет;
- заключение.

Эскиз или схему допускается вычерчивать в произвольном масштабе, обеспечившем четкое представление о рассчитываемом изделии.

Программы и методики испытаний (ПМ).

ПМ выполняют на формах 9 и 9а (рис. 2.1 и 2.2), необходимые схемы, таблицы и ч тежи допускается выполнять на форматах А3, при этом основную надпись и дополненные графы к ней выполняют в соответствии с ГОСТ 2.104-68 (форма 1а).

Содержание ПМ обеспечивает объективную оценку качества изделия, в общем слу должна состоять из следующих разделов:

- общие положения;
- общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний;
- требования безопасности;
- определяемые показатели (характеристики) и точность их измерения;

- режимы испытаний изделия;
- методы испытаний и (или) измерений;
- отчетность.

В разделе «Общие положения» помещают:

- наименование и обозначение изделия в соответствии с основным конструкторским документом (проектом);
- цель испытаний;
- вид (виды) испытаний, которым подвергается изделие;
- условия предъявления изделия на испытания (порядок отбора, количество, комплектность, документальное сопровождение при предъявлении);
- порядок взаимодействия предъявителя изделия с представителем заказчика и другими предприятиями, участвующими в испытаниях.

В разделе «Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний» помещают требования:

- искусственно создаваемой или моделируемой среды и т.п.);
- к основным и дублирующим видам топлива, масел, охлаждающей жидкости, газов и т.п.;
- к подготовке изделия к испытаниям;
- к порядку работы на изделии по завершении испытаний;

Общие требования к текстовым документам и порядок их разработки к персоналу, осуществляющему подготовку к испытанию и испытание.

В разделе «Требования безопасности» помещают:

- требования безопасности при подготовке изделия к испытаниям;
- требования безопасности при проведении испытаний;
- требования безопасности при выполнении работ по завершению испытаний.

№ строки	Обозначение	Наименование
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		

Дополнительные графы по ГОСТ 2.104-68

Основная надпись по ГОСТ 2.104-68

Копировал Формат А4

Рисунок 1.8 – Форма 4 ведомости ссылочных документов - заглавный лист

№ строки	Обозначение	Наименование
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		

Дополнительные графы по ГОСТ 2.104-68

Основная надпись по ГОСТ 2.104-68

Копирован Формат А4

Рисунок 1.9 – Форма 4а ведомости ссылочных документов - последующие листы

В последние годы появилось большое количество новых коммутационных аппаратов и других электротехнических изделий, которые ранее не эксплуатировались. Для таких изделий в разделе «Организация эксплуатации ЭУ» могут представляться программы и методики испытаний.

В разделе «Определяемые показатели (характеристики) и точность их

измерений» помещают:

- перечень определяемых показателей (характеристик) с указанием наименования, обозначения (при наличии), единицы измерения;
- номинальные значения показателей (характеристик) и предельные отклонения от номинальной величины или пределы изменения;
- указания, на каких видах и на каких этапах видов испытаний определяются показатели (характеристики).

Инструкции. Инструкции выполняют на формах допускается применять форматы А3, при этом основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.104-68 (формы 2 и 2а).

Ф-Т	ЗОНА	ПОЗ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛ.	ПРИМЕЧАНИЕ																																																
А3			АБВГ.291439.015 СБ	Сборный чертёж																																																		
А4			АБВГ.291439.015 РЭ	Руководство по эксплуатации																																																		
А3		1	АБВГ.711322.003	Фланец	1																																																	
А3		2	АБВГ.721112.013	Валик-шестерня	1																																																	
А4		3	АБВГ.751812.001	Рейка	1																																																	
А4		4	АБВГ.753741.004	Рукоятка	1																																																	
		5		Винт М5-6х10.66.05	4																																																	
		6		ГОСТ 1491-80 Штифт 3м6х20 ГОСТ 3128-70	2																																																	
		7		Масленка ЕГОС.301521.005 ТУ	1																																																	
<table border="1"> <tr> <td colspan="5"></td> <td colspan="3">АБВГ.291439.015</td> </tr> <tr> <td>ИЗМ.</td> <td>Л</td> <td>№ ДОКУМ</td> <td>ПОДП.</td> <td>ДАТА</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>РАЗРАБ.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>ПРОВ.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Н.КОНТР.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>УТВ.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> </tr> </table>												АБВГ.291439.015			ИЗМ.	Л	№ ДОКУМ	ПОДП.	ДАТА				РАЗРАБ.								ПРОВ.								Н.КОНТР.								УТВ.							
					АБВГ.291439.015																																																	
ИЗМ.	Л	№ ДОКУМ	ПОДП.	ДАТА																																																		
РАЗРАБ.																																																						
ПРОВ.																																																						
Н.КОНТР.																																																						
УТВ.																																																						
					ЛИТ.		Л	Л-В																																														
					0			1																																														
					Зажим реечный																																																	
ИНВ № ПОДЛ		ПОДП И ДАТА		ВЗАМ ИНВ №		ИНВ № ДУБЛ		ПОДП И ДАТА																																														

Формат А4

Рисунок 1.10 – Пример заполнения спецификации

Порядок изложения инструкций определяется характером излагаемых требований.

Прочие документы. Документы прочие выполняют также на формах, указанных выше, Допускается применять формат А3, при этом основную

надпись и дополнительные графы к ней выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ и форм, указанных выше.

Порядок изложения документов прочих определяется характером излагаемых требований.

Примеры заполнения текстовых документов приведены на рис. (примеры выполнены на ЭВМ). Обозначения в примерах указаны условно.

Основные надписи в текстовых документах выполняются по ГОСТ 12.104-68. Основные надписи, дополнительные графы к ним и рамки выполняют сплошными основными сплошными тонкими линиями по ГОСТ 2.303-68. Основные надписи располагают в правом нижнем углу разрабатываемых документов.

№ С-ки	ОБОЗНАЧЕНИЕ	НАИМЕНОВАНИЕ						
1	СТП 1501.02.005-93	Регулировка и пуск распределителей. Инструкция Отливка в кокиль алюминиевых сплавов. Инструкция (и т.д.) Общие требования к контролю отливок Лампа ГС-45Б. Технические условия Лампа СК-25. Технические условия Приспособления для пайки алюминия и его сплавов. Технические условия (и т.д.)						
2	СТП 1501.02.005-93							
3	ОСТ 35.1182-93							
4								
5	ТАГ1К.432831.005ТУ							
6	ТАПК.433825.001ТУ ЦВАА.296156.015ТУ							
АГБВ.318231.1 МВД								
изм.	Л	№	ПОД	ДАТ				
РАЗРАБ. ПРОВ. Н.КОНТ Р УТВ.					Распределитель автоматический Ведомость ссылочных документов	ЛИТ.	Л	Л-В
						0		1
ИНВ №		ПОДП И		ВЗАМ ИНВ		ИНВ №		ПОДП И ДАТА

Формат А4

Рисунок 1.11 – Пример заполнения ссылочных документов

Содержание, расположение и размеры граф основных надписей, дополнительных граф к ним, а также размеры рамок на чертежах и схемах должны соответствовать форме 1 основных надписей, представляемых на рис.

2.9, а в текстовых документах - формам 2, 2а и 2б.

На листах формата А4 по ГОСТ 2.301-68 основные надписи располагаются вдоль короткой стороны листа.

Таблица изменений в основной надписи при необходимости может продолжаться вверх ИЛИ влево от основной надписи (при наличии графы 33 - влево от нее).

При расположении таблицы изменений слева от основной надписи наименование граф 14-18 повторяют.

Расположение дополнительных граф показано на рис.

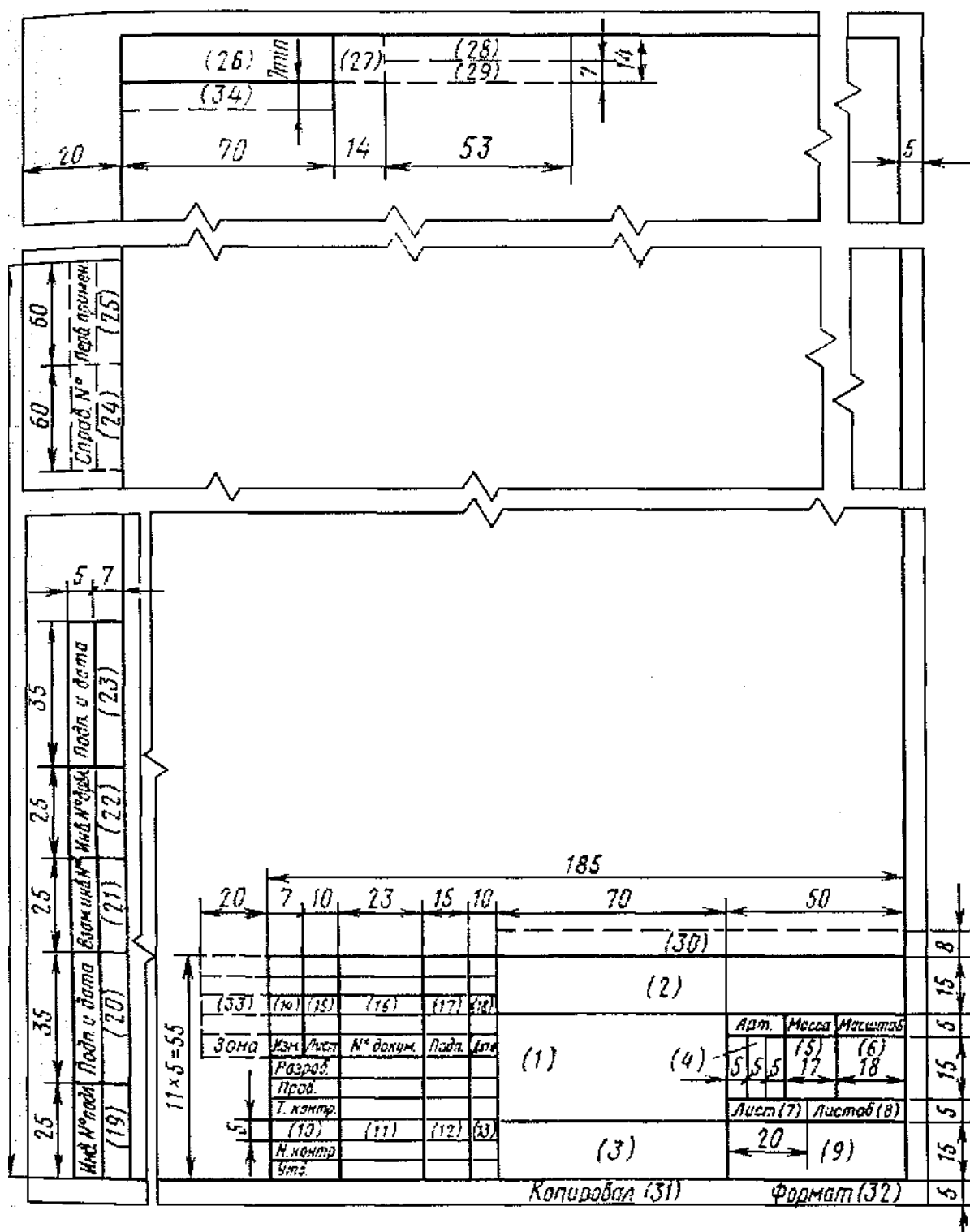


Рисунок 1.12 – Форма 1 основных надписей для чертежей и схем - первый лист

Для быстрого нахождения на чертеже (схеме) составной части изделия или его элемента рекомендуется разбивать поле чертежа (схемы) на зоны. Отметки, разделяющие чертёж (схему) на зоны, рекомендуется наносить на расстоянии, равном одной из сторон формата А4.

- в графе 1 - наименование изделия (в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109-73), а также наименование документа, если этому документу присвоен код. Для изделий народнохозяйственного назначения, допускается не указывать наименование документа, если его код определен ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.601-95, ГОСТ 2.602-95, ГОСТ 2.701-84;

~ в графе 2 - обозначение документа;

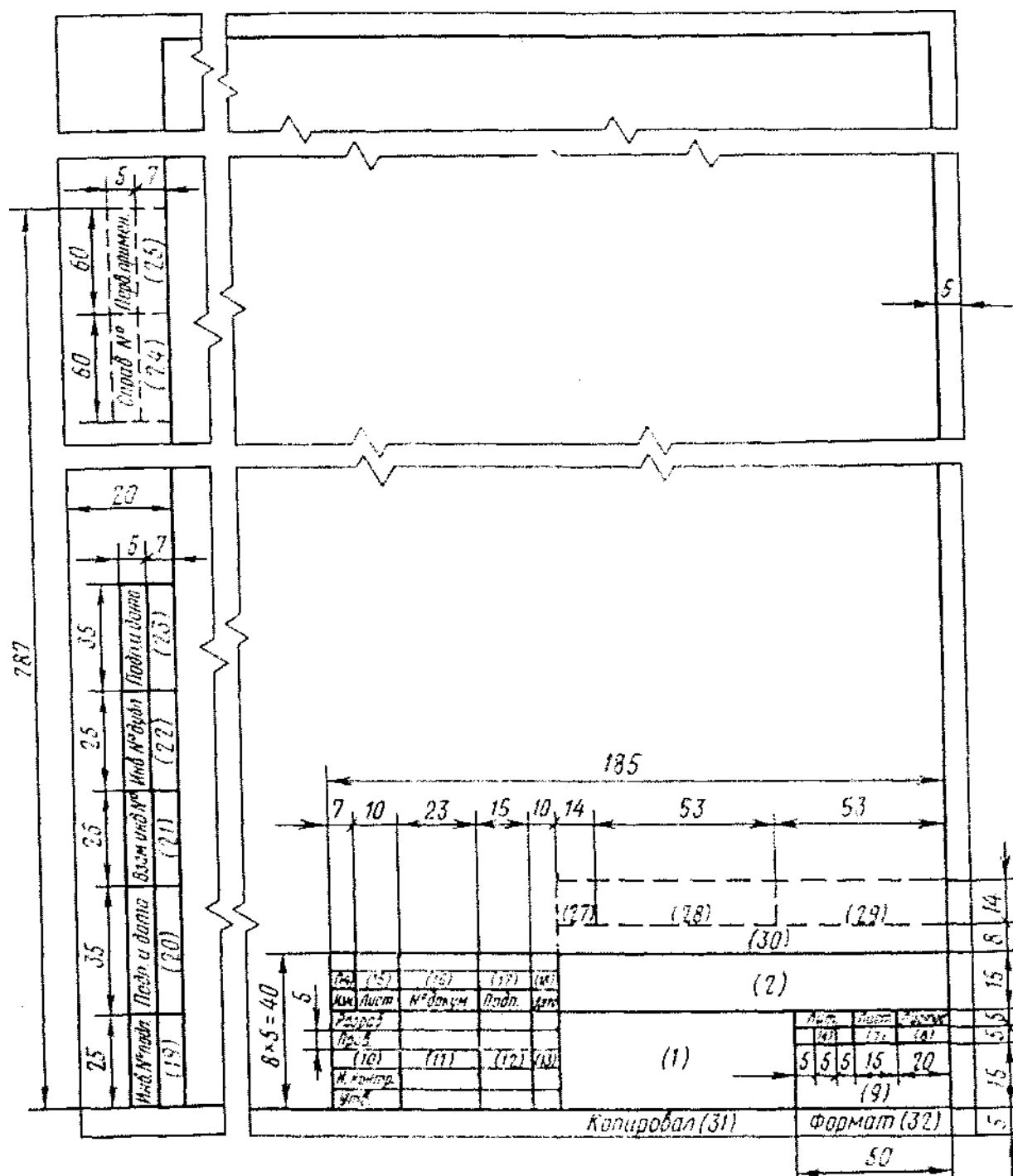


Рисунок 1.13 – Форма 2 основных надписей для текстовых документов -
первый

ИЛИ ЗАГЛАВНЫЙ ЛИСТ

- в графе 3 - обозначение материала детали (графу заполняют только на чертежах деталей);
- в графе 4 - литеру, присвоенную данному документу (графу заполняют последовательно, начиная с крайней левой клетки).

Отметки наносят:

по горизонтали - арабскими цифрами справа налево;

по вертикали - прописными буквами латинского алфавита снизу вверх.

Зоны обозначают сочетанием цифр и букв, например: 1А, 2А, 3А, IV, 2В, 3В и т.д.

На чертежах (схемах) с одним обозначением, выполненных на нескольких листах, нумерация зон по горизонтали должна быть сквозной в пределах всех листов.

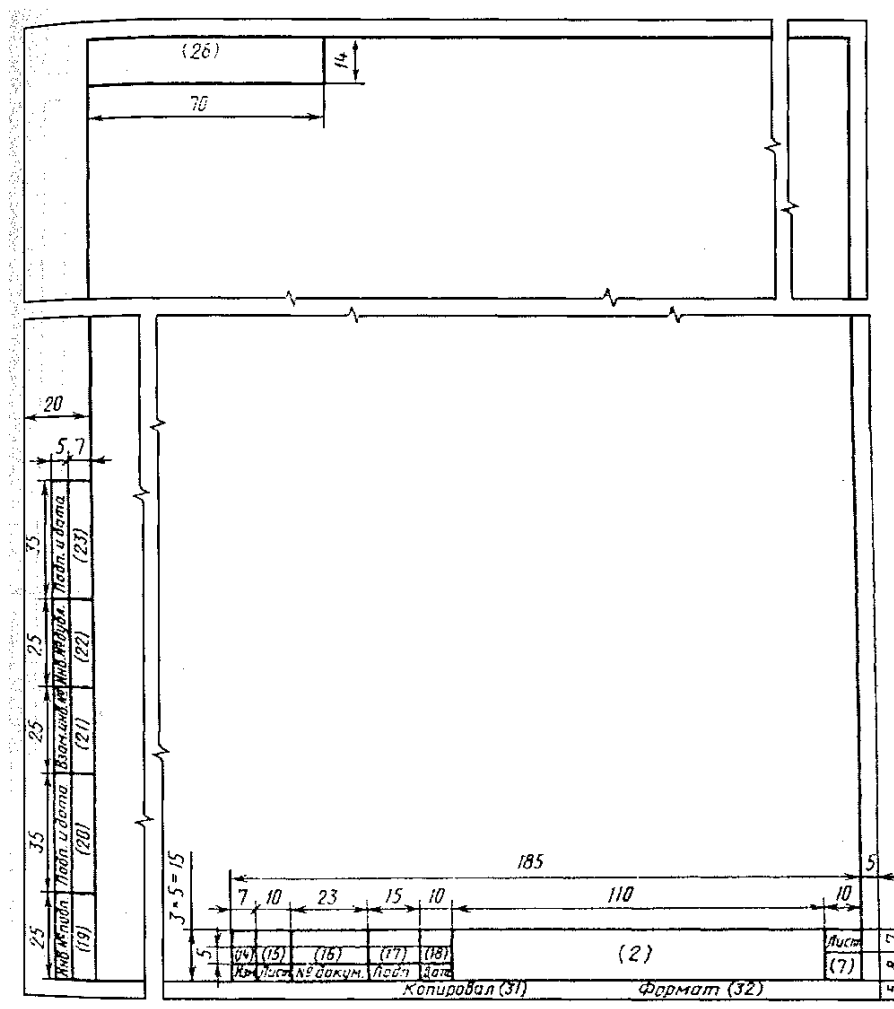


Рисунок 1.14 –

В графах основной надписи и дополнительных графах (номера граф на формах покачаны в скобках) указывают:

Допускается в рабочей документации литеру проставлять только в спецификациях и технических условиях.

Для изделий, разрабатываемых по заказу, перечень документов, на которых должна осязательно проставляться литера, согласуется с заказчиком (представителем заказчика);

- в графе 5 - массу изделия по ГОСТ 2.109-73;

Нечетный номер страницы

(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(2)	(7)
Лит.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Копировал (31)	Формат (32)

Рисунок 1.15 –

Четный номер страницы

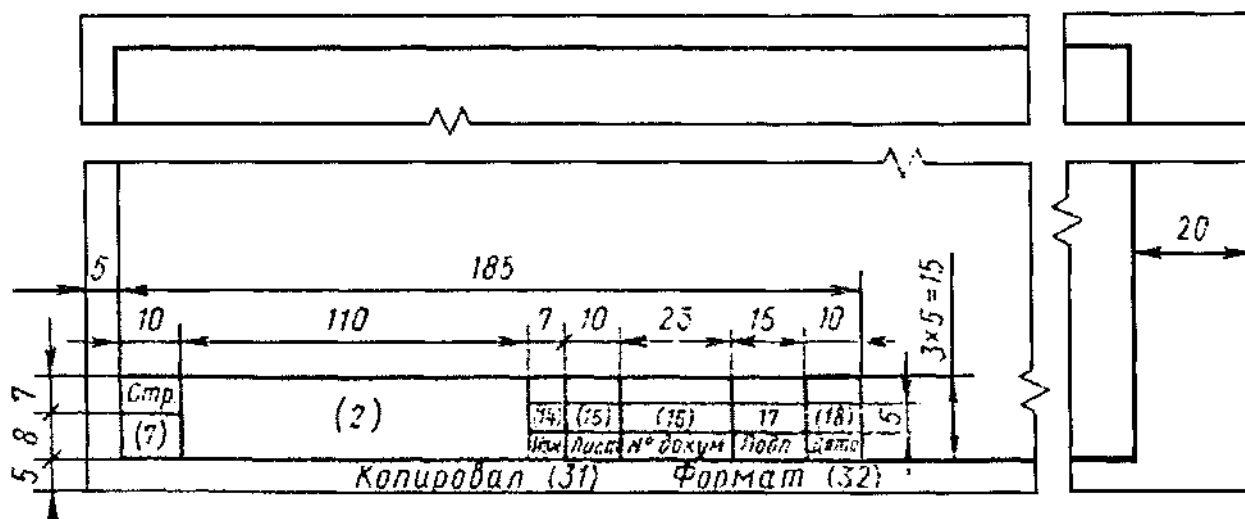
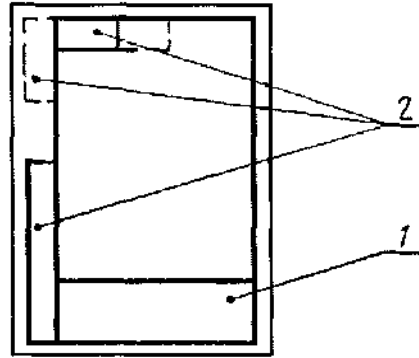
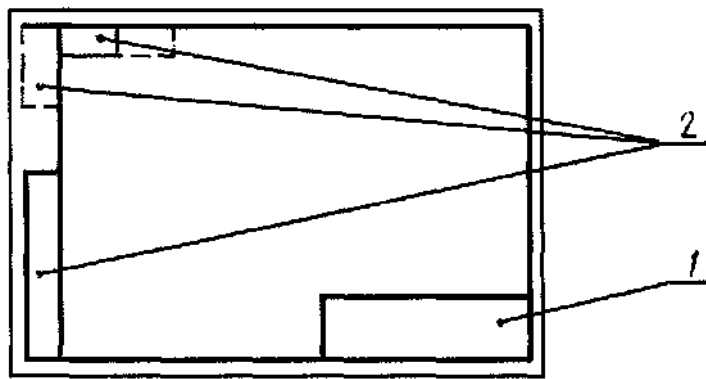


Рисунок 1.16 – Форма 26 основной надписи для текстовых документов при двухстороннем копировании - последующие листы

Для формата А4



Для форматов больше А4 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа



Для формата больше А4 при расположении основной надписи вдоль короткой стороны листа

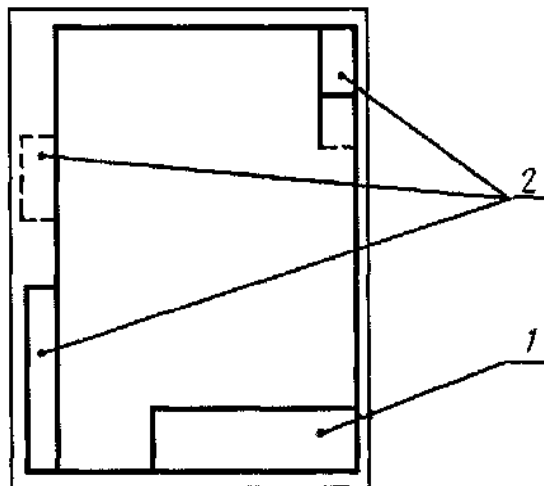
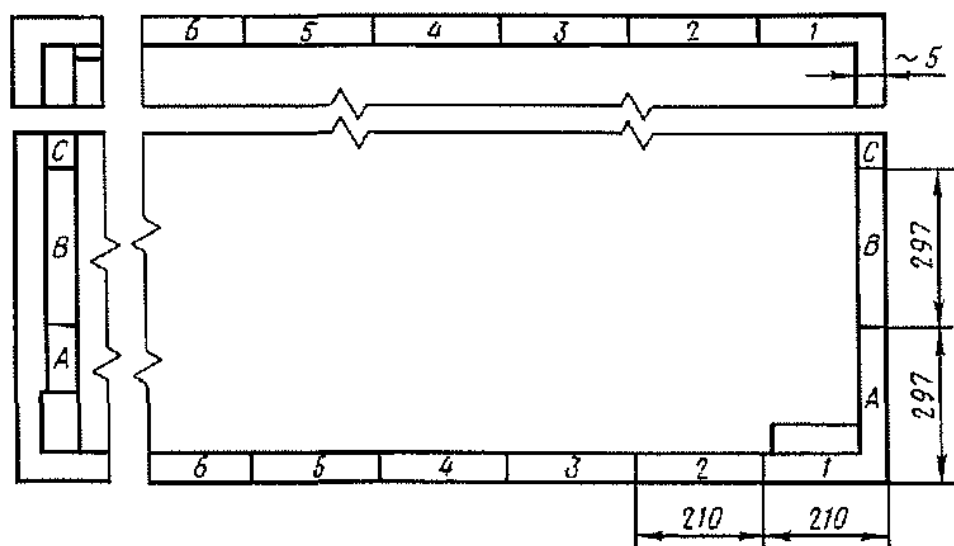
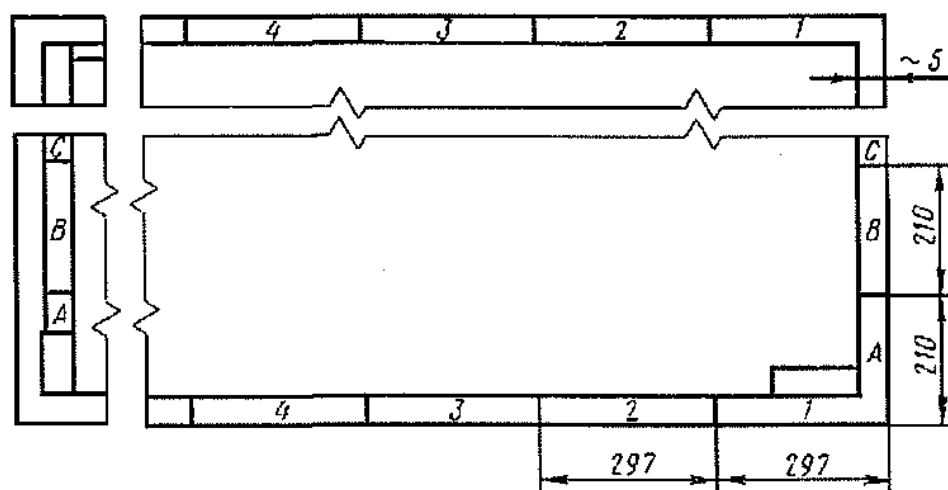


Рисунок 1.17 – Расположение дополнительных граф на схемах и текстовых документах: 1 - основная надпись, 2 - дополнительные графы



а)



б)

Рисунок 1.18 – Примеры разбивки поля чертежа на зоны

- а - разделение на зоны равные меньшей стороне листа формата А4, б - разделение на зоны равные большей стороне листа формата А4
- в графе 6 - масштаб (проставляется в соответствии с ГОСТ 2.302-68 и ГОСТ 2.10-73);
- в графе 7 - порядковый номер листа (на документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют);
- в графе 8 - общее количество листов документа (графу заполняют только на первом листе);
- в графе 9 - наименование или различительный индекс предприятия, выпускающие документ (графу не заполняют, если различительный индекс

содержится в обозначении документа);

- в графе 10 - характер работы, выполняемой лицом, подписывающим документ, соответствии с формами 1 и 2. Свободную строку заполняют по усмотрению разработчика, например: «Начальник отдела», «Начальник лаборатории», «Рассчитал»;
- в графе 11 - фамилии лиц, подписавших документ;
- в графе 12 - подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11;

Подписи лиц, разработавших данный документ и ответственных за нормоконтроль, являются обязательными.

При отсутствии титульного листа допускается подпись лица, утвердившего документ, размещать на свободном поле первого или заглавного листа документа в порядке, установленном для титульных листов по ГОСТ 2.105-95.

-если необходимо на документе наличие визы должностных лиц, то их размещают на для подшивки первого или заглавного листа документа; -в графе 13 - дату подписания документа;

-в графах 14 - 18 - графы таблицы изменений, которые заполняют в соответствии с наименованиями ГОСТ 2.503-90;

-в графе 19 - инвентарный номер подлинника по ГОСТ 2.501-88;

- в графе 20 - подпись лица, принявшего подлинник в отдел (бюро) технической документации, и дату приемки;

- в графе 21 - инвентарный номер подлинника, взамен которого выпущен данный подлинник по ГОСТ 2.503-90;

- в графе 22 - инвентарный номер дубликата по ГОСТ 2.502-68;

- в графе 23 - подпись лица, принявшего дубликат в отдел (бюро) технической документации, и дату приемки;

- в графе 24 - обозначение документа, взамен или на основании, которого выпущен данный документ. Допускается также использовать графу для указания обозначения документа аналогичного изделия, для которого ранее изготовлена технологическая оснастка, необходимая для данного изделия;

- в графе 25 - обозначение соответствующего документа, в котором впервые записан данный документ;
- в графе 26 - обозначение документа, повернутое на 180° для формата А4 и для форматов больше А4 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа и на 40° для форматов больше А4 при расположении основной надписи вдоль короткой стороны листа;
- в графе 27 - знак, установленный заказчиком в соответствии с требованиями нормативно-технической документации и проставляемый представителем заказчика;
- в графе 28 - номер решения и год утверждения документации соответствующей литеры;
- в графе 29 - номер решения и год утверждения документации;
- в графе 30 - индекс заказчика в соответствии с нормативно-технической документацией;
- в графе 31 - подпись лица, копировавшего чертеж;
- в графе 32 - обозначение формата листа по ГОСТ 2.301-68;
- в графе 33 - обозначение зоны, в которой находится изменяемая часть изделия;
- в графе 34 - номера авторских свидетельств на изобретения, использованные в данном изделии.

Рассмотрим общие правила выполнения чертежей и схем, более подробно указанные правила можно рассматривать только на примере конкретного проекта, что превратит справочник в инструкцию, в которой сделана попытка дать ответы проектировщику на все вопросы, что в принципе невозможно.

Примечания:

- 1- Графа 26 на форме 2а является обязательной только для чертежей и схем
2. Графы, выполненные штриховой линией, вводят при необходимости. Графы 27-30 обязательны для документов, утверждаемых заказчиком.
3. При использовании для последующих листов чертежей и схем формы

1 графы 1, 3, 4, 5, 6,9 не заполняют.

В нормативно-технических документах изложены достаточно четкие требования и к выполнению схем. Рассмотрим эти требования.

Основными техническими документами, которые дают целостное наглядное представление об электрической сети и т.п. являются чертежи или электрические схемы.

Основными техническими документами, в которых должен хорошо разбираться каждый проектировщик, электромонтажник и электромонтер, являются чертежи и электрические схемы.

Чертеж дает представление о форме, размере, материале и составе изделия (установки). Однако во многих случаях, когда данное изделие (установка) состоит из целого ряда элементов (деталей), по чертежу не всегда можно понять взаимную функциональную связь между этими элементами. Чтобы разобраться в этих связях, служит схема, что особенно важно при пользовании чертежами электрических установок.

Электрической схемой называют упрощенное и наглядное изображение связи между отдельными элементами электрической цепи, выполненное при помощи условных обозначений и позволяющее понять принцип действия данного электрического устройства, определить его состав (с некоторым приближением) его стоимость.

Электрическая схема облегчает ознакомление с любой электроустановкой и с любым электрическим аппаратом, как в натуре, так и в чертежах, а при аварии помогает найти место повреждения в электрической цепи, является руководством при монтаже любых видов электропроводок, а также дает указание о способе и порядке соединений отдельных участков цепи.

Согласно ГОСТ 2.701-84 схемы в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия (установки), подразделяют на следующие виды:

- электрические;
- гидравлические;

- пневматические;
- газовые (кроме пневматических);
- кинематические;
- вакуумные;
- оптические;
- энергетические;
- деления;
- комбинированные.

Для изделия, в состав которого входят элементы разных видов, разрабатывают сколько схем соответствующих видов одного типа, например, схема электрическая принципиальная и схема гидравлическая принципиальная или одну комбинированную схему содержащую элементы и связи разных видов.

На схеме одного вида допускается изображать элементы схем другого вида, непосредственно влияющие на работу схемы этого вида, а также элементы и устройства, не входящие в изделие (установку), на которое (которую) составляют схему, но необходимые для разъяснения принципов работы изделия (установки).

В данном параграфе будем рассматривать общие требования к выполнению схем всех видов, но более подробно будут рассмотрены схемы электрические.

Кроме рассмотренной классификации схемы в зависимости от основного назначения подразделяются на следующие типы:

- структурные;
- функциональные;
- принципиальные;
 - соединений;
- подключения;
- общие;
- расположения;

- объединенные.

Электрические схемы кроме указанных типов бывают: принципиальные - полные, а мы соединений - монтажные.

Наименование и код схем определяют их видом и типом. Наименование схемы комбинированной определяют комбинированными видами схем и типов схемы.

Наименование схемы, объединенной определяют видом схемы и объединенными типами схемы.

Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы, и цифровой части, определяющей тип схемы. Виды схем обозначают буквами:

электрические	-Э;
гидравлические	-Г;
пневматические	-П
газовые (кроме пневматических)	-Х
кинематические	-К;
вакуумные	-В
оптические	-Л
энергетические	~Р;
деления	-Е;
комбинированные	-С

Типы схем обозначают цифрами:

структурные	-1;
функциональные	-2;
принципиальные (полные)	-3;
соединений (монтажные)	-4;
подключения	-5;
общие	-6;
расположения	-7;
объединенные	-8;

Например, схема электрическая принципиальная - ЭЗ; схема гидравлическая соединений - Г4; схема деления структурная - Е1; схема электрогидравлическая принципиальная - СЗ; схема электрогидропневмокинематическая принципиальная - СЗ; схема электрическая соединений и подключения - ЭО; схема гидравлическая структурная, принципиальная и соединений - ГО.

К схемам или взамен схем в случаях, установленных правилами выполнения конкретных видов схем, выпускают в виде самостоятельных

документов таблицы, содержащие введения о расположении устройств, соединениях, местах подключения и другую информацию. Таким документам присваивают код, состоящий из буквы Т и кода соответствующей схемы. Например, код таблицы соединений к электрической схеме соединений - ТЭ4.

В основной надписи (графа 1) документа указывают наименование изделия, а также наименование документа «Таблица соединений». Таблицы соединений записывают в спецификацию после схем, к которым они выпущены, или вместо них.

Допускается разрабатывать схемы совмещенные, когда на схемах одного типа помещают сведения, характерные для схемы другого типа, например, на схеме соединений изделия (установки) показывают его внешние подключения. При выполнении схем совмещенных должны быть соблюдены правила, установленные для схем, соответствующих типов. Номенклатура, наименования и коды совмещенных схем должны быть установлены в отраслевых стандартах.

Если в связи с особенностями изделия (установки) объем сведений, необходимых для его проектирования, регулировки, контроля, ремонта и эксплуатации, не может быть дан в комплекте документации в схемах установленных видов и типов, то допускается обрабатывать схемы прочих видов и типов.

Номенклатура, наименования и коды прочих схем должны быть установлены в отраслевых стандартах.

На изделие (установку) допускается выполнять схему определенного вида и ТИПЕ нескольких листах или вместо одной схемы определенного вида и типа выполнять совокупность схем того же вида и типа. При этом каждая схема должна быть оформлена самостоятельным документом.

При выпуске на изделие (установку) нескольких схем определенного вида и в виде самостоятельных документов допускается в наименовании схемы указывать названия функциональной цепи или функциональной группы (например, схема электрическая принципиальная привода, схема электрическая принципиальная цепей питания; схема гид логическая принципиальная

привода, схема гидравлическая принципиальная смазки, из гидравлическая принципиальная охлаждения).

В этом случае каждой схеме присваивают обозначение по ГОСТ 2.201-80, как самостоятельному конструкторскому документу и, начиная со второй схемы, к коду схемы обозначению добавляют через точку арабскими цифрами порядковые номера например.

АБВГ.ХХХХХХ.ХХХЭЗ,

АБВГ.ХХХХХХ.ХХХЭЗ.1;

АБВГ.ХХХХХХ.ХХХП

АБВГ.ХХХХХХ.ХХХГЗ.1,

АБВГ.ХХХХХХ.ХХХГЗ.2).

Соответствия кодов типов электрических схем по ГОСТ 2.701-84 приведено в табл.

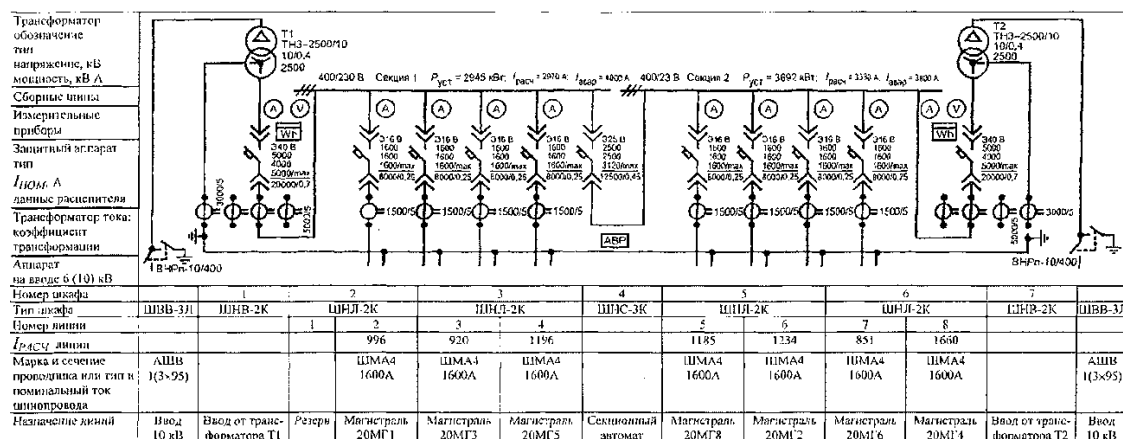
Таблица – Информационные данные о соответствии кодов типов схем

Наименование типов схем	Код типа схемы по ГОСТ 2.701-84
Структурные	1
Функциональные	2
Принципиальные (полные)	3
Эквивалентные	„
Соединений (монтажные)	4
Подключения	5
Общие	6
Расположения	7
Электрооборудования и проводки на планах	—
Электроснабжения и связи	—
Объединенные	0

Более подробно рассмотрим содержание и назначение структурных, функциональных, принципиальных, принципиальных полных, соединений монтажных электрических схем.

Таблица – Условные графические обозначения, применяемые в электрических схемах

Наименование	Обозначение
1. Контакт контактного соединения:	
1) разъемного соединения:	
– штырь	 или 
– гнездо	 или 
2) разборного соединения	
3) неразборного соединения	
2. Контакт скользящий:	
1) по линейной токопроводящей поверхности	
2) по нескольким линейным токопроводящим поверхностям	
3) по кольцевой токопроводящей поверхности	
4) по нескольким кольцевым токопроводящим поверхностям	
<i>Примечание.</i> При выполнении схем с помощью ЭВМ допускается применять штриховку вместо зачернения	



Гл. 2. Технические и графические документы проектов
2.5. Рабочие чертежи систем электропроводки

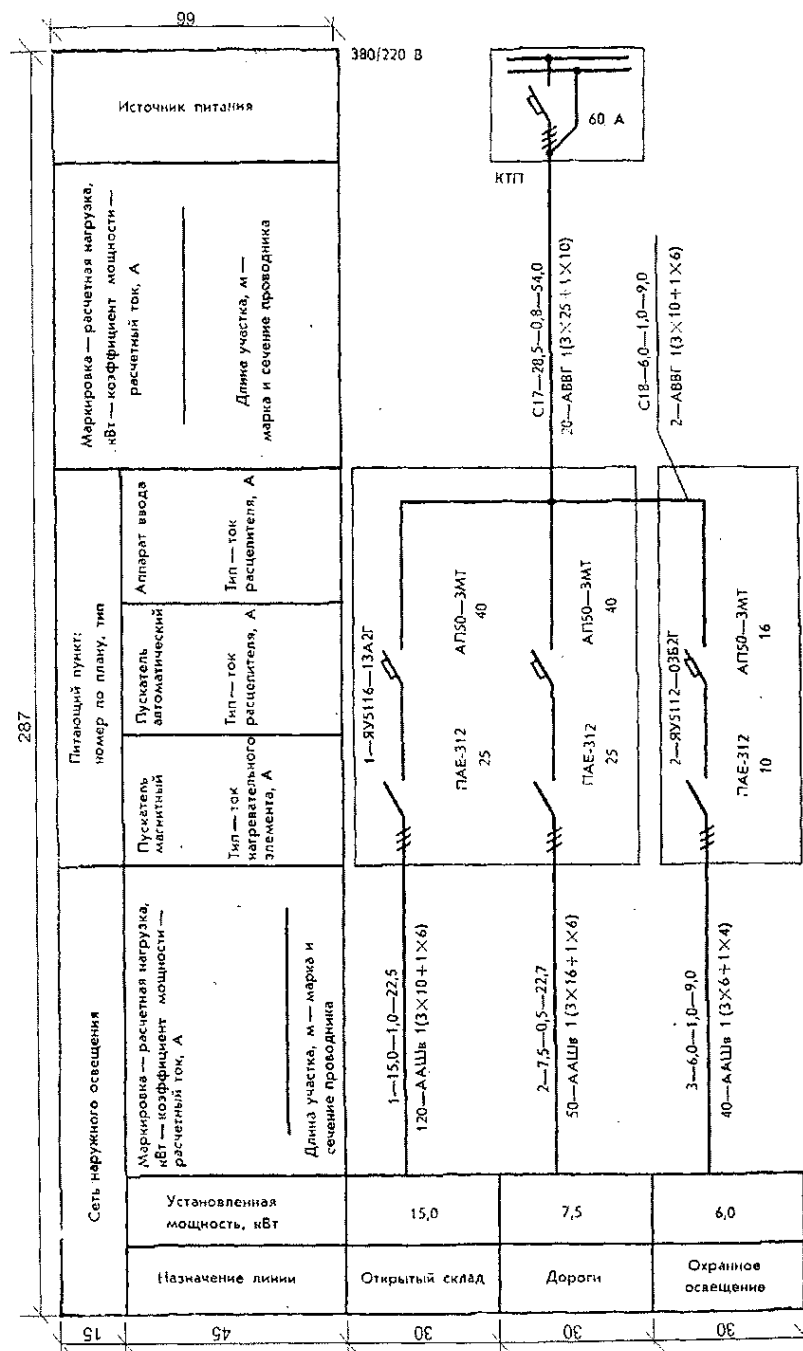


Рисунок 1.19 – Пример оформления схемы освещения территории

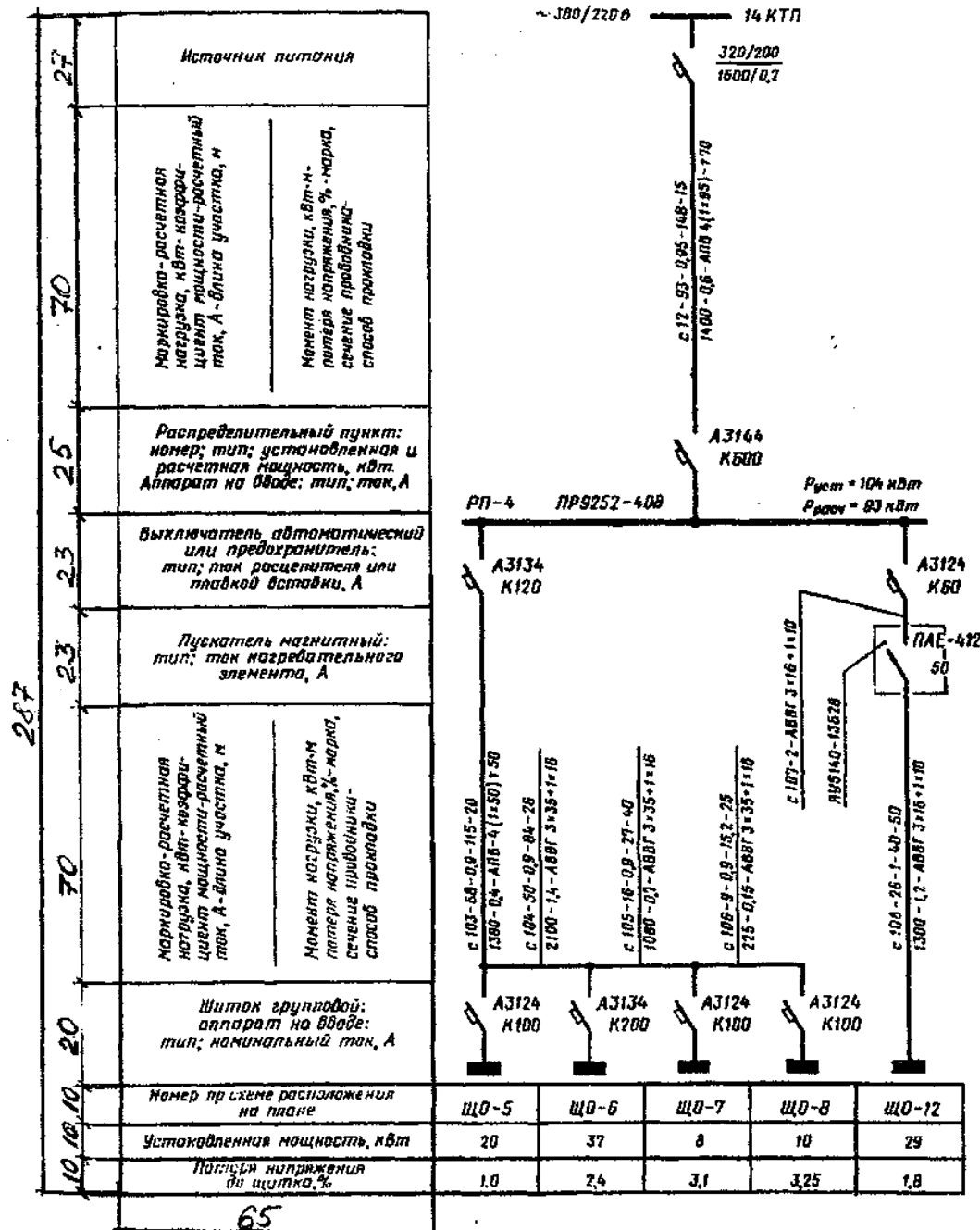
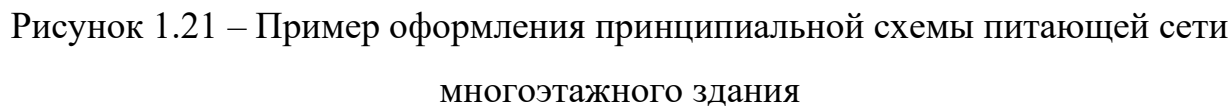


Рисунок 1.20 – Пример оформления принципиальной схемы питающей схемы с боковыми надписями (боковиком)

где А – номер по плану расположения;
Δ – потеря напряжения до щитка, %.



Изучить условные графические обозначения и изображения ЭО, проводов и кабелей на планах.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Из каких разделов должна состоять пояснительная записка проекта СЭС?
2. В какой последовательности располагаются разделы спецификации?
3. Каков порядок изложения результатов расчетов?
4. Как нумеруют чертежи, выполненные на нескольких листах?
5. Обязательной ли является подпись нормоконтролёра?
6. Как обозначаются сборные шины на электрических схемах?

Повышенный уровень

1. К

ак
обоз
нача
ются
шин
опро
воды
на
элек
трич
ески
х
схем
ах?

2. К

аким
обра
зом
офор

мляе
тся
схем
а
осве
щен
ия
терр
итор
ии?

3. К

ак
обоз
нача
ется
на
прин
ципи
альн
ой
схем
е
щит
осве
щен
ия?

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения по данной теме изложены в [1].

Практическое занятие № 2

Определение расчетной электрической нагрузки цеха

Целью занятия является получение навыков определения расчетной нагрузки цеха

В результате практического занятия студенты должны изучить методики определения расчетных нагрузок цеха.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью освоения методов определения расчетных нагрузок в цеховых сетях.

Теоретическая часть

До расчета электрической нагрузки следует привести характеристики ЭП цеха в виде таблицы 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики электроприемников цеха

Обозначение ЭП на плане цеха	Наименование электроприем- ников	Номинальная мощность, P_n , кВт S_n , кВА	$\cos\varphi$	кпд, η , %	Номиналь- ный ток, I_n , А	Коэффициент использо- вания, K_n
1	2	3	4	5	6	7

Значения коэффициентов мощности и коэффициентов использования для характерных групп электроприемников выбираются из справочной литературы. Номинальные токи электроприемников берутся из паспортных данных или определяются по формулам:

1) для трехфазных электродвигателей

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \eta}, \text{ А}; \quad (1.1)$$

2) для многодвигательного электропривода трехфазного исполнения

$$I_n = \frac{\sum P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \eta}, \text{ А}, \quad (1.2)$$

где $\sum P_{\text{н}}$ – суммарная номинальная мощность ЭП многодвигательного привода, кВт; $\cos \varphi$ и η – коэффициент мощности и кпд наиболее мощного ЭП данного привода;

3) для трехфазной электрической печи, сварочного трансформатора

$$I_{\text{н}} = \frac{S_{\text{н}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{\text{н}}}, \text{ А}; \quad (1.3)$$

4) для однофазных электродвигателей на фазное напряжение ($U_{\text{ф}}$)

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{U_{\text{ф}} \cos \varphi \eta}, \text{ А}; \quad (1.4)$$

5) для однофазных электродвигателей, подключаемых на линейное напряжение и являющихся нагрузкой двух фаз

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{2 U_{\text{ф}} \cos \varphi \eta} = \frac{\sqrt{3} P_{\text{н}} \cdot 10^3}{2 U_{\text{н}} \cos \varphi \eta}, \text{ А}; \quad (1.5)$$

6) для однофазных электрических печей, сварочных трансформаторов на фазное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{S_{\text{н}} \cdot 10^3}{U_{\text{ф}}}, \text{ А}; \quad (1.6)$$

7) для однофазных электрических печей, сварочных трансформаторов на линейное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{\sqrt{3} S_{\text{н}} \cdot 10^3}{2 U_{\text{н}}}, \text{ А}; \quad (1.7)$$

8) для остальных трехфазных ЭП

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \cos \varphi}, \text{ А}; \quad (1.8)$$

9) для остальных однофазных ЭП на фазное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{U_{\text{ф}} \cos \varphi}, \text{ А}; \quad (1.9)$$

10) для остальных однофазных ЭП на линейное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{\sqrt{3} P_{\text{н}} \cdot 10^3}{2 U_{\text{н}} \cos \varphi}, \text{ А}. \quad (1.10)$$

Во всех формулах: $P_{\text{н}}$, $S_{\text{н}}$ – номинальная мощность ЭП ($P_{\text{н}}$ – в кВт, $S_{\text{н}}$ – в кВА).

Расчет электрических нагрузок цеха и любого другого узла системы электроснабжения (силового распределительного пункта, распределительного или магистрального шинопровода, секции шин) необходимо произвести по методу коэффициента расчетной активной мощности ($K_{\text{р}}$). Расчетная активная мощность ($P_{\text{р}}$) – это мощность, соответствующая такой неизменной токовой нагрузке ($I_{\text{р}}$), которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения.

При расчете электрических нагрузок цеха или другого узла питания все ЭП распределяются на характерные группы с одинаковыми $K_{\text{и}}$ и $\cos \varphi$. При этом резервные ЭП в расчете не учитываются и номинальные мощности ЭП с повторно-кратковременным режимом работы не приводятся к длительному режиму ($\text{ПВ} = 100 \%$).

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

Для каждой характерной группы ЭП определяются средние активная ($P_{\text{с}}$) и реактивная ($Q_{\text{с}}$) мощности по формулам:

$$P_c = K_{\text{и}} P_{\text{н}}, \text{ кВт}, \quad (1.11)$$

$$Q_c = K_{\text{и}} P_{\text{н}} \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр}. \quad (1.12)$$

Коэффициент расчетной активной мощности зависит от значения группового коэффициента использования ($K_{\text{и гр.}}$), эффективного числа ЭП ($n_{\text{э}}$) и постоянной времени нагрева (T_0).

Групповой коэффициент использования узла питания определяется по формуле:

$$K_{\text{и гр.}} = \frac{\sum K_{\text{и}} P_{\text{н}}}{\sum P_{\text{н}}}. \quad (1.13)$$

Эффективное число ЭП рассчитывается по формуле:

$$n_{\text{э}} = \left(\sum_{i=1}^n p_{\text{ни}} \right)^2 / \sum_{i=1}^n n p_{\text{ни}}^2, \quad (1.14)$$

где $n_{\text{э}}$ – число однородных по режиму работы ЭП одинаковой мощности, которое дает то же значение расчетного максимума (P_p), что и группа из реального числа ЭП (n), различных по мощности и режиму работы; $\sum_{i=1}^n p_{\text{ни}}$ – суммарная установленная мощность ЭП узла питания, кВт; $p_{\text{ни}}$ – номинальная (установленная) мощность i -го ЭП, кВт.

При большом числе ЭП цеха допускается определять эффективное число электроприемников по упрощенной формуле:

$$n_{\text{э}} = 2 \left(\sum_{i=1}^n p_{\text{ни}} \right) / p_{\text{н max}}, \quad (1.15)$$

где $p_{\text{н max}}$ – номинальная мощность наиболее мощного ЭП цеха.

Найденное по формулам (41) или (42) $n_{\text{э}}$ округляется до ближайшего меньшего целого числа.

Постоянные времени нагрева принимаются следующие:

– $T_0 = 10$ мин. – для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные пункты и шинопроводы, щиты. Значения K_p для этих сетей в зависимости от K_{igr} и n_3 принимаются по табл. 11;

– $T_0 = 2,5$ ч. – для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов; значения K_p принимаются по таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p для питающих сетей напряжением до 1000 В

n_3	Коэффициент использования K_{igr}								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,11	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,10	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,30	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Расчетная активная мощность узла питания определяется по формуле:

$$P_p = K_p \sum K_{и} P_{н}, \text{ кВт.} \quad (1.16)$$

Расчетная реактивная мощность для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от n_3 определяется по формулам:

$$\text{при } n_3 \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \sum K_{\text{и}} P_{\text{н}} \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр}; \quad (1.17)$$

$$\text{при } n_3 > 10 \quad Q_p = \sum K_{\text{и}} P_{\text{н}} \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр}. \quad (1.18)$$

Таблица 1.3 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p на шинах НН цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

n_3	Коэффициент использования $K_{\text{и гр.}}$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6–8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9–10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10–25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25 – 50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

Расчетная реактивная мощность для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций независимо от n_3 определяется по формуле:

$$Q_p = K_p \sum K_{\text{и}} P_{\text{н}} \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр}. \quad (1.19)$$

Полная расчетная мощность узла питания

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА}. \quad (1.20)$$

На шинах низкого напряжения цеховой КТП при совместном питании силовой и осветительной нагрузки полная расчетная мощность определяется по формуле:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\text{роу}})^2 + (Q_p + Q_{\text{роу}})^2}, \text{ кВА}. \quad (1.21)$$

Расчетный ток узла питания:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_{\text{н}}}, \text{ А}. \quad (1.22)$$

При определении расчетных нагрузок цеха и отдельных узлов питания следует пользоваться табл. 13.

При определении расчетной нагрузки цеха или другого узла питания необходимо учесть наличие однофазных электроприемников.

При наличии одного однофазного ЭП и включении его на фазное напряжение он учитывается как эквивалентный трехфазный ЭП номинальной мощностью:

$$p_{\text{н}} = 3p_{\text{н.о}}; \quad q_{\text{н}} = 3q_{\text{н.о}}, \quad (1.23)$$

где $p_{\text{н.о}}$, $q_{\text{н.о}}$ – активная и реактивная мощности однофазного ЭП.

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

$$p_{\text{н}} = \sqrt{3}p_{\text{н.о}}; \quad q_{\text{н}} = \sqrt{3}q_{\text{н.о}}. \quad (1.24)$$

При наличии группы однофазных ЭП они должны быть распределены по фазам. Далее определяется нагрузка каждой фазы от однофазных ЭП суммированием установленной мощности однофазных ЭП, подключенных на фазное напряжение, и мощности однофазных ЭП, подключенных на линейное напряжение, с использованием коэффициентов приведения нагрузок к одной фазе по формулам:

$$\begin{aligned} P_{\text{нА(о)}} &= \sum p_{\text{нА}} + \sum p_{\text{нАВ}} p_{(\text{АВ})\text{А}} + \sum p_{\text{нАС}} p_{(\text{АС})\text{А}}, \quad \text{кВт}; \\ P_{\text{нВ(о)}} &= \sum p_{\text{нВ}} + \sum p_{\text{нАВ}} p_{(\text{АВ})\text{В}} + \sum p_{\text{нВС}} p_{(\text{ВС})\text{В}}, \quad \text{кВт}; \\ P_{\text{нС(о)}} &= \sum p_{\text{нС}} + \sum p_{\text{нАС}} p_{(\text{АС})\text{С}} + \sum p_{\text{нВС}} p_{(\text{ВС})\text{С}}, \quad \text{кВт}, \end{aligned} \quad (1.25)$$

где $\sum p_{\text{нА}}$, $\sum p_{\text{нВ}}$, $\sum p_{\text{нС}}$ – суммарная мощность однофазных ЭП на фазное напряжение, запитанных соответственно от фаз A , B и C ; $p_{\text{нАВ}}$, $p_{\text{нАС}}$, $p_{\text{нВС}}$ – номинальные мощности однофазных ЭП на линейное напряжение, подключенных соответственно к фазам A и B , A и C , B и C ; $p_{(\text{АВ})\text{А}}$, $p_{(\text{АВ})\text{В}}$, $p_{(\text{АС})\text{А}}$, $p_{(\text{АС})\text{С}}$, $p_{(\text{ВС})\text{В}}$, $p_{(\text{ВС})\text{С}}$ – коэффициенты приведения по активной мощности (в скобках указаны фазы, от которых запитан однофазный ЭП, за скобкой – фаза, для которой определяется нагрузка).

Значения коэффициентов приведения однофазных нагрузок по активной мощности представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.5 – Коэффициенты приведения однофазной нагрузки, включенной на линейное напряжение, к нагрузке, отнесенной к одной фазе

Коэффициенты приведения	Коэффициент мощности нагрузки, $\cos\varphi$								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1,0
$P_{(AB)A}, P_{(BC)B}, P_{(AC)C}$	1,4	1,17	1,0	0,89	0,84	0,8	0,72	0,64	0,5
$P_{(AB)B}, P_{(BC)C}, P_{(AC)A}$	-0,4	-0,17	0	0,11	0,16	0,2	0,28	0,36	0,5

Затем определяется общая мощность трехфазных и однофазных ЭП каждой фазы:

$$\begin{aligned}
 P_{HA} &= P_{HA(o)} + \frac{\sum P_{H3}}{3}, \text{ кВт}; \\
 P_{HB} &= P_{HB(o)} + \frac{\sum P_{H3}}{3}, \text{ кВт}; \\
 P_{HC} &= P_{HC(o)} + \frac{\sum P_{H3}}{3}, \text{ кВт},
 \end{aligned}
 \tag{1.26}$$

где $\sum P_{H3}$ – суммарная установленная мощность трехфазных ЭП узла питания, кВт.

Таблица 1.4 – Расчет электрических нагрузок (форма Ф636-92)

Исходные данные					Расчетные величины			Эффективное число ЭП** $n_{\text{э}} = (\sum P_{\text{н}})^2 / \sum n p_{\text{н}}^2$	Коэффициент расчетной нагрузки $K_{\text{р}}$	Расчетная мощность			Расчетный ток, А $I_{\text{р}} = S_{\text{р}} / (\sqrt{3} U_{\text{н}})$	
по заданию технологов				по справочным данным		$K_{\text{н}} P_{\text{н}}$	$K_{\text{н}} P_{\text{н}} \text{tg} \varphi$			$n p_{\text{н}}^2$	активная, кВт $P_{\text{р}} = K_{\text{р}} \sum K_{\text{н}} P_{\text{н}}$	реактивная, кВАр** $Q_{\text{р}} = 1,1 \sum K_{\text{н}} P_{\text{н}} \text{tg} \varphi$ при $n_{\text{э}} \leq 10$; $Q_{\text{р}} = \sum K_{\text{н}} P_{\text{н}} \text{tg} \varphi$ при $n_{\text{э}} > 10$		полная, кВА $S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2}$
Наимено- вание ЭП	Количество ЭП, шт.* n	Номинальная (установленная) мощность, кВт*		коэффициент использования $K_{\text{н}}$	коэффициент реактивной мощности $\frac{\cos \varphi}{\text{tg} \varphi}$									
		одного ЭП $p_{\text{н}}$	общая $P_{\text{н}} = n p_{\text{н}}$											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

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

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

$$n_3 = 2 \sum P_n / p_{н. макс} ,$$

расчетная реактивная мощность принимается равной

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

Рассчитывается неравномерность загрузки фаз ($\Delta P_{\text{нр}}$):

$$\Delta P_{\text{нр}} = \frac{P_{\text{н max}} - P_{\text{н min}}}{P_{\text{н min}}} \cdot 100, \% , \quad (1.27)$$

где $P_{\text{н max}}$, $P_{\text{н min}}$ – соответственно номинальные мощности максимально и минимально нагруженной фазы.

При неравномерности нагрузки фаз не более 15 % однофазные ЭП учитываются при расчете нагрузок как эквивалентная группа трехфазных ЭП с той же суммарной номинальной мощностью.

В случае превышения указанной неравномерности номинальная мощность эквивалентной группы трехфазных ЭП принимается равной тройному значению мощности наиболее нагруженной фазы:

$$P_{\text{н(о)}} = 3P_{\text{н max(о)}}, \text{ кВт.} \quad (1.28)$$

Пиковой, или ударной, нагрузкой называется максимально возможная нагрузка одного или группы электроприемников длительностью в доли или нескольких секунд. Такие нагрузки возникают при пусках или самозапусках двигателей трехфазного и постоянного тока, работающих в крановых, тяговых, прокатных приводах, а также при эксплуатационных коротких замыканиях, характерных для электросварки и дуговых печей.

Величину пикового тока используют при выборе устройств защиты и их уставок, в расчетах колебаний напряжения и при проверке самозапуска двигателей.

С достаточной для практических расчетов точностью групповой пиковый ток

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск.нб}} + (I_{\text{раб max}} - k_{\text{II}} I_{\text{ном.дв.нб}})$$

где $I_{\text{пуск.нб}}$ ~ наибольший пусковой ток двигателя в группе; $I_{\text{раб.max}}$ -расчетный максимальный ток всех электроприемников, питающихся от данного элемента; $I_{\text{ном.дв.нб}}$ – номинальный ток двигателя с наибольшим пусковым током; k_{II} - коэффициент использования для графика нагрузки этого двигателя.

Пиковая нагрузка (ток или мощность) характеризуется величиной, длительностью и частотой повторения.

Пиковой нагрузкой для одиночного электроприемника может быть:

- пусковой ток асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором или синхронного двигателя. Он определяется по паспортным данным двигателя и при отсутствии таких данных принимается равным 5-кратному номинальному;

- пусковой ток асинхронного двигателя с фазным ротором или двигателя постоянного тока. При отсутствии точных данных принимается равным не менее 2,5-кратного номинального;

- пиковый ток печных и сварочных трансформаторов, который должен приниматься по паспортным данным. При отсутствии таких данных принимается равным не менее 3-кратного номинального без приведения к ПВ=100%;

- пиковая мощность отдельно работающих машин контактной электросварки. При отсутствии паспортных данных принимается равной 3-кратной номинальной;

- пиковый ток при включении мощных (500 и 1000 Вт) ламп накаливания и ртутных дуговых ламп, достигающий 12-кратного номинального, но имеющий малую длительность (не более 0,01 с). Пиковый ток для группы асинхронных двигателей определяется следующим образом:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пускmax}} + I_{\text{р}} - k_{\text{imax}} I_{\text{номmax}},$$

где $I_{\text{пускmax}}$ – пусковой ток наибольшего двигателя;

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

$I_{\text{номmax}}$ и k_{imax} – номинальный ток и коэффициент использования наибольшего двигателя в группе.

При самозапуске электродвигателей за пиковый ток принимается суммарный пусковой ток всех двигателей, участвующих в самозапуске. Для группы одновременно работающих машин контактной сварки расчетные и пиковые нагрузки определяются по специальной методике.

Расчетная мощность одного подъемно-транспортных устройств (ПТУ) принимается равной сумме номинальных мощностей двух наиболее мощных электроприводов, приведенных к ПВ = 100 %:

$$P_p = P_{н1} + P_{н2},$$

где $P_{н1}$, $P_{н2}$ – номинальные мощности двух наиболее мощных электроприводов при паспортной продолжительности включения ПВ1 и ПВ2.

Если электропривод приводится двумя одновременно включаемыми электродвигателями, его номинальная мощность принимается равной сумме номинальных мощностей электродвигателей, приведенных к ПВ = 100 %.

Вопросы и задания

Изучить методику определения расчетных нагрузок цеха методом коэффициента расчетной активной мощности по данным заданным преподавателем.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Что такое расчетная нагрузка?
2. Каков порядок расчета нагрузок методом коэффициента расчетной активной мощности?
3. Дайте определения коэффициентов использования, спроса, формы, максимума, загрузки и для чего они предназначены?
4. Что такое пиковая нагрузка и с какой целью она определяется?
5. Какие методы определения расчетных нагрузок однофазных электроприемников Вам известны?
6. Как рассчитать расчетную нагрузку однофазного приемника включенного на фазной напряжение?
7. Как рассчитать расчетную нагрузку однофазного приемника включенного на линейное напряжение?
8. Как определяется средняя нагрузка отдельных фаз?
9. Для каких целей используются пиковые нагрузки?

10. Как учесть при расчете нагрузки повторности включения?
11. Как считается расчетный ток для гибкого токоподвода?
12. Чему равно значение коэффициента мощности для крановых электродвигателей с электродвигателями с короткозамкнутым ротором?
13. Как определяется значение коэффициента использования при расчете нагрузки?
14. Какие существуют методы определения расчетных нагрузок предприятия?

Повышенный уровень

1. Для каких расчетов определяется средняя, среднеквадратическая, расчетная и пиковая нагрузка?
2. Какие Вы знаете способы определения эффективного числа электроприемников?
3. Как учитываются однофазные ЭП при расчете нагрузок?
4. Как рассчитывается групповое значение коэффициента использования?
5. Чему равно значение коэффициента мощности для крановых электродвигателей с фазовым ротором?
6. Чему равна постоянная времени нагрева для различных элементов системы электроснабжения?
7. От чего зависит расчетный коэффициент для определения нагрузки группы электроприемников?
8. По каким признакам формируются характерные группы электроприемников?

Список литературы, рекомендуемый к использованию

Более подробные сведения по данному вопросу можно получить в [1 - 35].

Практическое занятие № 3
Выбор схем и расчет режимов распределительной сети
напряжением 0,4 кВ

Целью занятия является получение навыков выбора схем и расчета режимов распределительной сети напряжением 0,4 кВ

В результате практического занятия студенты должны изучить методики навыков выбора схем и расчета режимов распределительной сети напряжением 0,4 кВ.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью освоения методов выбора схем распределительной сети напряжением 0,4 кВ и расчета ее режимов .

Теоретическая часть

Выбор схемы сети зависит от категории потребителей электроэнергии, конструктивного исполнения, суммарной потребляемой мощности.

Для электроприемников 2 категории предусматривается применение петлевых и радиальных двухлучевых сетей [8].

В соответствии с [2] сети 0,4 кВ выполняются прокладкой кабелей в траншеях.

Данные сети рассчитываются по условиям нагрева и допустимым потерям напряжения в нормальном и послеаварийном режимах. Выбранное сечение кабеля проверяется по условию срабатывания защитного аппарата при однофазном КЗ.

Выбор сечения кабеля по условию допустимого нагрева производится в соответствии с требованиями ПЭУ, согласно которому допускается перегрузка кабелей в 1,35 раза, если в нормальном режиме их загрузка не превышала 80% номинала:

$$I_p = \frac{S_{p.l}}{\sqrt{3}U_n}$$

где, P_p – расчетная нагрузка кабеля, кВт;

U_n – номинальное напряжение сети, кВ;

В послеаварийном режиме имеем:

$$I_{ав} = 2 * I_p;$$

Допустимый ток в кабеле:

$$I_{доп} = I_{ав} / 1,35$$

Проверим сечение кабелей по допустимым потерям напряжения в нормальном и послеаварийном режимах.

Потеря напряжения без учета индуктивного сопротивления кабельной линии определяется:

$$\Delta U = P_p * L / (10 * \gamma * U_n * F)$$

где, P_p – нагрузка линии, кВт;

L – длина линии, км;

γ – удельная проводимость проводника м/(Ом * мм²);

F – сечение кабеля, мм²;

U – номинальное напряжение, кВ.

Согласно ПУЭ потери напряжения в кабелях до 1 кВ не должно превышать 5% для нормального режима и 10% для послеаварийного.

Рассмотрим питание домов № 7 и № 8 от ТП 1.

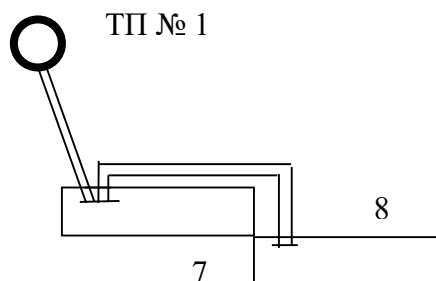


Рисунок 1.1 – Схема питания объектов № 7 и № 8

В нормальном режиме нагрузка дома № 8 равна:

$$P_p \text{ ж.д.} = 131,4 \text{ кВт};$$

$$Q_p \text{ ж.д.} = 26,3 \text{ квар};$$

$$S_{\text{зд.}} = \sqrt{(P_p^2 + Q_p^2)} = \sqrt{131,4^2 + 26,2^2} = 134,00 \text{ кВА.}$$

Рабочий ток в нормальном режиме:

$$I_p = 134 / (2 * \sqrt{3} * 0,38) = 101,5 \text{ А};$$

Допустимый ток кабеля:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{дл.доп}} * K_1 * K_2$$

где $I_{\text{дл.доп}}$ – допустимое значение длительно проходящего по кабелю тока при прокладке в нормальных условиях ($t=15^0\text{C}$) [1];

K_1 – коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды ;

K_2 – коэффициент, учитывающий число кабелей проложенных в земле [7];

$$I_{\text{расч.}} \leq I_{\text{доп табл.}} * K_1 * K_2$$

Для кабеля сечением 50 мм^2 $I_{\text{дл. доп}} = 180 \text{ А};$

$$101,5 \leq 1,04 * 0,9 * 180;$$

$$101,5 \leq 168,48 \text{ А} – \text{условие выполняется.}$$

Наиболее тяжелый послеаварийный режим наступает при выходе из строя одного из кабелей. В этом случае неповрежденный кабель несет полную нагрузку дома. В послеаварийном режиме ток на участке определяется по формуле:

$$I_{\text{ра}} = S_{\text{зд}} / \sqrt{3} * U_n ,$$

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{дл. доп}} * K_p$$

где K_p – коэффициент перегрузки в аварийном режиме принимается равным 1,27;

Проверка кабелей по потере напряжения заключается в расчете потери напряжения:

$$\Delta U\% = \Delta U_{\text{табл}} * M_a = \Delta U_{\text{табл}} * P_m * L_m$$

$$\Delta U\% = 0,44 * 132,62 * 0,18; \Delta U_{\text{табл}} \text{ определяется по [3] и равна } \Delta U\% =$$

10,54%.

Вопросы и задания

Выбрать схемы, рассчитать режимы заданной распределительной сети напряжением 0,4 кВ и ответить на вопросы ПЗ.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Каким основным параметром определяется выбор схемы распределительной сети напряжением 0,4 кВ?
2. Для ЭП какой категории предусматривается использование петлевых и радиальных двухлучевых сетей?
3. Какие допускают перегрузки кабели с пропитанной бумажной изоляцией?
4. Какие допускают перегрузки кабели их СПЭ?

Повышенный уровень

1. Какие допускаются потери напряжения в КЛ из СПЭ?
2. От каких параметров зависит выбор схемы сети 0,38 кВ

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения по данному вопросу можно получить в [1 - 3].

Практическое занятие 4

Выбор и проверка комплектных шинопроводов с номинальным напряжением 380/220 В

Целью занятия является получение навыков определения сечений комплектных шинопроводов с номинальным напряжением 380/220 В.

В результате практического занятия студенты должны научиться выбирать сечения комплектных шинопроводов с номинальным напряжением 380/220 В.

Актуальность практического занятия обусловлено необходимостью освоения методик выбора и проверки комплектных шинопроводов с номинальным напряжением 380/220 В.

Теоретическая часть

Сечение шин выбирают по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным током нагрузки по условию:

$$I_p \leq I_n,$$

где I_n – номинальный ток шинопровода, А.

Для оценки уровня напряжения, подводимого к ЭП, запитанным от шинопроводов, необходимо учитывать потери напряжения в шинопроводах.

Потери напряжения в шинопроводах определяют по формуле:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_n} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}) \sum_{i=1}^n I_{pi} \cdot l_i, \quad \%,$$

где r_0 , x_0 – соответственно удельные активное и индуктивное сопротивления шинопроводов, Ом/км; $\cos \varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент нагрузки шинопровода; I_{pi} – ток расчётный i -той нагрузки, А; l_i – длина шинопровода от ввода до точки подключения i -той нагрузки, км.

При токе нагрузки, близком к номинальному току шинопровода, потери напряжения допускается определять по линейной потере напряжения на 100 м шинопровода по формуле:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\Delta U_{\text{лш}} \cdot l_{\text{ш}}}{U_n}, \quad \%,$$

где $\Delta U_{\text{лш}}$ – линейная потеря напряжения шинопровода, В; $l_{\text{ш}}$ – длина шинопровода до точки подключения нагрузки, м; U_n – номинальное напряжение, В.

После расчета токов короткого замыкания необходимо сделать проверку выбранных сечений шинопроводов по термической и электродинамической стойкости. Для этого ток трехфазного КЗ ($I_k^{(3)}$), рассчитанный в начале шинопровода следует сравнить с термической

стойкостью шинпровода, а ударный ток – с электродинамической стойкостью по условиям:

$$I_{\kappa}^{(3)} \leq i_{\text{тс}}, \text{ кА},$$

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{уд доп.}}, \text{ кА},$$

где $i_{\text{тс}}$ – термическая стойкость шинпровода, кА;

$i_{\text{уд доп.}}$ – электродинамическая стойкость шинпровода, кА, взятые из технических характеристик.

Вопросы и задания

Изучить методику определения сечений комплектных шинпроводов с номинальным напряжением 380/220 В и ответить на вопросы ПЗ.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Каковы условия выбора сечений шин по допустимому нагреву?
2. С какой целью выполняется проверка сечений по термической стойкости?
3. Как рассчитать допустимую потерю напряжения?
4. Как проверяются выбранные сечения кабелей по допустимой потере напряжения?
5. Какие условия должны соблюдаться при выборе проводников линий по условиям их нагревания?

Повышенный уровень

1. От каких факторов зависит значение потерь напряжения в шинпроводах?
2. Как проверить выбранные сечения шинпроводов по термической и электродинамической стойкости?
3. От каких факторов зависят места заземления экранов?
4. Чему равно приведенное время КЗ?
5. Как изменяется допустимая плотность тока в зависимости от

площади сечения проводника?

6. В каких сетях и почему выбор проводников линий производят по допустимой потере напряжения?

Список литературы, рекомендуемый к использованию

Более подробные сведения по данному вопросу можно получить в [2 - 3].

Практическое занятие 5

Выбор и проверка сечений силовых кабельных линий на напряжении до 1 кВ

Целью занятия является получение навыков выбора сечений кабельных линий до 1 кВ.

В результате практического занятия студенты должны изучить методики выбора сечений кабельных линий до 1 кВ.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью освоения способов выбора и проверки сечений силовых кабельных линий на напряжении до 1 кВ

Теоретическая часть

Сечения силовых линий выбираются по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным током нагрузки, по потере напряжения и по условию соответствия выбранному аппарату защиты.

Силовые линии разделяют на распределительные, непосредственно питающие один или несколько ЭП, и питающие, которые питают группу электроприемников, но непосредственно к ним не подключаются.

Сечение по допустимому нагреву выбирают по условию:

$$I_p \leq I_d K_n,$$

где I_p – максимальный рабочий (расчетный) ток нагрузки, А;

I_d – длительно допустимый ток, А;

K_{Π} – поправочный коэффициент, учитывающий реальные условия охлаждения проводника и зависящий от температуры окружающей среды и способа прокладки.

Это коэффициент, учитывающий изменение условий прокладки проводов и кабелей. Представляет произведение отдельных поправочных коэффициентов, т.е.

$$K_{\Pi} = K_1 K_2 K_3 \dots K_{10},$$

которые учитывают:

K_1 – фактическую температуру окружающей среды. Нормальной при открытой прокладке проводов и кабелей считается температура окружающей среды (воздуха), равная 25°C , а температура земли, при прокладке кабеля в траншее на глубине 0,7 м от поверхности, $+15^{\circ}\text{C}$. Коэффициентом K_1 пользуются при значительном отклонении температуры от нормальной, например, в районах вечной мерзлоты и тропиков:

K_2 – число проложенных в траншее кабелей. За исходное принимается число кабелей равное одному;

K_3 – условия кратковременного или повторно-кратковременного режима работы электроприемников. Поправка на указанные режимы учитывается коэффициентом

$$K_3 = \frac{0,875}{\sqrt{P_{\text{в}}}},$$

K_4 – поправку на число проводников в трубе, коробе и лотке. Нормальной считается прокладка в трубе, коробе и лотке не более четырех проводников. Для пяти-шести одновременно нагруженных проводников в трубе, коробе и пучками на лотках коэффициент $K_4 = 0,68$, для семи-деяти $K_4 = 0,63$.

О назначении остальных коэффициентов $K_5 - K_7, K_8 - K_{10}$ указано в [1].

За расчетный ток нагрузки линии, питающей одиночный электроприемник, принимается номинальный ток нагрузки этого ЭП:

$$I_p = I_n, \text{ А.}$$

Для линии, питающей многодвигательный агрегат с одновременным пуском электродвигателей, расчетный ток нагрузки равен сумме номинальных токов двигателей:

$$I_p = \sum_{i=1}^n I_{ni}, \text{ А.}$$

Для магистралей и питающих линий определяется расчетная нагрузка группы ЭП по методу коэффициента активной расчетной мощности, а затем рассчитывается ток нагрузки по формуле (49).

Поправочный коэффициент необходимо учитывать при прокладке линий в жарких помещениях, а также при прокладке кабелей в коробах. Значения поправочных коэффициентов в зависимости от температуры окружающей среды для разных видов изоляции жил приведены в табл. 15; в зависимости от способа прокладки кабелей в коробах – в табл. 16.

Таблица 15 – Поправочные коэффициенты на токи для кабелей в зависимости от температуры воздуха

Материал изоляции жил кабеля	Значение $K_{\text{п}}$ при температуре воздуха, °С					
	+25	+30	+35	+40	+45	+50
резиновая изоляция	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
поливинилхлоридная (ПВХ) изоляция	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
изоляция из сшитого полиэтилена (СПЭ-изоляция)	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74

Таблица 16 – Значения поправочных коэффициентов для кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводников, питающих	
	одножильных	многожильных	отдельные ЭП с коэффициентом использования до 0,7	группы ЭП и отдельные ЭП с коэффициентом использования более 0,7
Многослойно и пучками	–	До 4	1,00	–
	2	5 – 6	0,85	–
	3 – 9	7 – 9	0,75	–
	10 – 11	10 – 11	0,70	–
	12 – 14	12 – 14	0,65	–

	15 – 18	15 – 18	0,60	–
Однослойно	2 – 4	2 – 4	–	0,67
	5	5	–	0,60

В остальных случаях $K_{\Pi} = 1$.

Для электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы для медных проводников сечением более 6 мм² и алюминиевых сечением более 10 мм² ток ЭП приводится к длительному режиму работы умножением $I_{\text{н}}$ на коэффициент $K_{\text{ПВ}} = 1,14\sqrt{\text{ПВ}}$:

$$I_{\text{р}} = I_{\text{н}} K_{\text{ПВ}} = 1,14 I_{\text{н}} \sqrt{\text{ПВ}}, \text{ А},$$

где ПВ – относительная продолжительность включения в относительных единицах; 1,14 – коэффициент запаса.

Во взрывоопасных зонах сечения распределительных линий, питающих асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, выбирают по условию:

$$1,25 I_{\text{р}} \leq I_{\text{д}} K_{\Pi}.$$

Сечение проводов к электроприемникам, работающим в кратковременном и повторно-кратковременном режимах с продолжительностью включения **ПВ ≤ 40 %** выбирается по расчетному току, приведенному к длительному режиму. При этом:

1) для проводников из меди сечением до 6 **мм²** и алюминиевых сечением до 10 **мм²** ток принимается как для электроприемников с длительным режимом работы;

2) для проводников из меди сечением более 6 **мм²** и алюминиевых сечением более 10 **мм²** ток определяется умножением допустимого длительного тока () на коэффициент **$K_{\text{д}}$** .

При определении допустимых нагрузок на провода, прокладываемые в одной трубе, нулевой рабочий или заземляющий провод четырехпроводной системы трехфазного тока в расчет не принимается.

Согласно ПУЭ, для силовых электроприемников отклонение напряжения от номинального должно составлять не более ±5 %.

Выбранные по допустимому нагреву сечения силовых линий проверяют по потере напряжения по условию:

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{\text{тр}} + \Delta U_{\text{пл}} + \Delta U_{\text{рл}} \leq \Delta U_{\text{доп}},$$

где $\Delta U_{\text{тр}}$ – потери напряжения во вторичной обмотке цехового трансформатора, %; $\Delta U_{\text{пл}}$ – потери напряжения в питающей линии, %; $\Delta U_{\text{рл}}$ – потери напряжения в распределительной линии, %; $\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимые потери напряжения, равные 10 % для силовых электроприемников.

Потери напряжения в распределительных линиях определяются по формулам:

– при питании одиночного ЭП

$$\Delta U_{\text{рл}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{р}} l \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi), \quad \%;$$

– для магистрали

$$\Delta U_{\text{рл}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \sum_{i=1}^n I_{\text{р}i} l_i, \quad \%.$$

Потери напряжения в питающей линии

$$\Delta U_{\text{пл}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{р}} l \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}), \quad \%,$$

где $I_{\text{р}}$ – расчетный ток линии, А; $I_{\text{р}i}$ – расчетный ток i -ой нагрузки магистральной линии, А; r_0 , x_0 – соответственно удельные активное и индуктивное сопротивления линий, Ом/км; l – длина линии, км; l_i – длина линии до точки подключения i -ой нагрузки к магистрали, км; $\cos \varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент мощности группы электроприемников.

Значения удельных сопротивлений кабелей приведены в табл.

Таблица – Удельные активные и индуктивные сопротивления кабелей

Номинальное сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление жил при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление при U_n до 1 кВ, Ом/км
	алюминиевых	медных	
1,5	–	12,26	0,101
2,5	13,3	7,36	0,099
4	7,74	4,6	0,095
6	5,17	3,07	0,09
10	3,1	1,84	0,073
16	1,94	1,15	0,0675

Продолжение таблицы 17

Номинальное сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление жил при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление при U_n до 1 кВ, Ом/км
	алюминиевых	медных	
25	1,24	0,74	0,0662
35	0,89	0,52	0,0637
50	0,62	0,37	0,0625
70	0,443	0,26	0,0612
95	0,326	0,194	0,0602
120	0,258	0,153	0,0602
150	0,206	0,122	0,0596
185	0,167	0,099	0,0596
240	0,013	0,077	0,0587

Если ЭП, запитанные от одного РП или ШРА, имеют одинаковую мощность, то проверку сечений по потере напряжения следует проводить для наиболее удаленного электроприемника.

Проверка сечений на соответствие выбранному аппарату защиты производится после выбора защитной аппаратуры. Для выбора защитных аппаратов необходимо рассчитать пиковые нагрузки линий, которые возникают при пуске электроприемников. Для распределительной линии, питающей одиночный электроприемник, пиковый ток равен пусковому току этого ЭП:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п}}, \text{ А},$$

где I_{Π} – пиковый ток электроприемника, определяемый па паспортным данным ЭП.

При отсутствии паспортных данных пусковой ток может быть принят равным:

- для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором и синхронных – 5-кратному значению номинального тока;
- для асинхронных электродвигателей с фазным ротором и двигателей постоянного тока – $2,5I_{\Pi}$;
- для печных и сварочных трансформаторов – $3I_{\Pi}$ (без приведения к ПВ = 100 %).

Для распределительной линии, питающей группу одновременно запускаемых ЭП:

$$I_{\text{пик}} = \sum_{i=1}^n I_{\Pi i}, \text{ А},$$

где $I_{\Pi i}$ – пусковой ток i -ого ЭП.

Для магистрали пиковой нагрузкой является пуск электроприемника с самым большим пусковым током в то время, когда все остальные ЭП нормально работают:

$$I_{\text{пик}} = I_{\Pi \text{ max}} + \sum_{i=1}^n I_{\Pi i}, \text{ А},$$

где $I_{\Pi i}$ – номинальный ток i -ого нормально работающего ЭП.

Для питающей линии

$$I_{\text{пик}} = I_{\Pi \text{ max}} + (I_{\text{р}} - K_{\text{и}} I_{\Pi \text{ max}}), \text{ А},$$

где $I_{\Pi \text{ max}}$ – наибольший пусковой ток ЭП в группе;

$I_{\text{р}}$ – расчетный максимальный ток всех ЭП, питающихся от данной линии;

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования запускаемого ЭП;

$I_{н\ max}$ – номинальный ток ЭП с наибольшим пусковым током.

Для того чтобы протекание токов перегрузки и токов короткого замыкания по проводникам не приводило к их перегреву, выбранное сечение проводника должно быть согласовано с аппаратом защиты этого проводника по условию:

$$\frac{I_{д}}{I_{з}} \geq K_{зщ},$$

где $I_{д}$ – длительно допустимый ток проводника, А;

$I_{з}$ – ток аппарата защиты, А;

$K_{зщ}$ – коэффициент защиты.

Силовые линии, питающие однофазные электроприемники, могут иметь двух- или трехпроводное исполнение, а питающие трехфазные ЭП, четырех- или пятипроводные.

Однофазные двух- и трехпроводные линии, а также трехфазные четырех- и пятипроводные линии при питании однофазных нагрузок должны иметь сечение нулевых рабочих (N) проводников, равное сечению фазных проводников.

Трехфазные четырех- и пятипроводные линии при питании трехфазных симметричных нагрузок должны иметь сечение N-проводников, равное сечению фазных проводников, если фазные проводники имеют сечение до 16 мм² по меди и 25 мм² по алюминию, а при больших сечениях – не менее 50 % сечения фазных проводников.

Сечение нулевых защитных проводников (РЕ) проводников при их наличии должно равняться сечению фазных проводников при сечении последних до 16 мм², иметь сечение 16 мм² при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм² и не менее 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях.

Окончательно выбранное сечение указывается в полном виде с указанием марки проводника и сечений фазных и нулевых проводников (например, АВВГ 3×50 + 2×25).

Вопросы и задания

Изучить основы выбора и проверки сечений силовых кабельных линий на напряжении до 1 кВ и ответить на вопросы ПЗ.

Выбрать сечение КЛ из СПЭ длиной 400 м проложенной в траншее параллельно проложенных 8 кабелях при условии, что $T_{нб}=4000+NВ$.

Для заданной схемы электрической сети (рисунок) рассчитать сечение жил питающего распределительный шкаф (ШР) кабеля по нагреву электрическим током и проверить выбранное сечение по потере напряжения. Ответить на один из вопросов

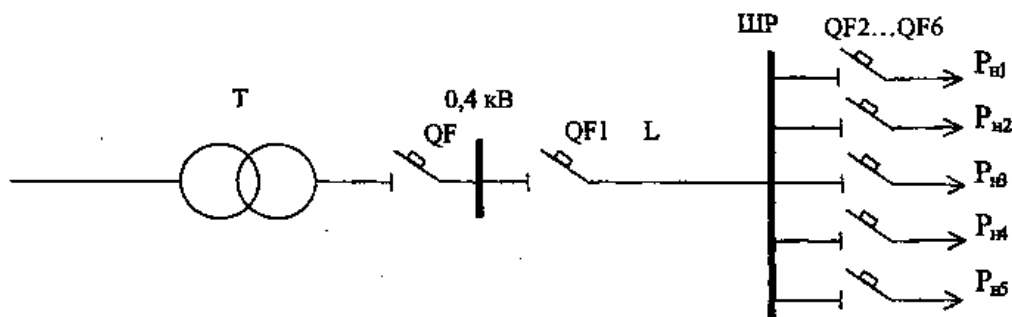


Рисунок 1.2 – Схема электрической сети

Исходные данные для расчета приведены в таблице.

Таблица - Исходные данные

№ вар.	P ₁ кВт	P ₂ кВт	P ₃ кВт	P ₄ кВт	P ₅ кВт	Cosφ ₁	Cosφ ₂	Cosφ ₃	Cosφ ₄	Cosφ ₅	L	K _C	ΔU _{доп} кВт
1	7.3	12.7	9.3	24.3	3.5	0.6	0.75	0.8	0.7	0.75	37	0.8	3.5
2	6.5	19.3	4.2	19.5	10.0	0.7	0.75	0.6	0.7	0.8	49	0.85	4
3	14.7	4.3	0.95	9.6	7.9	0.7	0.8	0.85	0.8	0.8	55	0.85	6
4	10.7	4.5	8.0	24.7	12.8	0.75	0.75	0.8	0.6	0.6	35	0.8	5
5	9.8	4.0	13.7	18.5	1.8	0.7	0.75	0.8	0.8	0.6	40	0.8	5.5
6	10.3	17.0	8.4	4.8	16.5	0.75	0.7	0.8	0.6	0.6	68	0.8	4.7
7	12.7	8.4	3.15	9.1	4.8	0.7	0.7	0.85	0.8	0.6	57	0.85	5.2

8	10.5	9.6	24.5	4.0	6.4	0.7	0.75	0.8	0.8	0.6	70	0.8	4.3
9	21.0	9.3	12.7	4.5	7.3	0.6	0.6	0.8	0.85	0.7	65	0.85	5.8
10	18.5	3.7	22.0	4.8	6.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.85	50	0.85	4.6
11	12.6	14.3	7.3	4.5	2.2	0.7	0.6	0.6	0.8	0.7	45	0.85	3.9
12	6.15	9.3	20.5	11.4	2.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	40	0.8	4.4
13	9.6	12.3	4.0	5.5	16.8	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	73	0.8	5.4
14	16.3	3.7	19.2	4.1	2.1	0.8	0.7	0.6	0.8	0.6	55	0.85	6.2
15	3.0	19.1	14.3	19.0	4.8	0.6	0.6	0.8	0.6	0.6	60	0.8	4.8

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Как выбираются сечения кабелей магистральной линии с несколькими ответвлениями и магистральных шинопроводов, а также распределительных шинопроводов с равномерно распределенной нагрузкой?
2. Как выбираются сечения проводов для выполнения электропроводки и сечения кабельных линии напряжением до 1 кВ?
3. Как выбираются марки кабелей и проводов на напряжении до 1 кВ ?
4. Каким условиям должны удовлетворять выбранные площади сечений проводов и жил кабелей напряжением до 1000 В?
5. Как определяется расчетный ток нагрузки для линии, питающей многодвигательный агрегат с одновременным пуском электродвигателей?
6. Как расчетный ток для электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы приводится к длительному режиму работы?
7. Какие требования предъявляются ПУЭ к отклонению напряжения от номинального для силовых электроприемников?
8. Как согласовать выбранное сечение проводника с аппаратом защиты этого проводника?

Повышенный уровень

1. От каких факторов зависит значение поправочного коэффициента, учитывающего реальные условия охлаждения проводника?

2. С учетом каких условий выбираются сечения распределительных линий, питающих асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором во взрывоопасных зонах?

3. Как проверить выбранные по допустимому нагреву сечения кабельных линий по потере напряжения?

Список литературы, рекомендуемый к использованию

Более подробные сведения о расчетах потерь электроэнергии в отдельной линии и двухобмоточном трансформаторе изложены в [1,2].

Практическое занятие № 6

Расчет потерь электроэнергии в силовых цеховых трансформаторах

Целью занятия является получение навыков определения расчетной нагрузки цеха

В результате практического занятия студенты должны изучить методики определения расчетных нагрузок цеха.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков расчета потерь электроэнергии в силовых цеховых трансформаторах.

Теоретическая часть

Нагрузочные потери электроэнергии в цеховых трансформаторах рассчитываются по таблицам в зависимости от номинальной мощности и коэффициента загрузки трансформатора.

Коэффициент формы графика определяется по формулам.

Потери электроэнергии холостого хода в силовом трансформаторе определяются на основе приведенных в паспортных данных оборудования потерь мощности холостого хода ΔP_x , по формуле:

$$\Delta W_x = \Delta P_x \sum_{i=1}^m T_{pi} \left(\frac{U_i}{U_{ном}} \right)^2, \text{ кВт.ч,}$$

где T_{pi} - число часов работы трансформатора (автотрансформатора) в i -м режиме, ч;

U_i - напряжение на высшей стороне трансформатора (автотрансформатора) в i -м режиме, кВ;

$U_{ном}$ - номинальное напряжение высшей обмотки трансформатора (автотрансформатора), кВ.

Напряжение на трансформаторе (автотрансформаторе) определяется с помощью измерений или с помощью расчета установившегося режима сети в соответствии с законами электротехники.

Допускается для силовых трансформаторов потери мощности ХХ определять с учетом их технического состояния и срока службы путем измерений этих потерь методами, применяемыми на заводах–изготовителях при установлении паспортных данных трансформаторов (автотрансформаторов). При этом в обосновывающие материалы целесообразно включать официально заверенные в установленном порядке протоколы измерений потерь мощности холостого хода.

Задание

Рассчитать потери ЭЭ за год в 4 цеховых трансформаторах мощность по 1000 кВА, при коэффициенте загрузке $0,2+0,1 \cdot NB$.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Какими схемами замещения моделируется двухобмоточный трансформатор?
2. В каких случаях используются упрощенные схемы замещения трансформаторов? В чем суть этих упрощений?
3. Зависит ли мощность холостого хода от номинального напряжения?
4. Какие трансформации учитываются в схеме замещения трансформаторов?

5. Зависит ли мощность холостого хода от номинального напряжения?
6. Каким образом определяется напряжение на высшей стороне трансформатора?

Повышенный уровень

1. Как зависят сопротивления и проводимости трансформаторов от их номинальной мощности?
2. Что характеризует относительное значение индуктивного (полного) сопротивления трансформатора?
3. Сколько режимов целесообразно рассмотреть при определении потерь холостого хода трансформаторов?
4. Допускается ли потери мощности XX определять с учетом технического состояния и срока службы трансформатора?

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения о расчетах потерь электроэнергии в автотрансформаторах и других элементах сети можно получить в [1,7].

Практическое занятие 7

Изменение параметров режима при компенсации реактивной мощности

Целью занятия является исследования изменения параметров режима при компенсации реактивной мощности.

В результате практического занятия студенты должны исследовать, как изменяются параметры режима при компенсации реактивной мощности.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью изучения влияния компенсации реактивной мощности на параметры режима.

Теоретическая часть

Под реактивной мощностью понимается электрическая нагрузка, создаваемая колебаниями энергии электромагнитного поля. В отличие от активной мощности реактивная, циркулируя между источниками и

потребителями, не выполняет полезной работы. Принято считать, что реактивная мощность потребляется (Q_L), если нагрузка носит индуктивный характер (ток отстает по фазе от напряжения) и генерируется (Q_C) при емкостном характере нагрузки (ток опережает по фазе напряжение).

Реактивная мощность запасается в виде магнитного и электрического полей в элементах электрической сети, электроприемниках, обладающих индуктивностью и емкостью.

Основными электроприемниками реактивной мощности на промышленных предприятиях являются асинхронные двигатели - на их долю приходится 60...65% потребляемой реактивной мощности, 20...25% приходится на трансформаторы, 10... 15% - на другие электроприемники (преобразователи, реакторы, газоразрядные источники света) и линии электропередачи.

Под компенсацией реактивной мощности понимается снижение реактивной мощности, циркулирующей между источниками тока и электроприемниками, а, следовательно, и снижение тока в генераторах и сетях.

Проведение мероприятий по компенсации реактивной мощности дает значительный технико-экономический эффект, заключающийся в снижении потерь активной мощности:

$$\Delta P = \frac{P_p^2 + (Q_p - Q_k)^2}{U_H^2} R$$

потерь напряжения

$$\Delta U = \frac{P_p R + (Q_p - Q_k) X}{U_H}$$

в лучшем использовании основного оборудования, в увеличении пропускной способности элементов сети по активной мощности:

$$S = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_k)^2}$$

где Q_k - мощность компенсирующих устройств.

Во вновь проектируемых электрических сетях компенсация реактивной

мощности позволяет снизить число и мощность силовых трансформаторов, сечения проводников линий и габариты аппаратов распределительных устройств.

Компенсировать реактивную мощность экономически целесообразно до определенных, нормативных значений, установленных для характерных узлов электрической сети.

До 1974г. основным нормативным показателем, характеризующим потребляемую реактивную мощность, был коэффициент мощности ($\cos \varphi$), определяющий, какую часть при неизменной полной мощности (S) составляет активная мощность (P).

При снижении потребления реактивной мощности Q до значения ($Q - Q_k$) величина угла φ_1 , уменьшается до угла $< \varphi_2$, что приводит к увеличению коэффициента мощности при постоянной величине передаваемой активной

мощности до значения $\cos \varphi_2 = \frac{P}{S_2}$.

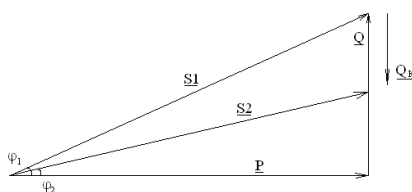


Рисунок 1.3 – Диаграмма, иллюстрирующая работу компенсирующего устройства

На границе раздела потребителя и энергоснабжающей организации в зависимости от места присоединения потребителя в энергетической системе средневзвешенное значение коэффициента мощности должно было находиться в пределах 0,85...0,95.

Позже, для оценки потребления реактивной мощности был введен коэффициент реактивной мощности:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_3}{P_3}$$

где Q_3 - оптимальная реактивная нагрузка предприятия в часы максимума

активной нагрузки в энергосистеме; P_3 - заявленная предприятием активная мощность, в период прохождения максимума нагрузки в энергосистеме.

С 1982 г, с целью более эффективного управления режимами реактивной мощности энергосистемой, для предприятий устанавливаются экономически оптимальные значения реактивной мощности, которая может быть передана предприятию в режимах наибольшей и наименьшей активной нагрузки энергосистемы, соответственно $Q_{Э1}$ и $Q_{Э2}$.

Для промышленных предприятий с присоединенной мощностью менее 750 кВ-А мощность компенсирующих устройств задается энергосистемой и является обязательной при выполнении проекта электроснабжения предприятия. Для жилых и общественных зданий компенсация реактивной нагрузки не предусматривается.

Существуют два пути снижения реактивных нагрузок:

а) снижение реактивной мощности без применения средств компенсации, не требующее больших материальных затрат, которое должно проводиться в первую очередь;

б) установка специальных компенсирующих устройств.

К естественной компенсации относится следующее: а) создание рациональной схемы электроснабжения за счет уменьшения количества ступеней трансформации; б) выравнивание графика нагрузки и улучшение энергетического режима работы оборудования; в) замена, перестановка или отключение трансформаторов, загруженных в среднем менее чем на 30% от их номинальной мощности; г) правильный выбор электродвигателей по мощности и типу; д) замена малозагруженных двигателей (менее 45%) двигателями меньшей мощности; е) переключение статорных обмоток асинхронных двигателей напряжением до 1 кВ с треугольника на звезду, если их нагрузка составляет менее 40%; ж) улучшение качества ремонта электродвигателей; з) ограничение продолжительности холостых ходов двигателей и сварочных трансформаторов; и) замена асинхронных двигателей синхронными, где это возможно по технико-экономическим

соображениям.

К специальным компенсирующим устройствам относятся:

- а) синхронные компенсаторы (СК);
- б) конденсаторные батареи (КБ);
- в) статические источники реактивной мощности (ИРМ).

Наибольшее применение в сетях потребителей нашли КБ. В сетях с резкопеременной, ударной нагрузкой на напряжении 6-10 кВ рекомендуется применение статических ИРМ. Для компенсации больших реактивных нагрузок, чаще в энергосистемах, применяются СК.

В основе расчета мощности компенсирующих устройств при проектировании систем электроснабжения лежит критерий минимума приведенных затрат на конденсаторные батареи до и выше 1 кВ, трансформаторные подстанции (ТП) и потери электроэнергии в питающих ТП электрических сетях [3].

В действующих системах электроснабжения мощность компенсирующих устройств можно определить по следующему выражению:

$$Q_K = P_p (tg \varphi_1 - tg \varphi_2)$$

где P_p - расчетная активная нагрузка потребителя; $tg \varphi_1$, $tg \varphi_2$ - коэффициенты реактивной мощности соответственно фактический и нормативный.

Выбор средств компенсации реактивной мощности и мощности компенсирующих устройств на стороне с напряжением 0,4 кВ осуществляется следующим образом:

— определяется мощность низковольтных батарей конденсаторов (БНК), устанавливаемых в сети до 1 кВ, по критерию выбора минимального числа цеховых ТП.

Количество трансформаторов при практически полной компенсации реактивной мощности сети до 1 кВ ($N_{\min}$) и отсутствии компенсации в сети до 1 кВ ($N_{\max}$) вычисляется следующим образом:

$$N_{\min} = \frac{P_{\text{расч} \Sigma n}}{K_{з.т} \cdot S_{\text{ном.т}}} ; \quad N_{\max} = \frac{S_{\text{расч} \Sigma n}}{K_{з.т} \cdot S_{\text{ном.т}}} .$$

Полученные значения $N_{\min}$, $N_{\max}$ должны быть округлены до большего ближайшего целого числа.

Принимается в соответствии с рекомендациями [2] коэффициент загрузки трансформаторов и она распределяется по ТП.

Для каждой группы цеховых трансформаторов определяется минимальное их число, необходимое для питания активной расчетной нагрузки:

$$N_T = \frac{P_{PH}}{K_{3T} \cdot S_T},$$

где P_{PH} – активная расчетная нагрузка до 1 кВ данной группы цеховых трансформаторов;

K_{3T} – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов;

S_T – единичная мощность цеховых трансформаторов.

Наибольшее значение реактивной мощности, которое может быть передано через трансформаторы в сеть до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot S_T \cdot N_T \cdot K_{3T})^2 - P_{PH}^2}.$$

Мощность низковольтных батарей конденсаторов (БНК), устанавливаемых в сети до 1 кВ:

$$Q_{НК} = Q_{PH} - Q_T.$$

Задание

Изучить методику расчета и последствия компенсации реактивной мощности, а также ответить на вопросы ПЗ.

Рассчитать мощность и выбрать компенсирующее устройство, приняв нормативное значение реактивной мощности $\lg \varphi_2 = 0,33$ ($\cos \varphi = 0,95$).

Активная и реактивная мощность потребителя принимается по данным таблицы.

Таблица - Исходные данные

№ варианта	P, кВт	Q, квар	$\cos \varphi_2$
1	260	253	0,96

2	550	545	0,98
3	254,5	223,7	0,95
4	331,7	351,2	0,97
5	334,5	364	0,96
6	213,1	202,4	0,95
7	257,0	242	0,90
8	487	470	0,97
9	757,5	740	0,98
10	1115	1100	0,95
11	2335	2300	0,98
12	354	299,5	0,96
13	194,5	189,8	0,963
14	270,6	232,8	0,97

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Опишите принцип действия силовых конденсаторов как источника реактивной мощности
2. Как влияет установка КУ на параметры режима?
3. Перечислите особенности КРМ в сетях с резкопеременной и вентильной нагрузкой.
4. Как изменяются потери активной мощности при компенсации реактивной мощности?
5. Как изменяются потери напряжения при компенсации реактивной мощности?
6. Как изменяется полный ток в линии при компенсации реактивной мощности?
7. Изобразите схемы включения конденсаторов в сеть.
8. Каковы основные принципы размещения КУ в системах электроснабжения промышленных предприятий?

Повышенный уровень

1. В каких местах электрической сети целесообразна установка КУ?
2. Какие схемы используются для включения конденсаторов в сеть?

3. Какими коммутационными аппаратами подключаются КУ?

4. Как регулируется мощность батарей конденсаторов?

5. Каковы основные принципы размещения КУ в системах электроснабжения промышленных предприятий?

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения по данному вопросу можно получить в [2 - 3].

Практическое занятие № 8

Разработка вариантов цехового электроснабжения и их технико-экономическое сравнение

Целью занятия является получение навыков технико-экономического сравнения вариантов.

В результате практического занятия студенты должны освоить алгоритмы технико-экономического сравнения вариантов.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков разработки и технико-экономического сравнения вариантов цехового электроснабжения.

Теоретическая часть

Целью технико-экономического расчета является определение оптимального варианта схемы, параметров электросети и ее элементов.

Из сравниваемых вариантов оптимальным считается вариант, обеспечивающий минимум приведенных годовых затрат.

После приведения к сопоставимому виду для каждого варианта определяются капитальные вложения, эксплуатационные расходы и суммарные приведенные затраты.

При производстве технико-экономических расчетов можно

использовать

укрупненные показатели стоимости (УПС) элементов электроснабжения.

Если объекты систем электроснабжения строятся в течение одного года, формула приведённых затрат имеет вид:

$$Z_i = K_i + \sum_{t=2}^T \frac{I_{ti}}{(1+E)^{t-1}} \rightarrow \min$$

где K_i – капитальные затраты в первый год для i – го варианта электроснабжения.

В случаях, когда капитальные вложения в строительство объекта осуществляется за один год, после чего объект вводится в эксплуатацию с неизменными по годам ежегодными издержками, то применима формула годовых приведенных затрат, представляющая собой статический критерий:

$$Z = I_{\text{э}} + E_n \cdot K$$

где $I_{\text{э}}$ – ежегодные эксплуатационные расходы, тыс. руб./год;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, принимаем равным 0,22, 1/год.

K – единовременные капитальные вложения, тыс. руб.

Амортизационные издержки складываются из амортизационных издержек на эксплуатацию силового оборудования и издержек по текущей эксплуатации:

$$I_a = K \cdot \frac{a}{100},$$

где a – норма амортизационных отчислений.

Стоимость ежегодных потерь электроэнергии определяется по формуле:

$$I_n = \Delta W_i \cdot \beta_{on},$$

где ΔW_i – величина потерь электроэнергии;

β_{on} – стоимость 1 кВт·ч потерь электроэнергии.

Суммарные ежегодные эксплуатационные расходы складываются из ежегодных отчислений на амортизацию, ремонт, обслуживание оборудования и из затрат на возмещение потерь электроэнергии и активной мощности:

$$I_{\Sigma} = I_a + I_n.$$

Вопросы и задания

Разработать два варианта цехового электроснабжения по данным, заданным преподавателем, и провести их технико-экономическое сравнение.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Каким образом определяются приведенные затраты, почему они называются приведенными?
2. В чем сущность и область применения коэффициента приведенных затрат?
3. Как определяются средние удельные дисконтированные затраты по капиталовложениям в элементы СЭС?
4. От чего зависит стоимость 1 км кабеля СПЭ различных сечений?
5. Как определяется стоимость конденсаторов различной мощности?
6. Как цена кабеля СПЭ зависит от сечения экрана?
7. Как обозначается на принципиальной схеме щит освещения?
8. В чем заключается различие приведенных и дисконтированных затрат?

Повышенный уровень

1. В чем заключается различие приведенных и дисконтированных затрат?

2. Как влияет выбор значений расчетного периода и нормы дисконта на дисконтированные затраты элементов СЭС?
3. Сформулируйте принципы составления математических зависимостей затрат на этапе ТЭО и принятые допущения?
4. Почему при увеличении мощности трансформаторов ТП уменьшается оптимальная степень КРМ на НН?
5. На основании каких документов принимается стоимость потерь электроэнергии на различных уровнях напряжения?
6. Перечислите факторы, определяющие расположение подстанций в цехах.

Рекомендуемая литература

Более полные сведения по данной теме изложены в [5].

Практическое занятие 9

Выбор защитной аппаратуры и пускателей

Целью занятия является получение навыков выбора защитной аппаратуры.

В результате практического занятия студенты должны освоить методики выбора защитной аппаратуры.

Актуальность практического занятия обусловлена освоения правил выбора защитной аппаратуры и пускателей.

Теоретическая часть

Предохранители и автоматические выключатели проверяются по отключающей способности по условию:

$$I_0 \geq I_{\kappa}^{(3)},$$

где I_0 – отключающая способность аппарата защиты, кА;

$I_{\text{к}}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на выходе аппарата защиты, кА.

Проверка правильности выбора предохранителя по чувствительности:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{н. вст.}}} &\geq 3 \text{ – для помещений с нормальной средой;} \\ \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{н. вст.}}} &\geq 4 \text{ – для помещений со взрывоопасной средой;} \end{aligned} \right\}$$

где $I_{\text{к}}^{(1)}$ – ток однофазного КЗ в конце зоны защиты предохранителя, А;

$I_{\text{н. вст.}}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А.

Проверка правильности выбора автоматических выключателей по чувствительности действия защит:

– для тепловых расцепителей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{нтр}}} &\geq 3 \text{ – для помещений с нормальной средой;} \\ \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{нтр}}} &\geq 6 \text{ – для взрывоопасных помещений;} \end{aligned} \right\};$$

– для электромагнитных расцепителей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{нэр}}} &\geq 1,4 \text{ – для АВ с } I_{\text{на}} \leq 100 \text{ А;} \\ \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{нэр}}} &\geq 1,25 \text{ – для остальных АВ;} \end{aligned} \right\},$$

где $I_{\text{к}}^{(1)}$ – ток однофазного КЗ в конце зоны защиты автоматического выключателя, А;

$I_{\text{нтр}}$ – номинальный ток теплового расцепителя АВ, А;

$I_{\text{нэр}}$ – номинальный ток электромагнитного расцепителя АВ, А.

Данные по проверке предохранителей свести в табл., автоматических выключателей – в табл..

Таблица – Проверка правильности выбора предохранителей

№ линии	Обозначение ЭП	Тип предохранителя	$I_{н.пр.},$ А	$I_{н.вст.},$ А	$I_0,$ кА	$I_K^{(3)},$ кА	$I_K^{(1)},$ кА	$\frac{I_K^{(1)}}{I_{н.вст.}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица – Проверка правильности выбора автоматических выключателей

№ линии	Обозначение ЭП	Тип АВ	$I_{на},$ А	$I_{нтр},$ А	$I_{нэр},$ А	$I_0,$ кА	$I_K^{(3)},$ кА	$I_K^{(1)},$ кА	$\frac{I_K^{(1)}}{I_{нтр}}$	$\frac{I_K^{(1)}}{I_{нэр}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Если выбранные аппараты не проходят проверку по отключающей способности, то их необходимо заменить на другие типы аппаратов с большей отключающей способностью. Если защитные аппараты не проходят проверку по чувствительности, необходимо увеличить сечения линий, чтобы увеличить ток однофазного КЗ.

Выбор предохранителей производят по условиям:

$$U_{ном.пр.} \geq U_c$$

$$I_{ном.пр.} \geq I_p$$

Плавкую вставку для безынерционных предохранителей с учетом следующих условий:

$$I_{ном.вст.} \geq I_{p, \max}$$

$$I_{ном.вст.} \geq I_n / K_n$$

K_n -коэффициент перегрузки, учитывающий превышение тока двигателя сверх номинального значения в режиме пуска.

$$K_n=2,5- \text{ при частых и легких пусках}$$

$$K_n=1,6-2- \text{ при тяжелых и редких пусках}$$

а) для защиты присоединений с равномерной нагрузкой

$$I_{н.в.} \geq I_p,$$

где $I_{н.в.}$ - номинальный ток плавкой вставки, А;

I_p - расчетный ток электроприемника, А.

б) для защиты ответвлений к двигателям

$$I_{н.в.} \geq I_{\Pi} / K_n,$$

где I_{Π} - пусковой ток двигателя, А;

K_n - коэффициент, учитывающий увеличение тока при пуске двигателей.

$$I_{\Pi} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{н.дв.},$$

где $I_{н.дв.}$ - номинальный ток двигателя, А.

$K_{\text{пуск}}$ - кратность пускового тока

Рассмотрим в качестве примера выбор предохранителя трубоотрезного станка.

$$I_p = 82,9 \text{ А}$$

$$I_{\Pi} = 82,9 \cdot 6,82 = 567,9 \text{ А}$$

$$I_{\Pi} / 2,5 = 227,1 \text{ А}$$

$$I_{н.в.} = 250 \text{ А}$$

$$250 \text{ А} > 89 \text{ А}$$

Выбираем предохранитель типа ПН2-600 с $I_{н.п.} = 600 \text{ А}$ и $I_{н.в.} = 250 \text{ А}$.

Далее согласуем его с проводом питающим приёмник по условию

$$I_{\text{доп.п.}} \geq K_z \cdot I_{\text{пл.вст.}}; \quad 600 \geq 250 \cdot 0,33 = 600 \geq 82,5(\text{А});$$

провод проходит согласование.

б) Выбор автоматических выключателей:

Номинальное напряжение выключателя не должно быть ниже напряжения сети

Номинальный ток расцепителя должен быть не меньше наибольшего расчетного тока нагрузки, длительно протекающего по защищаемому элементу

$$I_{\text{ном.рас.}} \geq I_{p, \max}$$

Автоматический выключатель не должен отключаться в нормальном режиме работы защищаемого элемента, поэтому ток уставки замедленного

срабатывания регулируемых расцепителей следует выбрать по условию:

$$I_{\text{ном. рас.}} \geq (1,1 \div 1,3) I_{p, \max}$$

Расцепитель отстраивается от кратковременных перегрузок по следующему условию:

$$I_{\text{ном. рас.}} \geq (1,25 \div 1,35) I_{\Pi}$$

$$I_{\Pi} = K_{\Pi} \cdot I_{\text{ном.}} - \text{пусковой ток электродвигателя}$$

K_{Π} - кратность пускового тока электродвигателя

Пиковое значение тока:

$$I_{\Pi} = I_{\Pi, \max.} + (I_P - K_{\text{и.а.}} \cdot I_{\text{ном. max.}})$$

где $I_{\Pi, \max.}$ - максимальное значение пускового тока рассматриваемой группы электро-двигателей.

I_P - расчётный ток рассматриваемой группы электро-двигателей.

$K_{\text{и.а.}}$ - коэффициент использования активной мощности рассматриваемой группы электро-двигателей.

$I_{\text{ном. max.}}$ - номинальный ток эл. двигателя с наибольшим значением пускового тока.

В качестве примера выберем выключатель к группе эл. приёмников питаемых шинопроводом ШРА.

№ приёмника п.п.	Рн, кВт	Ин, А	Кп	Ип, А
ШРА1-16	11,125	32,6	6,82	222,6
ШРА1-16	11,125	32,6	6,82	222,6
ШРА1-16	11,125	32,6	6,82	222,6
ШРА1-17	3,2	9,6	6,82	26,3
ШРА1-18	2,8	8,9	6,82	24,3

$$I_{\Pi} = I_{\Pi, \max.} + (I_P - K_{\text{и.а.}} \cdot I_{\text{ном. max.}}) = 390 + (60,2 - 0,23 \cdot 5,4) = 390,1(A)$$

$$I_{\text{ном. рас.}} \geq (1,25 \div 1,35) I_{\Pi} = 1,25 \cdot 390,1 = 488,55(A)$$

Выбираем автомат серии ВА51-35; $I_n = 100A$; номинальный ток расцепителя = 80 А; уставка мгновенного срабатывания = 800 А;

Далее проводим согласование выбранного выключателя с кабелем к шинопроводу по условию:

$$I_{\text{доп.к.}} \geq K_z \cdot I_{\text{ном.р.}}; \quad 75 \geq 0,66 \cdot 80 = 52,8(A);$$

кабель проходит согласование.

Аналогичные действия производим для остальных приёмников, полученные расчётные данные заносим соответственно в таблицу

в) Выбор рубильников ввода и магнитных пускателей

Выбор пускателей производится по условию:

$$I_{i.т.} \geq I_{i.д.}$$

где $I_{н.п.}$ - номинальный ток пускателя, А;

$I_{н.д.}$ - номинальный ток двигателя, А.

Для защиты двигателей от перегрузки предназначены тепловые реле РТЛ, РТТ, встраиваемые соответственно в пускатели ПМЛ, ПМА.

Выбор тепловых реле производится по условию:

$$I_{i.дл.} \geq I_{i.д.}$$

где $I_{м.дл.}$ - максимальный ток продолжительного режима реле, А.

Для выбранного реле указываются пределы регулирования тока уставки.

Рассмотрим в качестве примера выбор рубильника и магнитного пускателя к трубоотрезного станка:

а) выбор рубильника

$$I_{\text{ном.р.}} \geq I_p. \quad 100 \geq 9,6(A)$$

выбираем рубильник типа РП,

б) выбор магнитного пускателя

$$U_{\text{ном.п.}} \geq U_p. \quad 0,4 \geq 0,4$$

$$I_{\text{ном.п.}} \geq I_p. \quad I_{\text{ном.п.}} \geq I_p.$$

$$P_{\text{подкл.}} \leq P_{\text{мп}} \quad 2,8 \leq 4$$

выбираем магнитных пускателей типа ПМЛ с тепловым реле типа РТЛ.

Вопросы и задания

Для заданной схемы цеха выбрать магнитные пускатели с тепловыми реле

Вопросы к практическому занятию:

1.Как выбираются автоматические выключатели?

2.Для защиты каких сетей применяются автоматические выключатели?

3.Какие виды расцепителей Вы знаете?

4.Как выбираются автоматические выключатели и предохранители для защиты двигателей?

5.Для защиты каких сетей применяются плавкие предохранители?

6.Какие аппараты не проверяются применяются в электроустановках напряжением выше 1кВ?

7.Какие аппараты не проверяются применяются в электроустановках напряжением до 1кВ?

8.При каких условиях обеспечивается надежная селективность последовательно включенных предохранителей?

9. Как выбираются контакторы и магнитные пускатели для управления и защиты асинхронного двигателя?

10. Как выбираются автоматические выключатели и предохранители для защиты двигателей?

Повышенный уровень

1. При каких условиях обеспечивается надежная селективность последовательно включенных предохранителей?

2. Какие виды проверок по условиям КЗ применяются в электроустановках напряжением до 1кВ?

3. Какое время принимается в качестве расчетной продолжительности КЗ при проверке электрических аппаратов и проводников на термическую стойкость при КЗ?

4. Какие средства защиты применяют от однофазных замыканий на стороне низкого напряжения?

5. Какие защиты используются для защиты синхронных и асинхронных электродвигателей?

6. С какой целью применяется устройство АВР?

Список литературы, рекомендуемый к использованию

Более подробные сведения по данному вопросу можно получить в [1 - 3].

Практическое занятие № 10

Расчет токов короткого замыкания в цеховых сетях

Целью занятия является получение навыков определения токов короткого замыкания.

В результате практического занятия студенты должны научиться определять токи короткого замыкания.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков расчета токов КЗ в цеховых сетях.

Теоретическая часть

Расчет токов КЗ необходим для проверки защитных аппаратов по отключающей способности, проверки защит по чувствительности действия и шинопроводов (ШМА, ШРА) по термической и электродинамической стойкости.

С этой целью рассчитываются токи трехфазного короткого замыкания ($I_K^{(3)}$) на выходе защитных аппаратов, токи однофазного КЗ ($I_K^{(1)}$) в конце защищаемой зоны аппарата защиты, ток трехфазного КЗ и ударный (i_y) в начале шинопровода.

При расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

- индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;
- активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;
- значения параметров синхронных и асинхронных электродвигателей.

При расчетах токов КЗ рекомендуется учитывать:

- сопротивление электрической дуги в месте КЗ;
- изменение активного сопротивления проводников короткозамкнутой цепи вследствие их нагрева при КЗ;
- влияние комплексной нагрузки (электродвигатели, преобразователи, термические установки, лампы накаливания) на ток КЗ, если номинальный ток электродвигателей нагрузки превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока КЗ, рассчитанного без учета нагрузки.

Токи КЗ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах.

Следует использовать шкалу средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ.

Сопротивления всех элементов схемы замещения выражать в миллиомах.

При электроснабжении электроустановки от энергосистемы через понижающий трансформатор начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ в килоамперах без учета подпитки от электродвигателей рассчитывают по формуле:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.нн}}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}},$$

где $U_{\text{ср.нн}}$ – среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание, В; $r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ – соответственно суммарное активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи до точки КЗ, мОм.

Значение периодической составляющей тока однофазного КЗ от системы в килоамперах рассчитывают по формуле

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} U_{\text{ср.нн}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}},$$

где $r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ – суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление нулевой последовательности относительно точки КЗ, мОм.

Для определения суммарных сопротивлений до точки КЗ необходимо составить расчетную схему, на которой приводятся технические характеристики цехового трансформатора (тип, схема соединения обмоток, номинальная мощность, номинальные напряжения обмоток, напряжение КЗ трансформатора и мощность потерь при КЗ), марка кабелей, сечения и длины линий, типы и номинальные токи коммутационно-защитных аппаратов, точки КЗ.

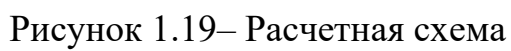
Пример расчетной схемы приведен на рис. 13.

Далее составляются схемы замещения прямой и нулевой последовательностей, представленные на рис. 14 и рис. 15.

Эквивалентное индуктивное сопротивление системы, приведенное к ступени низшего напряжения сети, рассчитывается по формуле

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3} I_{\text{к.ВН}}^{(3)} U_{\text{ср.ВН}}} = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{S_{\text{к}}} \cdot 10^{-3},$$

где $U_{\text{ср.НН}}$ – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, В; $U_{\text{ср.ВН}}$ – среднее номинальное напряжение сети, к которой подключена обмотка высшего напряжения трансформатора, В; $I_{\text{к.ВН}}^{(3)} = I_{\text{по ВН}}$ – действующее значение периодической составляющей тока при трехфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, кА; $S_{\text{к}}$ – условная мощность короткого замыкания у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, МВА.



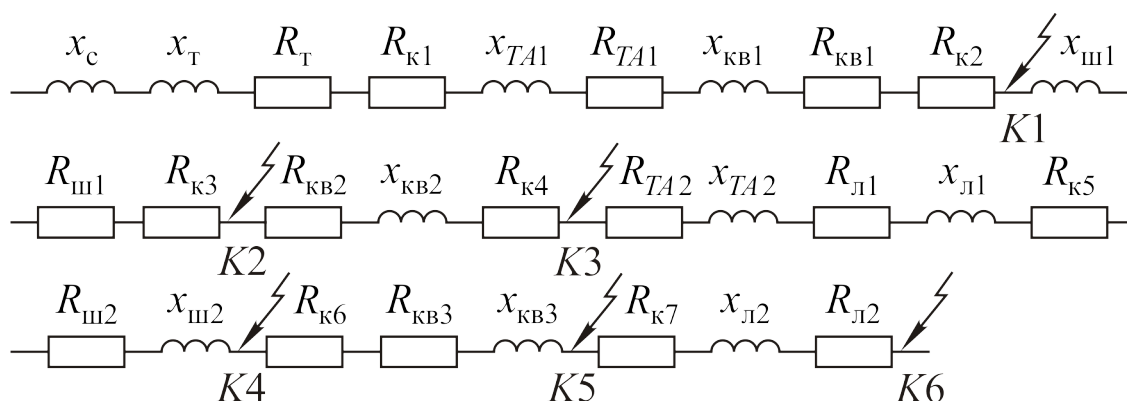


Рисунок 1.20 – Схема замещения прямой последовательности:

x_c – эквивалентное сопротивление системы; R_T, x_T – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности цехового трансформатора; R_{TA}, x_{TA} – активное и индуктивное сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока; R_{KB}, x_{KB} – активное и индуктивное сопротивления токовых катушек автоматических выключателей; $R_{ш}, x_{ш}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности шинопроводов; $R_{л}, x_{л}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности кабельных линий; R_k – активное сопротивление различных контактов.

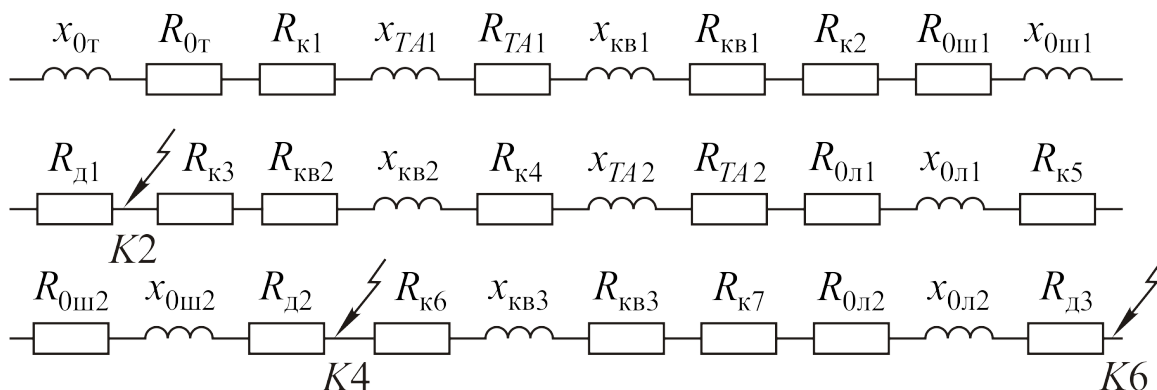


Рисунок 1.21 – Схема замещения нулевой последовательности:

R_{0T}, x_{0T} – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности цехового трансформатора; $R_{0ш}, x_{0ш}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности шинопроводов; $R_{0л}, x_{0л}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабельных линий; $R_{д}$ – сопротивление дуги в месте короткого замыкания.

При отсутствии указанных данных эквивалентное индуктивное сопротивление системы в миллиомах допускается рассчитывать по формуле

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3} I_o U_{\text{ср.ВН}}},$$

где I_o – номинальный ток отключения силового выключателя, установленного на стороне высшего напряжения понижающего трансформатора.

Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающих трансформаторов (r_T, x_T) в миллиомах, приведенные к ступени низшего напряжения сети, рассчитывают по формулам:

$$r_T = \frac{P_K U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{НТ}}^2} 10^6;$$

$$x_T = \sqrt{u_K^2 - \left(\frac{100 P_K}{S_{\text{НТ}}} \right)^2} \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{НТ}}} 10^4,$$

где $S_{\text{НТ}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА; P_K – потери КЗ в трансформаторе, кВт; $U_{\text{НН}}$ – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ; u_K – напряжение КЗ трансформатора, %.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности понижающих трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме Δ/Y_0 , при расчете КЗ в сети низшего напряжения следует принимать равными соответственно активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности. При других схемах соединения обмоток трансформаторов активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности необходимо принимать в соответствии с указаниями изготовителей.

Активные и индуктивные сопротивления прямой и нулевой последовательностей шинопроводов приведены в табл.

Таблица 1.1 – Параметры комплектных шинопроводов

Тип шинопровода	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Сопротивление фазы, мОм/м		Сопротивление нулевого проводника, мОм/м	
			$r_{ш}$	$x_{ш}$	$r'_{0ш}$	$x'_{0ш}$
ШМА4-1250	0,38/0,66	1250	0,034	0,016	0,054	0,053
ШМА4-1650	0,38/0,66	1600	0,030	0,014	0,037	0,042
ШМА4-3200	0,38/0,66	3200	0,010	0,005	0,064	0,035
ШМА68П	0,38/0,66	2500	0,020	0,020	0,070	0,045
ШМА68П	0,38/0,66	4000	0,013	0,015	0,070	0,045
ШРА73	0,38	250	0,210	0,210	0,12	0,210
ШРА73	0,38	400	0,150	0,170	0,162	0,164
ШРА73	0,38	630	0,100	0,130	0,162	0,164

Значения удельных сопротивлений кабелей приведены в [2].

Значения активных сопротивлений контактов различного вида приведены в таблицах 1.2-1.4.

Таблица 1.2 – Сопротивления контактных соединений кабелей

Сечение алюминиевого кабеля, мм ²	16	25	35	50	70	95	120	150	240
Сопротивление, мОм	0,08 5	0,06 4	0,05 6	0,04 3	0,02 9	0,02 7	0,02 4	0,02 1	0,01 2

Таблица 1.3– Сопротивления контактных соединений шинопроводов

Номинальный ток, А	250	400	630	1600	2500	4000
Серия шинопроводов	ШРА-73	ШРА-73	ШРА-73	ШМА-73	ШМА-68Н	ШМА-68Н
Сопротивление контактного соединения, мОм	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001

Таблица 1.4 – 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	1,30	—	—
70	1,00	—	—
100	0,75	0,50	—
150	0,65	—	—
200	0,60	0,40	—
400	0,40	0,20	0,20
600	0,25	0,15	0,15
1000	0,12	0,08	0,08
3000	—	—	—

При приближенном учете сопротивлений контактов принимают:
 $r_k = 0,1 \text{ мОм}$ – для контактных соединений кабелей; $r_k = 0,01 \text{ мОм}$ – для шинопроводов; $r_k = 1,0 \text{ мОм}$ – для коммутационных аппаратов.

При расчете токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ следует учитывать как индуктивные, так и активные сопротивления первичных обмоток всех многовитковых измерительных трансформаторов тока, которые имеются в цепи КЗ. Значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности принимают равными значениям сопротивлений прямой последовательности. Параметры некоторых многовитковых трансформаторов тока приведены в табл.25. Активным и индуктивным сопротивлением одновитковых трансформаторов (на токи более 500 А) при расчетах токов КЗ можно пренебречь.

Расчеты токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ следует вести с учетом индуктивных и активных сопротивлений катушек (расцепителей) максимального тока автоматических выключателей, принимая значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности равными соответствующим сопротивлениям прямой последовательности. Значения сопротивлений катушек расцепителей и контактов некоторых автоматических выключателей приведены в табл. 26.

Таблица 1.5 – Сопротивления первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока

Коэффициент трансформации трансформаторов тока	Сопротивление первичной обмотки многовиткового трансформатора, мОм, класса точности			
	1		3	
	x_{TA}	r_{TA}	x_{TA}	r_{TA}
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	0,30	0,20	0,08	0,088
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

Таблица 1.6 – Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей

Номинальный ток выключателя, А	Сопротивление катушки и контакта, мОм	
	$r_{кв}$	$x_{кв}$
50	7	4,50
70	3,50	2
100	2,15	1,20
140	1,30	0,70
200	1,10	0,50
400	0,65	0,17
600	0,41	0,13
1000	0,25	0,10
1600	0,14	0,08
2500	0,13	0,07
4000	0,10	0,05

При определении минимального значения тока КЗ следует учитывать влияние на ток КЗ активного сопротивления электрической дуги в месте КЗ.

Приближенные значения активного сопротивления дуги приведены в табл.

Таблица 1.7 – Значения активного сопротивления дуги

Расчетные условия КЗ	Активное сопротивление дуги (r_d), мОм, при КЗ за трансформаторами мощностью, кВА					
	250	400	630	1000	1600	2500
КЗ вблизи выводов низшего напряжения трансформатора:						
- в разделке кабелей напряжением:						
0,4 кВ	15	10	7	5	4	3
0,525 кВ	14	8	6	4,5	3,5	2,5
0,69 кВ	12	7	5	4	3	2
- в шинопроводе типа ШМА напряжением:						
0,4 кВ	—	—	—	6	4	3
0,525 кВ	—	—	—	5	3,5	2,5
0,69 кВ	—	—	—	4	3	2
КЗ в конце шинопровода типа ШМА длиной 100–150 м напряжением:						
0,4 кВ						
0,525 кВ	—	—	—	6 – 8	5 – 7	4 – 6
0,69 кВ	—	—	—	5 – 7	4 – 6	3 – 5
	—	—	—	4 – 6	3 – 5	2 – 4

Значение ударного тока короткого замыкания определяется по формуле

$$i_y = \sqrt{2} K_y I_k^{(3)}, \text{ кА},$$

где K_y – ударный коэффициент, определяемый по графику на рис. и зависящий от отношения активного и индуктивного сопротивлений в точке

$$\text{КЗ: } K_y = f\left(\frac{R_k}{x_k}\right).$$

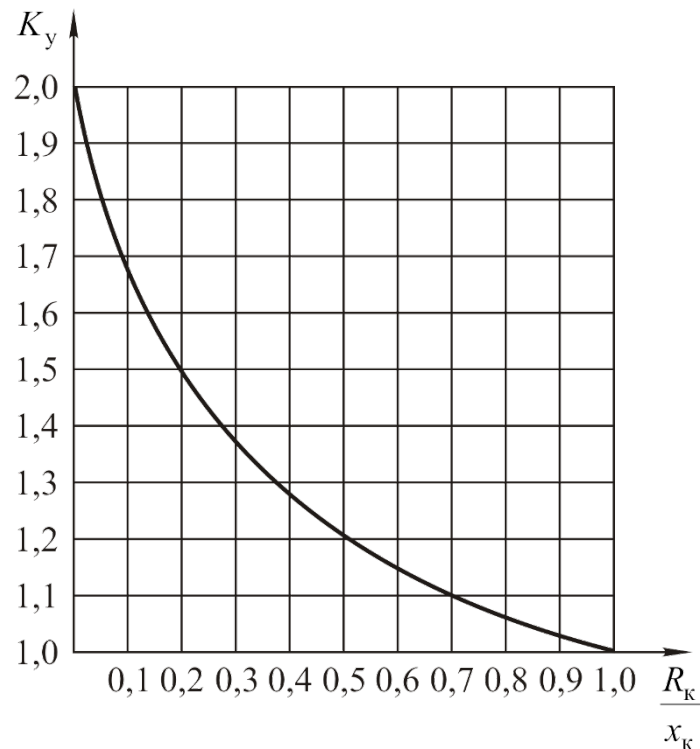


Рисунок – Зависимость $K_y = f\left(\frac{R_k}{x_k}\right)$

Пример расчета токов короткого замыкания привести для одной точки КЗ. Результаты расчета токов КЗ свести в табл.

Таблица 1.8 – Результаты расчета токов КЗ

Обозначение точки КЗ	$R_{1\Sigma}$, мОм	$x_{1\Sigma}$, мОм	$z_{1\Sigma}$, мОм	$R_{0\Sigma}$, мОм	$x_{0\Sigma}$, мОм	$I_k^{(1)}$, кА	$I_k^{(3)}$, кА	i_y , кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Задание

Рассчитать ток КЗ в заданной сети напряжением 0,4 кВ.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Какие сопротивления учитываются при расчете токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ?
2. Как происходит выбор расчетного момента возникновения КЗ?
3. От чего зависит значение и характер изменения апериодической составляющей тока КЗ?
4. Перечислите способы ограничения токов КЗ.
5. Какая точка на расчетной схеме электроустановки выбирается в качестве расчетной?

Повышенный уровень

1. Какие условия принимаются при составлении расчетной схемы электроустановок напряжением до 1 кВ?
2. Из какого условия при расчете токов КЗ допускается исходить при питании электрической сети напряжением до 1 кВ через понижающий трансформатор?
3. Почему в сетях до 1 кВ рассчитывается наименьший из токов однофазного КЗ?

Практическое занятие №11

Изучение конструктивного выполнения цеховых ТП

Целью занятия является получение и изучение конструктивного выполнения цеховых ТП.

В результате практического занятия студенты должны научиться определять токи короткого замыкания.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью изучения конструктивного выполнения цеховых ТП.

Теоретическая часть

Комплектные трансформаторные подстанции напряжением 6...10 кВ. В целях наибольшего приближения к потребителям рекомендуется применять

внутренние, встроенные в здание или пристроенные к нему, трансформаторные подстанции. Встроенные в здание или пристроенные трансформаторные подстанции имеют выход из камер с масляными трансформаторами и высоковольтными аппаратами непосредственно наружу. Внутрицеховые подстанции могут размещаться на первом и втором этажах производств, которые согласно противопожарным требованиям отнесены к категориям Г и Д первой и второй степеням огнестойкости. Внутрицеховые подстанции размещаются как открыто, так и в отдельных помещениях.

Размещение внутрицеховых подстанций в помещениях пыльных и с химически активной средой допускается при условии принятия мер, обеспечивающих надежную работу электрооборудования.

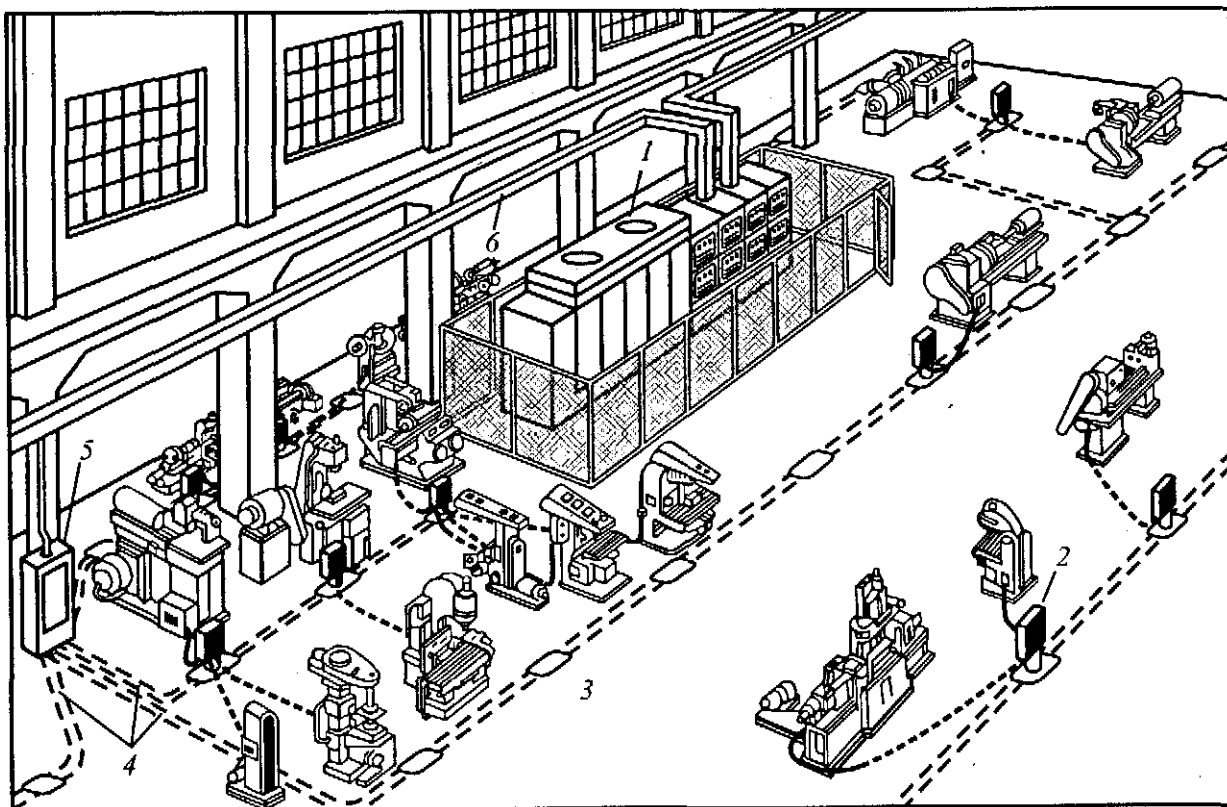


Рисунок – Модульная разводка силовой электросети к электроприемникам механического цеха:

/ - комплектная трансформаторная подстанция; 2 - колонка с автоматическим выключателем; 3 - ответвительная коробка; 4 - модульная магистраль; 5 - силовой шкаф; 6 - магистральный шинопровод

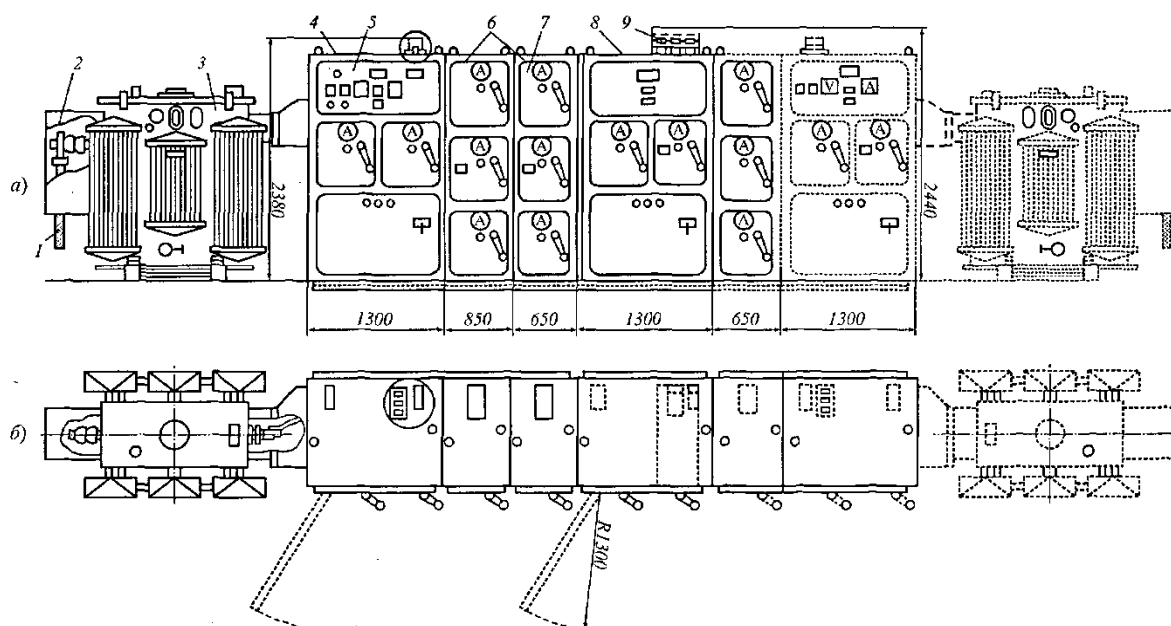


Рисунок – Комплектная двухтрансформаторная подстанция мощностью 630... 1000 кВ·А для внутренней установки с однорядным расположением оборудования: а - вид спереди; б - план; 1 - кабель ВН; 2 - шкаф ввода ВН; 3 - силовой трансформатор; 4 - шкаф ввода НН; 5 - отсек приборов; 6- шкаф отходящих линий НН; 7 - секционный шкаф НН или шкаф отходящих линий; 8 - шинный короб; 9 - окно для вывода кабеля вверх

В производственных помещениях трансформаторы и РУ могут устанавливаться, как открыто, так и в камерах и отдельных помещениях. На каждой открыто установленной цеховой подстанции и КТП могут быть применены масляные трансформаторы мощностью до 1600 кВ·А. Расстояние в свету между масляными трансформаторами должно быть не менее 10 м.

Для внутрицеховых подстанций и КТП с сухими трансформаторами или с негорючим диэлектриком их мощность и расстояние между ними не ограничиваются.

КРУ и КТП следует, как правило, размещать в пределах «мертвой зоны» подъемно-транспортных механизмов. В цехах с интенсивным движением внутризаводского транспорта КРУ и КТП следует ограждать.

Ширина прохода для управления и ремонта КРУ выкатного типа и КТП должна обеспечивать удобство обслуживания и ремонта (0,6...0,8 м).

Ввод от трансформатора на щит может быть выполнен двумя способами: кабелями снизу на вводных панелях, предназначенных для кабельных вводов; шинами сверху с помощью вводных панелей или же непосредственно к сборным шинам через разъединитель, установленный на стене.

На рис. представлена комплектная двухтрансформаторная подстанция мощностью 630... 1000 кВ·А для внутренней установки с однорядным расположением оборудования. Автоматические выключатели выдвижного исполнения служат защитно-коммутационной аппаратурой, каждый автомат закрыт дверью, управление производится рукоятками и ключами, расположенными на дверях шкафов, а для дистанционного управления концы проводов подведены к рейке с зажимами. Присоединение вводов высшего напряжения глухое.

Задание

Просмотреть фильм о конструктивном выполнении цеховых ПС и ответить на вопросы ПЗ.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Перечислите факторы, определяющие конструктивной исполнение подстанций.
2. Перечислите факторы определяющие расположение подстанций;
3. Опишите конструктивное исполнение и особенности размещения КТП 6-10 кВ

Повышенный уровень

1. Приведите назначение и классификацию КТП
2. Опишите конструкции выкатных и стационарных КРУ.

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения по данной теме изложены в [1].

Практическое занятие № 12

Изучение конструктивного выполнения шинопроводов напряжением 0,4 кВ

Целью занятия является получение и изучение конструктивного выполнения шинопроводов.

В результате практического занятия студенты должны изучить параметры и конструкцию шинопроводов.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью изучения конструктивного выполнения шинопроводов.

Теоретическая часть

Конструкция шинопроводов Шинопровод производится отдельными секциями с медными или алюминиевыми шинами. Шины изолированы друг относительно друга и от корпуса шинопровода. Питание отводится через ответвительные коробки установленные на самих секциях через равные интервалы. По конструктивному исполнению шинопроводы подразделяют на: трехфазные; трехфазные с нулевым рабочим проводником; трехфазные с нулевым рабочим и нулевым защитным проводником.

Основными элементами распределительных шинопроводов являются: прямые секции — для прямолинейных участков линии, имеющие места для присоединения одного или двух ответвительных устройств для секций длиной до 2 м включительно, двух, трех, четырех или более устройств — для секций длиной 3 м; прямые подгоночные секции — для прямолинейных участков линий, где присоединение ответвительных устройств не требуется; угловые секции — для поворотов линии на 90° в горизонтальной и

вертикальной плоскостях; а б в.

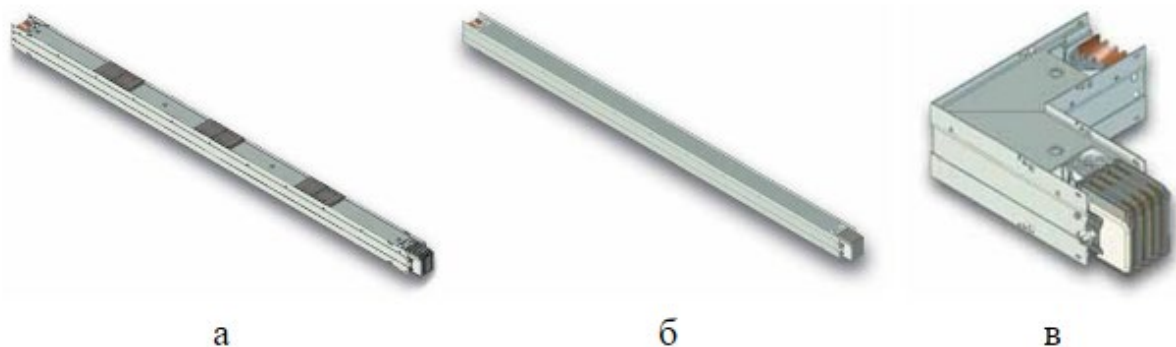


Рисунок – Секции шинопровода: а – прямая; б – прямая подгоночная; в – угловая горизонтальная.

Z-образные секции — для обхода линией различных препятствий; вводные секции или вводные коробки с коммутационной, защитной и коммутационной аппаратурой или без нее — для подвода питания к шинопроводам кабелем, проводами или магистральным шинопроводом; переходные секции или устройства — для соединения двух шинопроводов на различные номинальные токи или шинопроводов разных конструкций; ответвительные устройства (коробки, штепсели) — для разъемного присоединения приемников электрической энергии. Коробки выпускаются с разъединителем, с разъединителем и с предохранителями или автоматическим выключателем; а б в

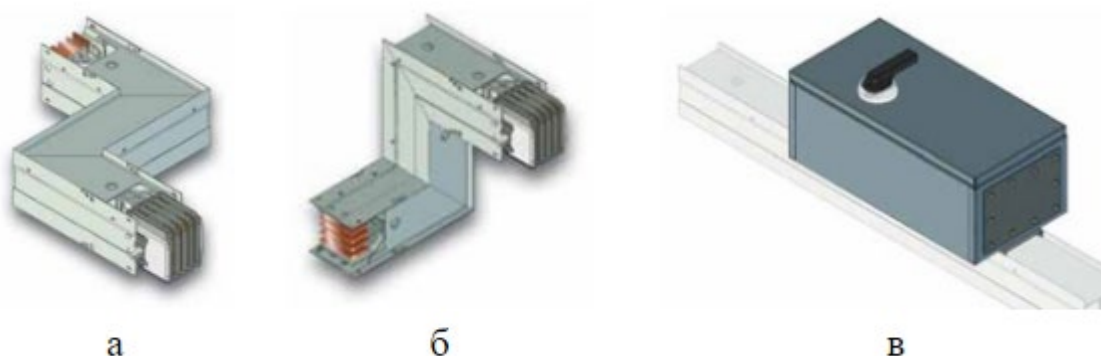


Рисунок – Элементы шинопровода: а – Z-образная горизонтальная секция; б – Z-образная вертикальная секция с изменением направления трассы; в – ответвительная коробка

присоединительные фланцы — для сочленения оболочек шинопроводов с

оболочками щитов или шкафов; торцовые крышки (заглушки) — для закрытия торцов крайних секций шинопровода; устройства для крепления шинопроводов к элементам строительных конструкций зданий и сооружений; Основными элементами магистральных шинопроводов являются: прямые секции — для прямолинейных участков линий; угловые секции — для поворотов линий на 90° в горизонтальной и вертикальной плоскостях; тройниковые (Т-образные) секции — для разветвления в трех направлениях под углом 90° в горизонтальной и вертикальной плоскостях; подгоночные секции — для подгонки линии шинопроводов до необходимой длины; разделительные секции с разъединителем — для секционирования магистральных линий шинопроводов; компенсационные секции — для компенсации температурных изменений длины линии шинопроводов; а б в

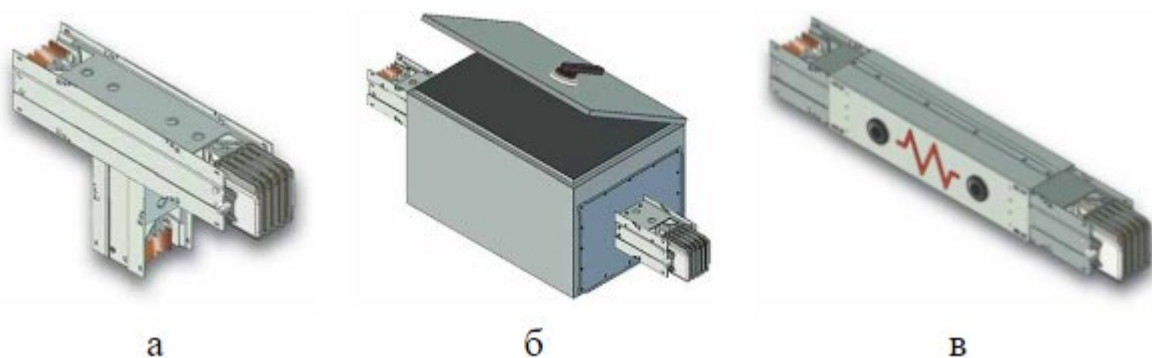


Рисунок – Секции шинопровода: а – тройниковая вертикальная; б – разделительная; в – компенсационная

переходные секции — для соединения шинопроводов на разные номинальные токи; ответвительные устройства (секции, коробки) — для неразборного, разборного или разъемного присоединения распределительных пунктов, распределительных шинопроводов или приемников электрической энергии. Коробки выпускаются с разъединителем, с разъединителем и предохранителями или с автоматическим выключателем; секции могут выпускаться без указанных аппаратов; присоединительные секции — для присоединения шинопроводов к комплектным трансформаторным подстанциям; проходные секции — для

прохода через стены и перекрытия; устройства для крепления шинопроводов к элементам строительных конструкций зданий и сооружений; крышки (заглушки) торцовые и угловые для закрытия торцов концевых секций шинопровода и углов. а б в

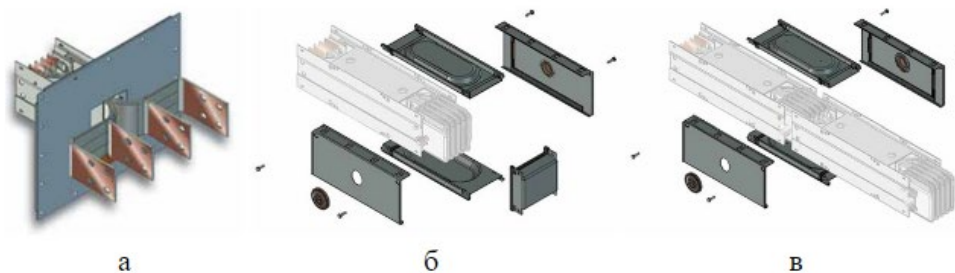


Рисунок - Элементы шинопровода: а – присоединительная секция; б – торцевая заглушка; в – корпус стыкового соединения

Из отдельных секций и элементов собирается трасса шинопровода. Пример трассы магистрального шинопровода приведен ниже.

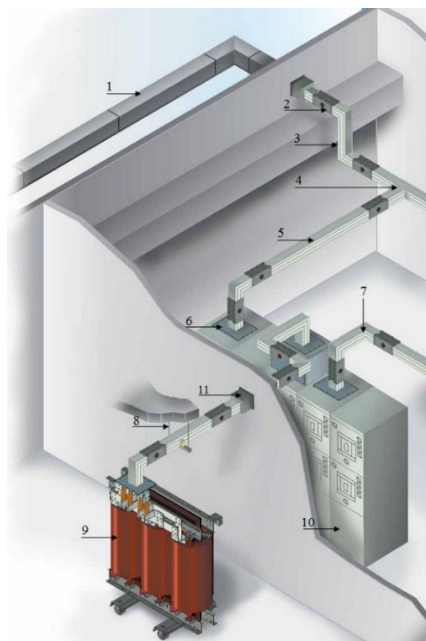


Рисунок – Трасса магистрального шинопровода: 1 - короб, для дополнительной защиты шинопровода; 2 - стыковочный блок; 3 - Z-образная секция; 4 - тройниковая секция; 5 - прямая секция; 6 - присоединительная секция; 7 - Z-образная секция с изменением направления трассы; 8 - подвес; 9 - трансформатор; 10 - распределустройство; 11 - проходная секция

Принципиальных отличий осветительных шинопроводов от распределительных и магистральных нет. Осветительные шинопроводы имеют в своей номенклатуре секции прямые, подгоночные, вводные и устройства ответвительные, с защитой или без нее для подключения к ним осветительных приборов или потребителей небольшой мощности. Также в номенклатуру могут входить угловые и тройниковые секции, однако в некоторых типах осветительных шинопроводов для этих целей применяют гибкие секции. Конструктивное отличие троллейного шинопровода в том, что короб снизу имеет сплошную продольную щель. Внутри короба шинопровода укреплены медные шины – троллеи. Подвижная каретка катится по нижним внутренним краям короба вдоль щели и с помощью установленных на ней медно-графитовых щеток снимает питание с троллеев.

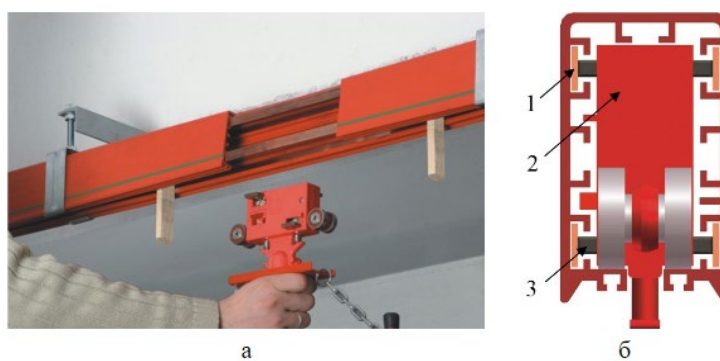


Рисунок – Троллейный шинопровод: а – вид сбоку; б – вид в разрезе; 1 – медная шина; 2 – подвижная каретка; 3 – медно-графитовая щетка,

Задание

Просмотреть фильм о конструктивном выполнении различных типов шинопроводов и ответить на вопросы ПЗ.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Из каких элементов состоит шинопровод?
2. Каковы главные преимущества использования шинопроводов?

3. Как работает шинопровод?
4. Имеют ли шинопроводы степени защиты IP?

Повышенный уровень

1. Во сколько раз отличается стоимость шинопроводов по сравнению с традиционными системами распределения электроэнергии?
2. Каковы преимущества использования алюминиевых проводников вместо медных?

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения по данной теме можно получить изучив [2].

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Лыкин, А. В. Математическое моделирование электрических систем и их элементов : Учебное пособие / Лыкин А. В. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. – 227 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-7782-2262-5
2. Стрельников, Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий / Н.А. Стрельников. - Новосибирск : НГТУ, 2013. - 100 с. - ISBN 978-5-7782-2193-2,
3. Сибикин, Ю. Д. Основы электроснабжения объектов / Ю.Д. Сибикин. - М.|Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 328 с. - ISBN 978-5-4458-5750-1

Дополнительная литература

1. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – Москва : РадиоСофт, 2014. – 328 с. : ил. ; 21. – Библиогр.: с. 326-327. – ISBN 978-5-93037-208-3
2. Справочник по проектированию электрических сетей / [И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро] ; под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с. : ил. – Библиогр.: с. 370-373. – ISBN 978-5-4248-0049-8
3. Шлейников, В. Б. Электроснабжение промышленных предприятий : практикум : учебное пособие / В.Б. Шлейников ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» ; Кафедра электроснабжения промышленных предприятий, 1. – Оренбург : ОГУ, 2012. – 99 с. : табл., схем. – <http://biblioclub.ru/>. – Библиогр.: с. 97.

Приложение А

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

Наименование электроприемников	$K_{\text{и}}$	$\cos\varphi$
1	2	3
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы (мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные, расточные)	0,12 – 0,14	0,5
То же при тяжелом режиме работы (штамповочные прессы, автоматы, револьверные обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки)	0,17 – 0,20	0,65
То же, с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистных барабанов, бегунов и др.	0,24	0,65
Поточные линии, станки с ЧПУ	0,6	0,7
Переносный электроинструмент	0,06	0,65
Вентиляторы, эксгаустеры, санитарно-техническая вентиляция	0,6 – 0,8	0,8 – 0,85
Насосы, компрессоры, дизель-генераторы и двигатель-генераторы	0,7 – 0,8	0,8 – 0,85
Краны, тельферы, кран балки при ПВ=25%	0,06	0,5
То же при ПВ=40%	0,1	0,5
Транспортеры	0,5 – 0,6	0,7 – 0,8
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	0,25 – 0,3	0,35 – 0,4
Конвейеры, элеваторы	0,4 – 0,5	0,75
Однопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,3	0,6
То же многопостовые	0,5	0,7
Сварочные машины шовные	0,2 – 0,5	0,7
То же стыковые и точечные	0,2 – 0,25	0,6
Сварочные дуговые автоматы	0,35	0,5
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75 – 0,8	0,95
Индукционные печи низкой частоты	0,75	0,35
Индукционные печи высокой частоты	0,6	0,7
Печи сопротивления с неавтоматической загрузкой изделий	0,5	0,95
Вакуум-насосы	0,95	0,85
Вентиляторы высокого давления	0,75	0,85

Вентиляторы к дробилкам	0,4 – 0,5	0,7 – 0,75
Газодувки при синхронных двигателях	0,6	0,8 – 0,9
То же при асинхронных двигателях	0,8	0,8
Молотковые дробилки	0,8	0,85
Шаровые мельницы	0,8	0,8
Грохоты	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7
Смесительные барабаны	0,6 – 0,7	0,8
Сушильные барабаны и сепараторы	0,6	0,7
Электрофильтры	0,4	0,87
Вакуум-фильтры	0,3	0,4
Вагоноопрокидыватели	0,6	0,5
Механизмы литейных цехов (очистные и галтовочные барабаны, бегуны, шаровые мельницы и т.п.)	0,25 – 0,35	0,65
Автоматические поточные линии	0,6	0,7
Формовочные машины	0,15 – 0,20	0,6
Деревообрабатывающие станки, токарные, сверлильные, футовочные, рейсмусовые, долбежные, строгальные и т.д.	0,17	0,6
Пилорамы, дисковые пилы	0,25 – 0,3	0,65
Дуговые сталеплавильные печи	0,6 – 0,75	0,9
Дуговые печи цветного металла	0,7 – 0,75	0,8
Центрифуги	0,9	1,0
Электролиз	0,6 – 0,8	0,95 – 1,0
Прядильные машины:		
капрона	0,65	0,7
вискозного корда	0,5	0,7
ацетатного шёлка	0,7	0,7
Перемоточные машины	0,78	0,8
Крутильные машины	0,64	0,8
Вытяжные машины	0,7	0,85
Ткацкие станки	0,74	0,7
Фильтр-прессы	0,33	0,55

Приложение Б

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

Наименование электроприемников	$K_{и}$	$\cos\phi$
1	2	3
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы (мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные, расточные)	0,12 – 0,14	0,5
То же при тяжелом режиме работы (штамповочные прессы, автоматы, револьверные обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки)	0,17 – 0,20	0,65
То же, с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистных барабанов, бегунов и др.	0,24	0,65
Поточные линии, станки с ЧПУ	0,6	0,7
Переносный электроинструмент	0,06	0,65
Вентиляторы, эксгаустеры, санитарно-техническая вентиляция	0,6 – 0,8	0,8 – 0,85
Насосы, компрессоры, дизель-генераторы и двигатель-генераторы	0,7 – 0,8	0,8 – 0,85
Краны, тельферы, кран балки при ПВ=25%	0,06	0,5
То же при ПВ=40%	0,1	0,5
Транспортеры	0,5 – 0,6	0,7 – 0,8
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	0,25 – 0,3	0,35 – 0,4
Конвейеры, элеваторы	0,4 – 0,5	0,75
Однопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,3	0,6
То же многопостовые	0,5	0,7
Сварочные машины шовные	0,2 – 0,5	0,7
То же стыковые и точечные	0,2 – 0,25	0,6
Сварочные дуговые автоматы	0,35	0,5
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75 – 0,8	0,95
Индукционные печи низкой частоты	0,75	0,35
Индукционные печи высокой частоты	0,6	0,7
Печи сопротивления с неавтоматической	0,5	0,95

загрузкой изделий		
Вакуум-насосы	0,95	0,85
Вентиляторы высокого давления	0,75	0,85
Вентиляторы к дробилкам	0,4 – 0,5	0,7 – 0,75
Газодувки при синхронных двигателях	0,6	0,8 – 0,9
То же при асинхронных двигателях	0,8	0,8
Молотковые дробилки	0,8	0,85
Шаровые мельницы	0,8	0,8
Грохоты	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7
Смесительные барабаны	0,6 – 0,7	0,8
Сушильные барабаны и сепараторы	0,6	0,7
Электрофильтры	0,4	0,87
Вакуум-фильтры	0,3	0,4
Вагоноопрокидыватели	0,6	0,5
Механизмы литейных цехов (очистные и галтовочные барабаны, бегуны, шаровые мельницы и т.п.)	0,25 – 0,35	0,65
Автоматические поточные линии	0,6	0,7
Формовочные машины	0,15 – 0,20	0,6
Деревообрабатывающие станки, токарные, сверлильные, фуговочные, рейсмусовые, долбежные, строгальные и т.д.	0,17	0,6
Пилорамы, дисковые пилы	0,25 – 0,3	0,65
Дуговые сталеплавильные печи	0,6 – 0,75	0,9
Дуговые печи цветного металла	0,7 – 0,75	0,8
Центрифуги	0,9	1,0
Электролиз	0,6 – 0,8	0,95 – 1,0
Прядильные машины:		
капрона	0,65	0,7
вискозного корда	0,5	0,7
ацетатного шёлка	0,7	0,7
Перемоточные машины	0,78	0,8
Крутильные машины	0,64	0,8
Вытяжные машины	0,7	0,85
Ткацкие станки	0,74	0,7
Фильтр-прессы	0,33	0,55

Приложение – Технические данные силовых трансформаторов

Тип трансформатора	Номинальная мощность, $S_{нт}$, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		Ток ХХ, i_x , %	Напряжение КЗ, U_k , %	Габаритные размеры, мм			Масса, кг	
		$U_{вн}$	$U_{нн}$		ХХ, P_x	КЗ, P_k			длина	ширина	высота	масла	полная
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТСЗ-25/10-У3	25	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,15	0,60	2,8	4,5	770	725	1230	–	320
ТСЗ-40/10-У3	40	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,255	0,88	2,6	4,5	810	725	1230	–	410
ТСЗ-63/10-У3	63	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,30	1,28	1,8	4,5	850	725	1230	–	440
ТСЗ-100/10-У3	100	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,40	1,72	1,6	4,5	890	725	1395	–	560
ТСЗГЛ-100/10-У3	100	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	0,60	1,30	2,0	4,0	1470	1100	1400	–	850
ТСЗГЛФ-100/10-У3									1550	1100	2200	–	950
ТСЗГЛ-160/10-У3	160	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	0,65	2,15	1,4	4,0	1470	1100	1500	–	900
ТСЗГЛФ-160/10-У3									1550	1100	2200	–	950
ТСЗГЛ-250/10-У3	250	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	0,90	3,00	2,5	5,5	2050	1170	1845	–	1500
ТСЗГЛФ-250/10-У3									2090	1170	2200	–	1540
ТСЗГЛ-400/10-У3	400	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	1,20	3,90	2,5	5,5	2050	1170	2100	–	1705
ТСЗГЛФ-400/10-У3									2090	1170	2200	–	1760
ТСЗГЛ-630/10-У3	630	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	1,65	5,73	2,0	5,5	2050	1260	2000	–	2180
ТСЗГЛФ-630/10-У3									2100	1260	2200	–	2200
ТСЗГЛ-1000/10-У3	1000	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	2,15	8,40	1,5	6,0	2250	1260	2200	–	3150
ТСЗГЛФ-1000/10-У3								8,0	2300	1260	2200	–	3170
ТСЗГЛ-1250/10-У3	1250	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	2,25	10,6	1,0	6,0	2250	1260	2200	–	3550
ТСЗГЛФ-1250/10-У3								8,0	2300	1260	2200	–	3570
ТСЗГЛ-1600/10-У3	1600	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	3,20	11,3	1,0	6,0	2510	1260	2410	–	4660
ТСЗГЛФ-1600/10-У3								8,0	2560	1260	2410	–	4660
ТСЗГЛ-25000/10-У3	2500	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	4,40	16,4	0,5	6,0	2800	1620	2420	–	5500
ТСЗГЛФ-2500/10-У3								8,0	2800	1620	2420	–	5500
ТСЗ-16/0,66-УХЛ4	16	0,38; 0,66	0,23	У/У _н -0	0,115	0,44	3,0	3,8	800	440	860	–	160
ТСЗ-25/0,66-УХЛ4	25	0,38; 0,66	0,23	У/У _н -0	0,155	0,60	3,0	3,8	810	440	940	–	195

TC3-40/0,66-УХЛ4	40	0,38; 0,66	0,23	У/У _н -0	0,22	0,88	3,0	3,8	880	440	980	–	240
TC3-63/0,66-УХЛ4	63	0,38; 0,66	0,23	У/У _н -0	0,29	1,28	3,0	3,8	920	440	1100	–	310
TC3-100/0,66-УХЛ4	100	0,38; 0,66	0,23	У/У _н -0	0,39	1,45	3,0	3,8	980	550	1120	–	460
TC3-160/10	160	6; 10	0,23; 0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,70	2,70	4,0	5,5	1800	950	1700	–	1400
TC3-250/10	250	6; 10	0,23; 0,4; 0,69	У/У _н -0; Д/У _н -11	1,00	3,80	3,5	5,5	1850	1000	1850	–	1800
TC3-400/10	400	6; 10	0,23; 0,4; 0,69	У/У _н -0; Д/У _н -11	1,30	5,40	3,0	5,5	2250	1000	2160	–	2400
TC3-630/10	630	6; 10	0,4; 0,69	У/У _н -0; Д/У _н -11	2,00	7,30	1,5	5,5	2250	1000	2300	–	3400
TC3-1000/10	1000	6; 10	0,4; 0,69	У/У _н -0; Д/У _н -11	3,00	11,20	1,5	5,5	2400	1350	2550	–	4600
TC3-1600/10	1600	6; 10	0,4; 0,69	У/У _н -0; Д/У _н -11	4,20	16,00	1,5	5,5	2650	1350	3200	–	6500
TM-25/10	25	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,13	0,6	3,2	4,5	1120	460	1225		380
TM-40/10	40	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,175	0,88	3,0	4,5	1120	480	1270		485
TM-63/10	63	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,24	1,28	2,8	4,5	1120	560	1400		600
TM-100/10	100	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,33	1,97	2,6	4,5	1200	800	1470		720
TM-160/10	160	6; 10	0,4 0,69	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,51	2,65 3,10	2,4	4,5 6,5	1220	1020	1600		1100
TM-250/10	250	6; 10	0,4 0,69	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,74	3,7 4,2	2,3	6,5 6,5	1310	1050	1760		1425
TM3-250/10	250	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,75	3,7	2,3	4,5	1800	1400	1750		1700
TM3-250/10													2000
TM-400/10; TMH-400/10	400	6; 10	0,4 0,69	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,95	5,5 5,9	2,1	4,5	1400	1080	1900	700	1900

ТМЗ-400/10	400	6; 10	0,4;	У/У _н -0;	0,92	5,5	2,1	4,5	1860	2000	1400		2100
ТНЗ-400/10			0,69	Д/У _н -11									2600
ТМ-630/10; ТМН-630/10	630	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	1,31	7,6	2,0	5,5	1750	1275	2150		3000
			0,69	Д/У _н -11		8,5							
ТМЗ-630/10	630	6; 10	0,4;	У/У _н -0;	1,42	7,6	1,8	5,5	2000	2190	1400		2900
ТНЗ-630/10			0,69	Д/У _н -11									3400
ТМ-1000/10	1000	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	2,45	12,2	1,4	5,5	2700	1750	3000	1000	5000
			0,69	Д/У _н -11		11,6							
ТМН-1000/10	1000	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	2,45	12,2	1,4	5,5	3450	1000	3400	2000	8000
			0,69	Д/У _н -11									
ТМЗ-1000/10	1000	6; 10	0,4;	У/У _н -0;	2,45	10,6	1,4	5,5	2300	232	1500		4170
ТНЗ-1000/10			0,69	Д/У _н -11									5600
ТМ-1600/10; ТМН-1600/10	1600	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	3,30	18,0	1,3	5,5	2450	2300	3400		7000
			0,69	Д/У _н -11					3700	1850	4000		9600
ТМЗ-1600/10	1600	6; 10	0,4;	У/У _н -0;	3,30	18,0	1,3	5,5	2700	2650	1600		6500
ТНЗ-1600/10			0,69	Д/У _н -11									8000
ТМ-2500/10	2500	6; 10	0,4; 0,69	Д/У _н -11	4,60	26,0	1,0	5,5	3500	2260	3600		8000
ТМН-2500/10	2500	6; 10	0,4; 0,69	Д/У _н -11; У/Д-11	4,60	23,5	1,0	5,5	3650	2230	4000		12200
ТМЗ-2500/10	2500	6; 10	0,4;	Д/У _н -11;	4,60	24,0	1,0	5,5	2900	2900	1800		10000
ТНЗ-2500/10			0,69	У/У _н -0									12000
ТМГ11-400/10-У1	400	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,83	5,4	0,8	4,5	1350	855	1415	325	1255
ТМГ11-630/10-У1	630	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	1,06	7,45	0,6	5,5	1545	1000	1540	450	1860
ТМГ11-1000/10-У1	1000	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	1,4	10,8	0,5	5,5	1720	1135	1860	795	2750
ТМГ11-1250/10-У1	1250	6; 10	0,4	Д/У _н -11	1,65	13,5	0,5	6,0	1825	1130	2020	875	3250
ТМГ11-1600/10-У1	1600	6; 10	0,4	Д/У _н -11	2,15	16,5	0,4	6,0	2180	1260	2170	1300	4250
ТМГСУ-25/10-У1	25	6; 10	0,4	У/У _н -0	0,115	0,60	2,8	5,5	900	530	930	65	280
ТМГСУ-40/10-У1	40	6; 10	0,4	У/У _н -0	0,115	0,88	2,6	4,5	900	560	1000	98	370

ТМГСУ-63/10-У1	63	6; 10	0,4	У/У _н -0	0,22	1,28	1,8	4,5	940	730	1020	130	420
ТМГСУ-100/10-У1	100	6; 10	0,4	У/У _н -0	0,27	1,97	1,2	4,5	1000	720	1180	152	540
ТМГСУ-160/10-У1	160	6; 10	0,4	У/У _н -0	0,41	2,60	1,0	4,5	1120	750	1200	175	680
ТМГСУ-250/10-У1	250	6; 10	0,4	У/У _н -0	0,58	3,70	0,8	4,5	1220	840	1240	250	950

Примечание: 1. ТСЗГЛ, ТСЗГЛФ – трехфазные сухие трансформаторы с геафолевой литой изоляцией, класс нагревостойкости изоляции – F (геафоль – эпоксидный компаунд с кварцевым наполнителем); ТСЗГЛ – вводы ВН внутри кожуха; ТСЗГЛФ – вводы ВН выведены на фланец, расположенный на торцевой поверхности кожуха. 2. ТМГ – трехфазный масляный герметичный трансформатор. 3. ТМГСУ – трехфазный масляный герметичный с симметрирующим устройством трансформатор, обеспечивающий поддержание симметричности фазных напряжений в сетях потребителей с неравномерной пофазной нагрузкой. Сопротивление нулевой последовательности этих трансформаторов в среднем в три раза меньше, чем у трансформаторов без симметрирующего устройства.

Планы двухтрансформаторных цеховых КТП

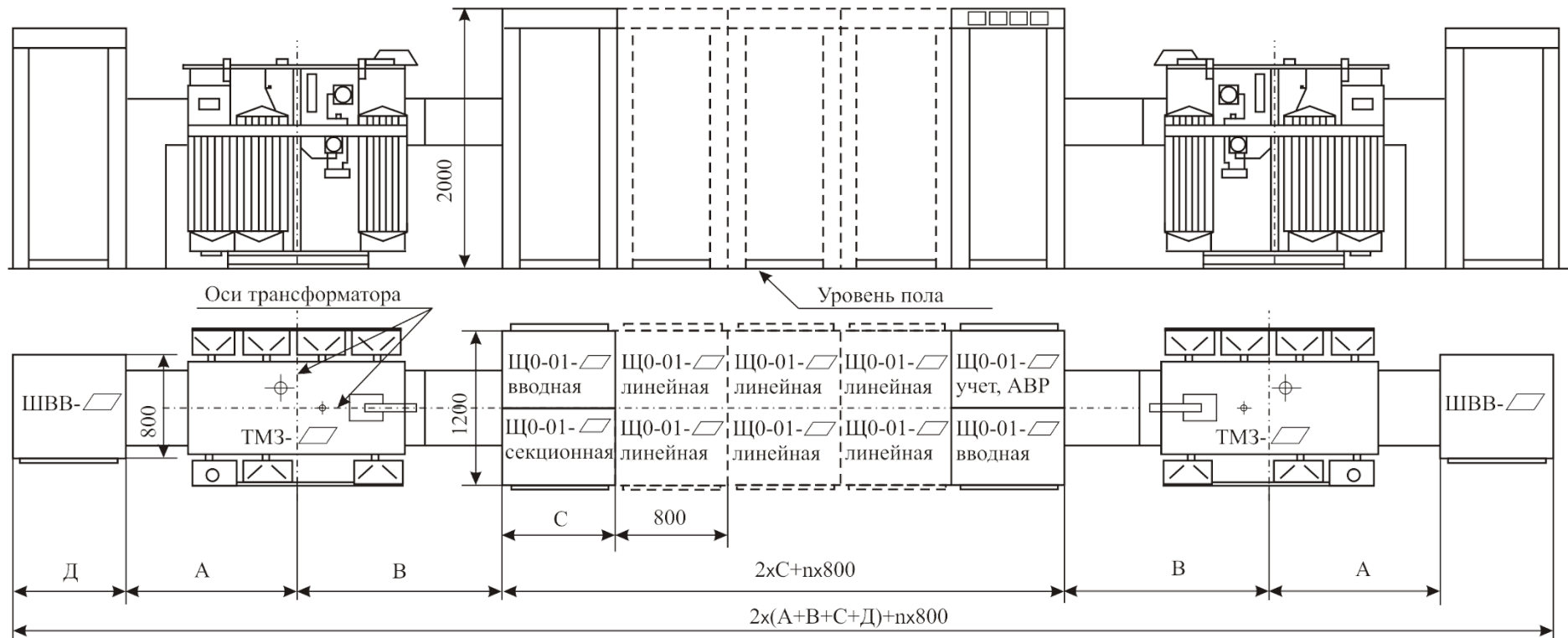


Рис. План двухтрансформаторной КТП однорядного расположения со стационарными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП однорядного расположения

со стационарными выключателями

Наименование	Условные обозначения размера, мм					
	А	В	С		Д	
КТП-250кВА	850	800	800	В зависимости от типа вводной панели РУНН	800	В зависимости от типа вводного шкафа УВН
КТП-400 кВА	1000	1000	800		800	
КТП-630 кВА	1100	1250	800		800	
КТП-1000 кВА	1250	1350	800		800	
КТП-1600 кВА	1300	1800	800 (1120)		1120 (800)	
КТП-2500 кВА	1400	1900	1120		1120 (800)	

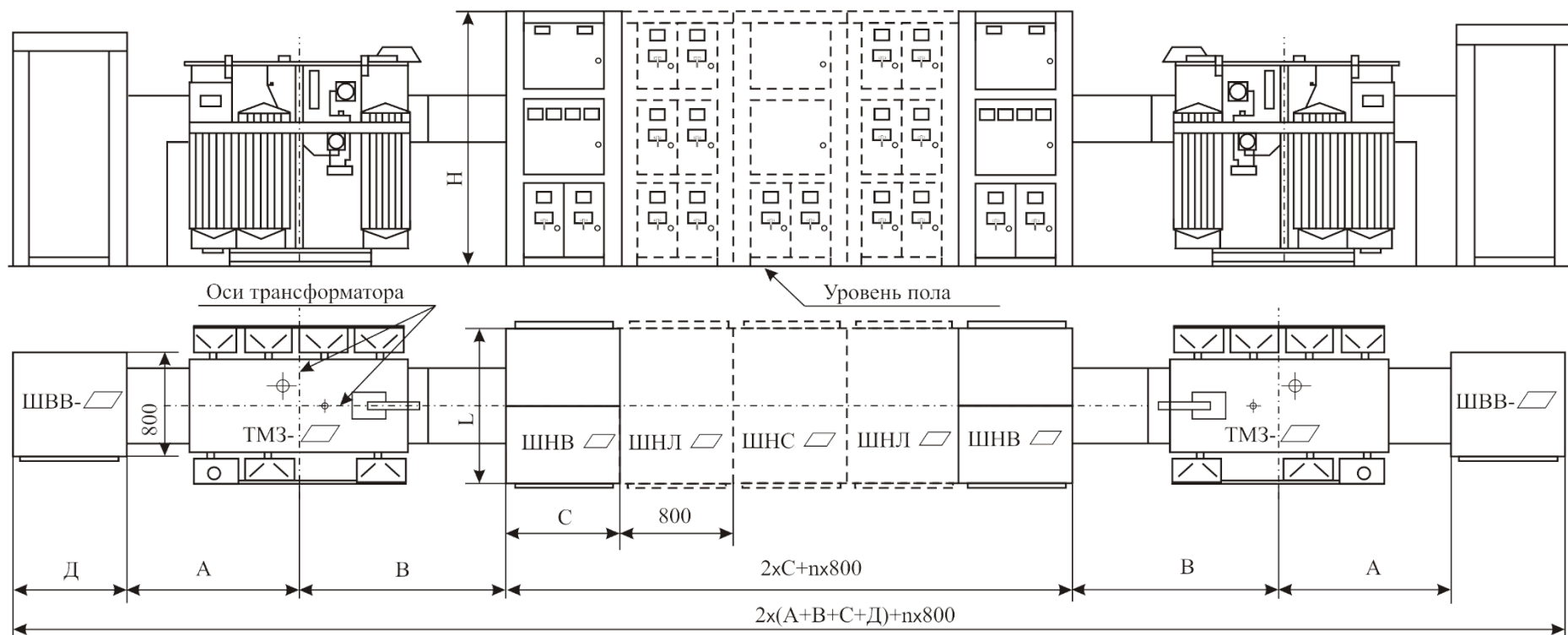


Рис. План двухтрансформаторной КТП однорядного расположения
с выдвижными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП однорядного расположения
с выдвижными выключателями

Наименование	Условные обозначения размера (мм)									
	А	В	Д		Шкафы с выключателями серии "ВА" и "Электрон"			Шкафы с выключателями фирмы "Merlin Gerin"		
					С	Л	Н	С	Л	Н
					В зависимости от типа вводного шкафа РУНН			В зависимости от типа вводного шкафа РУНН		
КТП-250кВА	850	800	800	В зависимости от типа вводного шкафа УВН	800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-400 кВА	1000	1000	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-630 кВА	1100	1250	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-1000 кВА	1250	1350	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-1600 кВА	1300	1800	1120(800)		800(1120)	1500	2400	1000	1200	2300
КТП-2500 кВА	1400	1900	1120(800)		1120	1500	2400	1000	1200	2300

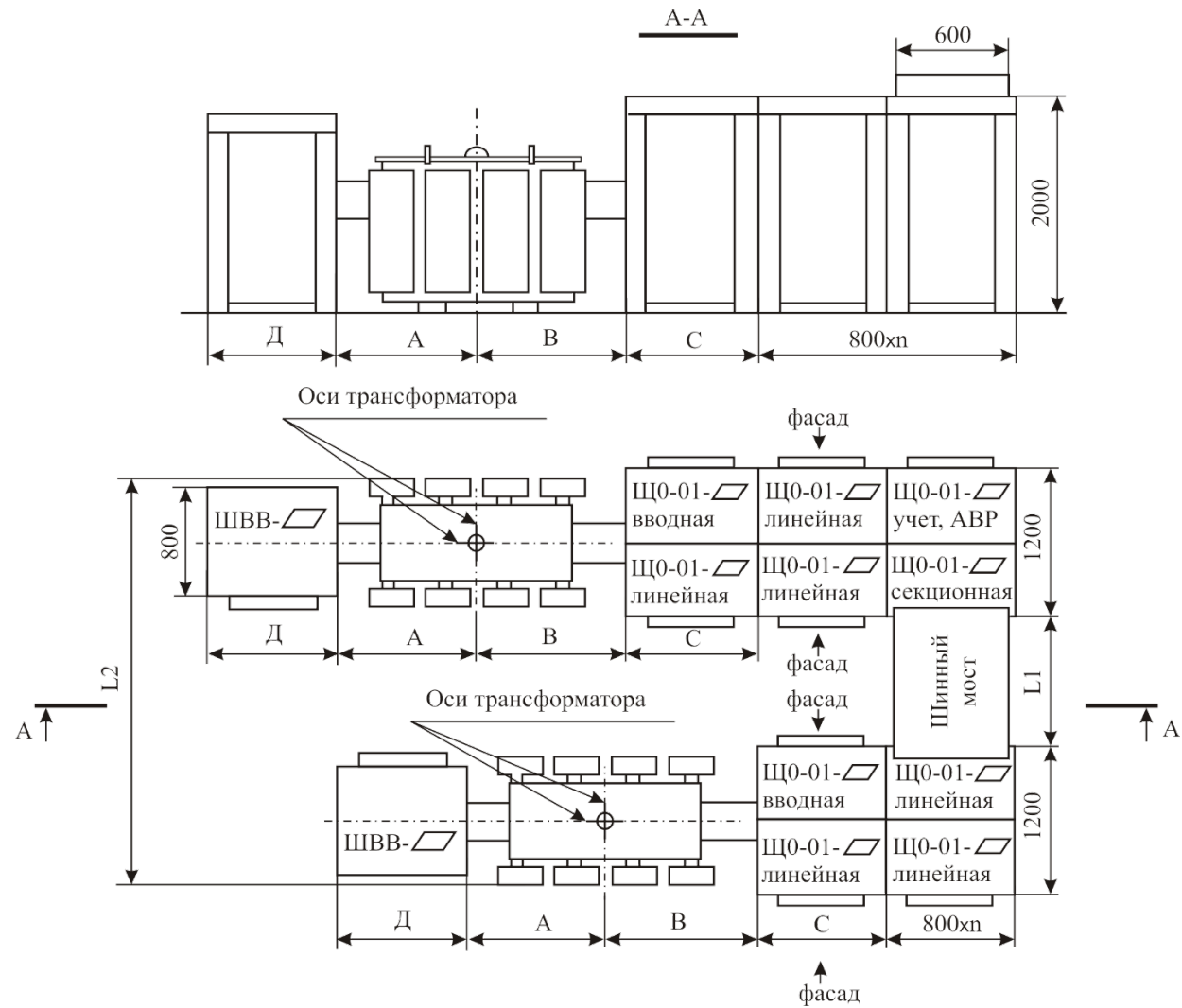


Рис. План двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения левого исполнения со стационарными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения левого исполнения со
стационарными выключателями

Наименование	Условные обозначения размера, мм					
	А	В	С		Д	
КТП-250кВА	850	800	800	В зависимости от типа вводной панели РУНН	800	В зависимости от типа вводного шкафа УВН
КТП-400 кВА	1000	1000	800		800	
КТП-630 кВА	1100	1250	800		800	
КТП-1000 кВА	1250	1350	800		800	
КТП-1600 кВА	1300	1800	800 (1120)		1120 (800)	
КТП-2500 кВА	1400	1900	1120		1120 (800)	

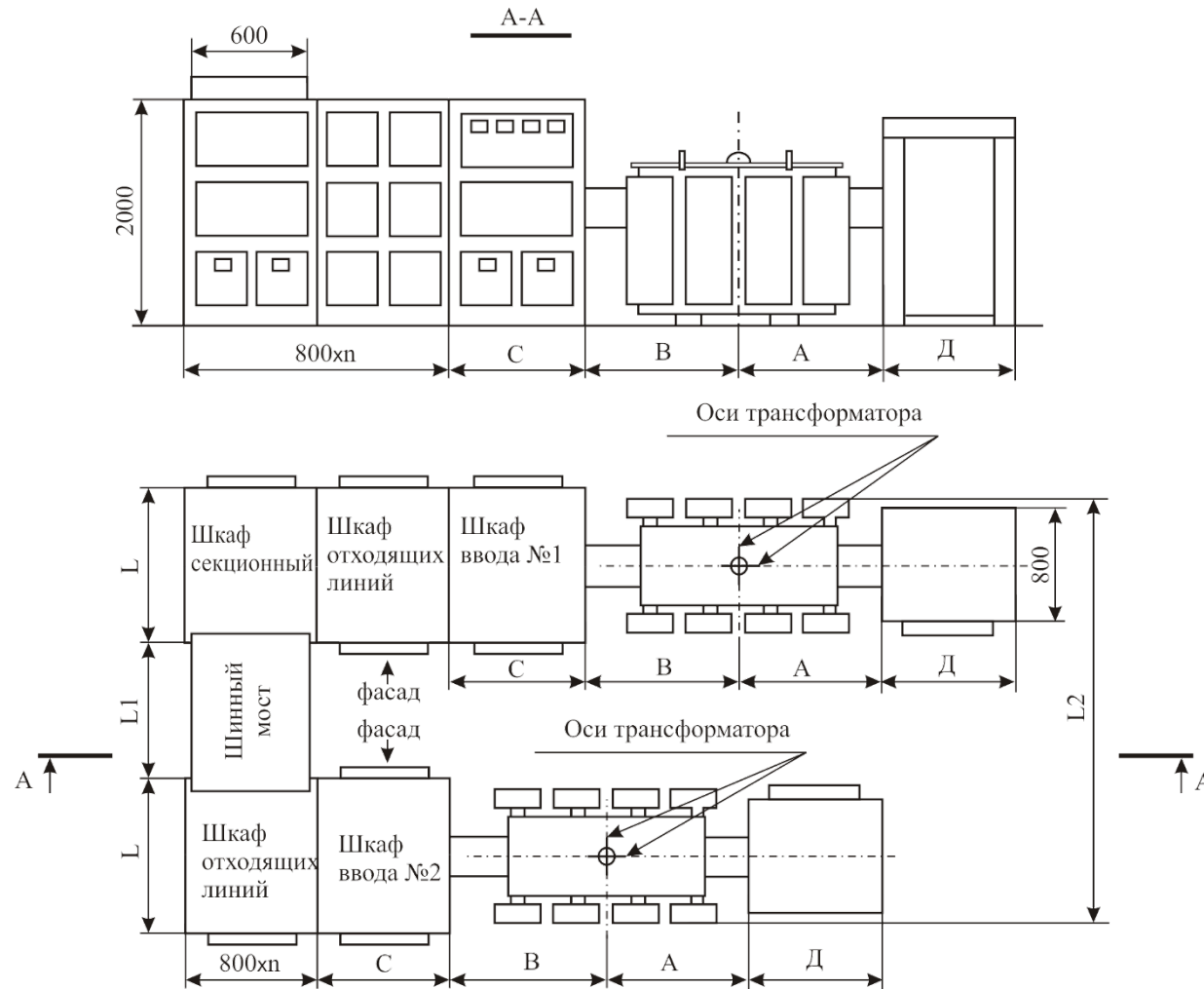


Рис. План двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения правого исполнения с
выдвижными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения правого исполнения
с выдвижными выключателями

Наименование	Условные обозначения размера (мм)									
	А	В	Д		Шкафы с выключателями серии "ВА" и "Электрон"			Шкафы с выключателями фирмы "Merlin Gerin"		
					С	Л	Н	С	Л	Н
					В зависимости от типа вводного шкафа РУНН			В зависимости от типа вводного шкафа РУНН		
КТП-250 кВА	850	800	800	В зависимости от типа вводного шкафа УВН	800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-400 кВА	1000	1000	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-630 кВА	1100	1250	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-1000 кВА	1250	1350	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-1600 кВА	1300	1800	1120(800)		800(1120)	1500	2400	1000	1200	2300
КТП-2500 кВА	1400	1900	1120(800)		1120	1500	2400	1000	1200	2300

Приложение

**Технические характеристики магистральных шинопроводов
для сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением до 660 В, частотой 50–60 Гц**

Характеристики	Тип шинопровода			
	ШМА А73УЗ	ШМА А73ПУЗ	ШМА 68-НУЗ	
Номинальный ток	1600	1600	2500	4000
Электродинамическая стойкость (амплитудное значение), $i_{уд.доп}$, кА, не менее	70	90	70	100
Термическая стойкость, $i_{тс}$, кА	20	35	35	50
Сопротивление на фазу, Ом/км: активное при температуре 20 °С, r_0 индуктивное, x_0	0,031 0,022	0,031 0,022	0,02 0,02	0,013 0,015
Сопротивление петли фаза - нуль (полное), Ом/км	0,016	0,016	—	—
Линейная потеря напряжения на 100 м при номинальном токе (нагрузка сосредоточена в конце линии, $\cos\varphi=0,8$), $\Delta U_{лш}$, В	11,5	11,5	13,5	16,5
Поперечное сечение прямой секции (ширина×высота), мм ²	300×160	300×160	444×215	44×295
Степень защиты	IP20	IP20	IP20	IP20
Типы автоматических выключателей, установленных в ответвительных секциях	А3734С, 400 А, 660 В А3744С, 630 А, 660 В А3736Ф, 400 А, 380 В А3736Ф, 630 А, 380 В			

[Содержание](#)

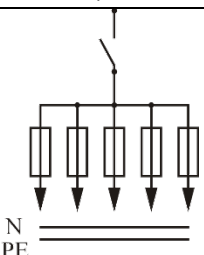
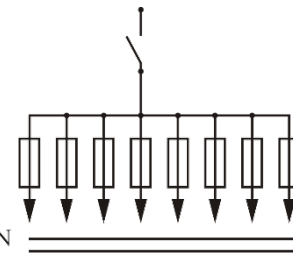
Приложение

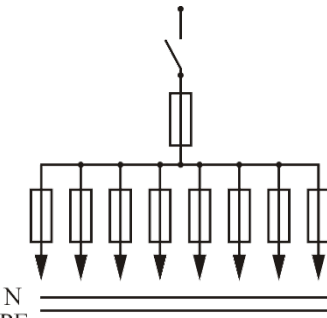
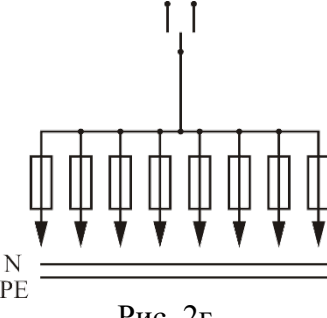
**Технические характеристики комплектных распределительных
шинопроводов для сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением
380/220 В, частотой 50–60 Гц**

Характеристики	Тип шинопровода			
	ШРА 73УЗ			ШРМ 73УЗ
Номинальный ток	1600	1600	2500	100
Электродинамическая стойкость (амплитудное значение), $i_{уд.доп}$, кА, не менее	15	25	35	10
Термическая стойкость, $i_{тс}$, кА	7	10	14	7
Сопротивление на фазу, Ом/км: активное при температуре 20 °С, r_0 индуктивное, x_0	0,21 0,21	0,15 0,17	0,10 0,13	— —
Линейная потеря напряжения на 100 м при номинальном токе (нагрузка распределена равномерно, $\cos\varphi=0,8$), $\Delta U_{лш}$, В	6,5	8	8,5	—
Поперечное сечение прямой секции (ширина×высота), мм ²	260×80	284×95	284×125	70×80
Степень защиты	IP32	IP32	IP32	IP32
Типы коммутационно-защитной аппаратуры, установленной в ответвительных коробках: Предохранители Автоматические выключатели (ток, А)	ПН2-100 А3710 (160) А3120 (100) АЕ2050 (100)	ПН2-100 А3710 (160) А3720 (250) А3120 (100) АЕ2050 (100)	ПН2-100 А3710 (160) А3720 (250) А3120 (100) АЕ2050 (100)	На ток 25А АЕ2033(25)
Наличие ответвительных коробок с разъединителями на токи: 160 А 250А	Есть Нет	Есть Есть	Есть Есть	

Приложение

Технические характеристики шкафов распределительных с плавкими предохранителями

Тип		Номинальный ток шкафа, А	Тип и количество групп предохранителей на отходящих линиях			Схема
ШРС1	ШР11		НПН-2 $I_n = 60$ А	ПНП-31 ПН2-100	ППН-35 ПН2-250	
1	2	3	4	5	6	7
-20У3	-73701-22У3, УХЛ3	250	5	—	—	 Рис. 2а
-50У3	-73701-54У2	200				
-21У3	-73702-22У3, УХЛ3	250	—	5	—	
-51У3	-73702-54У2	200				
-22У3	-73703-22У3, УХЛ3	250	2	3	—	
-52У3	-73703-54У2	200				
-23У3	-73504-22У3, УХЛ3	400	8	—	—	 Рис. 2б
-53У3	-73504-54У2	320				
-24У3	-73505-22У3, УХЛ3	400	—	8	—	
-54У3	-73505-54У2	320				
	-73506-22У3, УХЛ3	400	—	—	8	
	-73506-54У2	320				
	-73707-22У3, УХЛ3	400	—	3	2	
	-73707-54У2	320				
-27У3		400	—	5	2	
-57У3		320				
-26У3	-73708-22У3, УХЛ3	400	—	—	5	Рис. 2б
-56У3	-73708-54У2	320				
-25У3	-73509-22У3, УХЛ3	400	4	4	—	
-55У3	-73509-54У2	320				
-28У3	-73510-22У3, УХЛ3	400	2	4	2	

-58Y3	-73510-54Y2	320				 Рис. 2в
	-73511-22Y3, УХЛ3	400	—	6	2	
	-73511-54Y2	320				
	-73512-22Y3, УХЛ3	400	8	—	—	
	-73512-54Y2	320				
	-73513-22Y3, УХЛ3	400	—	8	—	
	-73513-54Y2	320				
	-73514-22Y3, УХЛ3	400	—	—	8	
	-73514-54Y2	320				
	-73515-22Y3, УХЛ3	400	4	4	—	
	-73515-54Y2	320				
	-73516-22Y3, УХЛ3	400	2	4	2	
	-73516-54Y2	320				
	-73517-22Y3, УХЛ3	400	—	6	2	
	-73517-54Y2	320				
	-73518-22Y3, УХЛ3	400	8	—	—	 Рис. 2г
	-73518-54Y2	320				
	-73519-22Y3, УХЛ3	400	—	8	—	
	-73519-54Y2	320				
	-73520-22Y3, УХЛ3	400	—	—	8	
	-73520-54Y2	320				
	-73521-22Y3, УХЛ3	400	4	4	—	
	-73521-54Y2	320				
	-73522-22Y3, УХЛ3	400	2	4	2	
	-73522-54Y2	320				

	-73523-22У3, УХЛ3	400	—	6	2	
	-73523-54У2	320				

Примечание:

1. Схема ШР11-73707; ШР11-73708 соответствует рис. 2а.
2. Степень защиты распределительных пунктов IP22, IP44.

[Содержание](#)

Приложение

Технические данные распределительных силовых пунктов ПР-11

Наличие и тип вводного выключателя	Номинальный ток ввода, $I_{\text{н ввода, А}}$	Количество автоматических выключателей для отходящих линий	
		однополюсных ВА 47-100-1	трехполюсных ВА 47-100
		с тепловыми расцепителями на ток $I_{\text{нтр}} = 10 \div 100 \text{ А}$	
1	2	3	4
—	250	6	8
ВА 88-39			
—	400	18	—
ВА 88-39			
—	400	—	6
ВА 88-39			
—	400	12	2
ВА 88-39			
—	400	6	4
ВА 88-39			
—	400	24	—
ВА 88-39			
—	400	—	8
ВА 88-39			

—	400	18	2
BA 88-39			
—	400	12	4
BA 88-39			
—	400	6	6
BA 88-39			
—	400	30	—
BA 88-39			
—	400	—	10
BA 88-39			
—	400	24	2
BA 88-39			
—	400	18	4
BA 88-39			
—	400	12	6
BA 88-39			
—	400	6	8
BA 88-39			
—	250	—	4
BA 88-39			
—	400	—	6

BA 88-39			
—	630	—	8
BA 88-39			
—	630	—	12
BA 88-39			

Примечание. Степень защиты распределительных пунктов IP21, IP54.

Приложение

Технические данные распределительных силовых пунктов ПР8501 с трехполюсными АВ

Наличие и тип вводного выключателя	Номинальный ток ввода, I_n , А	Количество трехполюсных АВ на отходящих линиях	
		ВА 51-31	ВА 51-35
		с тепловыми расцепителями на ток, А	
		16 ÷ 100	100 ÷ 250
1	2	3	4
—	160	4	—
		6	
—	250	4	—
		6	
		8	
		10	
ВА 51-33	160	2	—
		4	
		6	
ВА 51-35	250	4	—
		6	
		8	
		10	
—	630	6	—
ВА 51-39		8	—
—			
ВА 51-39		10	—
—			
ВА 51-39		12	—
—			

BA 51-39			
—			
BA 51-39		—	4
—			
BA 51-39		2	2
—			
BA 51-39		4	2
—			
BA 51-39		6	2
—		8	2

Примечание. Степень защиты распределительных пунктов IP21, IP54.

Приложение

**Технические данные силовых распределительных
пунктов серии ПР8503**

Наличие и тип вводного выключателя	Номинальный ток ввода $I_{\text{н вввода}}$, А	Количество и тип автоматических выключателей на отходящих линиях	
		ВА 57-31 с $I_{\text{нтр}} = 16 \div 100$ А или АЕ2040-10БС с $I_{\text{нтр}} = 16 \div 63$ А	ВА 57-35 с $I_{\text{нтр}} = 16 \div 250$ А
1	2	3	4
ВА 57-39 (ВА 52-39)	320; 400; 500	6; 8; 10; 12	—
—		—	4, 6
ВА 57-39 (ВА 52-39)		2	2
—		4	2
ВА 57-39 (ВА 52-39)		6	2
—		8	2
ВА 57-39 (ВА 52-39)		2	4
—		4	4
ВА 57-39 (ВА 52-39)		6	—
—		8	—
ВА 57-35		10	—
—		4	—
ВА 57-35		12	—
—		ВА 57 Ф35 с $I_{\text{нтр}} = 16 \div 250$ А	ВА 61-29-1В (однополюсный) с $I_{\text{нтр}} = 16 \div 63$ А
ВА 57-39 (ВА 52-39)	320; 400; 500	4	24; 18; 12 ¹⁾
—		2	24; 18; 12 ¹⁾
ВА 57-39 (ВА 52-39)		—	48; 36 ¹⁾
—		—	48; 36 ¹⁾
ВА 57 Ф35		—	48; 36 ¹⁾

—	125; 160; 200		

Примечание:

1. Возможна замена трех однополюсных выключателей ВА 61-29-1 на один трехполюсный ВА 61-29-3.
2. Степень защиты распределительных пунктов IP21, IP54.

Приложение

**Допустимые токовые нагрузки кабелей с резиновой и поливинилхлоридной
изоляцияй на напряжение 0,66 кВ, 1 кВ**

Номинал ь- ное сечение жилоы, мм ²	Допустимые токовые нагрузки кабелей, А											
	одножильных				двухжильных				трехжильных			
	с алюминиевой жилой		с медной жилой		с алюминиевой жилой		с медной жилой		с алюминиевой жилой		с медной жилой	
	на возду хе	в земл е	на возду хе	в земл е	на возду хе	в земл е	на возду хе	в земл е	на возду хе	в земл е	на возду хе	в земл е
1,5	—	—	29	32	—	—	24	33	—	—	21	28
2,5	30	32	40	42	25	33	33	44	21	28	28	37
4	40	41	53	54	34	43	44	56	29	37	37	48
6	51	52	67	67	43	54	56	71	37	44	49	58
10	69	68	91	89	58	72	76	94	50	59	66	77
16	93	83	121	116	77	94	101	123	67	77	87	100
25	122	113	160	148	103	120	134	157	88	100	115	130
35	151	136	197	178	127	145	166	190	109	121	141	158
50	189	166	247	217	159	176	208	230	136	147	177	192
70	233	200	318	265	—	—	—	—	167	178	226	237
95	284	237	386	314	—	—	—	—	204	212	274	280
120	330	269	450	358	—	—	—	—	236	241	321	321
150	380	305	521	406	—	—	—	—	273	274	370	363
185	436	343	594	455	—	—	—	—	313	308	421	406
240	515	396	704	525	—	—	—	—	369	355	499	468

**Допустимые токовые нагрузки трехжильных кабелей с СПЭ-изоляцией
напряжением 1 кВ**

Номинальное сечение жилы, мм ²	Допустимые токовые нагрузки кабелей при прокладке на воздухе при температуре окружающей среды 25 °С и в земле при температуре окружающей среды 15 °С			
	с медными жилами		с алюминиевыми жилами	
	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе
4	50	40	39	31
6	61	53	46	40
10	87	76	67	58
16	113	101	87	78
25	147	133	113	102
35	178	164	137	126
50	217	205	166	158
70	268	262	201	194
95	316	318	240	237
120	363	372	272	274
150	410	429	310	317
185	459	488	384	363
240	529	579	401	428

Примечание:

1. Марки кабелей: АПВБГ (ПВБГ); АПВБШв (ПВБШв); АПВВнг-LS (ПВВнг-LS); АПВБШнг-LS (ПВБШнг-LS); АПВБШп (ПВБШп); АПВБШпг (ПВБШпг).

2. Во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа может прокладываться кабель марки ПВБШнг-LS; во взрывоопасных зонах классов В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIа – кабели марок АПВВнг-LS, ПВВнг-LS, АПВБШнг-LS.

**Длительно допустимый ток для гибких кабелей с резиновой изоляцией
напряжением 1 кВ**

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Одножильные	Двухжильные	Трехжильные
1,5	—	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	190	150	130
50	235	185	160
70	290	235	200

Технические характеристики предохранителей

Тип предохранителя	Номинальный ток предохранителя, $I_{н.пр.}, А$	Номинальный ток плавкой вставки, $I_{н.вст.}, А$	Предельно отключаемый ток, I_o , кА, при напряжении	
			220/380	380/660
ПР2	15	6; 10; 15	1,2/0,8	0,8/0,7
	60	15; 20; 25; 35; 45; 60	5,5/1,8	4,5/3,5
	100	60; 80; 100	11/6,0	13/11
	200	100; 125; 160; 200	11/6,0	13/11
	350	200; 225; 260; 300; 350	11/6,0	13/11
	600	350; 430; 500; 600	15/13	23/30
	1000	600; 700; 850; 1000	15/13	23/30
НПН2	60	6; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 60	—	10/—
ПН2	100	31,5; 40; 50; 63; 80; 100	100	—
	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	100	—
	400	200; 250; 315; 355; 400	60/40	—
	600	315; 400; 500; 600	60/40	—
ППН-31	100	2; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	—	— /50
ППН-33	160	50; 63; 80; 125; 160	—	— /50
ППН-35	250	125; 160; 200; 250	—	— /50
ППН-39	630	200; 250; 320; 400; 500; 600	—	— /50

Приложение

Классификация автоматических выключателей

Тип автоматического выключателя	Число полюсов	Номинальный ток, $I_{на}$, А	Тип расцепителя	$U_{на}$, В	Номинальный ток теплового расцепителя, $I_{нтр}$, А	Характеристика срабатывания электромагнитного расцепителя, $I_{нэр}$, А	Отключающая способность I_o , кА	Уставка УЗО при его наличии, mA
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВА 51	3	25 ÷ 630	Комбинированный	380/660	0,3 ÷ 630	3 ÷ 14 $I_{нтр}$	1,5 ÷ 35	—
ВА 61	1; 2; 3; 4	63	Комбинированный	380	0,5 ÷ 63	B, C, D	1,5 ÷ 30	10; 30; 100; 300
ВА 69	3	63 ÷ 100	Комбинированный	380	2 ÷ 100	C	4,0 ÷ 6,0	—
ВА 47	1; 2; 3; 4	63 ÷ 100	Комбинированный	220/380	0,5 ÷ 100	B, C, D	3,0 ÷ 10	10; 30; 100; 300
АД	2,4	63	Комбинированный	220/380	6 ÷ 63	C	4,5	10; 30; 100; 300
ВА 63 премиум	1; 2; 3; 4	63	Комбинированный	380	1 ÷ 63	C	10	—
ВА 57	3	100 ÷ 630	Комбинированный	380/660	16 ÷ 630	4000 ÷ 5000	3,0 ÷ 40	—
ВА 88	3; 4	125 ÷ 1600	Комбинированный	380	12,5 ÷ 1600	500; 10 $I_{нтр}$, регулируемый	25 ÷ 50	—
ВА 52	3	100 ÷ 630	Комбинированный	380/660	16 ÷ 630	3; 7; 10 $I_{нтр}$	8,0 ÷ 40	—
ВА 53	3	400 ÷ 1600	Полупроводниковый	380/660	160 ÷ 1600	2; 3; 5; 7; 10	20 ÷ 36	—
ВА 55	3	400 ÷ 1600	Полупроводниковый	380/660	160 ÷ 1600	2; 3; 5; 7; 10	18 ÷ 40	—
ВА 99	3; 4	125 ÷ 1600	Комбинированный	380	12,5 ÷ 1600	500; 10 $I_{нтр}$, регулируемый	35 ÷ 50	—

Приложение 35

Характеристики автоматических выключателей

Тип автоматического выключателя	Число полюсов	Номинальный ток, $I_{\text{на}}$, А	Тип расцепителя	Номинальный ток теплового расцепителя, $I_{\text{нтр}}$, А	Характеристика срабатывания электромагнитного расцепителя, $I_{\text{нэр}}$, А	Отключающая способность, I_o , кА		Уставка УЗО при его наличии, mA
						$U_{\text{н}} = 380$ В	$U_{\text{н}} = 660$ В	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
BA 51-25		25	Комбинированный	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,78; 1,0; 1,25; 1,6	$7; 10I_{\text{нтр}}$	3	3	—
BA 51Г-25				2,0; 2,5; 3,15; 4;5		1,5	1,5	
				6,3; 8		2	2	
				10; 12,5	$14I_{\text{нтр}}$	2,5	2	
				16; 20; 25		3,8		
BA 47-29 (BA 47-63)				1; 2; 3; 4	63	Комбинированный	0,5;1;1,6;2;2,5;3;4;5;6,3;10;13;16;20;25;32;40;50;63	
BA 61-29	1; 2; 3; 4	63	Комбинированный	0,5; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6,3; 8 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	В, С, D	1,5	—	10;30;100;300
						3		
BA 69-29	3	63	Комбинированный	2; 4; 6; 10; 16; 20; 25; 31,5; 40 50; 63	С	4	—	—
						4		
BA 51-31; BA 51Г-31	1; 3	100	Комбинированный	6,3; 8	$3; 7; 10I_{\text{нтр}}$	2	1,5	—
				10; 12,5		2,5	2	
				16; 20; 25		3,8		
				31,5; 40; 50; 63		6	4	
				80; 100		7		
BA 52-31; BA 52Г-31	3	100	Комбинированный	16; 20; 25	$3,; 7; 10I_{\text{нтр}}$	12	8	—
				31,5; 40		15		
				50; 63		18	10	
				80; 100		25		

Продолжение прил. 35

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BA 57-31	3	100	Комбинированный	16	400	4	3	—
				20		6		
				25		25		
				31,5	800	4	6	
				40				
				50; 63				
				80; 100				
BA 47-100	3	100	Комбинированный	16; 20; 25; 35; 40; 50; 63; 80; 100	С и D	10	—	10;30;100;300
BA 47+N	2	32	Комбинированный	6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32	С	3	—	—
BA 63 премиум	1;2;3;4	63	Комбинированный	1; 2; 3; 4; 5; 6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	С	10	—	—
АД-12	2	63	Комбинированный	6; 10; 16; 25; 32; 40; 50; 63	С	4,5 (230 В)	—	10;30;100;300
АД-14	2	63	Комбинированный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	С	4,5	—	30; 100; 300
ВД 1-63 (УЗО)	2	63	—	16; 25; 32; 40; 50; 63	—	—	—	10;30;100;300
ВД 1-63 (УЗО)	4	63	—	16; 25; 32; 40; 50; 63	—	—	—	30; 100; 300
BA 51-33 BA 51Г-33	3	160	Комбинированный	80; 100; 125; 160	10I _{нтр}	12,5	9	—
BA 52-33 BA 52Г-33	3; 4	160	Комбинированный	80; 100	10I _{нтр}	28	12	—
				125; 160		35		
BA 88-32	3; 4	125	Комбинированный	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	500	25	—	—
				50; 63; 80; 100; 125	10I _{нтр}			
BA 99/125	3; 4	125	Комбинированный	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	500	35	—	—
				50; 63; 80; 100; 125	10I _{нтр}			
BA 88-33	3; 4	160	Комбинированный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	10I _{нтр}	35	—	—
BA 99/160	3; 4	160	Комбинированный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	10I _{нтр}	35	—	—
BA 51-35	3	250	Комбинированный	80; 100; 125; 160; 200; 250	12I _{нтр}	15	—	—
BA 52-35	3	250	Комбинированный	80; 100; 125; 160; 200; 250	12I _{нтр}	30	15	—
BA 57-35	3	250	Комбинированный	16	320	3,5	3,5	—
				20		6	5,5	
				25		9	6	
				31,5; 40; 50	630	10	9	
				63	1250	15	12	
				80		25	15	
				100		30		
				125		35		
				160	1600	40	18	
				200; 250	2500			
BA 88-35 BA 99/250	3; 4	250	Комбинированный	125; 160; 200; 250	10I _{нтр}	35	—	—

BA 51-37	3	400	Комбинированный	250; 320; 400	$10I_{нтр}$	25	12	—
BA 52-37	3	400	Комбинированный	250; 320; 400	$10I_{нтр}$	30	18	—
BA 53-37 BA 55-37	3	400	Комбинированный	160; 250; 400	2; 3; 5; 7; 10	20	20	—
BA 88-37	3; 4	400	Комбинированный	250; 315; 400	$10I_{нтр}$	35	—	—
BA 99/400	3; 4	400	Комбинированный	250; 315; 400	$10I_{нтр}$	50	—	—
BA 51-39	3	630	Комбинированный	400; 500; 630	$10I_{нтр}$	35	20	—
BA 52-39	3	630	Комбинированный	250; 320; 400; 500; 630	$10I_{нтр}$	40	20	—
BA 53-39 BA 55-39	3	630	Полупроводниковый	160; 250; 400; 630	2, 3, 5, 7, 10	25	25	—
BA 57-39	3	630	Комбинированный	320	3200	25	—	—
				400	2000; 4000			
				500	2500; 5000	40	18	—
				630	3200; 5000			
BA 88-40	3; 4	800	Комбинированный	400; 500; 630; 800	$10I_{нтр}$	35	—	—
BA 99/800	3; 4	800	Комбинированный	400; 500; 630; 800	$10I_{нтр}$	50	—	—
BA 53-41 BA 55-41	3	1000	Полупроводниковый	400; 630; 800; 1000	2; 3; 5; 7	25	25	—
BA 53-43 BA 55-43	3	1600	Полупроводниковый	1000; 1250; 1600	2; 3; 5	36	36	—
BA 88-43 BA 99/1600	3; 4	1600	Комбинированный	800; 1000; 1250; 1600	Регулируемая	50	—	—
BA 75-45	3	2500	Полупроводниковый	1600; 2000; 2500	2; 3; 5; 7	36	36	—
BA 75-47	3	4000	Полупроводниковый	2500; 3000; 3500; 4000	2; 3; 5	45	45	—

Основные технические данные распределительных шинопроводов

Показатель	Шинопровод			
	ШРА4-100-44-1У3	ШРА4-250-32-1У3	ШРА4-400-32-1У3	ШРА4-630-32-1У3
Номинальный ток, А	100	250	400	630
Номинальное напряжение, В	380/220	660	660	660
Электродинамическая стойкость ударному току к.з., кА	7	15	25	35
Сопrotивление на фазу, Ом/км				
Активное	-	0,21	0,15	0,1
Индуктивное	-	0,21	0,17	0,13
Полное	-	0,24	0,16	0,11
Линейная потеря напряжения на 100 м при равномерно распределенной нагрузке и $\cos \varphi = 0,8$, В	-	6,5	8,0	8,5
Сечение шин, мм	3,55 × 11,2	35 × 5	50 × 5	80 × 5

Основные технические данные магистральных шинопроводов

Показатель	Шинопровод			
	ШМА 4			
Номинальный ток, А	1250	1600	2500	4000
Номинальное напряжение, В	660	660	660	660
Электродинамическая стойкость (амплитудное значение), кА	70	70	70	100
Соппротивление на фазу, Ом/км				
Активное	0,0338	0,0297	0,0169	0,013
Индуктивное	0,0163	0,0143	0,0082	0,015
Полное	0,0419	0,033	0,021	-
Полное сопротивление петли «фаза-нуль», Ом/км	0,0862	0,0872	0,0822	-
Линейная потеря напряжения на 100 м при номинальном токе (нагрузка сосредоточена в конце линии, $\cos \varphi = 0,8$), В	8,93	9,13	9,7	16,5
Количество и размеры (мм) шин на фазу	1(8×140)	1(8×160)	2(8×140)	2(12×160)
Количество и площадь сечения нулевых проводников, мм ²	-	2 × 710	2 × 640	-

Основные технические данные троллейных шинопроводов

Показатель	Шинопровод			
	ШТМ73У3	ШТМ72У3	ШТА75У3	
Номинальный ток, А	250	400	250	400
Номинальное напряжение, В	660	660	660	660
Электродинамическая стойкость (амплитудное значение), кА	10	15	10	15
Номинальный ток, А				
токоъемной каретки	25	100	25	100
спаренной токоъемной каретки	50	200	50	200
Соппротивление фазы, Ом/км				
активное	0,315	0,197	0,474	0,217
индуктивное	0,180	0,120	0,150	0,170
полное	0,3	0,230	0,496	0,254

В производственных помещениях шинопроводы крепятся к подвесам (рис. 7.2.7а), кронштейнам (рис. 7.2.7б) или устанавливаются на стойках (рис. 7.2.7в) как на рисунках

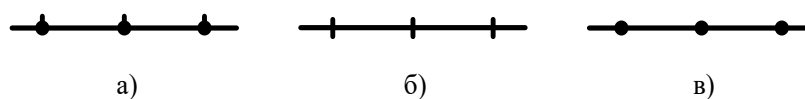


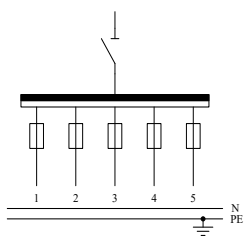
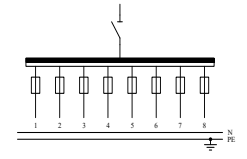
Рис. – Способы установки шинопроводов

Распределительные пункты. Для приема и распределения электроэнергии, а также защиты цеховых электросетей применяют силовые распределительные пункты, иначе называемые сборками.

Силовые распределительные шкафы первого ШРС-1 и второго ШРС-2 габаритов на токи $I_n = 250$ и 400 А имеют на вводе выключатель-разъединитель ВР-32, а на отходящих линиях предохранители ПН2 и ППНИ.

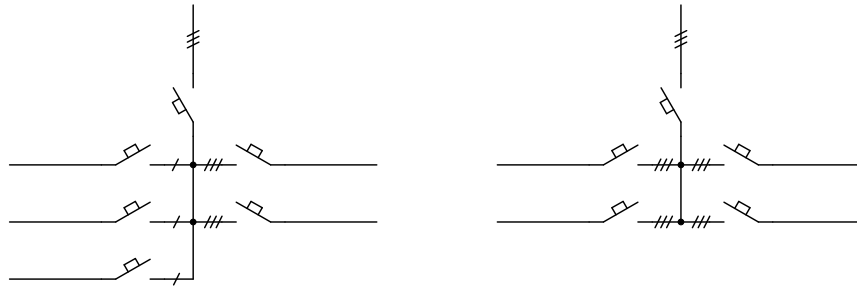
Технические данные шкафов ШРС приведены в табл.

Шкафы силовые распределительные серии ШРС с плавкими
предохранителями

Тип шкафа	Рубильник на вводе		Количество отходящих линий. Номинальный ток предохранителей			Принципиальная схема первичных соединений
	Тип	Ном-й ток, А	63 А	100 А	250 А	
ШРС-1 20У3 ШРС-1 21У3 ШРС-1 22У3	ВР-32	250	5	-	-	
		250	-	5	-	
		250	3	2	-	
ШРС-2 26У3		400	-	-	5	
ШРС-2 23У3		400	8	-	-	
ШРС-2 24У3		400	-	8	-	
ШРС-2 25У3		400	4	4	-	
ШРС-2 27У3		400	-	5	2	
ШРС-2 28У3		400	2	4	2	
ШРС-2 29У3		400	-	4	4	

**Силовые распределительные пункты
с автоматическими выключателями серии ПР**

Тип шкафа	Вводной выключатель		Выключатели отходящих линий			
	Тип	Номинальный ток	однополюсные		трехполюсные	
			Тип	Кол-во	Тип	Кол-во
1	2	3	4	5	6	7
ПР11-3046	ВА88-33	160	ВА47-100	9		
ПР11-3048	ВА88-33	160			ВА47-100	3
ПР11-3050	ВА88-33	160	ВА47-100	3	ВА47-100	3
ПР11-3052	ВА88-35	250	ВА47-100	12		
ПР11-3054	ВА88-35	250			ВА47-100	4
ПР11-3056	ВА88-35	250	ВА47-100	6	ВА47-100	2
ПР11-3058	ВА88-35	250	ВА47-100	18		
ПР11-3060	ВА88-35	250			ВА47-100	6
ПР11-3062	ВА88-35	250	ВА47-100	12	ВА47-100	2
ПР11-3064	ВА88-35	250	ВА47-100	6	ВА47-100	4
ПР11-3066	ВА88-35	250	ВА47-100	24		
ПР11-3068	ВА88-35	250			ВА47-100	8
ПР11-3070	ВА88-35	250	ВА47-100	18	ВА47-100	2
ПР11-3072	ВА88-35	250	ВА47-100	12	ВА47-100	4
ПР11-3074	ВА88-35	250	ВА47-100	6	ВА47-100	6
ПР11-3076	ВА88-35	250	ВА47-100	30		
ПР11-3078	ВА88-35	250			ВА47-100	10
ПР11-3080	ВА88-35	250	ВА47-100	24	ВА47-100	2
ПР11-3082	ВА88-35	250	ВА47-100	18	ВА47-100	4
ПР11-3084	ВА88-35	250	ВА47-100	12	ВА47-100	6
ПР11-3086	ВА88-35	250	ВА47-100	6	ВА47-100	8
ПР11-3088	ВА88-37	400	ВА47-100	18		
ПР11-3090	ВА88-37	400			ВА47-100	6
ПР11-3092	ВА88-37	400	ВА47-100	12	ВА47-100	2
ПР11-3094	ВА88-37	400	ВА47-100	6	ВА47-100	4
ПР11-3096	ВА88-37	400	ВА47-100	24		
ПР11-3098	ВА88-37	400			ВА47-100	8
ПР11-3100	ВА88-37	400	ВА47-100	18	ВА47-100	2
ПР11-3102	ВА88-37	400	ВА47-100	12	ВА47-100	4
ПР11-3104	ВА88-37	400	ВА47-100	6	ВА47-100	6
ПР11-3106	ВА88-37	400	ВА47-100	30		
ПР11-3108	ВА88-37	400			ВА47-100	10
ПР11-3110	ВА88-37	400	ВА47-100	24	ВА47-100	2
ПР11-3112	ВА88-37	400	ВА47-100	18	ВА47-100	4
ПР11-3114	ВА88-37	400	ВА47-100	12	ВА47-100	6
ПР11-3116	ВА88-37	400	ВА47-100	6	ВА47-100	8
ПР11-3118	ВА88-37	400			ВА47-100	4
ПР11-3120	ВА88-37	400			ВА47-100	6
ПР11-3122	ВА88-40	630			ВА47-100	8
ПР11-3124	ВА88-40	630			ВА47-100	12



Принципиальная схема первичных электрических соединений
распределительных пунктов серии ПР.

Распределительные пункты с выключателями на вводе серии ПР устанавливаются только при отсутствии в начале питающей линии автоматов с максимальными расцепителями.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине
«Цеховое электроснабжение»
для студентов направления
13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Ставрополь, 2026

Содержание

Введение	4
1. Методические рекомендации по выполнению РГР	4
2. Задание на РГР	
3. Методические указания по выполнению РГР	
5. Пример выполнения домашней РГР	
Список рекомендуемой литературы	
Приложения	

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания являются руководящими материалами для студентов, приступающих к выполнению РГР по дисциплине «Цеховое электроснабжение», и знакомят их с объемом проектных работ, технологией проектирования и правилами оформления расчетных и графических материалов. Указания являются рекомендательными и не должны рассматриваться студентами как ограничивающие их инициативу при проектировании. В то же время правила оформления материалов РГР являются обязательными, чтобы обеспечить единое оформление всех РГР.

РГР имеет целью систематизировать и углубить знания студента, полученные при изучении теоретического курса, дать навыки для их практического применения при решении конкретно поставленной задачи. Студенту предоставляется возможность проявить свои творческие способности в области проектирования электроснабжения небольших цехов как подготовительной ступени к выполнению ВКР по электроснабжению заводов или крупных цехов и корпусов.

В РГР должны найти отражение современные тенденции в решении вопросов электроснабжения промышленных предприятий и, в частности, необходимую надежность в обеспечении требований производства, высокую экономичность, широкое применение комплектных устройств для индустриализации электромонтажных работ, необходимое качество напряжения при изменении нагрузки, устранения опасности пожара или взрыва, а также обеспечение безопасности эксплуатации.

1. Перечень вопросов, подлежащих разработке в РГР

1. Описание (краткое) технологического процесса проектируемого цеха по литературным источникам.
2. Выбор напряжения цеховой сети и системы питания.
3. Выбор электродвигателей, пусковой и защитной аппаратуры для электроприемников на участке цеха (по заданию преподавателя).
4. Расчет электрического освещения цеха.
5. Расчет электрических нагрузок цеха.
6. Расчет необходимой компенсирующей мощности. Выбор типа компенсационного электрооборудования для повышения коэффициента мощности до заданной величины.
7. Уточнение расчетных нагрузок; выбор мощности, числа трансформаторов и мест размещения цеховых подстанций с учетом компенсации реактивной нагрузки.
8. Разработка схемы цеховой электрической сети.
9. Расчет и выбор распределительной силовой сети для электроприемников на участке в осях (задается преподавателем), питающей и троллейной сети всего цеха.
10. Выбор аппаратуры ячейки КРУ на РП – 10 кВ.
12. Выбор кабелей 10 кВ питающих цеховые подстанции.

Графическая часть

1. Однолинейная схема питающей и распределительной сети.
2. План цеха с нанесением силовой распределительной сети.

ПРИМЕЧАНИЕ: В состав пояснительной записки обязательно входит: введение с указанием целей и задач данной РГР, перечень литературы, содержание РГР, перечень чертежей графической части.

2. Краткое пояснение к технологической схеме проектирования силового электрооборудования

Техническое задание и исходные данные для проектирования выдаются студенту руководителем РГР.

Студент должен подробно ознакомиться с технологической схемой, режимами работы технологического и сантехнического оборудования, уточнить требования к надежности и бесперебойности электроснабжения и требования к качеству электроэнергии.

Необходимо обратить внимание на следующие моменты:

- а) обоснованность требований автоматизации, блокирования и управления механизмами;
- б) определение технологии среды производственных помещений по взрыво- и пожароопасности;
- в) выбор типа и мощности электродвигателей, поставляемых комплектно с механизмами;
- г) соответствие их среде производственных помещений;
- д) комплектность поставки станций управления и электроаппаратуры с технологическими и сантехническими механизмами.

Производится расчет электрических нагрузок по объекту проектирования в целом с учетом компенсации реактивных нагрузок, определение числа и мощности трансформаторов и мест подстанций.

Определяется схема питающей электросети 0,4 кВ. В зависимости от среды производственных помещений, характерных особенностей строительной и технологической частей проектируемых участков, цехов, объекта питающая сеть 0,4 кВ может быть выполнена по схеме:

- блок - трансформатор-магистраль;
- радиальной;
- радиально-магистральной.

Размещение комплектных трансформаторных подстанций может быть внутрицеховое, встроенное в производственное помещение и пристроенное к ним.

Затем бакалавр составляет план питающей электросети, троллейных линий и сети заземления. На план наносятся все трансформаторные подстанции электропомещения, магистральные и распределительные шинопроводы, силовые распределительные пункты, станции и шкафы управления, комплектные компенсирующие устройства, секционные разъединители между магистралями, защитные и коммутационные аппараты на отпайках от магистралей, элементы троллейных линий и сети заземления.

На плане в масштабе $M \ 1:100$ даются маркировка, наименование и основные данные всех элементов и необходимые пояснения в примечаниях. Остальные пункты дополнительных пояснений не требует.

При проектировании внутрицехового электроснабжения необходимо учитывать некоторые характеристики силовых электроприемников (ЭП): режим работы, коэффициент мощности, количество фаз, род тока. В связи с этим ниже приводятся характеристики отдельных групп силовых ЭП.

Для всех ЭП важным показателем является их номинальная мощность. Для электродвигателей номинальные мощности выражаются в киловаттах: для однодвигательных ЭП – p_n , кВт; для многодвигательных – суммарная номинальная мощность – P_n , кВт. Номинальной (установленной) мощностью плавильных электропечей и сварочных установок является мощность питающих их трансформаторов, выраженная в киловольт-амперах (кВА). Это же относится и к трансформаторам преобразовательных и выпрямительных агрегатов.

Основной группой промышленных потребителей электроэнергии являются электродвигатели. В установках, не требующих регулирования скорости в процессе работы, применяются электродвигатели переменного тока: асинхронные с короткозамкнутым или с фазным ротором, синхронные.

При напряжении до 1 кВ и мощности до 100 кВт экономически целесообразнее применять асинхронные двигатели, а свыше 100 кВт – синхронные; при напряжении 10 кВ и мощности до 630 кВт – асинхронные двигатели, 450 кВт и выше – синхронные. Асинхронные двигатели с фазным ротором применяются в мощных электроприводах с тяжелыми условиями пуска.

К общепромышленным установкам относятся вентиляторы, насосы, компрессоры, воздуходувки и т. д. В них применяются асинхронные и синхронные двигатели трехфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением от 380 В до 10 кВ. Диапазон их мощностей различен – от долей киловатта (электродвигатели задвижек, затворов, насосов подачи смазки и т. п.) до десятков мегаватт (воздуходувки доменных печей, кислородные турбокомпрессоры). Основным агрегатам (насосы, вентиляторы) присущ продолжительный режим работы. Электродвигатели задвижек, затворов и т. п. работают в кратковременном режиме. Их коэффициент мощности находится в пределах 0,8–0,85. Синхронные двигатели работают в режиме перевозбуждения.

Данная группа электроприемников относится, как правило, к I категории по надежности электроснабжения. Некоторые вентиляционные и компрессорные установки относятся ко второй категории.

Наиболее многочисленной группой приемников электроэнергии являются металлорежущие станки. Напряжение сети, питающей двигатели станков, 380 или 660 В, частота 50 Гц. На станках, где требуется высокая частота вращения и регулирование скорости, применяют двигатели постоянного тока; в остальных случаях – асинхронные с короткозамкнутым ротором. По надежности электроснабжения станки основных цехов предприятий относят ко II категории, а вспомогательных цехов – к III категории по надежности электроснабжения.

К электротехнологическим установкам относятся электронагревательные и электролизные установки, установки электрохимической, электроискровой и ультразвуковой обработки металлов, электросварочное оборудование. Наиболее распространенной группой электронагревательных установок являются электрические печи сопротивления, которые подразделяются на печи косвенного нагрева и прямого нагрева.

Печи сопротивления получают питание от трехфазных сетей переменного тока частотой 50 Гц, в основном напряжением 380/220 В или на более высокое напряжение через понижающие трансформаторы. Выпускаются печи в одно- и трехфазном исполнении, мощностью до нескольких тысяч киловатт. Характер нагрузки их ровный, однако, однофазные печи для трехфазных сетей представляют несимметричную нагрузку. Коэффициент мощности для печей прямого действия 0,7–0,9, для печей косвенного действия – 1,0. Печи сопротивления относятся ко II категории по надежности электроснабжения.

Индукционные плавильные печи выпускаются со стальным сердечником и без него, мощностью до 4500 кВА. Питание индукционных печей и установок закалки и нагрева осуществляется от трехфазных сетей переменного тока частотой 50 Гц напряжением 380/220 В и выше в зависимости от мощности.

Индукционные плавильные печи без сердечника и установки закалки и нагрева токами высокой частоты получают питание переменным током частотой до 40 МГц от преобразовательных установок, которые, в свою очередь, питаются от сетей переменного тока промышленной частоты.

Печи со стальными сердечниками выпускаются в одно-, двух- и трехфазном исполнении. Коэффициент мощности их колеблется в пределах 0,2–0,8 (у индукционных установок повышенной частоты – от 0,06 до 0,25).

Все перечисленные печи и установки индукционного нагрева относятся к приемникам II категории по надежности электроснабжения.

Дуговые электрические печи по способу нагрева разделяются на печи прямого, косвенного и смешанного нагрева. Дуговые печи получают питание от сетей переменного тока промышленной частоты напряжением до 110 кВ через специальные понижающие печные трансформаторы. Мощности современных дуговых электропечей достигают 100–125 МВА.

В период расплавления шихты возникают частые эксплуатационные короткие замыкания в процессе плавки и бестоковые паузы при выпуске стали и новой загрузке печи, в результате чего в питающих сетях наблюдаются толчковые нагрузки. Нагрузка от однофазных печей несимметричная. Коэффициент мощности 0,85–0,95. В отношении надежности электроснабжения дуговые печи относятся к приемникам первой категории.

Вакуумные электрические печи для выплавки высококачественных сталей и специальных сплавов относятся к приемникам особой группы первой категории, так как перерыв в питании вакуумных насосов приводит к дорогостоящему браку.

Электротехнологические установки, работающие на постоянном или переменном токе частотой, отличной от 50 Гц, питаются от преобразовательных установок, характеристики которых определяются режимом электротехнологической установки. Например, мощности электролизных установок для получения алюминия зависят от их производительности и достигают 150–180 МВА. Питание преобразовательных установок электролиза осуществляется трехфазным переменным током частотой 50 Гц напряжением до 110 кВ (в зависимости от мощности). Нагрузка их равномерная, симметричная. Коэффициент мощности составляет 0,8–0,9. Электролизные установки относятся к приемникам I категории по надежности электроснабжения.

Электросварочное оборудование питается напряжением 380 или 220 В переменного тока промышленной частоты.

Для дуговой сварки на переменном токе применяют сварочные трансформаторы однофазного и трехфазного исполнения. Источником постоянного тока при сварке служат вращающиеся и статические преобразователи.

Для автоматической дуговой сварки под слоем флюса или в защитном газе используют как трансформаторы, так и преобразователи трехфазного исполнения на напряжение 380 В.

Сварочные агрегаты для контактной сварки имеют однофазное исполнение.

Электросварочное оборудование работает в повторно-кратковременном режиме работы. Однофазные сварочные приемники (трансформаторы и другие установки) дают неравномерную нагрузку по фазам трехфазной питающей сети. Коэффициент их мощности колеблется в пределах 0,3–0,7. Сварочные установки по степени надежности относятся ко II категории.

Электропривод подъемно-транспортных устройств имеет повторно-кратковременный режим работы и относится ко II категории по надежности электроснабжения. На кран-балках и тельферах установлены двигатели с короткозамкнутым ротором, а на мостовых кранах – двигатели с фазным ротором.

3. Методические указания по выполнению РГР

3.1 Подготовительная часть

Ознакомившись с заданием, полученным от руководителя, необходимо подготовить план цеха и пролета с детальной планировкой в масштабах, как указано выше. Поскольку для работы необходимо иметь черновики планов, то сначала делается черновой план на миллиметровке. Строительная часть цеха и

оборудование на планировке вычерчиваются тонкими линиями с тем, чтобы электросети, вычерченные более толстыми линиями, ясно выделялись на планах.

3.2 Выбор напряжения

Рекомендуемое напряжение для цеховой сети 380/220 В. При наличии электроприемников большой мощности следует провести сравнение напряжений 380/220 и 660 В и отдать предпочтение более экономичному напряжению в соответствии с рекомендациями [1]. Вопрос о совместном или раздельном питании силовой и осветительной нагрузки решается в зависимости от принятого напряжения питания, режимов работы силового электрооборудования и от категории бесперебойности электроснабжения потребителей в соответствии с рекомендациями [1;6].

3.3 Выбор электродвигателей пусковой и защитной аппаратуры

Выбор типа электродвигателей и других электроприемников, пусковой и защитной аппаратуры к ним производится в соответствии с характером производства и окружающей среды по действующим каталогам и справочникам [1;2]. Для управления электродвигателями в нормальных помещениях выбираются обычные магнитные пускатели, а в пожароопасных и взрывоопасных помещениях – блоки управления типов Б5000, устанавливаемые в электропомещениях. Для электропечей, машин контактного нагрева и ламповых генераторов в отдельных шкафах с соответствующей автоматикой (которая не указывается) также устанавливаются блоки Б5000. Для управления сварочными машинами выбираются тиристорные контакторы типов ПСЛ [8]. Сварочные трансформаторы дуговой сварки питаются через блоки БПВ – предохранитель-выключатель. Питание крановых троллей осуществляется через ящики Я5000 [1;2]. При выборе защитных аппаратов можно

ориентироваться на предохранители или автоматы. В пояснительной записке подробное описание выбора электродвигателей, пусковой и защитной аппаратуры производится для одного – двух электроприемников, а для остальных – только результаты расчета, которые сводятся в таблицу (см. приложение 1). В приложении 2 приведены данные электродвигателей, пусковой и защитной аппаратуры.

3.4. Расчет электроосвещения цеха

3.4.1. Расчет рабочего освещения

По характеру зрительной работы и среды цеха по данным [2] выбирается вид системы освещения, нормируемую освещенность и вид источника света. Следует помнить, что наиболее экономичными являются газоразрядные источники света и комбинированная система освещения.

Производится размещение светильников в соответствии с рекомендациями [3]. При применении газоразрядных ламп с целью снижения пульсаций светового потока в каждой точке должны устанавливаться как минимум два светильника, которые должны запитываться от разных фаз.

Определяется световой поток одной лампы по выражению [3]

$$\Phi_{л} = \frac{E_{норм} \cdot S \cdot K_3}{K_{и} \cdot n}; \quad (3.1)$$

где $E_{норм}$ – нормируемая освещенность, лк;

S – площадь цеха;

K_3 – коэффициент запаса;

$K_{и}$ – коэффициент использования осветительной установки;

n – число ламп в цехе.

По полученному световому потоку выбирается мощность ламп по [2] и выбирается тип светильника. При выборе типа светильника необходимо учитывать среду цеха.

Производится выбор сечения сетей питающих светильники.

Определяется мощность рабочего освещения

$$P_{p.ос.} = \sum_1^n P_{л.} \cdot K_c ; \quad (3.2)$$

где K_c – коэффициент спроса ($K_c=0.9-0.95$).

Составляется план цеха, на который наносятся светильники и питающие сети рабочего освещения.

3.4.2. Расчет аварийного освещения

Расчет аварийного освещения производится аналогично рабочему освещению. Освещенность для аварийного освещения принимается равной 5 – 10 % от освещенности для рабочего освещения.

Выбираются щитки для питания рабочего и аварийного освещения по [2].

3.5 – Расчет электрических нагрузок

Сначала производится расчет нагрузок для всего цеха с учетом освещения. Расчет производится в следующем порядке:

- 1) все электроприемники цеха разбиваются на группы с примерно одинаковым режимом работы;
- 2) для каждой группы электроприемников по [1-3] или по приложению 4 определяются коэффициенты использования $K_{иi}$ и $\cos \varphi_i$;
- 3) расчетная активная и реактивная мощности определяются по выражениям

$$P_p = K_m \cdot \sum_1^K \sum_1^{n_i} P_{номi} \cdot K_{иi} ; \quad (3.3)$$

$$Q_p = \sum_1^K \sum_1^{n_i} P_{номi} K_{иi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i ; \quad (3.4)$$

где K_m - коэффициент максимума нагрузки;

K - число групп электроприемников;

n_i - число электроприемников в группе.

Коэффициент максимума определяется по [1-3] или по формуле

$$K_M = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_{эф}}} \cdot \sqrt{\frac{1 - K_{и.ср}}{K_{и.ср}}}; \quad (3.5)$$

где $n_{эф}$ - эффективное число электроприемников;

$K_{и.ср}$ - средний коэффициент использования для всех электроприемников цеха.

$$n_{эф} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{ном i})^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном i}^2}; \quad (3.6)$$

$$K_{и.ср} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{K_i} (P_{ном i} \cdot K_{и j})}{\sum_{i=1}^n P_{ном i}}; \quad (3.7)$$

где n - общее число электроприемников цеха.

Если в цехе имеются машины контактной сварки, то их расчетная нагрузка определяется по методу эффективных нагрузок в соответствии с рекомендациями [1;3].

Общая расчетная мощность цеха определяется по выражению

$$P_{р.ц} = P_{р.сил} + P_{р.св} + P_{р.ос}; \quad (3.8)$$

$$Q_{р.ц} = Q_{р.сил} + Q_{р.св} + Q_{р.ос}; \quad (3.9)$$

где $P_{р.сил}$, $Q_{р.сил}$ - расчетная нагрузка силовых электроприемников;

$P_{р.св}$, $Q_{р.св}$ - расчетная нагрузка машин контактной сварки;

$P_{р.ос}$, $Q_{р.ос}$ - расчетная нагрузка от освещения.

До расчета электрической нагрузки следует привести характеристики ЭП цеха согласно таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики электроприемников цеха

Обозначение ЭП на плане цеха	Наименование электроприемников	Номинальная мощность, P_n , кВт S_n , кВА	$\cos \varphi$	кпд, η , %	Номинальный ток, I_n , А	Коэффициент использования, K_n
1	2	3	4	5	6	7

Номинальные токи электроприемников берутся из паспортных данных или определяются по формулам:

11) для трехфазных электродвигателей

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \eta}, \text{ А}; \quad (3.10)$$

12) для многодвигательного электропривода трехфазного исполнения

$$I_n = \frac{\sum P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \eta}, \text{ А}, \quad (3.11)$$

где $\sum P_n$ – суммарная номинальная мощность ЭП многодвигательного привода, кВт; $\cos \varphi$ и η – коэффициент мощности и кпд наиболее мощного ЭП данного привода;

13) для трехфазной электрической печи, сварочного трансформатора

$$I_n = \frac{S_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n}, \text{ А}; \quad (3.12)$$

14) для однофазных электродвигателей на фазное напряжение (U_ϕ)

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{U_\phi \cos \varphi \eta}, \text{ А}; \quad (3.13)$$

15) для однофазных электродвигателей, подключаемых на линейное напряжение и являющихся нагрузкой двух фаз

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{2 U_\phi \cos \varphi \eta} = \frac{\sqrt{3} P_n \cdot 10^3}{2 U_n \cos \varphi \eta}, \text{ А}; \quad (3.14)$$

16) для однофазных электрических печей, сварочных трансформаторов на фазное напряжение

$$I_n = \frac{S_n \cdot 10^3}{U_\phi}, \text{ А}; \quad (3.15)$$

17) для однофазных электрических печей, сварочных трансформаторов на линейное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{\sqrt{3}S_{\text{н}} \cdot 10^3}{2U_{\text{н}}}, \text{ А}; \quad (3.16)$$

18) для остальных трехфазных ЭП

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{\text{н}} \cos \varphi}, \text{ А}; \quad (3.17)$$

19) для остальных однофазных ЭП на фазное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{U_{\text{ф}} \cos \varphi}, \text{ А}; \quad (3.18)$$

20) для остальных однофазных ЭП на линейное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{\sqrt{3}P_{\text{н}} \cdot 10^3}{2U_{\text{н}} \cos \varphi}, \text{ А}. \quad (3.19)$$

Во всех формулах: $P_{\text{н}}$, $S_{\text{н}}$ – номинальная мощность ЭП ($P_{\text{н}}$ – в кВт, $S_{\text{н}}$ – в кВА).

Расчет электрических нагрузок цеха и любого другого узла системы электроснабжения (силового распределительного пункта, распределительного или магистрального шинопровода, секции шин) необходимо произвести по методу коэффициента расчетной активной мощности ($K_{\text{р}}$). Расчетная активная мощность ($P_{\text{р}}$) – это мощность, соответствующая такой неизменной токовой нагрузке ($I_{\text{р}}$), которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения.

При расчете электрических нагрузок цеха или другого узла питания все ЭП распределяются на характерные группы с одинаковыми $K_{\text{н}}$ и $\cos \varphi$. При этом резервные ЭП в расчете не учитываются и номинальные мощности ЭП с повторно-кратковременным режимом работы не приводятся к длительному режиму (ПВ = 100 %).

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

Для каждой характерной группы ЭП определяются средние активная (P_c) и реактивная (Q_c) мощности по формулам:

$$P_c = K_{и} P_{н}, \text{ кВт}, \quad (3.20)$$

$$Q_c = K_{и} P_{н} \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр}. \quad (3.21)$$

Коэффициент расчетной активной мощности зависит от значения группового коэффициента использования ($K_{и \text{ гр.}}$), эффективного числа ЭП ($n_э$) и постоянной времени нагрева (T_0).

Групповой коэффициент использования узла питания определяется по формуле:

$$K_{и \text{ гр.}} = \frac{\sum K_{и} P_{н}}{\sum P_{н}}. \quad (3.22)$$

Эффективное число ЭП рассчитывается по формуле:

$$n_э = \left(\sum_{i=1}^n p_{ни} \right)^2 / \sum_{i=1}^n n p_{ни}^2, \quad (3.23)$$

где $n_э$ – число однородных по режиму работы ЭП одинаковой мощности, которое дает то же значение расчетного максимума (P_p), что и группа из

реального числа ЭП (n), различных по мощности и режиму работы; $\sum_{i=1}^n p_{ни}$ –

суммарная установленная мощность ЭП узла питания, кВт; $p_{ни}$ – номинальная (установленная) мощность i -го ЭП, кВт.

При большом числе ЭП цеха допускается определять эффективное число электроприемников по упрощенной формуле:

$$n_{\Sigma} = 2 \left(\sum_{i=1}^n p_{ni} \right) / p_{H \max}, \quad (3.24)$$

где $p_{H \max}$ – номинальная мощность наиболее мощного ЭП цеха.

Найденное по формулам (3.23) или (3.24) n_{Σ} округляется до ближайшего меньшего целого числа.

Постоянные времени нагрева принимаются следующие:

– $T_0 = 10$ мин. – для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные пункты и шинопроводы, щиты. Значения K_p для этих сетей в зависимости от K_{igr} и n_{Σ} принимаются по таблице 3.2;

– $T_0 = 2,5$ ч. – для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов; значения K_p принимаются по таблице 3.3.

Таблица 3.2 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p для питающих сетей напряжением до 1000 В

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

20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,30	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 3.3 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p на шинах НН цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

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

Расчетная активная мощность узла питания определяется по формуле:

$$P_p = K_p \sum K_{и} P_n, \text{ кВт.} \quad (3.25)$$

Расчетная реактивная мощность для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от n_3 определяется по формулам:

$$\text{при } n_{\text{э}} \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \sum K_{\text{и}} P_{\text{н}} \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр}; \quad (3.26)$$

$$\text{при } n_{\text{э}} > 10 \quad Q_p = \sum K_{\text{и}} P_{\text{н}} \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр}. \quad (3.27)$$

Расчетная реактивная мощность для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций независимо от $n_{\text{э}}$ определяется по формуле:

$$Q_p = K_p \sum K_{\text{и}} P_{\text{н}} \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр}. \quad (3.28)$$

Полная расчетная мощность узла питания:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА}. \quad (3.29)$$

На шинах низкого напряжения цеховой КТП при совместном питании силовой и осветительной нагрузки полная расчетная мощность определяется по формуле:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\text{пoy}})^2 + (Q_p + Q_{\text{пoy}})^2}, \text{ кВА}. \quad (3.30)$$

Расчетный ток узла питания

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_{\text{н}}}, \text{ А}. \quad (3.31)$$

При определении расчетной нагрузки цеха или другого узла питания необходимо учесть наличие однофазных электроприемников.

При наличии одного однофазного ЭП и включении его на фазное напряжение он учитывается как эквивалентный трехфазный ЭП номинальной мощностью:

$$p_{\text{н}} = 3 p_{\text{н.о}}; \quad q_{\text{н}} = 3 q_{\text{н.о}}, \quad (3.32)$$

где $p_{\text{н.о}}$, $q_{\text{н.о}}$ – активная и реактивная мощности однофазного ЭП.

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

$$p_H = \sqrt{3}p_{H.O}; \quad q_H = \sqrt{3}q_{H.O}. \quad (3.33)$$

При наличии группы однофазных ЭП они должны быть распределены по фазам. Далее определяется нагрузка каждой фазы от однофазных ЭП суммированием установленной мощности однофазных ЭП, подключенных на фазное напряжение, и мощности однофазных ЭП, подключенных на линейное напряжение, с использованием коэффициентов приведения нагрузок к одной фазе по формулам:

$$\begin{aligned} P_{HA(o)} &= \sum p_{HA} + \sum p_{HAB} p_{(AB)A} + \sum p_{HAC} p_{(AC)A}, \text{ кВт}; \\ P_{HB(o)} &= \sum p_{HB} + \sum p_{HAB} p_{(AB)B} + \sum p_{HBC} p_{(BC)B}, \text{ кВт}; \\ P_{HC(o)} &= \sum p_{HC} + \sum p_{HAC} p_{(AC)C} + \sum p_{HBC} p_{(BC)C}, \text{ кВт}, \end{aligned} \quad (3.34)$$

где $\sum p_{HA}$, $\sum p_{HB}$, $\sum p_{HC}$ – суммарная мощность однофазных ЭП на фазное напряжение, запитанных соответственно от фаз A , B и C ; p_{HAB} , p_{HAC} , p_{HBC} – номинальные мощности однофазных ЭП на линейное напряжение, подключенных соответственно к фазам A и B , A и C , B и C ; $p_{(AB)A}$, $p_{(AB)B}$, $p_{(AC)A}$, $p_{(AC)C}$, $p_{(BC)B}$, $p_{(BC)C}$ – коэффициенты приведения по активной мощности (в скобках указаны фазы, от которых запитан однофазный ЭП, за скобкой – фаза, для которой определяется нагрузка).

Значения коэффициентов приведения однофазных нагрузок по активной мощности представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Коэффициенты приведения однофазной нагрузки, включенной на линейное напряжение, к нагрузке, отнесенной к одной фазе

Коэффициенты приведения	Коэффициент мощности нагрузки, $\cos\varphi$								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1,0
$p_{(AB)A}$, $p_{(BC)B}$, $p_{(AC)C}$	1,4	1,17	1,0	0,89	0,84	0,8	0,72	0,64	0,5
$p_{(AB)B}$, $p_{(BC)C}$, $p_{(AC)A}$	–0,4	– 0,17	0	0,11	0,16	0,2	0,28	0,36	0,5

Затем определяется общая мощность трехфазных и однофазных ЭП каждой фазы:

$$\begin{aligned}
P_{\text{нА}} &= P_{\text{нА(о)}} + \frac{\sum P_{\text{нЗ}}}{3}, \text{ кВт}; \\
P_{\text{нВ}} &= P_{\text{нВ(о)}} + \frac{\sum P_{\text{нЗ}}}{3}, \text{ кВт}; \\
P_{\text{нС}} &= P_{\text{нС(о)}} + \frac{\sum P_{\text{нЗ}}}{3}, \text{ кВт},
\end{aligned}
\tag{3.35}$$

где $\sum P_{\text{нЗ}}$ – суммарная установленная мощность трехфазных ЭП узла питания, кВт.

Рассчитывается неравномерность загрузки фаз ($\Delta P_{\text{нр}}$):

Таблица 3.5 – Расчет электрических нагрузок (форма Ф636-92)

Исходные данные						Расчетные величины			Эффективное число ЭП** $n_3 = (\sum P_n)^2 / \sum n p_n^2$	Коэффициент расчетной нагрузки K_p	Расчетная мощность			Расчетный ток, А $I_p = S_p / (\sqrt{3}U)$
по заданию технологов			по справочным данным			$K_n P_n$	$K_n P_n \text{tg} \varphi$	$n p_n^2$			активная, кВт $P_p = K_p \sum K_n P_n$	реактивная, кВАр** $Q_p = 1,1 \sum K_n P_n \text{tg} \varphi$	полная, кВА $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.* n	Номинальная (установленная) мощность, кВт* одног о ЭП P_n обща я $P_n = n p_n$	коэффициент использования K_n	коэффициент реактивной мощности $\frac{\cos \varphi}{\text{tg} \varphi}$										
1	2	3			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

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

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

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

расчетная реактивная мощность принимается равной

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

$$\Delta P_{\text{нр}} = \frac{P_{\text{н max}} - P_{\text{н min}}}{P_{\text{н min}}} \cdot 100, \%, \quad (3.36)$$

где $P_{\text{н max}}$, $P_{\text{н min}}$ – соответственно номинальные мощности максимально и минимально нагруженной фазы.

При неравномерности нагрузки фаз не более 15 % однофазные ЭП учитываются при расчете нагрузок как эквивалентная группа трехфазных ЭП с той же суммарной номинальной мощностью.

В случае превышения указанной неравномерности номинальная мощность эквивалентной группы трехфазных ЭП принимается равной тройному значению мощности наиболее загруженной фазы:

$$P_{\text{н(о)}} = 3P_{\text{н max(о)}}, \text{ кВт.} \quad (3.37)$$

3.6 – Расчет необходимой мощности компенсирующих устройств и выбор мощности и места расположения цеховой трансформаторной подстанции

На основании данных раздела 5 производится определение расчетного $\text{tg}\varphi_{\text{р,ц}}$:

$$\text{tg}\varphi_{\text{р.ц}} = \frac{Q_{\text{р.ц}}}{P_{\text{р.ц}}}. \quad (3.38)$$

Необходимая мощность компенсирующих устройств определяется по выражению:

$$Q_{\text{ку}} = P_{\text{р.ц}} \cdot (\text{tg}\varphi_{\text{р.ц}} - \text{tg}\varphi_{\text{э}}); \quad (3.39)$$

где $\text{tg}\varphi_{\text{э}}$ – экономическое значение $\text{tg}\varphi$ (задается преподавателем).

По $Q_{\text{ку}}$ выбирается число и мощность конденсаторных установок.

Конденсаторные установки следует принимать комплектными в соответствии с таблицей 3.6.

Размещение конденсаторных установок в сети 0,4 кВ следует производить в соответствии с рекомендациями [1].

Таблица 3.6 – Данные комплектных конденсаторных установок

№ п/п	Тип ККУ	U _{ном} , В	Q _{ном} , квар

1	УКМ 58 – 0,4 – 100	400	100
2	УКМ 58 – 0,4 – 200	400	200
3	УКМ 58 – 0,4 – 268	400	268
4	УКМ 58 – 0,4 – 402	400	402
5	УКМ 58 – 0,4 – 536	400	536

3.7 Уточнение расчетных нагрузок, выбор мощности, числа и места расположения цеховых подстанций

После выбора компенсирующих устройств производится уточнение расчетной нагрузки цеха по выражению

$$S_{p.y} = \sqrt{P_{p.ц}^2 + (Q_{p.ц} - Q_{кy})^2} \quad (3.40)$$

По $S_{p.y}$ выбирается мощность цеховых трансформаторов.

В зависимости от категории электроснабжения потребителей цеха выбирается количество цеховых трансформаторов n_T и их коэффициент загрузки $K_{з.т.}$

При наличии потребителей I категории $K_{з.т.} = 0.6-0.7$, при II и III категориях

$K_{з.т.} = 0,75-0,85$, при однотрансформаторных подстанциях $K_{з.т.} = 0,9-0,95$.

Мощность цеховых трансформаторов определяется по выражению

$$S_T = \frac{S_{p.y}}{K_{з.т.} \cdot n_m}. \quad (3.41)$$

По S_T выбирается ближайший по мощности трансформатор.

Выбор места расположения подстанции производится в зависимости от среды цеха. При нормальной среде подстанции следует размещать как можно ближе к центру нагрузок цеха. Двухтрансформаторные подстанции следует применять при наличии потребителей I и II категории. При наличии потребителей III можно применять однотрансформаторные подстанции. Если среда цеха сырая, агрессивная, пожаро- или взрывоопасная, то подстанции надо располагать в специальном электропомещении.

Как правило, цеховые трансформаторные подстанции (ТП) встроены в здание цеха или пристроены к нему. Пристроенной называется подстанция,

непосредственно примыкающая к основному зданию, встроенной – подстанция, вписанная в общий контур здания, внутрицеховая – расположенная внутри производственного здания (в открытом или отдельном закрытом помещении).

Отдельно стоящие закрытые цеховые подстанции устанавливают, когда невозможно разместить ТП внутри цехов или у наружных их стен по требованиям технологии или пожаро- и взрывоопасности производства. Отдельно стоящие ТП целесообразно применять при питании от одной подстанции нескольких рядом расположенных цехов с небольшой электрической нагрузкой.

По возможности ТП устанавливают в центре электрических нагрузок, максимально приближая к цеховым электроприемникам, что позволяет сократить протяженность сетей 0,4 кВ и уменьшить в них потери мощности и энергии.

Возможно применение цеховых ТП с размещением распределительного устройства (щита) низкого напряжения в цехе, а трансформаторов – снаружи около питаемых от него производственных зданий.

Варианты размещения цеховых КТП представлены на рис. 10.

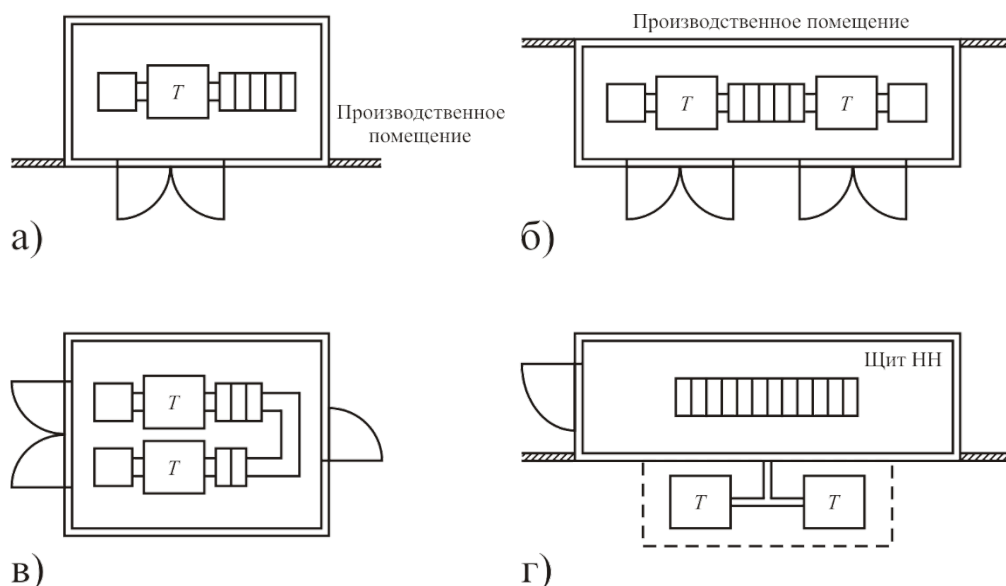


Рисунок 3.1 – Варианты размещения цеховых КТП и их компоновки: а – однотрансформаторная КТП встроенного типа; б – двухтрансформаторная КТП пристроенного типа однорядного исполнения; в – двухтрансформаторная КТП отдельно стоящая двухрядного исполнения; г – КТП с наружной установкой трансформаторов

На выбор числа трансформаторов влияет категория потребителей по надежности электроснабжения, график нагрузки цеха и удельная мощность

нагрузки. Однотрансформаторные подстанции при наличии складского резерва можно использовать для питания электроприемников III и даже II категории. Однотрансформаторные КТП можно применить и для питания электроприемников I категории, если их мощность не превышает 15–20 % мощности трансформатора и возможно резервирование подстанций на вторичном напряжении перемычками с АВР.

Двухтрансформаторные цеховые подстанции применяют при преобладании электроприемников I и II категории и в энергоемких цехах при большой удельной мощности нагрузки $0,5 \div 4$ кВА/м². Двухтрансформаторные КТП используют для питания электроприемников любой категории по надежности электроснабжения в следующих случаях:

- 1) суточный или годовой график нагрузки цеха очень неравномерен (например, односменная работа цеха, когда выгодно в ненагруженные часы отключать один трансформатор);
- 2) возможен дальнейший быстрый рост нагрузки;
- 3) удельная мощность нагрузки не менее 0,4 кВА/м².

Более двух трансформаторов используют для питания цеховых ЭП при необходимости отдельного питания силовой и осветительной нагрузки цеха; если имеются мощные ЭП, требующие блочного питания, или нагрузка цеха превышает нагрузочную способность двухтрансформаторной КТП с трансформаторами мощностью 2500 кВА (приблизительно > 3500 кВА).

Следует учесть, что если нагрузка цеха не более 400 кВА, то экономически нецелесообразно устанавливать собственную КТП в этом цехе.

Необходимо объединить нагрузки рядом расположенных цехов и выбрать ТП по суммарной мощности, расположив ее в центре электрических нагрузок.

Мощность трансформатора в однотрансформаторной КТП выбирается по условию:

$$S_{\text{нт}} \geq S_p, \text{ кВА}, \quad (3.42)$$

где $S_{\text{нт}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА; S_p – расчетная нагрузка цеха, кВА.

Для двухтрансформаторных подстанций

$$S_{\text{нт}} = \frac{S_{\text{р}}}{2K_3}, \text{ кВА}, \quad (3.43)$$

где K_3 – коэффициент загрузки трансформатора, принимаемый при преобладании потребителей I категории (до 80 %) в пределах $0,6 \div 0,7$; при преобладании потребителей II категории – $0,7 \div 0,8$; для III категории – $0,95 \div 1$

В последние годы ведется поиск наиболее эффективных методов выбора цеховых трансформаторов. Один из подходов к решению этой задачи основан на применении комплексного метода расчета электрических нагрузок (прогноз увеличения нагрузки во времени и в зависимости от технологических показателей цеха). В этом случае выбор мощности цеховых трансформаторов можно произвести по удельной плотности нагрузки ($S_{\text{руд}}$):

$$\begin{array}{lll} S_{\text{руд}}, \text{ кВА/м}^2 & \dots\dots\dots \text{менее } 0,2; & 0,2 \div 0,5; & \text{более } 0,5 \\ S_{\text{нт}}, \text{ кВА} & \dots\dots\dots \text{до } 1000; & 1000 \div 1600; & 1600 \div 2500 \end{array}$$

Далее следует выбрать тип трансформатора и привести его технические характеристики.

При выборе двухтрансформаторной КТП необходимо определить нагрузку секций шин, распределив ЭП цеха между цеховыми трансформаторами. Цеховые ЭП могут питаться либо от шин КТП непосредственно, либо через силовые распределительные пункты в зависимости от их единичной мощности. Линейные панели РУНН КТП комплектуются автоматическими выключателями (АВ) с номинальным током $I_{\text{на}} \geq 250 \text{ А}$, снабженные тепловыми расцепителями с номинальным током $I_{\text{нтр}} \geq 100 \text{ А}$. Силовые распределительные пункты (РП) комплектуются АВ с $I_{\text{на}} \leq 250 \text{ А}$ с $I_{\text{нтр}} \leq 250 \text{ А}$. В связи с этим мощные ЭП с номинальным током $I_{\text{н}} > 250 \text{ А}$ можно питать только от шин КТП непосредственно, ЭП с $I_{\text{н}} \leq 80 \text{ А}$ – только через распределительные пункты, ЭП с $80 < I_{\text{н}} \leq 250 \text{ А}$ можно питать либо от шин КТП непосредственно, либо через РП. ЭП малой и средней мощности объединяют в группы по территориальному признаку и питают либо от распределительных шинопроводов (ШРА) при магистральных схемах цеховых сетей, либо от РП при радиальных схемах. Нагрузки ШРА и РП определяют по методу коэффициента расчетной активной мощности и

результаты сводят в таблицу, аналогичную табл. 13. Расчет электрических нагрузок секций шин также приводят в табличной форме.

Далее следует определить потери напряжения во вторичных обмотках цеховых трансформаторов по формуле:

$$\Delta U_T = \beta (U_{\text{ка}} \cos \varphi_{\text{ср}} + U_{\text{кр}} \sin \varphi_{\text{ср}}), \%, \quad (3.438)$$

где β – коэффициент загрузки трансформатора; $U_{\text{ка}}$, $U_{\text{кр}}$ – соответственно активная и индуктивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора, %; $\cos \varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент мощности нагрузки трансформатора.

$$\beta = \frac{S_{\text{рТ}}}{S_{\text{нТ}}}, \quad (3.44)$$

где $S_{\text{рТ}}$ – расчетная нагрузка трансформатора.

$$U_{\text{ка}} = \frac{P_{\text{к}}}{S_{\text{нТ}}} \cdot 100, \%, \quad (3.45)$$

где $P_{\text{к}}$ – мощность потерь короткого замыкания, кВт.

$$U_{\text{кр}} = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - U_{\text{ка}}^2}, \%, \quad (3.46)$$

где $U_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

3.8 Составление схемы цеховой электрической сети цеха

После выбора мощности и места установки подстанции составляется схема цеховой сети. Наибольшее распространение имеют магистральные и радиальные схемы.

Радиальные схемы применяются, когда среда цеха сырая, коррозионная, пожароопасная или взрывоопасная.

Во всех случаях применяются магистральные схемы.

Цех питается от однитрансформаторной подстанции мощностью 1000 кВА.

Таблица 3.8 – Данные цеховых трансформаторов

Тип трансформатора	$S_{\text{ном.т}},$ кВА	Напряжение, кВ		$U_{\text{к}},$ %	Потери, кВт		$I_{\text{хх}}, \%$
		ВН	НН		$\Delta P_{\text{хх}}$	$\Delta P_{\text{к}}$	
ТМ-250/10	250	6,10	0,4	4,5	0,74	4,2	2,3
ТМ-400/10	400	6,10	0,4	4,5	0,95	5,9	2,1
ТМ-630/10	630	6,10	0,4	5,5	1,31	8,5	2,0
ТМ-1000/10	1000	6,10	0,4	5,5	1,9	10,5	1,15
ТМ-1600/10	1600	6,10	0,4	6,5	2,75	18	1,3
ТМ-2500/10	2500	6,10	0,4	6,5	3,85	23,5	1,0

3.9 – Расчет и выбор распределительной силовой сети для электроприемников на участке в осях (задается преподавателем), питающей и троллейной сети всего цеха

При магистральной схеме основными элементами питающей сети являются шинопроводы. При радиальной – кабели. Для распределительной сети можно применять кабели или провода в трубах.

В [3] приведены технические данные магистральных, радиальных осветительных и троллейных шинопроводов, технические данные кабелей.

Сечение сетей выбирается по нагреву:

$$I_p \leq I_d; \quad (3.47)$$

$$I_{\text{ном}} \leq I_d; \quad (3.48)$$

где I_p - расчетный ток для питающей сети;

I_d - длительно допустимый по нагреву ток для данной сети;

$I_{\text{ном}}$ - номинальный ток электроприемника.

Для определения I_p необходимо провести расчет нагрузки для каждого пролета цеха по методике, изложенной в разделе 5.

Для питания кранов рекомендуется применять троллейные шинопроводы.

Цеховые трансформаторные подстанции, как правило, не имеют

распределительного устройства высокого напряжения (РУВН) и состоят из шкафов ввода высокого напряжения, трансформаторов и распределительного устройства низкого напряжения (РУНН).

В состав подстанции может входить РУВН, если в цехе имеются высоковольтные электроприемники (двигатели, электротехнологические установки), либо если цеховые трансформаторы запитаны по магистральной схеме. Цеховая трансформаторная подстанция может не иметь РУНН, если цеховые электрические сети выполняются по схеме «блок трансформатор – магистраль» (БТМ). В этом случае функцию распределительного устройства низкого напряжения выполняет магистральный шинопровод (ШМА), проложенный в цехе.

РУНН состоит из панелей распределительных щитов: вводных, линейных, секционной. Линейные панели комплектуются трансформаторами тока, амперметрами и коммутационно-защитной аппаратурой следующих видов:

- 1) блоки рубильник – предохранитель с $I_{\text{на}} = 100; 250; 400 \text{ А}$ ($2 \times 100 + 2 \times 250; 4 \times 250; 2 \times 250 + 2 \times 400$);
- 2) рубильник, предохранитель с $I_{\text{на}} = 600 \text{ А}$;
- 3) рубильники, автоматические выключатели с $I_{\text{нтр}} \geq 100 \text{ А}$ ($6 \times 100; 4 \times 250; 2 \times 600; 4 \times 100$);
- 4) автоматические выключатели с $I_{\text{нтр}} \geq 100 \text{ А}$ ($6 \times 100; 4 \times 250; 2 \times 600; 4 \times 100$);
- 5) разъединитель, автоматический выключатель с $I_{\text{нтр}} = 400; 1000 \text{ А}$ ($1 \times 400; 1 \times 1000$).

Вводные панели комплектуются трансформаторами тока, амперметрами, вольтметрами и коммутационно-защитными аппаратами:

- 1) рубильник, предохранитель;
- 2) разъединитель;
- 3) разъединитель, автоматический выключатель.

Секционные панели комплектуются либо рубильником, либо разъединителем, а также автоматическим выключателем с рубильниками или разъединителями.

Автоматические выключатели в панелях РУНН могут иметь стационарное исполнение или выдвижное, что влияет на компоновку цеховой подстанции. В [2] приведены способы компоновки цеховых КТП при однорядном и двухрядном расположении панелей со стационарными и выдвижными выключателями.

В данном разделе необходимо указать способ присоединения цеховых трансформаторов к распределительной сети, тип выбранной КТП, ее комплектацию и компоновку.

3.10 Выбор схемы силовой сети цеха

Внутрицеховые сети выполняют по радиальной, магистральной или смешанной схемам. На выбор схемы влияют категория потребителей по надежности электроснабжения, взаимное расположение ЭП по площади цеха, их единичная мощность, связанность электроприемников единым технологическим процессом и характеристика окружающей среды.

Радиальные схемы применяют в помещениях с любой окружающей средой. Данные схемы характерны тем, что от источника питания (КТП) прокладывают линии, питающие непосредственно ЭП большой мощности или комплектные распределительные устройства (шкафы, пункты, сборки, щиты), от которых по отдельным линиям питаются электроприемники малой и средней мощности. Распределительные устройства следует располагать в центре электрических нагрузок данной группы потребителей (если позволяет окружающая среда) с целью уменьшения длины распределительных линий. Линии, по которым запитываются распределительные устройства, называются питающими и выполняются, как правило, кабелями. Радиальные схемы требуют установки на цеховых подстанциях большого числа коммутационных аппаратов и значительного расхода кабелей.

Радиальные схемы следует применять:

- для электроснабжения потребителей I категории;
- для электроснабжения мощных ЭП, не связанных единым технологическим процессом;
- для электроснабжения потребителей, взаимное расположение которых делает нецелесообразным питание их по магистральной схеме;
- для питания насосных и компрессорных станций;
- во взрывоопасных, пожароопасных и пыльных помещениях, в которых распределительные устройства должны быть вынесены в отдельные помещения с нормальной средой.

На рис. 11 приведен пример выполнения радиальной схемы.

Наиболее экономичными являются магистральные схемы. Широкое применение получили схемы «блок трансформатор – магистраль» (БТМ) без распределительных устройств на подстанциях. В схемах БТМ целесообразно использование комплектных шинопроводов: в питающей сети – магистральных шинопроводов серии ШМА, в распределительной сети – распределительных шинопроводов серии ШРА. Магистральные схемы с шинопроводами обеспечивают высокую степень надежности электроснабжения. Их основными достоинствами являются универсальность и гибкость, позволяющие производить изменения технологического процесса и перестановку технологического оборудования в цехах без существенного изменения электрических сетей.

Магистральные схемы применяют:

- для питания электроприемников, связанных единым технологическим процессом, когда прекращение питания одного электроприемника вызывает необходимость прекращения всего технологического процесса;
- для питания большого числа мелких электроприемников, не связанных единым технологическим процессом, равномерно распределенных по площади цеха.

На рис. 12 приведена схема БТМ для двухтрансформаторной подстанции. Магистральные шинопроводы подключаются к вводным автоматическим выключателям. Непосредственно к трансформатору допускается присоединять

некоторые ЭП или освещение для бесперебойного их питания при отключении главной магистрали.

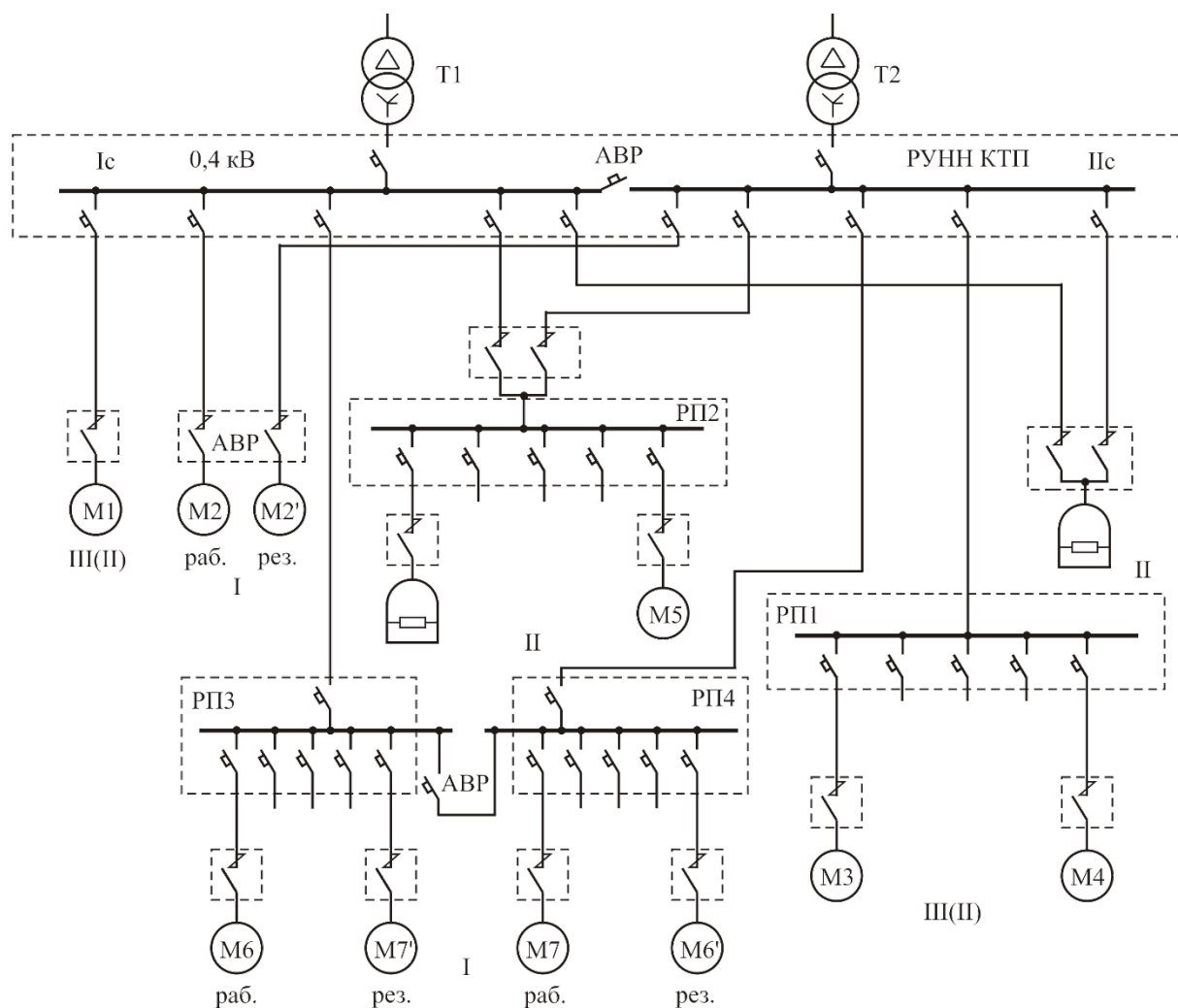


Рисунок 3.2– Пример радиальной схемы для ЭП различных категорий по надёжности электроснабжения

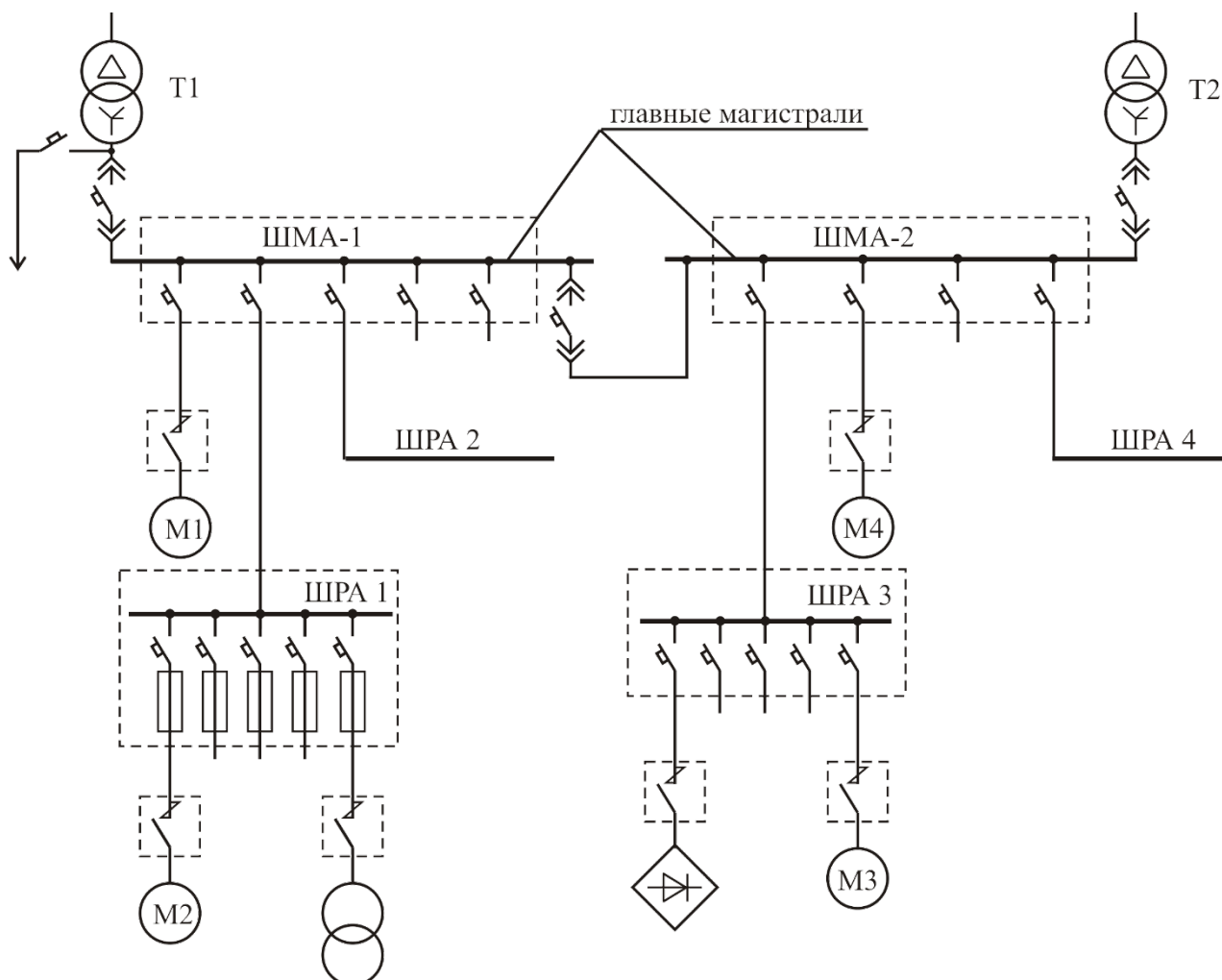


Рисунок 3.3 – Пример выполнения магистральной схемы при двухтрансформаторной КТП

Магистральные шинопроводы прокладываются в цехе на высоте $4 \div 4,5$ метров от пола, распределительные шинопроводы для удобства эксплуатации устанавливаются, как правило, на высоте $2,5 \div 3$ метров.

На практике наибольшее распространение получили смешанные схемы.

В зависимости от выбранной схемы цеховых сетей они конструктивно могут быть выполнены комплектными шинопроводами или кабельными линиями, проложенными открыто или скрыто. На выбор способов прокладки кабелей влияют количество линий, совпадающих по трассе, и характеристика окружающей среды. В соответствии с ПУЭ производственные помещения в зависимости от характеристики окружающей среды делят на сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, с химически активной средой, пыльные, пожаро- и взрывоопасные. В любой среде возможна прокладка кабелей открыто по строительным конструкциям (не более шести кабелей, идущих в одном направлении) с учётом следующих ограничений:

- в помещениях с химически активной средой необходимо использовать кабели с изоляцией, инертной к химически агрессивной среде (например, поливинилхлоридную);
- в пожароопасных – кабели с негорючим наружным слоем: например, защитные герметичные оболочки кабелей из негорючей резины (АНРГ) или негорючего поливинилхлорида (АПВВнг-LS, АПВВГнг);
- во взрывоопасных зонах любого класса использовать только бронированные кабели;
- во взрывоопасных зонах классов В-I и В-IIa использовать бронированные кабели только с медными жилами;
- во взрывоопасных зонах всех классов запрещается использовать кабели с полиэтиленовой изоляцией и полиэтиленовой защитной оболочкой.

Тросовые проводки применяют в помещениях со сложной конфигурацией строительной части, где из-за большого числа различных трубопроводов, колонн, ферм и балок трудно выполнить проводку другого типа.

Прокладку в стальных трубах следует использовать только во взрывоопасных зонах вместо бронированных кабелей.

Для защиты кабелей от воздействия окружающей среды и механических повреждений возможно использовать прокладку в алюминиевых трубах и полимерных (полипропиленовые, поливинилхлоридные, полиэтиленовые и др.)

При большом числе кабельных линий, совпадающих по направлению, следует использовать прокладку кабелей на специальных кабельных конструкциях, на лотках, в коробах и кабельных каналах с учётом влияния окружающей среды на выбор марки кабеля.

Целесообразно использование модульной прокладки в цехах машиностроительной, приборостроительной, радиотехнической и других отраслей промышленности. Применение модульной сети делает электротехническую часть производства независимой от размещения технологического оборудования. В такой сети кабели прокладываются под полом в трубах с ответвительными коробками для присоединения ЭП с шагом (модулем) $1,5 \div 6$ метров в зависимости от характера производства и габаритов технологического оборудования.

Для питания передвижных ЭП (крановых электродвигателей тельферов, мостовых кранов, кран-балок) применяют троллейные линии, выполненные из профильной стали или алюминиевых шин, а также троллейными шинопроводами типа ШТМ. Возможно использовать для их питания гибкие кабели.

3.11 Выбор силового электрооборудования напряжением до 1000 В

3.11.1. Выбор и проверка комплектных шинопроводов

Сечение шин выбирают по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным током нагрузки по условию:

$$I_p \leq I_n, \quad (3.48)$$

где I_n – номинальный ток шинопровода, А.

Для оценки уровня напряжения, подводимого к ЭП, запитанным от шинопроводов, необходимо учитывать потери напряжения в шинопроводах.

Потери напряжения в шинопроводах определяют по формуле:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_n} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}) \sum_{i=1}^n I_{pi} \cdot l_i, \quad \%, \quad (3.49)$$

где r_0 , x_0 – соответственно удельные активное и индуктивное сопротивления шинопроводов, Ом/км; $\cos \varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент нагрузки шинопровода; I_{pi} – ток расчётный i -той нагрузки, А; l_i – длина шинопровода от ввода до точки подключения i -той нагрузки, км.

При токе нагрузки, близком к номинальному току шинопровода, потери напряжения допускается определять по линейной потере напряжения на 100 м шинопровода по формуле:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\Delta U_{\text{лш}} \cdot l_{\text{ш}}}{U_n}, \quad \%, \quad (3.50)$$

где $\Delta U_{\text{лш}}$ – линейная потеря напряжения шинопровода, В; $l_{\text{ш}}$ – длина шинопровода до точки подключения нагрузки, м; U_n – номинальное напряжение, В.

После расчета токов короткого замыкания необходимо сделать проверку выбранных сечений шинопроводов по термической и электродинамической стойкости. Для этого ток трехфазного КЗ ($I_K^{(3)}$), рассчитанный в начале шинопровода следует сравнить с термической стойкостью шинопровода, а ударный ток – с электродинамической стойкостью по условиям:

$$I_K^{(3)} \leq i_{TC}, \text{ кА}, \quad (3.51)$$

$$i_{уд} \leq i_{уд \text{ доп.}}, \text{ кА},$$

где i_{TC} – термическая стойкость шинопровода, кА; $i_{уд \text{ доп.}}$ – электродинамическая стойкость шинопровода, кА, взятые из технических характеристик.

3.12 Выбор силовых распределительных пунктов

В качестве силовых распределительных пунктов (РП) можно выбирать щиты распределительные (корпуса для электрощитового ЭО), либо типовые РП. Данные по щитам распределительным, а также по осветительно-силовым щиткам приведены в части 1 методических указаний по курсовому и дипломному проектированию. Типовые РП комплектуются либо предохранителями (серии ШР11 и ШРС1), либо автоматическими выключателями (серии ПР8501, ПР 8503, ПР11 и др.)

Распределительные пункты выбирают по степени защиты, по номинальному току ввода, по количеству отходящих линий, типу защитного аппарата (с предохранителями или с автоматическими выключателями) и номинальному току аппаратов для присоединений. Если отходящие линии необходимо защищать только от токов КЗ, то целесообразнее использовать РП с предохранителями, номенклатура и технические параметры которых приведены в [2]. В случае необходимости защиты линий от токов КЗ и от токов перегрузки следует выбирать распределительные пункты с АВ, технические данные которых приведены в [2].

Согласно ПУЭ от перегрузки должны быть защищены:

- сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией;

- осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для переносных и бытовых ЭП, а также в пожароопасных зонах;
- силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях – только в случае, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников;
- сети всех видов во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Ia; В-II, В-IIa.

3.13 Выбор сечений силовых линий

Сечения силовых линий выбираются по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным током нагрузки, по потере напряжения и по условию соответствия выбранному аппарату защиты.

3.13.1. Выбор сечений по допустимому нагреву

Силовые линии разделяют на распределительные, непосредственно питающие один или несколько ЭП, и питающие, которые питают группу электроприемников, но непосредственно к ним не подключаются.

Сечение по допустимому нагреву выбирают по условию:

$$I_p \leq I_d K_{\Pi}, \quad (3.52)$$

где I_p – максимальный рабочий (расчетный) ток нагрузки, А; I_d – длительно допустимый ток, А; K_{Π} – поправочный коэффициент, учитывающий реальные условия охлаждения проводника и зависящий от температуры окружающей среды и способа прокладки.

За расчетный ток нагрузки линии, питающей одиночный электроприемник, принимается номинальный ток нагрузки этого ЭП:

$$I_p = I_n, \text{ А.} \quad (3.53)$$

Для линии, питающей многодвигательный агрегат с одновременным пуском электродвигателей, расчетный ток нагрузки равен сумме номинальных токов двигателей:

$$I_p = \sum_{i=1}^n I_{ni}, \text{ А.} \quad (3.54)$$

Для магистралей и питающих линий определяется расчетная нагрузка группы ЭП по методу коэффициента активной расчетной мощности, а затем рассчитывается ток нагрузки по формуле (49).

Поправочный коэффициент необходимо учитывать при прокладке линий в жарких помещениях, а также при прокладке кабелей в коробах. Значения поправочных коэффициентов в зависимости от температуры окружающей среды для разных видов изоляции жил приведены в таблице 3.9; в зависимости от способа прокладки кабелей в коробах – в таблице 3.10.

Таблица 3.9 – Поправочные коэффициенты на токи для кабелей в зависимости от температуры воздуха

Материал изоляции жил кабеля	Значение K_p при температуре воздуха, °С					
	+25	+30	+35	+40	+45	+50
резиновая изоляция	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
поливинилхлоридная (ПВХ) изоляция	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
изоляция из сшитого полиэтилена (СПЭ-изоляция)	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74

Таблица 3.10 – Значения поправочных коэффициентов для кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводников, питающих	
	одножильных	многожильных	отдельные ЭП с коэффициентом использования до 0,7	группы ЭП и отдельные ЭП с коэффициентом использования более 0,7
Многослойно и пучками	–	До 4	1,00	–
	2	5 – 6	0,85	–
	3 – 9	7 – 9	0,75	–

	10 – 11	10 – 11	0,70	–
	12 – 14	12 – 14	0,65	–
	15 – 18	15 – 18	0,60	–
Однослойно	2 – 4	2 – 4	–	0,67
	5	5	–	0,60

В остальных случаях $K_{\Pi} = 1$.

Значения длительно допустимых токов для кабелей приведены в [3].

Для электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы для медных проводников сечением более 6 мм² и алюминиевых сечением более 10 мм² ток ЭП приводится к длительному режиму работы умножением $I_{\text{н}}$ на коэффициент $K_{\text{ПВ}} = 1,14\sqrt{\text{ПВ}}$:

$$I_{\text{р}} = I_{\text{н}} K_{\text{ПВ}} = 1,14 I_{\text{н}} \sqrt{\text{ПВ}}, \text{ А}, \quad (3.55)$$

где ПВ – относительная продолжительность включения в относительных единицах; 1,14 – коэффициент запаса.

Во взрывоопасных зонах сечения распределительных линий, питающих асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, выбирают по условию:

$$1,25 I_{\text{р}} \leq I_{\text{д}} K_{\Pi}. \quad (3.56)$$

3.13.2. Проверка сечений по потере напряжения

Согласно ПУЭ, для силовых электроприемников отклонение напряжения от номинального должно составлять не более $\pm 5\%$.

Выбранные по допустимому нагреву сечения силовых линий проверяют по потере напряжения по условию:

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{\text{тр}} + \Delta U_{\text{пл}} + \Delta U_{\text{рл}} \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (3.60)$$

где $\Delta U_{\text{тр}}$ – потери напряжения во вторичной обмотке цехового трансформатора, %; $\Delta U_{\text{пл}}$ – потери напряжения в питающей линии, %; $\Delta U_{\text{рл}}$ – потери напряжения в распределительной линии, %; $\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимые потери напряжения, равные 10 % для силовых электроприемников.

Потери напряжения в распределительных линиях определяются по формулам:

- при питании одиночного ЭП

$$\Delta U_{\text{рл}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{р}} l \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi), \quad \% \quad (3.61)$$

- для магистрали

$$\Delta U_{\text{рл}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \sum_{i=1}^n I_{\text{р}i} l_i, \quad \%. \quad (3.62)$$

Потери напряжения в питающей линии

$$\Delta U_{\text{пл}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{р}} l \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}), \quad \%, \quad (3.63)$$

где $I_{\text{р}}$ – расчетный ток линии, А; $I_{\text{р}i}$ – расчетный ток i -ой нагрузки магистральной линии, А; r_0 , x_0 – соответственно удельные активное и индуктивное сопротивления линий, Ом/км; l – длина линии, км; l_i – длина линии до точки подключения i -ой нагрузки к магистрали, км; $\cos \varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент мощности группы электроприемников.

Значения удельных сопротивлений кабелей приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Удельные активные и индуктивные сопротивления кабелей

Номинальное сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление жил при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление при $U_{\text{н}}$ до 1 кВ, Ом/км
	алюминиевых	медных	
1,5	–	12,26	0,101
2,5	13,3	7,36	0,099
4	7,74	4,6	0,095
6	5,17	3,07	0,09
10	3,1	1,84	0,073
16	1,94	1,15	0,0675

Продолжение таблицы 3.11

Номинальное сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление жил при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление при U_n до 1 кВ, Ом/км
	алюминиевых	медных	
25	1,24	0,74	0,0662
35	0,89	0,52	0,0637
50	0,62	0,37	0,0625
70	0,443	0,26	0,0612
95	0,326	0,194	0,0602
120	0,258	0,153	0,0602
150	0,206	0,122	0,0596
185	0,167	0,099	0,0596
240	0,013	0,077	0,0587

Если ЭП, запитанные от одного РП или ШРА, имеют одинаковую мощность, то проверку сечений по потере напряжения следует проводить для наиболее удаленного электроприемника.

3.14 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов КЗ необходим для проверки защитных аппаратов по отключающей способности, проверки защит по чувствительности действия и шинопроводов (ШМА, ШРА) по термической и электродинамической стойкости.

С этой целью рассчитываются токи трехфазного короткого замыкания ($I_k^{(3)}$) на выходе защитных аппаратов, токи однофазного КЗ ($I_k^{(1)}$) в конце защищаемой зоны аппарата защиты, ток трехфазного КЗ и ударный (i_y) в начале шинопровода.

При расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

- 1) индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- 2) активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;
- 3) активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;

4) значения параметров синхронных и асинхронных электродвигателей.

При расчетах токов КЗ рекомендуется учитывать:

1) сопротивление электрической дуги в месте КЗ;
2) изменение активного сопротивления проводников короткозамкнутой цепи вследствие их нагрева при КЗ;

3) влияние комплексной нагрузки (электродвигатели, преобразователи, термические установки, лампы накаливания) на ток КЗ, если номинальный ток электродвигателей нагрузки превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока КЗ, рассчитанного без учета нагрузки.

Токи КЗ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах.

Следует использовать шкалу средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ.

Сопротивления всех элементов схемы замещения выражать в миллиомах.

При электроснабжении электроустановки от энергосистемы через понижающий трансформатор начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ в килоамперах без учета подпитки от электродвигателей рассчитывают по формуле:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (3.645)$$

где $U_{\text{ср.НН}}$ – среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание, В; $r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ – соответственно суммарное активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи до точки КЗ, мОм.

Значение периодической составляющей тока однофазного КЗ от системы в килоамперах рассчитывают по формуле

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}, \quad (3.65)$$

где $r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ – суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление нулевой последовательности относительно точки КЗ, мОм.

Для определения суммарных сопротивлений до точки КЗ необходимо составить расчетную схему, на которой приводятся технические характеристики цехового трансформатора (тип, схема соединения обмоток,

номинальная мощность, номинальные напряжения обмоток, напряжение КЗ трансформатора и мощность потерь при КЗ), марка кабелей, сечения и длины линий, типы и номинальные токи коммутационно-защитных аппаратов, точки КЗ.

Пример расчетной схемы приведен на рисунок 13.

Далее составляются схемы замещения прямой и нулевой последовательностей, представленные на рисунок 14 и рисунок 15.

Эквивалентное индуктивное сопротивление системы, приведенное к ступени низшего напряжения сети, рассчитывается по формуле

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3} I_{\text{к.ВН}}^{(3)} U_{\text{ср.ВН}}} = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{S_{\text{к}}} \cdot 10^{-3}, \quad (3.66)$$

где $U_{\text{ср.НН}}$ – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, В; $U_{\text{ср.ВН}}$ – среднее номинальное напряжение сети, к которой подключена обмотка высшего напряжения трансформатора, В; $I_{\text{к.ВН}}^{(3)} = I_{\text{по ВН}}$ – действующее значение периодической составляющей тока при трехфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, кА; $S_{\text{к}}$ – условная мощность короткого замыкания у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, МВА.

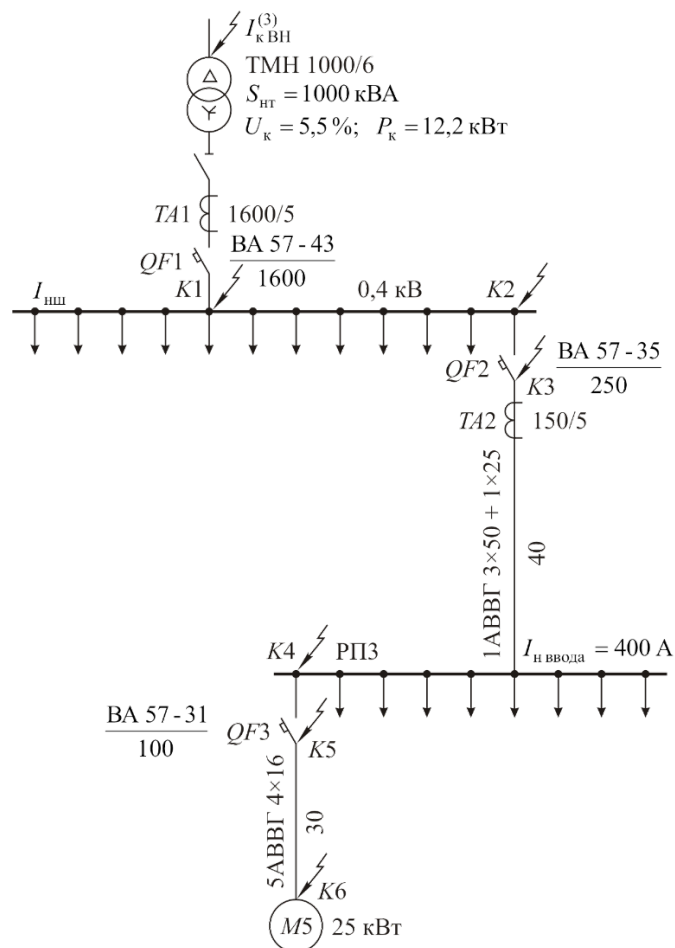


Рисунок 13 – Расчетная схема

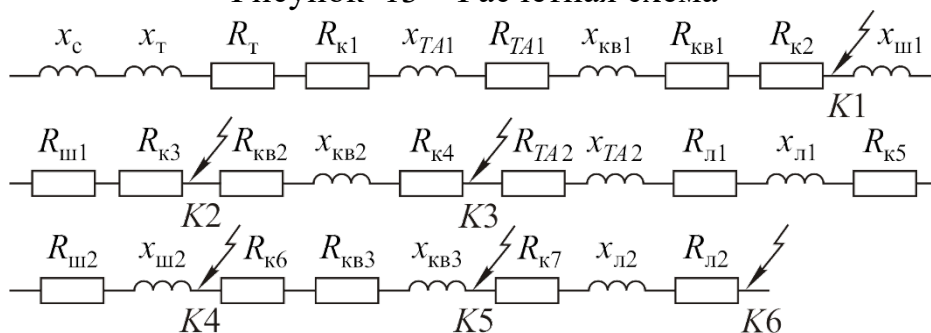


Рисунок 3.4 – Схема замещения прямой последовательности:

x_c – эквивалентное сопротивление системы; R_T , x_T – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности цехового трансформатора; R_{TA} , x_{TA} – активное и индуктивное сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока; R_{KB} , x_{KB} – активное и индуктивное сопротивления токовых катушек автоматических выключателей; $R_{ш}$, $x_{ш}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности шинпроводов; $R_{л}$, $x_{л}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности кабельных линий; R_K – активное сопротивление различных контактов.

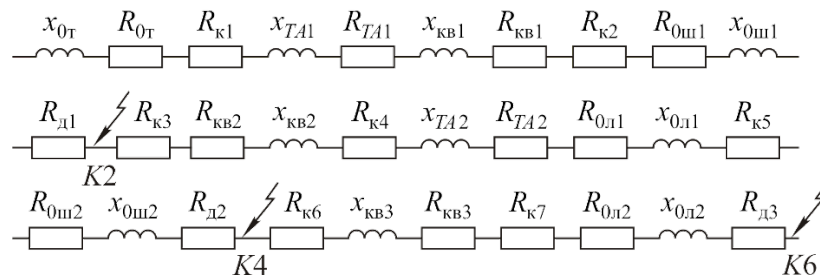


Рисунок 3.5 – Схема замещения нулевой последовательности: R_{0T} , x_{0T} – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности цехового трансформатора; $R_{0ш}$, $x_{0ш}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности шинопроводов; $R_{0л}$, $x_{0л}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабельных линий; $R_{д}$ – сопротивление дуги в месте короткого замыкания.

При отсутствии указанных данных эквивалентное индуктивное сопротивление системы в миллиомах допускается рассчитывать по формуле

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3} I_o U_{\text{ср.ВН}}}, \quad (3.67)$$

где I_o – номинальный ток отключения силового выключателя, установленного на стороне высшего напряжения понижающего трансформатора .

Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающих трансформаторов (r_T , x_T) в миллиомах, приведенные к ступени низшего напряжения сети, рассчитывают по формулам:

$$r_T = \frac{P_K U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{НТ}}^2} 10^6; \quad (3.68)$$

$$x_T = \sqrt{I_K^2 - \left(\frac{100 P_K}{S_{\text{НТ}}} \right)^2} \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{НТ}}} 10^4, \quad (3.69)$$

где $S_{\text{НТ}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА; P_K – потери КЗ в трансформаторе, кВт; $U_{\text{НН}}$ – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ; u_K – напряжение КЗ трансформатора, %.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности понижающих трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме Δ/Y_0 , при расчете КЗ в сети низшего напряжения следует принимать равными

соответственно активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности. При других схемах соединения обмоток трансформаторов активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности необходимо принимать в соответствии с указаниями изготовителей.

Активные и индуктивные сопротивления прямой и нулевой последовательностей шинопроводов приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Параметры комплектных шинопроводов

Тип шинопровода	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Сопротивление фазы, мОм/м		Сопротивление нулевого проводника, мОм/м	
			$r_{\text{ш}}$	$x_{\text{ш}}$	$r_{0\text{ш}}$	$x_{0\text{ш}}$
ШМА4-1250	0,38/0,66	1250	0,034	0,016	0,054	0,053
ШМА4-1650	0,38/0,66	1600	0,030	0,014	0,037	0,042
ШМА4-3200	0,38/0,66	3200	0,010	0,005	0,064	0,035
ШМА68П	0,38/0,66	2500	0,020	0,020	0,070	0,045
ШМА68П	0,38/0,66	4000	0,013	0,015	0,070	0,045
ШРА73	0,38	250	0,210	0,210	0,12	0,210
ШРА73	0,38	400	0,150	0,170	0,162	0,164
ШРА73	0,38	630	0,100	0,130	0,162	0,164

Значения активных сопротивлений контактов различного вида приведены в таблицах 3.13, 3.14, 3.15.

Таблица 3.132 - 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

Таблица 3.14 – Сопротивления контактных соединений шинопроводов

Номинальный ток, А	250	400	630	1600	2500	4000
Серия шинопроводов	ШРА-73	ШРА-73	ШРА-73	ШМА-73	ШМА-68Н	ШМА-68Н
Сопротивление контактного соединения, мОм	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001

Таблица 3.15 – 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	1,30	—	—
70	1,00	—	—
100	0,75	0,50	—
150	0,65	—	—
200	0,60	0,40	—
400	0,40	0,20	0,20
600	0,25	0,15	0,15
1000	0,12	0,08	0,08
3000	—	—	—

При приближенном учете сопротивлений контактов принимают: $r_k = 0,1 \text{ мОм}$ – для контактных соединений кабелей; $r_k = 0,01 \text{ мОм}$ – для шинопроводов; $r_k = 1,0 \text{ мОм}$ – для коммутационных аппаратов.

При расчете токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ следует учитывать как индуктивные, так и активные сопротивления первичных обмоток всех многовитковых измерительных трансформаторов тока, которые имеются в цепи КЗ. Значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности принимают равными значениям сопротивлений прямой последовательности. Параметры некоторых многовитковых трансформаторов тока приведены в табл.25. Активным и индуктивным сопротивлением одновитковых трансформаторов (на токи более 500 А) при расчетах токов КЗ можно пренебречь.

Расчеты токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ следует вести с учетом индуктивных и активных сопротивлений катушек (расцепителей) максимального тока автоматических выключателей, принимая значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности равными соответствующим сопротивлениям прямой последовательности. Значения сопротивлений катушек расцепителей и контактов некоторых автоматических выключателей приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Сопротивления первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока

Коэффициент трансформации трансформаторов тока	Сопротивление первичной обмотки многовиткового трансформатора, мОм, класса точности			
	1		3	
	x_{TA}	r_{TA}	x_{TA}	r_{TA}
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	0,30	0,20	0,08	0,088
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

Таблица 3.17 – Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей

Номинальный ток выключателя, А	Сопротивление катушки и контакта, мОм	
	r_{KB}	x_{KB}
50	7	4,50
70	3,50	2
100	2,15	1,20
140	1,30	0,70
200	1,10	0,50
400	0,65	0,17
600	0,41	0,13
1000	0,25	0,10
1600	0,14	0,08
2500	0,13	0,07
4000	0,10	0,05

При определении минимального значения тока КЗ следует учитывать влияние на ток КЗ активного сопротивления электрической дуги в месте КЗ.

Приближенные значения активного сопротивления дуги приведены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Значения активного сопротивления дуги

Расчетные условия КЗ	Активное сопротивление дуги (r_d), мОм, при КЗ за трансформаторами мощностью, кВА

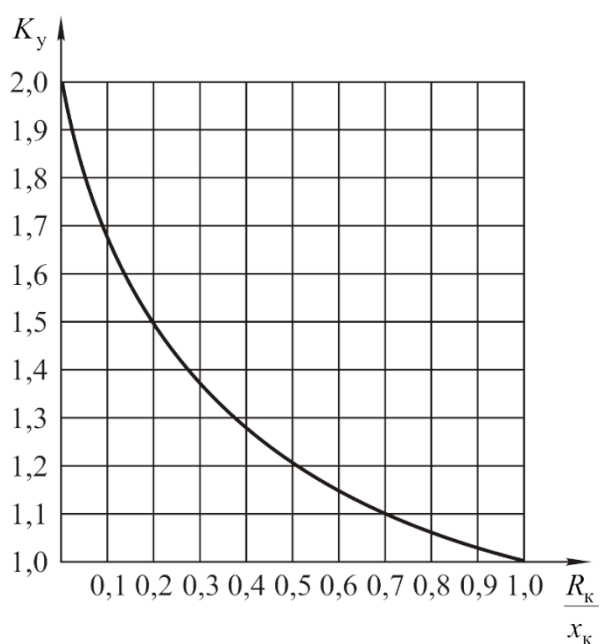
	250	400	630	1000	1600	2500
КЗ вблизи выводов низшего напряжения трансформатора: - в разделке кабелей						
напряжением:	15	10	7	5	4	3
0,4 кВ	14	8	6	4,5	3,5	2,5
0,525 кВ	12	7	5	4	3	2
0,69 кВ						
- в шинопроводе типа ШМА						
на-	—	—	—	6	4	3
пряжением:	—	—	—	5	3,5	2,5
0,4 кВ	—	—	—	4	3	2
0,525 кВ						
0,69 кВ						
КЗ в конце шинопровода типа ШМА длиной 100–150 м напряжением:						
0,4 кВ	—	—	—	6–8	5–7	4–6
0,525 кВ	—	—	—	5–7	4–6	3–5
0,69 кВ	—	—	—	4–6	3–5	2–4

Значение ударного тока короткого замыкания определяется по формуле

$$i_y = \sqrt{2} K_y I_K^{(3)}, \text{ кА}, \quad (3.100)$$

где K_y – ударный коэффициент, определяемый по графику на рис. 16 и зависящий от отношения активного и индуктивного сопротивлений в точке КЗ:

$$K_y = f\left(\frac{R_K}{x_K}\right).$$



$$\text{Рисунок 3.6 – Зависимость } K_y = f\left(\frac{R_k}{x_k}\right)$$

Пример расчета токов короткого замыкания привести для одной точки КЗ. Результаты расчета токов КЗ свести в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Результаты расчета токов КЗ

Обозначение точки КЗ	$R_{1\Sigma}$, мОм	$x_{1\Sigma}$, мОм	$z_{1\Sigma}$, мОм	$R_{0\Sigma}$, мОм	$x_{0\Sigma}$, мОм	$I_k^{(1)}$, кА	$I_k^{(3)}$, кА	i_y , кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9

3.15 Проверка сечений на соответствие выбранному аппарату защиты

Данная проверка производится после выбора защитной аппаратуры. Для выбора защитных аппаратов необходимо рассчитать пиковые нагрузки линий, которые возникают при пуске электроприемников. Для распределительной линии, питающей одиночный электроприемник, пиковый ток равен пусковому току этого ЭП:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п}}, \text{ А}, \quad (3.101)$$

где $I_{\text{п}}$ – пиковый ток электроприемника, определяемый па паспортным данным ЭП.

При отсутствии паспортных данных пусковой ток может быть принят равным:

- для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором и синхронных – 5-кратному значению номинального тока;
- для асинхронных электродвигателей с фазным ротором и двигателей постоянного тока – $2,5I_{\text{н}}$;
- для печных и сварочных трансформаторов – $3I_{\text{н}}$ (без приведения к ПВ = 100 %).

Для распределительной линии, питающей группу одновременно запускаемых ЭП:

$$I_{\text{пик}} = \sum_{i=1}^n I_{\text{п}i}, \text{ А}, \quad (3.102)$$

где $I_{\text{п}i}$ – пусковой ток i -ого ЭП.

Для магистрали пиковой нагрузкой является пуск электроприемника с самым большим пусковым током в то время, когда все остальные ЭП нормально работают:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п max}} + \sum_{i=1}^n I_{\text{н}i}, \text{ А}, \quad (3.103)$$

где $I_{\text{н}i}$ – номинальный ток i -ого нормально работающего ЭП.

Для питающей линии

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п max}} + (I_{\text{р}} - K_{\text{и}} I_{\text{н max}}), \text{ А}, \quad (3.104)$$

где $I_{\text{п max}}$ – наибольший пусковой ток ЭП в группе; $I_{\text{р}}$ – расчетный максимальный ток всех ЭП, питающихся от данной линии; $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования запускаемого ЭП; $I_{\text{н max}}$ – номинальный ток ЭП с наибольшим пусковым током.

Для того чтобы протекание токов перегрузки и токов короткого замыкания по проводникам не приводило к их перегреву, выбранное сечение проводника должно быть согласовано с аппаратом защиты этого проводника по условию:

$$\frac{I_{\text{д}}}{I_{\text{з}}} \geq K_{\text{защ}}, \quad (3.105)$$

где $I_{\text{д}}$ – длительно допустимый ток проводника, А; $I_{\text{з}}$ – ток аппарата защиты, А; $K_{\text{защ}}$ – коэффициент защиты.

Значения коэффициента защиты и принимаемый ток аппарата защиты приведены в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Значения коэффициента защиты

Тип защитного аппарата и принимаемый ток защиты $I_{\text{з}}$	Коэффициент защиты $K_{\text{защ}}$ или кратность длительно допустимого тока для сетей	
	при обязательной защите от перегрузки	
	проводники с резиновой и	кабели с
		не требуется защиты от

	аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией		бумажной изоляцией	перегрузки
	взрыво- и пожаро-опасные помещения	невзрыво- и непожаро-опасные помещения		
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей: $I_3 = I_{н\text{ вст.}}$	1,25	1,0	1,0	0,33
Ток срабатывания автомата-тического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель: $I_3 = I_{нзр}$	1,25	1,0	1,0	0,22
Номинальный ток расцепителя выключателя с нерегулируемой обратно-зависимой характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки): $I_3 = I_{нтр}$	1,0	1,0	1,0	1,0
Ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой, обратозависимой от тока характеристикой (при наличии отсечки): $I_3 = I_{уст}$ при перегрузке	1,0	1,0	0,8	0,66

Данные по выбору сечений силовых линий свести в таблице 3.20.

Таблица 3.20 – Выбор сечений силовых линий

ель	но	П	о	пр	рка	каб	ли	Расчетные токи	и	коэ	ти	мо	пус	ти	ия	на	пр	ент	за	ата	за	вы	бпа

					Рабочий ток I_p , А	Пиковый ток $I_{пик}$, А								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Силовые линии, питающие однофазные электроприемники, могут иметь двух- или трехпроводное исполнение, а питающие трехфазные ЭП, четырех- или пятипроводные.

Однофазные двух- и трехпроводные линии, а также трехфазные четырех- и пятипроводные линии при питании однофазных нагрузок должны иметь сечение нулевых рабочих (N) проводников, равное сечению фазных проводников.

Трехфазные четырех- и пятипроводные линии при питании трехфазных симметричных нагрузок должны иметь сечение N-проводников, равное сечению фазных проводников, если фазные проводники имеют сечение до 16 мм² по меди и 25 мм² по алюминию, а при больших сечениях – не менее 50 % сечения фазных проводников.

Сечение нулевых защитных проводников (РЕ) проводников при их наличии должно равняться сечению фазных проводников при сечении последних до 16 мм², иметь сечение 16 мм² при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм² и не менее 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях.

Окончательно выбранное сечение в табл. 19 указывать в полном виде с указанием марки проводника и сечений фазных и нулевых проводников (например, АВВГ 3×50 + 2×25).

3.16 Проверка правильности выбора защитной аппаратуры

Предохранители и автоматические выключатели проверяются по отключающей способности по условию:

$$I_0 \geq I_k^{(3)}, \quad (3.106)$$

где I_0 – отключающая способность аппарата защиты, кА; $I_K^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на выходе аппарата защиты, кА.

Проверка правильности выбора предохранителя по чувствительности:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_K^{(1)}}{I_{н. вст.}} &\geq 3 \text{ – для помещений с нормальной средой;} \\ \frac{I_K^{(1)}}{I_{н. вст.}} &\geq 4 \text{ – для помещений со взрывоопасной средой;} \end{aligned} \right\} \quad (3.107)$$

где $I_K^{(1)}$ – ток однофазного КЗ в конце зоны защиты предохранителя, А; $I_{н. вст.}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А.

Проверка правильности выбора автоматических выключателей по чувствительности действия защит:

– для тепловых расцепителей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_K^{(1)}}{I_{нтр}} &\geq 3 \text{ – для помещений с нормальной средой;} \\ \frac{I_K^{(1)}}{I_{нтр}} &\geq 6 \text{ – для взрывоопасных помещений;} \end{aligned} \right\}; \quad (3.108)$$

– для электромагнитных расцепителей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_K^{(1)}}{I_{нэр}} &\geq 1,4 \text{ – для АВ с } I_{на} \leq 100 \text{ А;} \\ \frac{I_K^{(1)}}{I_{нэр}} &\geq 1,25 \text{ – для остальных АВ;} \end{aligned} \right\}, \quad (3.109)$$

где $I_K^{(1)}$ – ток однофазного КЗ в конце зоны защиты автоматического выключателя, А; $I_{нтр}$ – номинальный ток теплового расцепителя АВ, А; $I_{нэр}$ – номинальный ток электромагнитного расцепителя АВ, А.

Данные по проверке предохранителей свести в таблицу 3.21, автоматических выключателей – в таблицу 3.22.

Таблица 3.21– Проверка правильности выбора предохранителей

№ линии	Обозначение ЭП	Тип предохранителя	$I_{н. пр.},$ А	$I_{н. вст.},$ А	$I_0,$ кА	$I_K^{(3)},$ кА	$I_K^{(1)},$ кА	$\frac{I_K^{(1)}}{I_{н. вст.}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 3.22 – Проверка правильности выбора автоматических выключателей

№ линии	Обозначение ЭП	Тип АВ	$I_{на},$ А	$I_{нпр},$ А	$I_{нзр},$ А	$I_0,$ кА	$I_K^{(3)},$ кА	$I_K^{(1)},$ кА	$\frac{I_K^{(1)}}{I_{нпр}}$	$\frac{I_K^{(1)}}{I_{нзр}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Если выбранные аппараты не проходят проверку по отключающей способности, то их необходимо заменить на другие типы аппаратов с большей отключающей способностью. Если защитные аппараты не проходят проверку по чувствительности, необходимо увеличить сечения линий, чтобы увеличить ток однофазного КЗ.

3.17 Выбор аппаратов защиты и построение карты селективности

В качестве аппаратов защиты от перегрузки и коротких замыканий рекомендуется применять или предохранители, или автоматические выключатели.

В таблицах 3.23 приведены технические данные выпускаемых предохранителей и автоматических выключателей.

Таблица 3.23 – Данные предохранителей ПН2, ПП57

Номинальный ток предохранителя, А	Токи плавких вставок, А
НПН2-60	10,15,20,25,30,40
ПН2-100	30,40,50,80,100
ПН2-250	120,150,200,250
ПН2-400	300,400

Таблица 3.24 – Данные автоматических выключателей

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Ток отсечки I _{отс} /I _{ном.р}
	выключателя	расцепителя I _{ном.р}	
BA51-25	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	10
BA52-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	10
BA52-33	160	80; 100; 125; 160	10
BA51-35	250	100; 125; 160; 200; 250	12
BA51-37	400	250; 320; 400	10
BA51-39	630	400; 500; 630	10
BA53-39	630	160; 250; 400; 630	2; 3; 5; 7; 10
BA53-41	1000	630; 800; 1000	2; 3; 5; 7
BA53-43	1600	1000; 1250; 1600	2; 3; 5; 7
BA75-54	2500	1600; 2000; 2500	2; 3; 5; 7
BA75-47	4000	2500; 3200; 4000	2; 3; 5

Выбор защитных аппаратов производится по следующим факторам:

1) предохранители

а) для электроприемника

$I_{вст} \geq I_{пуск}/2,5$ - при редких пусках

$I_{вст} \geq I_{пуск}/1,6-2$ - при частых пусках

$I_{вст} \geq I_{ном}$ - для электроприемников без пусковых токов

б) в групповых сетях

$I_{вст} \geq I_p$

автоматические выключатели

а) для электроприемника

$I_{ном.р} \geq I_{ном}$

$I_{отс} \geq 2,1 I_{пуск}$ - для АЕ 2000

$I_{отс} \geq 1,8 I_{пуск}$ - для других типов

б) в групповых сетях

$I_{ном.р} \geq I_p$

При наличии пиковых токов проверить на несрабатывание отсечки

$I_{отс} \geq 1,5 I_{пик}$.

У электроприемников можно применять неселективные автоматы, в групповых сетях следует применять селективные автоматы.

Предохранители предназначены для защиты от токов короткого замыкания. Предохранители имеют простую конструкцию, небольшие размеры и сравнительно малую стоимость. Однако предохранителям присущи и серьезные недостатки, ограничивающие область их применения, к числу которых относятся: большой разброс срабатывания плавкой вставки – до 50 % по току, необходимость замены плавкой вставки или всего предохранителя после однократного срабатывания, возможность работы двигателя на двух фазах при перегорании предохранителя на одной фазе и др.

Предохранители выбирают по следующим параметрам:

– по номинальному напряжению: номинальное напряжение предохранителей $U_{н пр.}$ должно быть, как правило, равно номинальному напряжению сети, где они устанавливаются:

$$U_{н пр.} = U_c; \quad (3.110)$$

– по номинальному току предохранителя $I_{н пр.}$:

$$I_{н пр.} \geq I_p; \quad (3.111)$$

– по номинальному току плавкой вставки предохранителя $I_{н вст.}$, который должен быть отстроен от пусковых токов:

$$I_{н вст.} \geq \frac{I_{п}}{a}, \quad (3.112)$$

где $I_{п}$ – пусковой ток ЭП, А; a – коэффициент, зависящий от пускового режима защищаемых электродвигателей и типа плавкого предохранителя.

При выборе плавких вставок безинерционных предохранителей (ПН, НПН, ППН) для защиты электродвигателей с легким режимом пуска (электропривод вентиляторов, насосов, металлорежущих станков и пр. с

длительностью пуска $2 \div 5$ с) $a = 2,5$; для электродвигателей с тяжелым режимом пуска (электропривод кранов, дробилок, центрифуг и т. п. с частыми пусками и большой длительностью пускового периода) $a = 1,6$. Для малоинерционных предохранителей (ПР2) при легком режиме пуска $a = 3$ и при тяжелом режиме $a = 2$. При частых пусках двигателей с легким режимом пуска (15 и более в час) плавкие вставки нужно выбирать, как для тяжелого режима.

При защите магистрали, питающей несколько ЭП с разными режимами пуска:

$$I_{\text{н вст.}} \geq \frac{I_{\text{пик}}}{2,5}, \quad (3.113)$$

где $I_{\text{пик}}$ – пиковый ток магистрали.

Последовательно включенные предохранители должны быть проверены по селективности. По защитным характеристикам плавких предохранителей определяют время отключения при протекании максимального тока КЗ ($I_{\text{к}}^{(3)}$). Селективность срабатывания предохранителей обеспечивается, если время отключения более удаленного от места повреждения предохранителя не менее чем в три раза больше времени отключения предохранителя, ближайшего к месту КЗ.

Автоматические выключатели, в основном, предназначены для защиты электроустановок напряжением до 1000 В от коротких замыканий и перегрузок.

Автоматические выключатели выбирают по следующим условиям:

$$\begin{aligned} U_{\text{на}} &\geq U_{\text{с}}; \\ I_{\text{на}} &\geq I_{\text{р}}; \\ I_{\text{нтр}} &\geq I_{\text{р}}; \\ I_{\text{нэр}} &\geq (1,25 \div 1,35) I_{\text{пик}}, \end{aligned} \quad (3.114)$$

где $U_{\text{на}}$ – номинальное напряжение автоматического выключателя (АВ); $I_{\text{на}}$ – номинальный ток АВ; $I_{\text{нтр}}$ – номинальный ток теплового расцепителя; $I_{\text{нэр}}$ – номинальный ток (ток уставки) электромагнитного расцепителя; $U_{\text{с}}$ –

напряжение сети; I_p – максимальный рабочий ток линии;

$I_{\text{пик}}$ –

пиковый ток линии.

Номинальные токи расцепителей соседних автоматических выключателей последовательно включенных в сеть должны различаться не менее чем на одну ступень. Номинальные токи расцепителей автоматического выключателя, ближайшего к источнику питания (вводного в ТП), должны быть не менее чем в 1,5 раза больше, чем у наиболее удаленного. Выполнение этих условий обеспечивает селективность срабатывания тепловых расцепителей. При коротких замыканиях селективность защиты обеспечиваться не будет, так как электромагнитные расцепители при токах, равных или больших их токов уставки, срабатывают практически мгновенно. Для гарантированного обеспечения селективности следует выбирать АВ с регулируемой характеристикой срабатывания, у которых возможно задавать (выставлять) время срабатывания.

Результаты выбора защитных аппаратов свести в таблице 3.25.

Таблица 3.25 - Выбор защитных аппаратов цеховых электрических сетей (силовых и осветительных)

Номер линии	Обозначение ЭП или узла питания на схеме	Тип автоматического выключателя или предохранителя	Номинальное напряжение аппарата защиты, U_n , В	Расчетный ток линии, I_p , А	Пиковый ток линии, $I_{\text{пик}}$, А	Номинальный ток аппарата защиты, $I_{\text{на}}$, А	Номинальный ток теплового расцепителя, $I_{\text{нтр}}$, А или номинальный ток плавкой	Номинальный ток электромагнитного расцепителя, $I_{\text{нэр}}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Для проверки селективности выбранных защитных аппаратов строится карта селективности. Селективность проверяется для одного наиболее

удаленного от подстанции электроприемника. Составляется расчетная схема для построения карты селективности (рисунок 3.7)

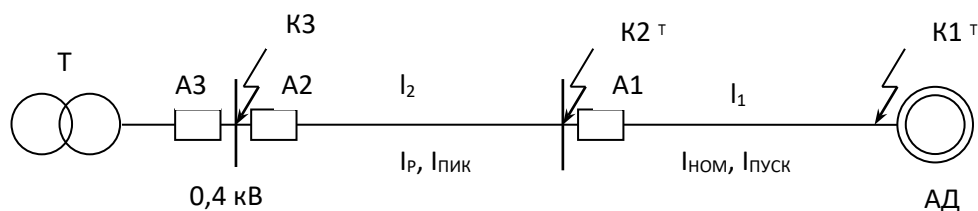


Рисунок 3.7 – Расчетная схема для построения карты селективности

Защитные аппараты в точках А1, А2, А3 выбраны ранее.

Определяются токи однофазных коротких замыканий в точках К1, К2, К3.

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(\frac{R_{т.ф-o}}{3} + R_{нс.ф-o} + R_n\right)^2 + \left(\frac{X_{т.ф-o}}{3} + X_{нс.ф-o}\right)^2}}; \quad (3.115)$$

где $R_{нс.ф-o} = R_{уд.ф-o} \cdot l_2 \cdot I_2$ - для точки К2;

$R_{нс.ф-o} = R_{уд.ф-o} \cdot l_2 + R_{уд.ф-o} \cdot l_1 \cdot I_1$ - для точки К1;

$R_{нс.ф-o} = 0$ - для точки К3 – активные сопротивления цепи фаза – нуль;

$X_{нс.ф-o}$ – индуктивные сопротивления цепи фаза – нуль (определяются аналогично активным сопротивлениям);

$R_{т.ф-o}$, $X_{т.ф-o}$ – активные и индуктивные сопротивления цепи фаза – нуль трансформаторов;

R_n – переходные сопротивления.

Переходные сопротивления принимаются:

для точки К1 – 0,03 Ом;

для точки К2 – 0,025 Ом;

для точки К3 – 0,015 Ом;

В табл. П.6.1, П.7.1, П.7.2 и приведены сопротивления цепи фаза – нуль трансформаторов и сетей.

Характеристики защитных аппаратов приведены на рис. П.8.1 – П.8.

Карту селективности следует строить на белой бумаге в логарифмическом масштабе. Пример построения дан в [11].

3.18 Выбор аппаратуры на РП

При выборе аппаратуры на РП следует ориентироваться на ячейки типа КРУ. По заданным токам короткого замыкания (к.з.). Ячейка КРУ со всей аппаратурой выбирается и проверяется по следующим показателям:

а) номинальному напряжению

$$U_{ном} \geq U_{сети};$$

б) номинальному току

$$I_{ном} \geq I_p;$$

в) динамической устойчивости

$$i_{уд.ск} \geq уд.р;$$

г) термической устойчивости

$$I_{т/пр} \geq I_{\infty};$$

д) отключающей способности

$$I_{отк.н} \geq I''.$$

3.19 Выбор питающих кабелей 10 кВ

Кабели от РП до цеховых трансформаторов выбираются по нагреву, экономической плотности тока и термической устойчивости. За окончательное принимается наибольшее из трех условий сечение, которое округляется до ближайшего большего стандартного в соответствии с таблицей П.6.2.

Минимальное сечение кабеля по термической устойчивости:

$$F_{мин} = \alpha \cdot I_{\infty} \cdot \sqrt{t_{\phi}}; \quad (17)$$

где I_{∞} - установившийся ток к.з. А;

α – расчетный коэффициент ($\alpha = 95$);

t_{ϕ} – фиктивное время действия тока короткого замыкания (задается преподавателем).

3.20 Расчет показателей качества электрической энергии

По характеру электроприемников цеха определяется на какие показатели качества электроэнергии они влияют. На отклонения напряжения влияют все электроприемники цеха, поэтому отклонения напряжения определяются во всех проектах. Колебания, несимметрию и отклонения напряжения рассчитывают по заданию преподавателя.

Уровни напряжения определяют для наиболее удаленного от подстанции электроприемника в период максимума нагрузки (U_2') и для наименее удаленного электроприемника в период минимума нагрузки (U_2''). Они должны находиться в пределах $\pm 5\%$ от $U_{ном}$.

$$U_2' = U_1' - \Delta U_1' - \Delta U_2' - \Delta U_3' + \delta U_T'; \quad (3.116)$$

$$U_2'' = U_1'' - \Delta U_1'' - \Delta U_2'' - \Delta U_3'' + \delta U_T''; \quad (3.117)$$

где U_1', U_1'' – уровни напряжения на шинах 10 кВ РП, питающей цех в период максимума и минимума нагрузки, %

ΔU_1 – потеря напряжения в линии высокого напряжения от РП до цеховой ТП;

ΔU_2 – потеря напряжения в цеховом понижающем трансформаторе;

ΔU_3 – в сети до 1000 В;

δU_T – добавка напряжения, которая создается ПБВ цехового трансформатора.

Величина потерь $\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3$ в процентах определяются по формулам:

а) для периода максимума нагрузки

$$\Delta U_1' = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{p1} L_1 (R_1 \cdot \cos \varphi + X_1 \cdot \sin \varphi) \cdot 100}{U_L}; \quad (3.118)$$

где I_{p1} – максимальный расчетный ток в фазе, приведенный к стороне высокого напряжения, А;

L_1 – длина линии от РП до ТП, км;

R_1 и X_1 – активное и индуктивное сопротивление линии от РП до ТП, Ом/км;

U_L – линейное напряжение сети, В;

$$\Delta U_2' = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{p2} (R_T \cos \varphi + X_T \sin \varphi) \cdot 100}{U_L}; \quad (3.119)$$

где I_{p2} – расчетный максимальный ток в фазе трансформатора на стороне высокого напряжения, А;

R_T и X_T – активное и индуктивное сопротивление трансформатора, приведенное к стороне высокого напряжения, Ом;

$$\Delta U'_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{p3} L_3 (R_3 \cos \varphi + X_3 \sin \varphi) \cdot 100}{U_L}; \quad (3.120)$$

где I_{p3} – расчетный максимальный ток в фазе сети напряжением до 1000В;

L_3 – длина сети напряжением до 1000 В до расчетного электроприемника;

R_3 и X_3 – активное и индуктивное сопротивление цеховой сети от электроприемника до шин ТП.

б) для периода минимума нагрузки U_1'' , U_2'' , U_3'' определяются по выражениям аналогичным (20) – (22) при $I_{\min} = 0,25 \cdot I_p$

Значение δU_T для различных положений ПБВ цехового трансформатора следующее:

Положение ПБВ, %	5	2,5	0	-2,5	-5
δU_T , %	0	2,5	5	7,5	10

Сначала ПБВ устанавливают в положение 0 и производят расчет U_2 по формуле (18). Значение U_2 должно находиться для силовых электроприемников в пределах от 95 до 105 % от U_H электроприемников. Если для удаленного электроприемника $U_2 < 95 \% U_H$, или для ближнего электроприемника $U_2 > 105 \% U_H$, то необходимо изменить положение ПБВ и снова произвести расчет U_2 .

При невозможности доведения U_2 до пределов 95 – 105 % от U_H с помощью переключателя ПБВ следует подобрать регулирующие устройства, которые в сочетании с ПБВ обеспечили бы $95 < U_2 < 105 \%$ от U_H .

3.11 Расчет заземления

В сетях напряжением 380/220 В применяется зануление электроприемников. Подстанция имеет два напряжения 10 кВ и 380/220 В. Поэтому для нее необходимо применять заземление.

Определяется сопротивление заземляющего устройства

для сети 10 кВ $R_{3y} \leq \frac{125}{I_3} \text{ Ом},$

для сети 380/220 В $R_{3y} \leq 4 \text{ Ом}.$

Из двух сопротивлений выбирается наименьшее.

Определяется расчетное удельное сопротивление земли

$$\rho_p = \rho \cdot K_c \quad (K_c = 1,1 - 1,35).$$

Определяется конфигурация заземляющего контура подстанции. В качестве вертикальных заземлителей следует брать арматурный прутки диаметром 12 мм, длиной 5 м.

Определяется сопротивление вертикального заземлителя

$$R_B = 0,228 \cdot \rho_p.$$

Определяется ориентировочное число вертикальных заземлителей

$$n = \frac{R_B}{R_{3y} \cdot K_{и.в}};$$

где $K_{и.в}$ – коэффициент использования вертикальных электродов ($K_{и.в}=0,4-0,5$).

Определяется сопротивление полосы, соединяющей горизонтальные электроды

$$R'_2 = \frac{R_2}{K_{и.г}};$$

где $R_г$ – сопротивление горизонтальной полосы ($R_г=2\rho_p/l$);

$K_{и.г}$ – коэффициент использования горизонтальных электродов ($K_{и.г}=0,3-0,4$).

Определяется необходимое сопротивление вертикальных электродов с учетом горизонтальной полосы

$$R_{Б.г} = \frac{R'_2 \cdot R_{3y}}{R'_2 - R_{3y}}.$$

Определяется уточненное число вертикальных электродов

$$n_{ум} = \frac{R_B}{R_{Б.г} \cdot K_{и.в}}.$$

Рисуется план заземления подстанции.

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Лыкин, А. В. Математическое моделирование электрических систем и их элементов : Учебное пособие / Лыкин А. В. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. – 227 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-7782-2262-5
2. Стрельников, Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий / Н.А. Стрельников. - Новосибирск : НГТУ, 2013. - 100 с. - ISBN 978-5-7782-2193-2,
3. Сибикин, Ю. Д. Основы электроснабжения объектов / Ю.Д. Сибикин. - М.|Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 328 с. - ISBN 978-5-4458-5750-1

Дополнительная литература

1. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – Москва : РадиоСофт, 2014. – 328 с. : ил. ; 21. – Библиогр.: с. 326-327. – ISBN 978-5-93037-208-3
2. Справочник по проектированию электрических сетей / [И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро] ; под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с. : ил. – Библиогр.: с. 370-373. – ISBN 978-5-4248-0049-8
3. Шлейников, В. Б. Электроснабжение промышленных предприятий : практикум : учебное пособие / В.Б. Шлейников ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» ; Кафедра электроснабжения промышленных предприятий, 1. – Оренбург : ОГУ, 2012. – 99 с. : табл., схем. – <http://biblioclub.ru/>. – Библиогр.: с. 97.

Таблица выбора мощности электроприемников, пусковой и защитной аппаратуры

№ по плану	Технологическое оборудование		Характеристика среды	Электродвигатели или электроприемники		Пусковой аппарат		Ток уставки расцепителя автомата или номинальный ток плавкой вставки, А	Провод или кабель			Труба		Примечание
	№ по технологической спецификации	Наименование		тип	мощность, кВт	тип	Номинальный ток теплового элемента		марка	сечение, число жил	длина линий, м	марка и диаметр	длина линии, м	
							Уставка теплового элемента, А							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Таблица П.2.1. Данные электродвигателей

Тип двигателя	Мощность P_n , кВт	Частота, n об/мин	КПД, %	$\cos \varphi$
АИР80В2-ОМ2	2,2	3000	83	0,87
АИР80А4-ОМ2	1,1	1500	75	0,81
АИР80В4-ОМ2	1,5	1500	78	0,83
АИР80В6-ОМ2	1,1	1000	74	0,74
АИР90SB2	1,1	3000	79	0,82
АИР112S4	2,2	1500	84,5	0,84
АИР112S6	1,1	1000	82	0,76
АИР112М2У ₃	5,5	1500	85,5	0,86
АИР112МА6У ₃	3	1000	81	0,76
АИР112МВ6У ₃	4	1000	82	0,81
АИР112МА8У ₃	2,2	750	76,5	0,71
АИР112МВ8У ₃	3	750	79	0,74
АИР132М2У ₃	11	3000	88	0,9
АИР132S4У ₃	7,5	1500	87,5	0,86
АИР132М4У ₃	11	1500	87,5	0,87
АИР132S6У ₃	5,5	1000	85	0,8
АИР132М6У ₃	7,5	1000	85,5	0,81
АИР132S8У ₃	4	750	83	0,7
АИР132М8У ₃	5,5	750	83	0,74
АИ280S4У ₃	110	1500	93,5	0,91
АИ280М4У ₃	132	1500	94	0,93
АИ280S6У ₃	75	1000	92,5	0,9
АИ280М6У ₃	90	1000	93	0,9
АИ280S8У ₃	55	750	92	0,86
АИ280М8У ₃	75	750	93	0,87
АИ280S10У ₃	37	600	91	0,79
АИ280М10У ₃	45	600	91,5	0,79

АИ315S4У3	160	1500	93,5	0,91
АИ315M4У3	200	1500	94	0,92
АИ315S6У3	110	1000	93	0,92
АИ315M6У3	132	1000	93,5	0,9
АИ315S8У3	90	750	93	0,85
АИ315M8У3	110	750	93	0,86
АИ315S10У3	55	600	92	0,83
АИ315M10У3	75	600	92	0,83
АИ315S12У3	45	500	90,5	0,75
АИ315M12У3	55	500	91	0,75
АИ355S4У3	250	1500	94,5	0,92
АИ355M4У3	315	1500	94,5	0,92
АИ355S6У3	160	1000	94	0,9
АИ355M6У3	200	1000	94,5	0,9
АИ355S8У3	132	750	93,5	0,85
АИ355M8У3	160	750	93,5	0,85
АИ355S10У3	90	600	92,5	0,83
АИ355M10У3	110	600	93	0,83
АИ355S12У3	75	500	91,5	0,76
АИ355M12У3	90	500	92	0,76

Нормируемые значения освещенности (в точке ее минимального значения) и КЕО для производственных помещений

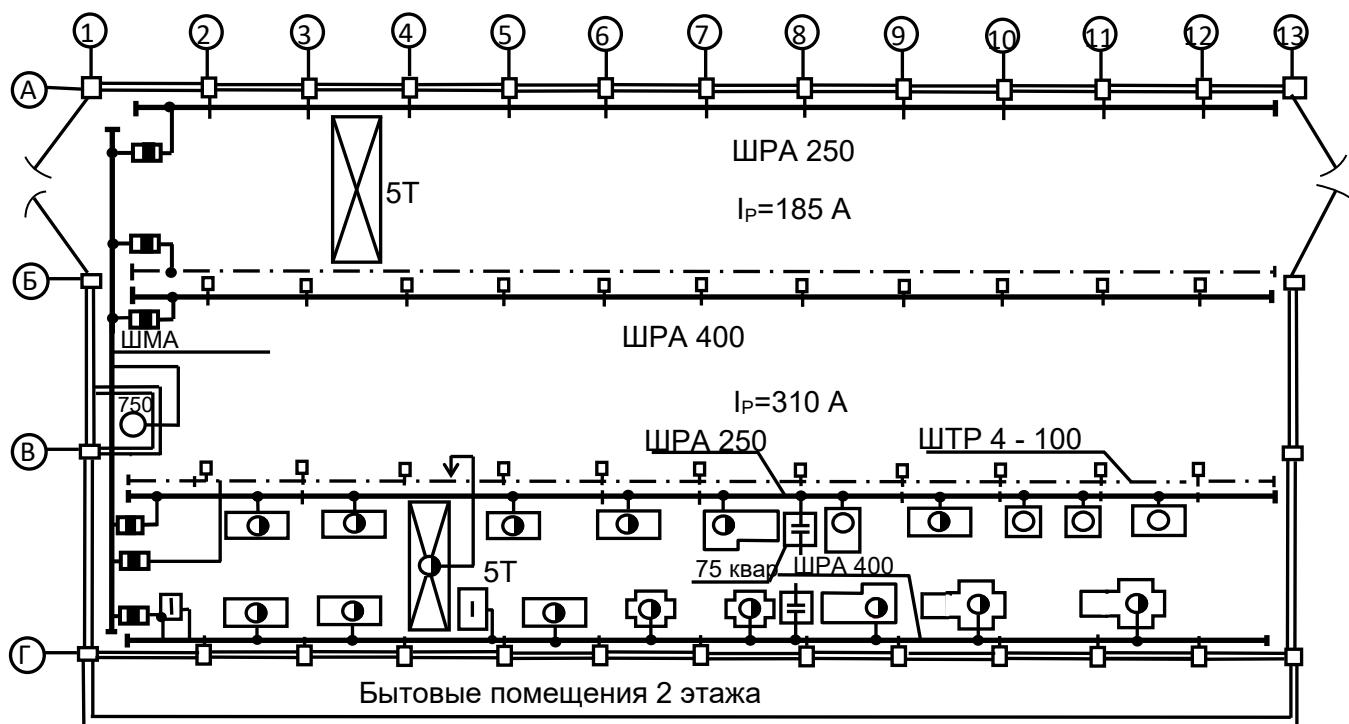
Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение	
						Освещенность, лк	
						при комбинированном	при общем освещении
Наивысшей точности	< 0,15	I	a	Малый	Темный	5000	1500
			б	Малый Средний	Средний Темный	4000	1250
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2500	750
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	1500	400
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,3	II	a	Малый	Темный	4000	1250
			б	Малый Средний	Средний Темный	3000	750
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2000	500
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	1000	300
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	a	Малый	Темный	2000	500
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000	300
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750	300
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	400	200
Средней точности	От 0,5 до 1	IV	a	Малый	Темный	750	300
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200

			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	300	150
Малой точности	От 1 до 5	V	а	Малый	Темный	300	200
			б	Малый Средний	Средний Темный	200	150
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	-	150
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	-	100

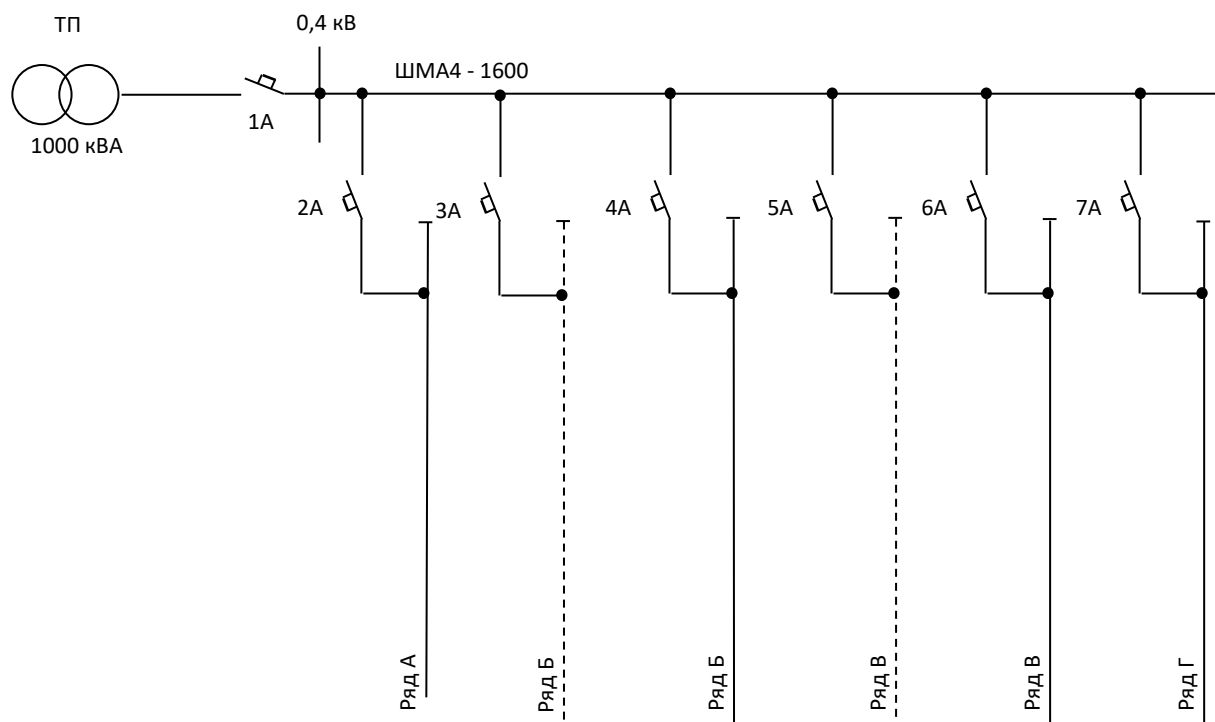
Показатели электрических нагрузок электроприемников машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности

Наименование электроприемников	Коэффициенты		
	использ о-вания	мощност и cos φ	спроса
1	2	3	4
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы (мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные и т.п.)	0,12-0,14	0,4-0,5	0,14-0,16
- при крупносерийном производстве...	0,16	0,5-0,6	0,2
- при тяжелом режиме работы (штамповые прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки).....	0,17	0,65	0,25
- с особо тяжелым режимом работы (приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистных барабанов, бегунов и др.).....	0,2-0,24	0,65	0,35-0,4
Механические цехи, многошпиндельные автоматы для изготовления деталей из прутков.....	0,2	0,5-0,6	0,23
Переносный электроинструмент.....	0,06	0,5	0,1
Вентиляторы, эксгаустеры, санитарно-гигиеническая вентиляция.....	0,6-0,65	0,8	0,65-0,7
Насосы, компрессоры, двигатели-генераторы.....	0,7	0,85	0,75
Краны, тельферы при ПВ-25%.....	0,05	0,5	0,1
при ПВ-40%.....	0,1	0,5	0,2
Элеваторы, транспортеры, шнеки, конвейеры: несблокированные.....	0,4	0,75	0,5
сблокированные.....	0,55	0,75	0,65

Сварочные трансформаторы дуговой электросварки.....	0,2	0,4	0,3
Однопостовые сварочные двигатели-генераторы.....	0,3	0,6	0,35
Многопостовые сварочные двигатели-генераторы.....	0,5	0,7	0,7
Сварочные машины: - шовные.....	0,2-0,5	0,7	-
..... - стыковые и точечные.....	0,2-0,25	0,6	-
Сварочные дуговые автоматы типа АДС.....	0,35	0,5	0,5
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы.....	0,75-0,8	0,95	0,75-0,9
Печи сопротивления с неавтоматической загрузкой изделий.....	0,5	0,95	0,8
Индукционные печи низкой частоты.....	0,7	0,35	0,8
Двигатели-генераторы индукционных печей высокой частоты.....	0,7	0,8	0,8
Ламповые генераторы индукционных печей высокой частоты.....	0,7	0,65	0,8



. План механического цеха с нанесением магистральных электрических сетей



Обозначение и наименова- ние электроустройства	ШРА4- 250	ШТР4- 100	ШРА4- 400	ШТР4- 100	ШРА4- 250	ШРА 4- 400
Расчетный ток, А	185	30	310	30	150	300
Тип автоматического включателя и его номинальный ток	ВА55- 37 250	ВА51Г- 25 100	ВА51Г -25 400	ВА51Г - 25 100	ВА55- 37 250	ВА55- 37 400
Ток установки расцепителя, А	200	40	320	40	200	320

Схема питающей цеховой сети 0,4 кВ

. Технические данные и сопротивления шинопроводов

Тип	Номинальн ый ток, А	Значения сопротивлений, мОм/м			
		Сопротивление фазы		Сопротивление петли фаза-нуль	
		R	X	R	X
ШМА 68П	2500	0,02	0,02	0,09	0,066
	4000	0,013	0,015	0,083	0,061
ШМА73	1600	0,031	0,022	0,126	0,098
ШМА4	1250	0,034	0,016	0,085	0,013
	1600	0,03	0,014	0,083	0,026
	2500	0,017	0,008	0,08	0,018
	3200	0,015	0,007	0,05	0,017
ШРА73	250	0,21	0,21	0,42	0,42
	400	0,15	0,17	0,3	0,24
	630	0,1	0,13	0,2	0,26
ШРА4	250	0,21	0,21	0,42	0,42
	400	0,15	0,17	0,3	0,24
	630	0,1	0,13	0,2	0,26
ШТР4	100	-	-	-	-
ШТМ73	250	0,315	0,18	-	-
ШОС2- 25	25	-	-	-	-
ШОС4- 25	25	-	-	-	-

Длительно допустимый ток для проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией

Сечение жилы, мм ²	Ток, А, для проводов проложенных в трубе			
	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
2	18	15	17	14
2,5	19	19	19	16
4	28	23	25	21
6	32	30	31	28
8	40	37	38	32
10	47	39	42	38
16	60	55	60	55
25	80	70	75	65
35	95	85	95	75
50	130	120	125	105
70	165	140	150	135
95	200	175	190	165
120	220	200	230	190
150	255	-	-	-

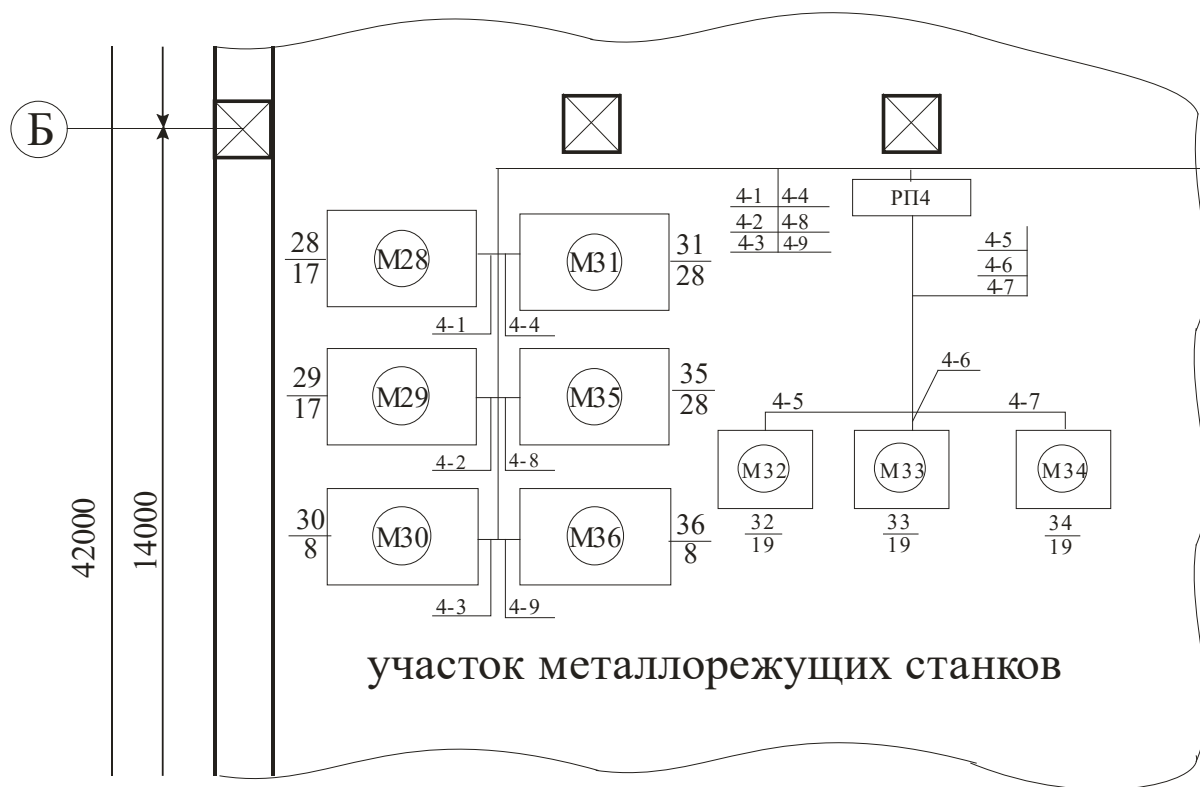
Приложение 7

Таблица П.7.1. Сопротивления понижающих трансформаторов току однофазного короткого замыкания

Номинальная мощность, кВА	Схема соединения обмоток	Значения сопротивлений, мОм	
		R _Т	X _Т
250	У/У _н	115	289
250	Δ/У _н	28,2	81,6
400	У/У _н	66,6	183
400	Δ/У _н	17,7	51
630	У/У _н	36,4	123
630	Δ/У _н	10,2	40,5
1000	У/У _н	2,3	77,8
1000	Δ/У _н	5,7	25,8
1600	У/У _н	18,3	60,8
1600	Δ/У _н	3,3	16,2
2500	Δ/У _н	1,92	10,38

Удельные сопротивления проводов или четырехжильных кабелей с алюминиевыми жилами для петли “фаза - нуль” току однофазного к. з.

Сечение жил	$R_{\phi-o},$ МОм/м	$X_{\phi-o},$ МОм/м	$Z_{\phi-o},$ МОм/м
1	2	3	4
3 x 2,5 + 2,5	25	0,23	25
3 x 4 + 2,5	20,31	0,22	20,31
3 x 4 + 4	15,62	0,214	15,62
3 x 6 + 4	13,02	0,207	13,02
3 x 6 + 6	10,42	0,2	10,42
3 x 10 + 6	8,33	0,199	8,33
3 x 10 + 10	6,24	0,198	6,24
3 x 16 + 10	5,07	0,194	5,07
3 x 25 + 10	4,37	0,19	4,37
3 x 25 + 16	3,2	0,186	3,2
3 x 35 + 10	4,01	0,187	4,02
3 x 35 + 16	2,84	0,183	2,85
3 x 50 + 16	2,58	0,18	2,58
3 x 50 + 25	1,87	0,176	1,88
3 x 70 + 25	1,7	0,173	1,71
3 x 70 + 35	1,34	0,17	1,35
3 x 95 + 35	1,22	0,17	1,23
3 x 95 + 50	0,95	0,166	0,97
3 x 120 + 35	1,155	0,168	1,167
3 x 120 + 70	0,71	0,162	0,726
3 x 150 + 50	0,833	0,164	0,85
3 x 150 + 70	0,655	0,161	0,674
3 x 185 + 50	0,79	0,163	0,81
3 x 185 + 95	0,498	0,153	0,523



Фрагмент плана расположения ЭО цеха.



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЦЕХОВ

Задания № 1, 10, 20, 30, 40.

Номер по плану	Наименование оборудования
1,8	Круглошлифовальный станок
2,9	Плоскошлифовальный станок
3,4,5	Токарно-винторезный станок
6,7	Универсальный фрезерный станок
10,11,19,20,29,30	Сверлильный станок
12,13,14,15,16,24,25	Токарно-винторезный станок
17	Пресс
18,21	Кран мостовой, G=5т, ПВ=25%
22,23	Пресс холодного выдавливания
26,39	Точильный станок
27,31	Вентилятор калорифера
28,34	Пресс кривошипный
32,33	Долбежный станок
35,36,37,38	Токарно-винторезный станок
40,43	Сварочный преобразователь, ПСО-500, кВА
41,42,45	Вентилятор вытяжной
44	Гильотинные ножницы

Задания № 2, 11, 21, 31, 41.

Номер по плану	Наименование оборудования
1	Прокатный стан
2,7	Кран мостовой, G=5т, ПВ=40%
3	Ножницы-тяпки
4,20	Ножницы дисковые концевые
5	Ножницы дисковые
6,21	Прокладочный станок
8	Сушильная печь
9	Листоправочная машина
10,13	Четырехвалковый прокатный стан
11	Кран мостовой, G=10 т, ПВ=40%
12	Гидравлический пресс
14	Гильотинные ножницы
15,19	Вальцешлифовальный станок
16	Пресс
17,18	Брикетировочный пресс, 630т
22,23,24	Токарный полуавтомат
25,26	Вертикально-сверлильный станок
27,28,29,30	Токарно-винторезный станок

Задание	1	10	20	30	40
Номер на плане	Установленная мощность электроприемника, кВт				
1,8	5,5+3+1,1	7,5+1,5+0,6	5,5+2,2+0,8	10+3+0,4	7,5+1,1+0,4
2,9	3+1,5+0,8	5,5+1,5+0,4	4+1,5+0,6	3+1,1+0,4	5,5+2,2+0,8
3,4,5	2,2+0,8+0,4	2,2+1,5+0,4	2,2+1,1+0,6	3+1,5+0,4	3+1,1+0,4
6,7	1,5+1,1+0,4	1,5+0,8+0,4	1,1+0,8+0,4	1,1+0,8+0,4	1,5+0,8+0,6
10,11,19,20,29,30	2,2+0,4	1,1+0,4	2,2+0,4	3+0,8	3+1,1
12,13,14,15,16,24,25	7,5+4+0,6	10+1,1+0,4	13+1,1+0,8	7,5+3+0,8	10+1,5+0,4
17	10	70	10	70	10
18,21	13,2+2,7+4,2	13,2+2,7+4,2	13,2+2,7+4,2	11+7,5+2,2	1,1+7,5+2,2
22,23	40	55	55	40	40
26,39	1,5	2	3,0	4	3
27,31	4,0	5,5	7,0	4	5,5
28,34	30	22	30	40	30
32,33	4,0	5,5	7,5	7,5	5,5
35,36,37,38	7,5+3+1,5	10+4+0,8	13+1,5+0,4	17+4+1,1	13+1,5+0,8
40,43	28,0	28	28,0	28	28
41,42,45	7,5	10	13	7,5	10
44	1,5	1,3	17	10	17

Задание	2	11	21	31	41
Номер на плане	Установленная мощность электроприемника, кВт				
1	75	100	75	100	75
2,7	11+7,5+2,2	1,1+7,5+2,2	11+7,5+2,2	11+7,5+2,2	17,5+11+2,2
3	7,5	7,5	5,5	5,5	4
4,20	13	17	10	10	13
5	5,5	4	7	4	5,5
6,21	2,2	3	4	2,2	3
8	20	25	30	30	25
9	2,2	1,5	2,2	1,5	2,2
10,13	230	175	230	175	230
11	16+11+2,2	16+11+2,2	16+11+2,2	16+11+2,2	16+11+2,2
12	13	10	13	10	13
14	17	10	13	17	10
15,19	5,5	7,5	10	13	7,6
16	30	22	40	22	30
17,18	30	30	30	30	30
25,26	4+0,15	5,5+0,15	5,5+0,15	4,5+0,15	5,5+0,15
27,28,29,30	10+1,1+0,15	13+1,1+0,15	13+1,1+0,15	10+1,1+0,15	10+1,1+0,15

Задания № 3, 12, 22, 32, 42

Номер по плану	Наименование оборудования
1,2,3,4	Шахтная электропечь
5,6	Камерная электропечь
7,12,15	Закалочный бак
8,9	Шахтная электропечь
10	Ванна обезжиривания
11,13,14	Электропечь-ванна
16,17	Установка высокой частоты, кВА
18,19	Вентиляторы
20,21,22	Универсальный круглошлифовальный станок
23,24	Токарный станок
25,26,27	Токарно-винторезный станок
28,29	Вертикально-фрезерный станок
30,31	Вертикально-сверлильный станок
32	Кран мостовой, G=5т, ПВ=25%
33	Заточный станок

Задания № 4, 13, 23, 33, 43.

Номер по плану	Наименование оборудования
1,2,3,4,34	Вертикально-сверлильный станок
5,25,28,29,32,33	Токарно-винторезный станок
6,7	Станок для намотки катушек
8,16	Шкаф сушильный
9	Ванна для пропитки
10	Зигмашина
11	Комбинированные пресс-ножницы
12	Машина листогибочная
13,31	Заточный станок
14,15,35	Пресс
17,21	Станок для изоляции проводов
18	Вытяжной шкаф
19	Станок для стыковой сварки
20	Вентилятор
22,23	Сварочный преобразователь
24	Трансформатор для печи ОСУ-20, кВА
30	Поперечно-строгальный станок
36	Кран мостовой, G=5т, ПВ=25%

Задания	3	12	22	32	42
Номер на плане	Установленная мощность электроприемника, кВт				
1,2,3,4	20	25	30	20	25
5,6	50	40	40	50	40
7,12,15	1,1	1,1	1,1	1,5	1,5
8,9	30	30	36	36	40
10	1,5	1,1	1,5	1,1	1,5
11,13,14	20	15	10	15	10
16,17	30	40	50	30	40
18,19	10	7,5	10	7,5	13
20,21,22	7,5+1,5+0,6	13+4+0,8	7,5+1,5+0,6	10+2,2+0,6	10+2,2+0,8
23,24	4+1,1+0,6	7,5+2,2+0,6	4+1,1+0,6	5,5+1,5+0,6	7,5+2,2+0,6
25,26,27	10+1,1+0,2	13+1,5+0,2	10+1,1+0,2	17+2,2+0,4	13+1,5+0,2
28,29	7,5+1,5+0,2	10+2,2+0,4	7,5+1,5+0,2	13+2,2+0,4	10+2,2+0,4
30,31	7,5+0,4	5,5+0,4	7,5+0,6	4+0,2	7,5+0,4
32	7,5+2,2+11	7,5+2,2+11	7,5+2,2+11	7,5+2,2+11	7,5+2,2+11
33	2,2	4	3	4	2,2

Задания	4	13	23	33	43
Номер на плане	Установленная мощность электроприемника, кВт				
1,2,3,4,34	5,5+0,15	4+0,15	5,5+0,15	5,5+0,15	4+0,15
5,25,28,29,32,33	10+1,1+0,15	10+1,1+0,15	13+1,1+0,15	13+1,1+0,15	10+1,1+0,15
6,7	2,2	30	40	30	2,2
8,16	30	30	30	30	30
9	3	2,2	3	4	3
10	2,2	1,5	3	1,5	2,2
11	1,5	2,2	1,5	30	3
12	4	5,5	4	5,5	4
13,31	1,1	1,5	2,2	3	1,1
14,15,35	10	10	10	10	10
17,21	1,1	1,5	1,1	1,5	1,1
18	15	2,2	1,5	2,2	1,5
19	3	3	3	3	3
20	4	5,5	4	7,5	5,5
22,23	18	18	18	18	18
24	15	15	15	15	15
30	5,5	5,5	4	5,5	4,0
36	13+2,7+4,2	13+2,7+4,2	13+2,7+4,2	11+7,5+2,2	11+7,5+2,2

Задания № 5, 14, 24, 34, 44.

Номер по плану	Наименование оборудования
1,2	Токарно-винторезный станок
3,4,5	Токарно-четырёхшпиндельный полуавтомат
6,7	Резьбонарезный станок
10,11	Долбежный станок
8,9	Радиально сверлильный станок
12,13,41	Гидропресс на 25т
14,15,16,17,18	Притирочный станок
21,22,40	Заточный станок
19,20	Универсально-заточный станок
23	Шлифовальный станок
24,25	Пресс
26,29	Вентилятор калорифера
27,28	Вентилятор вытяжной
30,31,32,33	Насос гидравлический
34,35	Координатно-расточный станок
36,37	Поперечно-строгальный станок
38	Кран мостовой, G=10т, ПВ=40%
39	Конвейер

Задания № 6, 15, 25, 35, 45.

Номер по плану	Наименование оборудования
1,7,10,30,31	Вентилятор калориферов
2,3	Сварочный трансформатор, ПВ=65%
4,19,27	Кран мостовой, G=10т, ПВ=40%
5,8	Вертикально-сверлильный станок
6,25,29	Наждак
9,15	Токарно-винторезный станок
11,16	Продольно-строгальный станок
12,13,14	Вертикально-сверлильный станок
17	Механические двери
18,28	Вентиляторы калориферов дверей
21,22,23,24	Стенд сборки и обкатки машин
26,30	Пресс кривошипный

Задания	5	14	24	34	44
Номер на плане	Установленная мощность электроприемника, кВт				
1,2	13+1,5+0,4	17+1,5+0,6	13+1,5+1,1	10+3+1,1	13+1,1+0,6
3,4,5	17+1,5+0,6	22+1,5+0,6	17+1,5+0,6	22+1,5+0,6	22+1,5+0,6
6,7	30+2,2+1,1	30+2,2+1,	17+1,5+0,6	22+1,5+0,8	17+1,5+0,4+
8,9	4+0,6	3+0,4	5,5+0,8	3+0,6	5,5+0,8
10,11	10	7,5	10	7,5	10
12,13,41	10	10	10	10	10
14,15,16,17,18	4	5,5	5,5	5,5	4
19,20	1,5	2,2	3	3	2,2
21,22,40	1,1	1,5	1,1	1,5	1,1
23	3+11+0,4	4+1,5+0,6	5,5+2,2+0,8	5,5+1,5+0,6	4+1,5+0,8
24,25	1,5	2,2	3	4	3
26,29	10	7,5	13	7,5	10
27,28	3	4	5,5	4	3
30,31,32,33	1	5,5	7,5	4	5,5
34,35	5,5	7,5	4	3	7,5
36,37	4	5,5	3	4	5,5
38	10+7,5+2,2	13+7,5+2,2	17+10+2,2	17+10+2,2	13+7,5+2,2
39	2,2	3	4	5,5	4

Задания	6	15	25	35	45
Номер на плане	Установленная мощность электроприемника, кВт				
1,7,10,30,31	4	3	5,5	3	4
2,3	4,2	76	32	76	42
4,19,27	30+22+2,2+16	45+22+3,5+45	60+35+6+60	45+22+3,5+45	60+35+6+60
5,8	5,5+0,4	4+0,4	5,5+0,4	4+0,4	5,5+0,4
6,25,29	1,5	2,2	4	3	4
9,15	22+2,2+0,2	22+2,2+0,2	22+2,2+0,2	30+2,2+0,4	30+2,2+0,4
11,16	75+22+13+2,2	55+17+10+1,5	55+22+13+2,2	55+22+13+1,5	55+17+10+1,5
12,13,14	10+1,5+0,4	13+2,2+0,4	10+1,5+0,4	7,5+1,5+0,4	10+1,5+0,4
17	1,5	2,2	1,5	2,2	1,5
18,28	22	30	17	30	22
21,22,23,24	17	22	30	27	30
26,30	7,5	5,5	4	7,5	5,5

Задания № 7, 16, 26, 36, 46.

Номер по плану	Наименование оборудования
1,6,43,47	Вентилятор вытяжной
2,5	Высокочастотная установка для сушки древесины
3,4	Лесопильная рама
7,8,9,10	Электрорубанок
11,12,13	Циркулярно-маятниковая пила
14,15,16	Циркулярная пила
17,18	Механический колун
19,20	Заточный станок
23,43	Фуговальный станок
21,22	Шипорезный станок
24,25	Фрезерный станок
26,27,28,29	Комбинированный деревообрабатывающий станок
30,31,41,42	Вертикально-сверлильный станок
32,33	Стружечный транспортер
34	Кран-балка на 3т
35,36	Полировальный станок
37,38	Круглошлифовальный станок
39,40	Рейсмусный станок
44,45,46	Электронагревательная плита

Задания № 8, 17, 27, 37, 47.

Номер по плану	Наименование оборудования
1,3	Молот пневматический
2	Абразивно-отрезной станок
4	Печь нагревательная
5	Пресс-ножницы
6,7	Обдирочно-шлифовальный станок
8	Фрезерно-отрезной полуавтомат
9	Пресс кривошипный
10	Гильотинные ножницы
11	Пресс
12,25	Токарный восьмипиндельный полуавтомат
13,15	Токарный станок
14	Радiallyно-сверлильный станок
16,17,18,19,23,24	Токарно-револьверный станок
21,22	Вертикально-сверлильный станок
20,26	Универсальный заточный станок
27	Заточный станок
28	Точильно-шлифовальный станок
29	Доводочный станок для резцов
30,31	Полуавтомат для заточки сверл

Задания	7	16	26	36	46
Номер на плане	Установленная мощность электроприемника, кВт				
1,6,43,47	7,5	10	5,5	5,5	7,5
2,5	70	70	60	60	70
3,4	30	30	22	22	30
7,8,9,10	10	7	7	7	5,5
11,12,13	4	4	5,5	5,5	7,5
14,15,16	3	2,2	4	3	5,5
17,18	4	4	3	3	3
19,20	2,2	2,2	1,5	1,5	1,5
23,43	4	4	5,5	5,5	7,5
21,22	7,5	5,5	3	3	4
24,25	4	4	4	3	5,5
26,27,28,29	7,5	7,5	10	13	10
30,31,41,42	1,1	1,1	1,5	2,2	2,2
32,33	22	30	22	30	17
34	2+4,6+1,7	2+3+0,65	2+4,6+1,7	2+3+1,7	2+4,6+1,7
35,36	1,1	1,5	2,2	1,5	3
37,38	2,2	3	3	3	3
39,40	4	5,5	4	5,5	5,5
44,45,46	4	5	5	7	6

Задания	8	17	27	37	47
Номер на плане	Установленная мощность электростанции, кВт				
1,3	10	15	20	10	15
2	4	3	2,2	15	3
4	12	14	16	12	16
5	1,5	2,2	3	2,2	1,5
6,7	3	4	3	4	3
8	7,5+15+0,4	7,5+2,2+0,4	7,5+2,2+0,6	7,5+1,5+0,8	7,5+2,2+0,6
9	7,5	10	10	7,5	10
10	10	7,5	13	10	7,5
11	40	30	40	30	40
12,25	30+17+3	40+13+3	30+13+3	40+10+2,2	30+17+1,1
13,15	2,2+0,4	3+0,4	2,2+0,4	3+0,4	2,8+0,4
14	7,5+1,5+0,6	10+1,1+0,4	7,5+2,2+0,8	10+1,1+0,8	7,5+1,1+0,8
16,17,18,19,23,24	10+1,5+0,4	13+1,5+0,6	10+0,8+0,4	7,5+4+0,6	13+1,1+0,6
21,22	4+0,15	5,5+0,15	5,5+0,15	4+0,15	4+0,15
20,26	1,5	2,2	3	3	2,2
27	5,5	4	3	4	5,5
28	3	2,2	2,2	3	2,2
29	0,6	0,8	1,1	0,6	0,8
30,31	4	3	4	3	4

Задания № 9,18,28,38,48

Номер по плану	Наименование оборудования
1,2,3,19,20,26,27	Токарный восьмипиндальный горизонтальный полуавтомат
4,5,7,8,24	Токарно-револьверный станок
6	Токарно-винторезный станок
11	Вертикально-сверлильный станок
9,10,12	Вертикально-сверлильный станок
13	Центровальный станок
14,15,16,17	Токарный полуавтомат
18	Заточный станок
21,22,23,28,29,30,31	Токарно-винторезный станок
25,32,33	Алмазно-расточный станок
34	Преобразователь дуговой электросварки
35	Сварочный трансформатор, ПВ=40%, кВА
36	Токарно-винторезный станок
37	Автомат импульсно-дуговой, наплавки, кВА
38,39	Выпрямитель сварочный, кВА

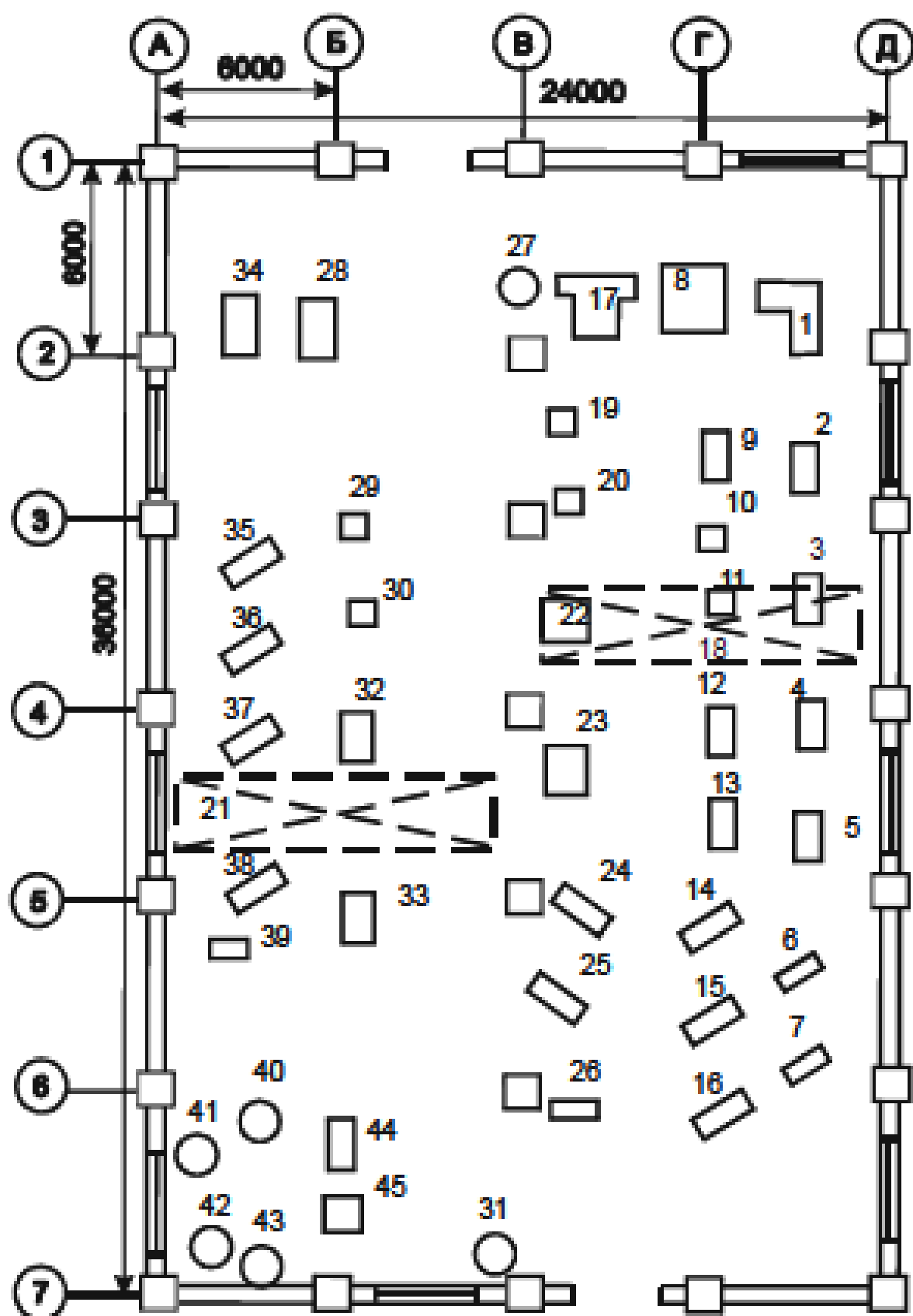
Задания № 19,29,39,49,50.

Номер по плану	Наименование оборудования
1,2	Галтавочный барабан
3,4	Пресс кривошипный холодного выдавливания
5,6	Пресс чеканный
7	Автомат многопозиционный
8,9,45	Обдирочно-шлифовальный станок
10	Автомат резьбонакаточный
11,12,13,14,15,16	Пресс кривошипный
19,26,31,32,33,34,35	Пресс кривошипный
17,22,24,25	Пресс фрикционный
18,29,30	Печь сопротивления
20,21	Пресс кривошипный
23,41,42	Электропечь камерная, на температуру 1500°C
38,39,43,44	Электропечь-ванна, на температуру 850°C
46	Твердомер шариковый
47,49	Электропечь
48,51	Вентилятор
50	Высокочастотная установка, кВА
27,28,	Механические ножницы
36	Отрезной полуавтомат
37,40	Шахтная электропечь

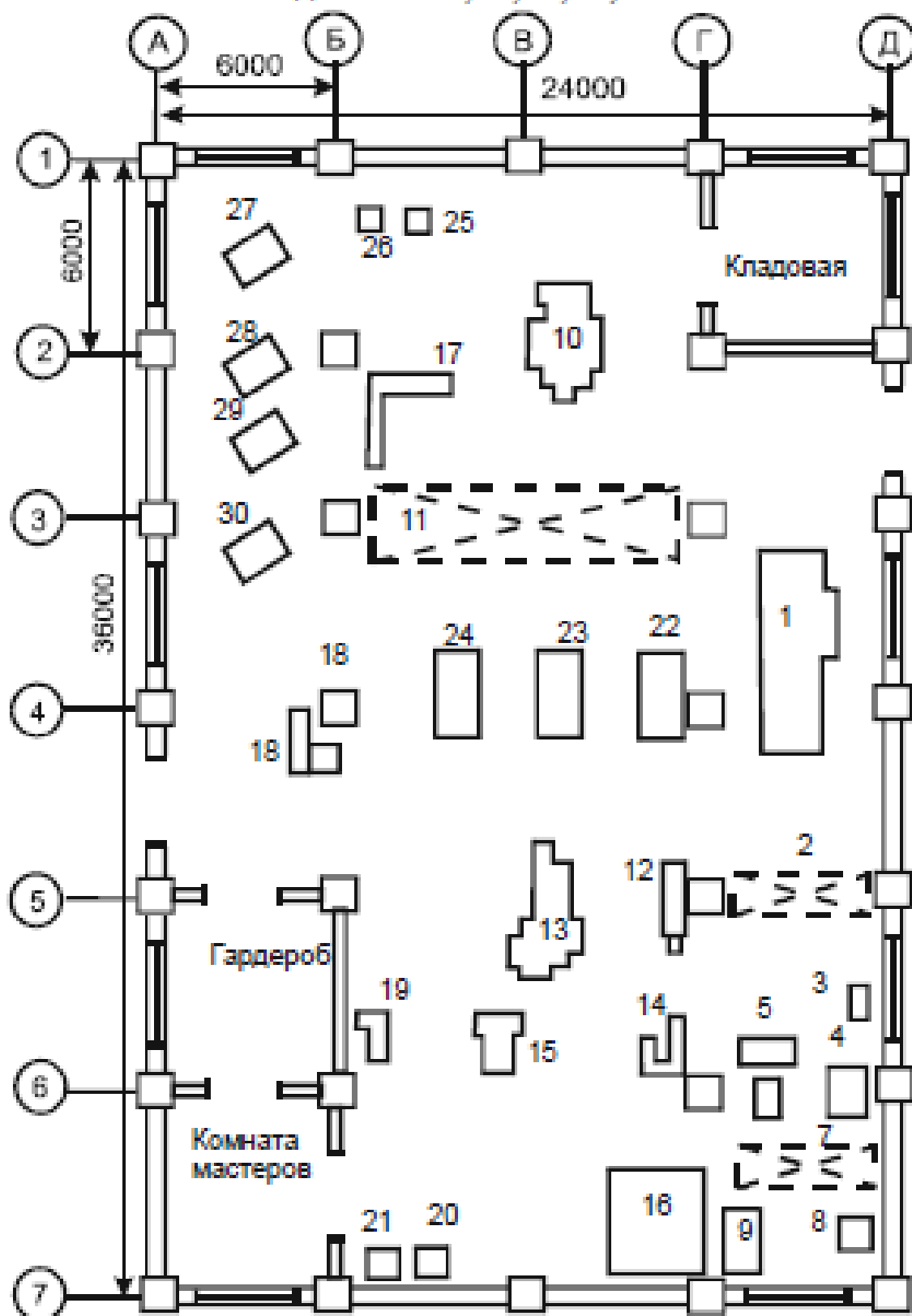
Задания	9	18	28	38	48
Номер на плане	Установленная мощность электроприемника, кВт				
1,2,3,19,20,26,27 4,5,7,8,24 6 11 9,10,12 13 14,15,16,17 18 21,22,23,28,29,30,31 25,32,33 34 35 36 37 38,39	22+1,5+1 10+1,1+0,4 7,5+15 5,5+0,15 4+0,1 1,5 7,5+1,1+0,8 1,5 10+4+0,2 4 20 35 13+1,5+0,4 20 24	17+1,5+0,8 13+1,1+0,67 10+0,6 5,5+0,15 7,5+0,4 2,2 7,5+1,5+0,8 2,2 7,5+3+0,2 5,5 28 34 17+4+1,1 11 24	22+1,5+0,8 7,5+3+0,8 13+0,4 4+0,5 5,5+0,15 3 5,5+1,5+1,1 1,1 10+3+0,2 4 20 3 13+1,5+0,8 20 24	17+1,5+0,8 10+1,5+0,4 17+1,1 5,5+0,15 4+0,1 2,2 7,5+1,1+0,8 1,5 7,5+3+0,2 3 28 35 10+1,1+0,8 22 24	22+1,5+0,6 13+1,5+0,4 13+0,6 4+0,15 5,5+0,1 1,5 5,5+1,5+1,1 2,2 10+4+0,2 4 20 34 7,5+3+1,5 21 24

Задания	19	29	39	49	50
Номер на плане	Установленная мощность электроприемника, кВт				
1,2	3	40	3	4	3
3,4	40	30	40	30	40
5,6	30	22	30	22	30
7	10	10	10	10	10
8,9,45	1,5	2,2	1,1	3	1,5
10	30+2,2+1,1	30+2,2+1,1	17+1,5+0,6	22+1,5+0,8	30+2,2+1,1
11,12,13,14,15,16,19	1,5	3	11	1,5	3
26,31,32,33,34,35					
17,22,24,25	7,5	5,5	7,5	5,5	7,5
18,29,30	20	14	20	14	20
20,21	5,5	5,5	7,5	7,5	5,5
23,41,42	45	40	50	40	50
38,39,43,44	20	25	20	25	25
46	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
47,49	20	15	20	15	20
48,51	7,5	5,5	7,5	5,5	7,5
50	25	50	50	40	60
27,28,	7,5	10	7,5	10	7,5
36	4+1,5+0,4	4+1,5+0,4	4+1,5+0,4	4+1,5+0,4	4+1,5+0,4
37,40	30	40	35	40	40

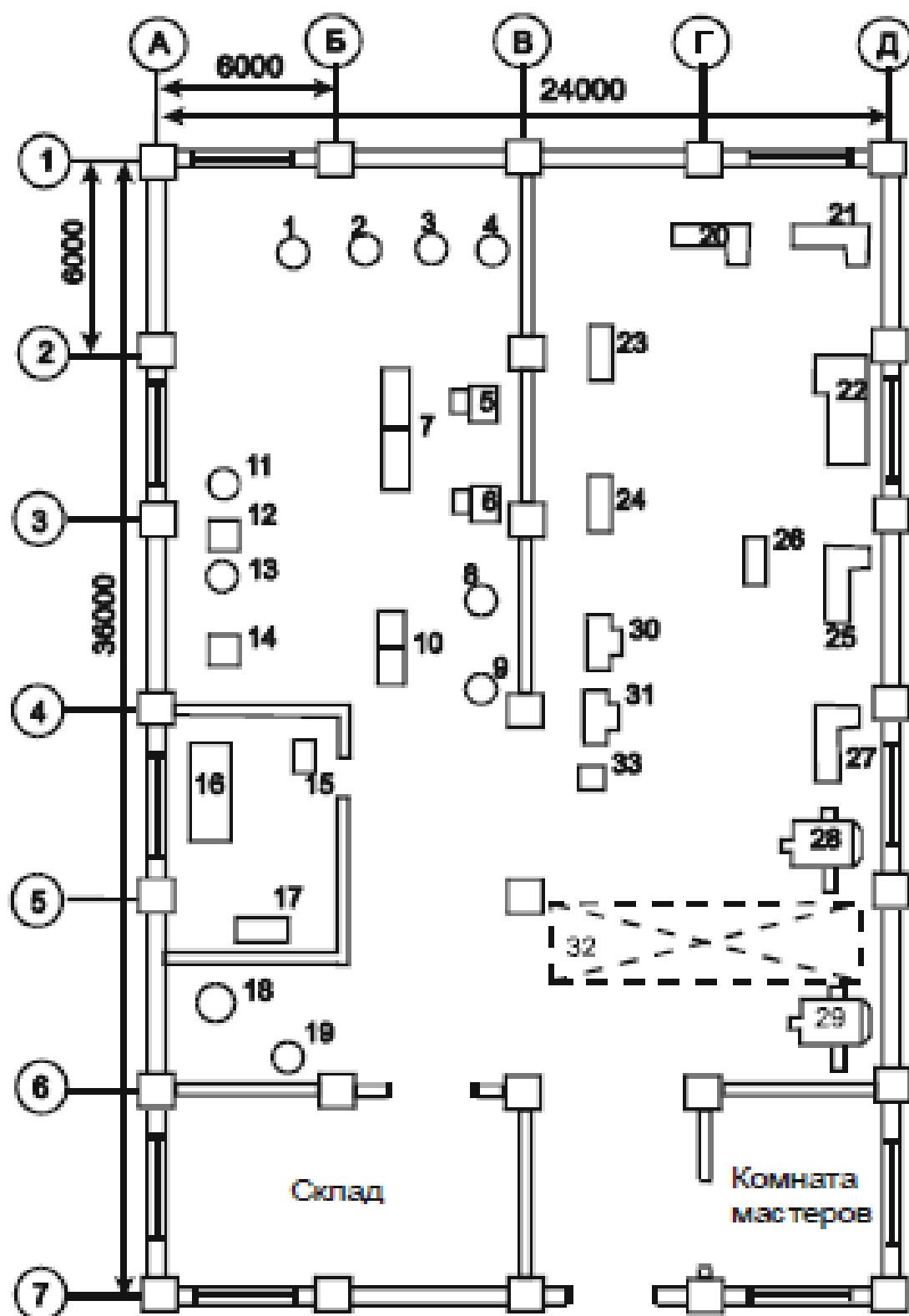
ПЛАНЫ ЦЕХОВ.
Задания №1,10,20,30,40



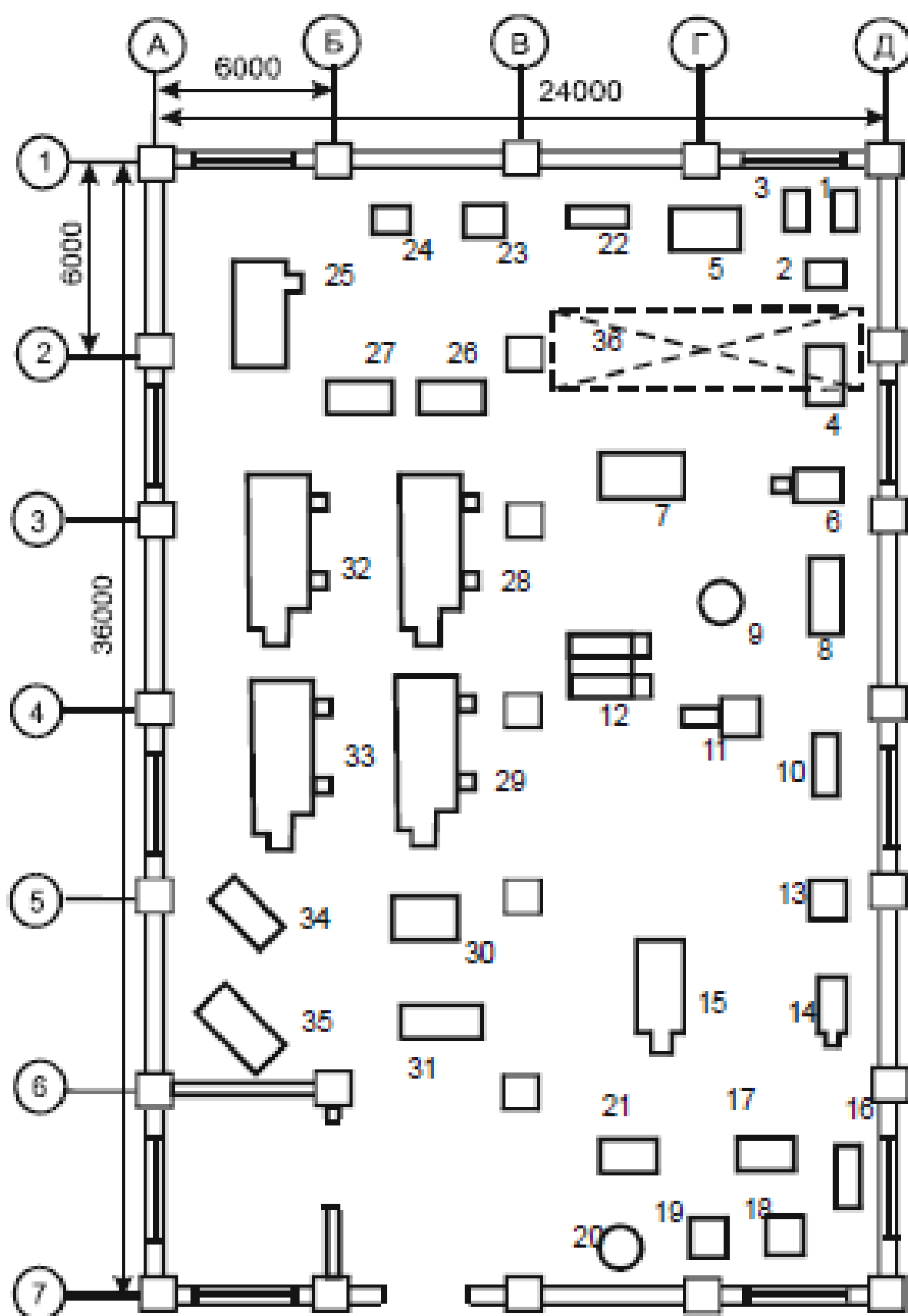
Задания № 2,11,21,31,41.



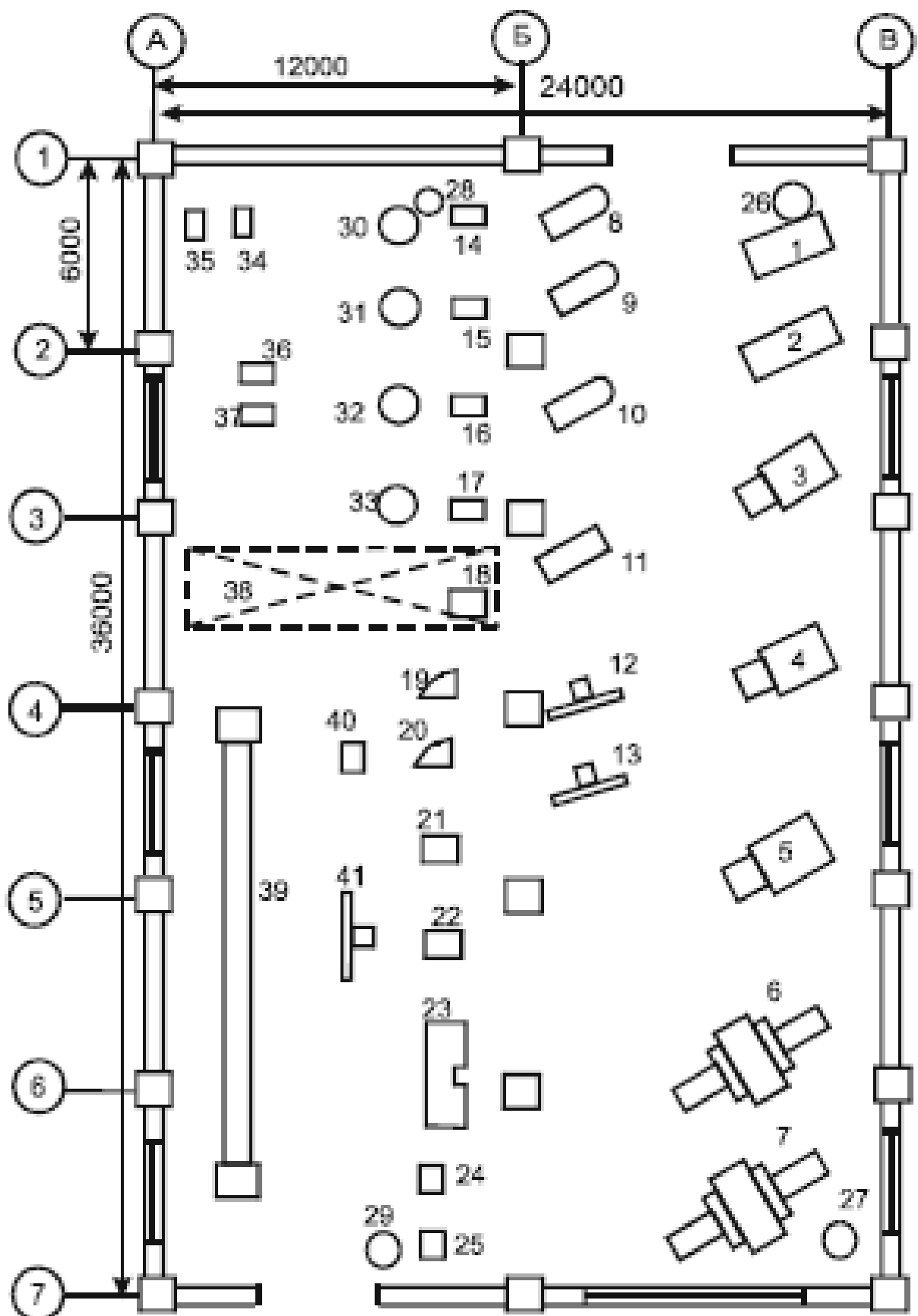
Задания № 3,12,22,32,42.



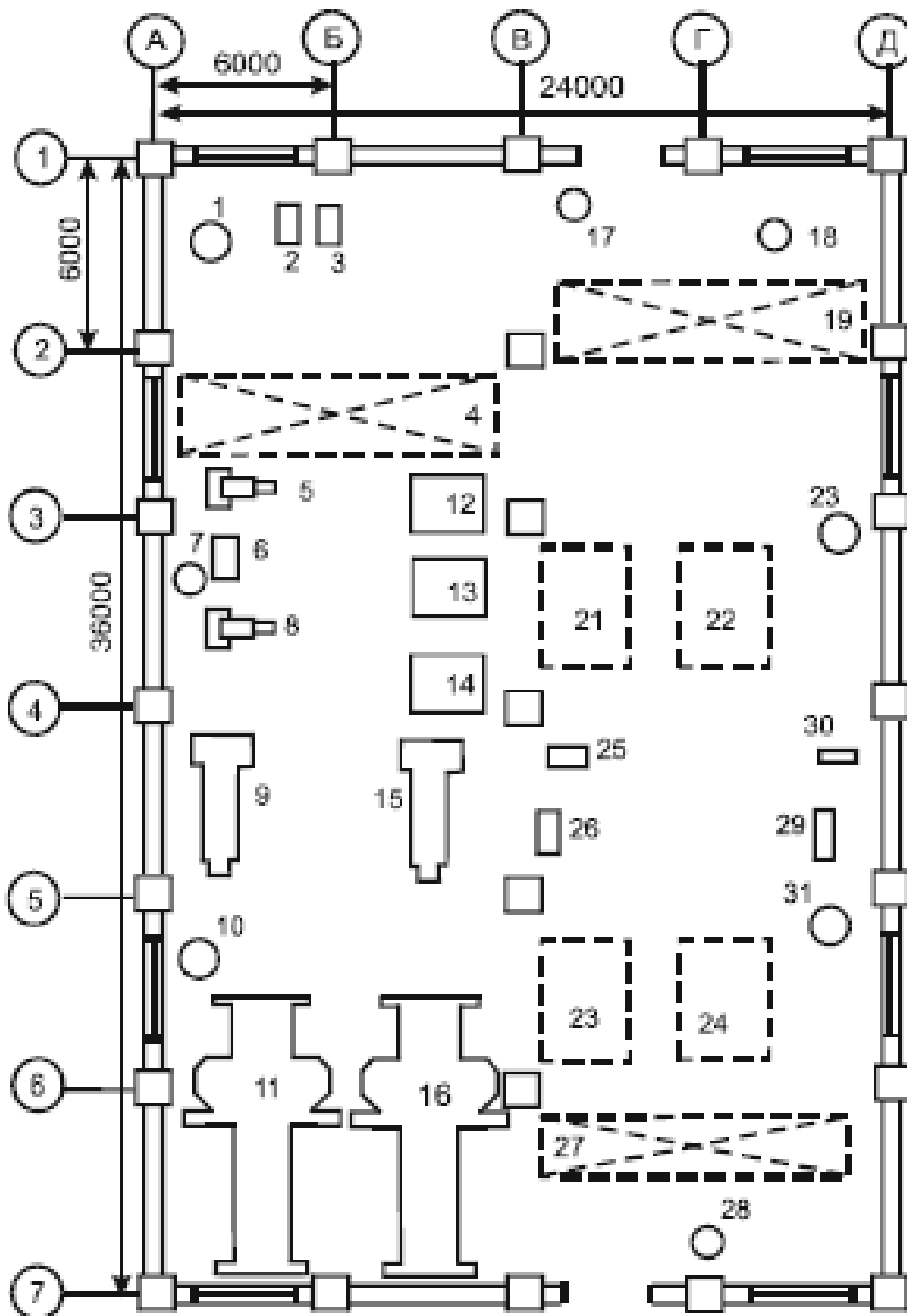
Задания № 4,13,23,33,43.



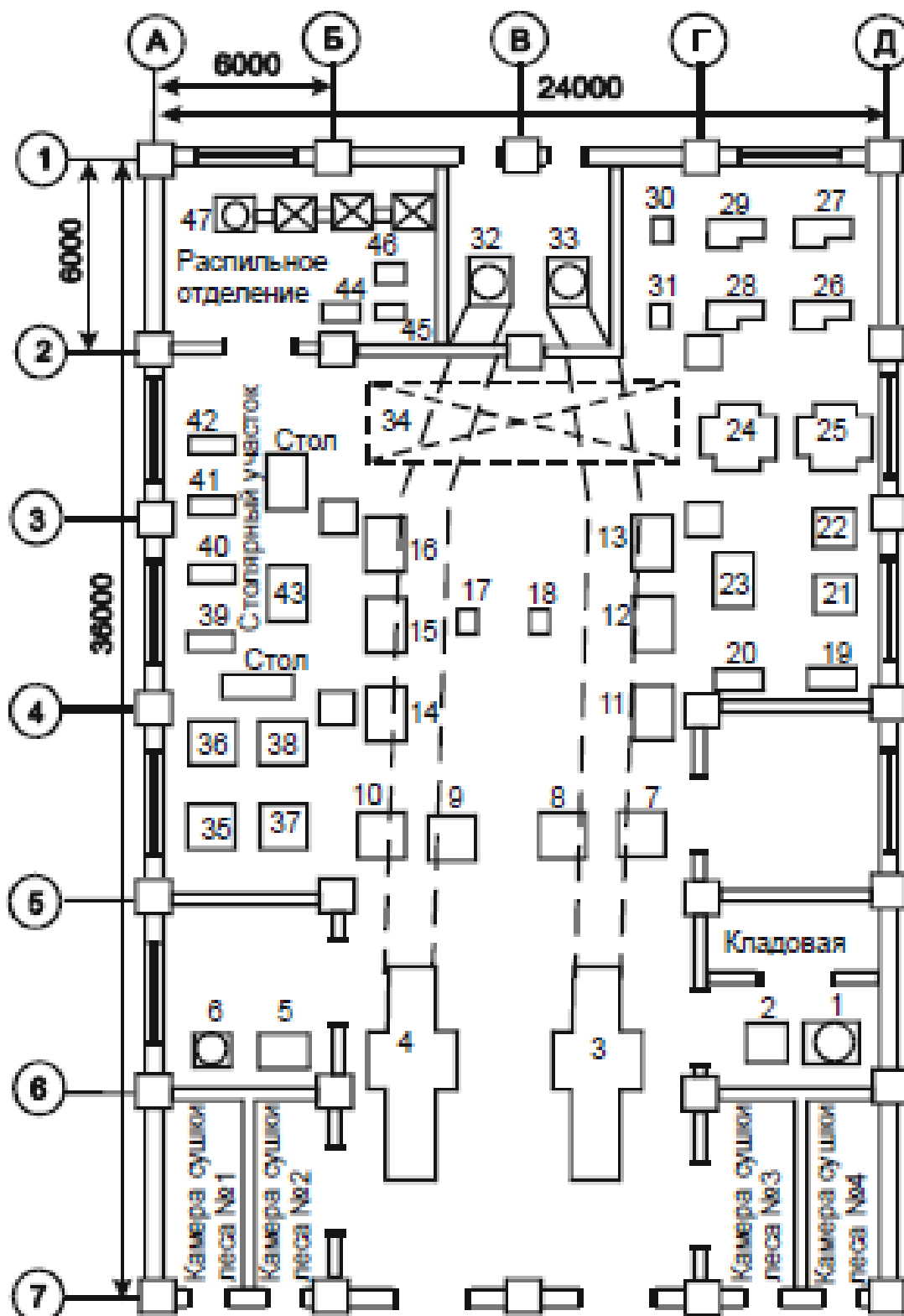
Задания № 5,14,24,34,44.



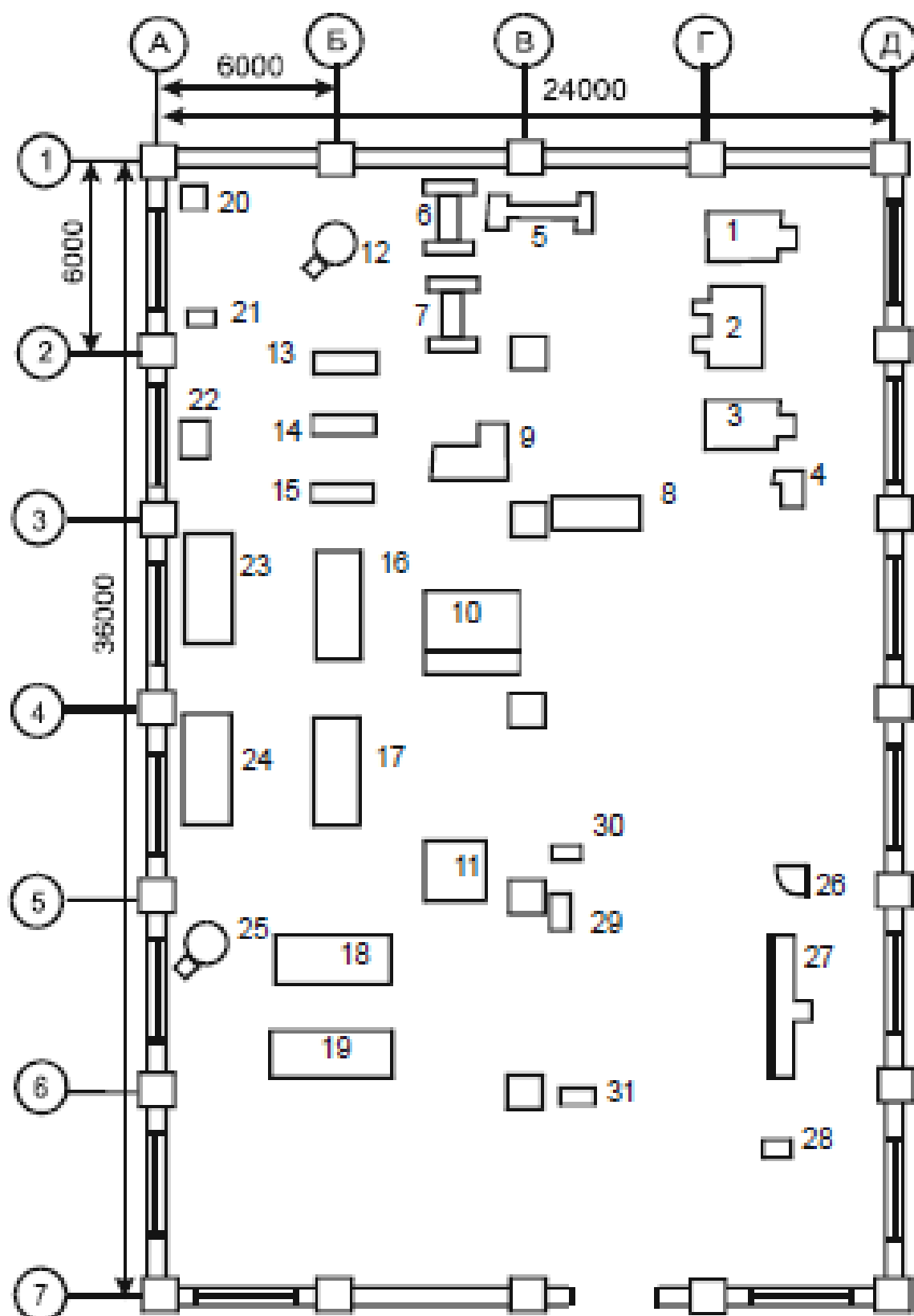
Задания № 6,15,25,35,45.



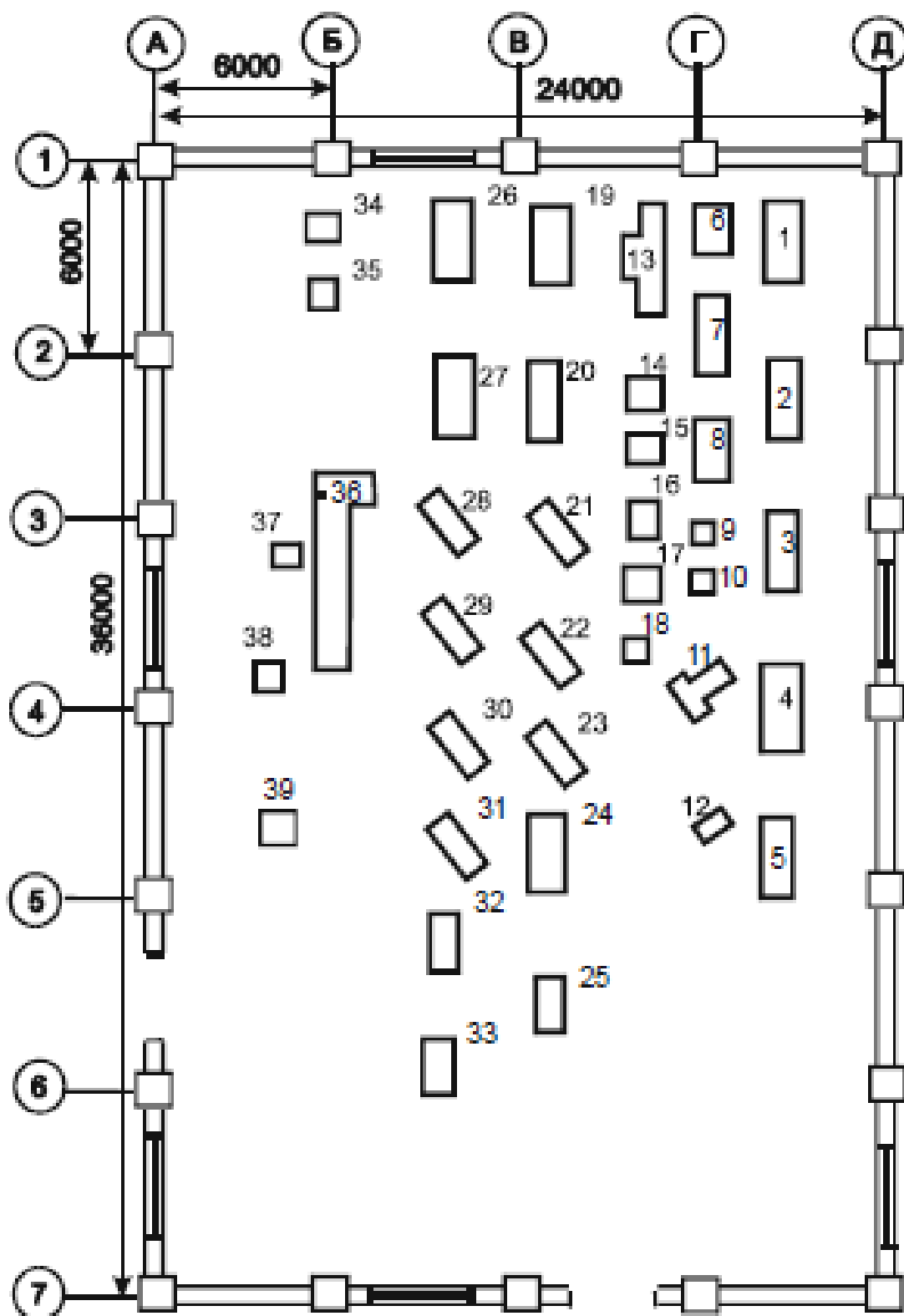
Задания № 7,16,26,36,46.



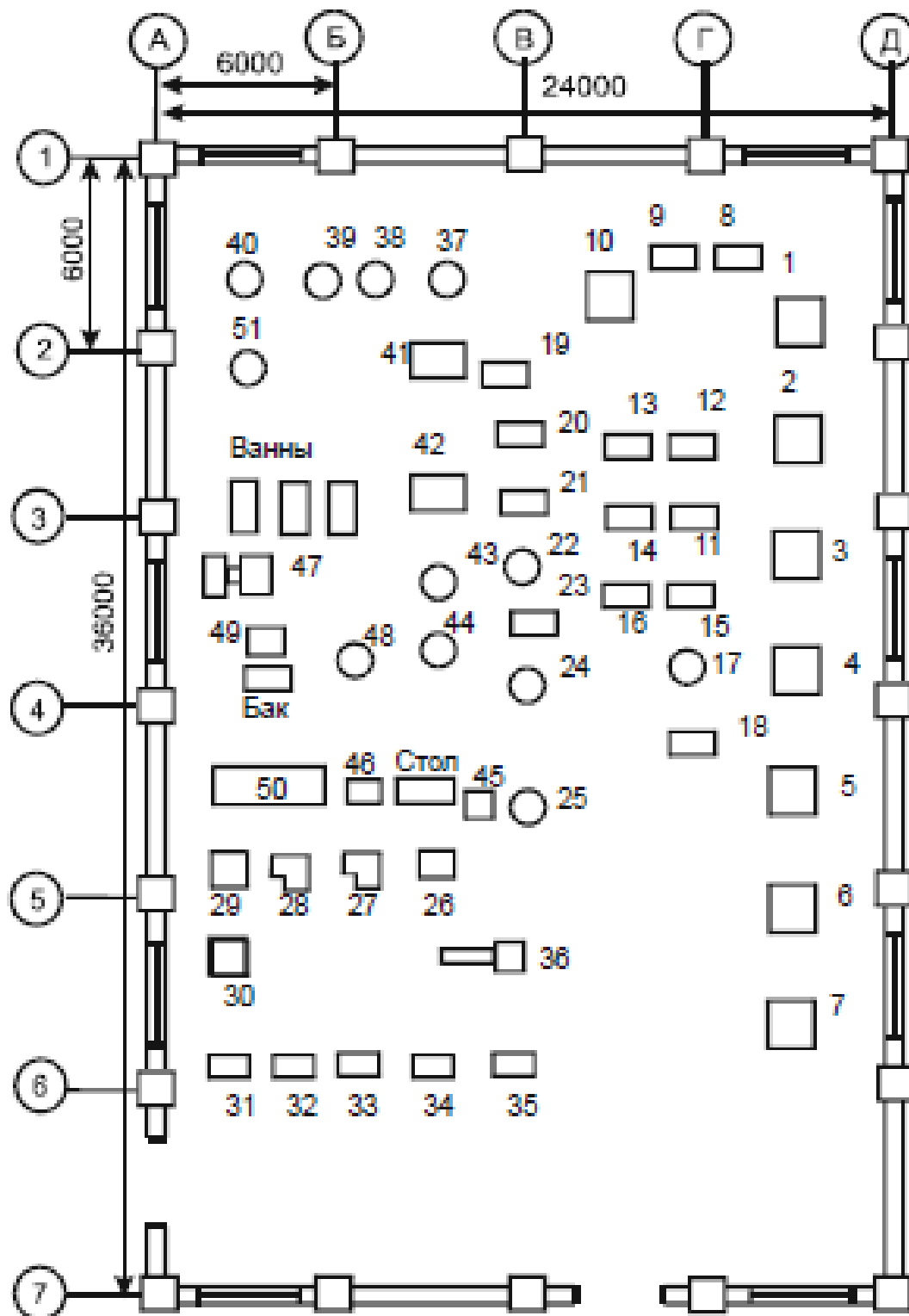
Задания № 8,17,27,37,47.



Задания № 9,18,28,38,48.



Задания № 19,29,39,49.



Варианты заданий на ВКР

Номер варианта	Шифр	Номер варианта	Шифр
1	1, 1, 1, 1	26	1K1, 1, 26, 26
2	2, 2, 2, 2	27	2K1, 2, 27, 27
3	3, 3, 3, 3	28	3K1, 3, 28, 28
4	4, 4, 4, 4	29	4K1, 4, 29, 29
5	5, 5, 5, 5	30	5K1, 5, 30, 30
6	6, 6, 7, 7	31	6K1, 6, 31, 31
7	7, 7, 6, 6	32	7K1, 7, 32, 32
8	8, 8, 8, 8	33	8K1, 8, 33, 33
9	9, 9, 9, 9	34	9K1, 9, 34, 34
10	10, 10, 10, 10	35	10K1, 10, 35, 35
11	11, 11, 11, 11	36	11K1, 11, 36, 36
12	12, 12, 12, 12	37	12K1, 12, 37, 37
13	13, 13, 13, 13	38	13K1, 13, 38, 38
14	14, 14, 14, 14	39	14K1, 14, 39, 39
15	15, 15, 15, 15	40	15K1, 15, 40, 40
16	16, 16, 16, 16	41	16K1, 16, 41, 41
17	17, 17, 17, 17	42	17K1, 17, 42, 42
18	18, 18, 18, 18	43	18K1, 18, 43, 43
19	19, 19, 19, 19	44	19K1, 19, 44, 44
20	20, 20, 20, 20	45	20K1, 20, 45, 45
21	21, 21, 21, 21	46	21K1, 21, 46, 46
22	22, 22, 22, 22	47	22K1, 22, 47, 47
23	23, 23, 23, 23	48	23K1, 23, 48, 48
24	24, 24, 24, 24	49	24K1, 24, 49, 49
25	25, 25, 25, 25	50	25K1, 25, 50, 50

Тип	Номи	Номин	Схе	Потер	Т	На	Габаритные	Масса,

трансформатор	наименование, $S_{нт}$, кВА	напряжение, кВ		магистральная группа соединений	мощность, кВт		коэффициент трансформации, %	прямое напряжение, U_k , %	размеры, мм			кг	
		U_B н	U_H н		X X , P_x	K K , P_k			длина	ширина	высота	масса	полная
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТСЗ-25/10-УЗ	25	6; 10	0,4	У/У _{н-0} ; Д/У _{н-11}	0,15	0,60	2,8	4,5	770	725	1230	—	320
ТСЗ-40/10-УЗ	40	6; 10	0,4	У/У _{н-0} ; Д/У _{н-11}	0,255	0,88	2,6	4,5	810	725	1230	—	410
ТСЗ-63/10-УЗ	63	6; 10	0,4	У/У _{н-0} ; Д/У _{н-11}	0,30	1,28	1,8	4,5	850	725	1230	—	440
ТСЗ-100/10-УЗ	100	6; 10	0,4	У/У _{н-0} ; Д/У _{н-11}	0,40	1,72	1,6	4,5	890	725	1395	—	560
ТСЗГЛ-100/10-УЗ	100	6; 10	0,4	Д/У _{н-11} ; У/У _{н-0}	0,60	1,30	2,0	4,0	1470	1100	1400	—	850
ТСЗГЛФ-100/10-УЗ									1550	1100	2200	—	950
ТСЗГЛ-160/10-УЗ	160	6; 10	0,4	Д/У _{н-11} ; У/У _{н-0}	0,65	2,15	1,4	4,0	1470	1100	1500	—	900
ТСЗГЛФ-160/10-УЗ									1550	1100	2200	—	950
ТСЗГЛ-250/10-УЗ	250	6; 10	0,4	Д/У _{н-11} ; У/У _{н-0}	0,90	3,00	2,5	5,5	2050	1170	1845	—	1500

ТСЗГЛ Ф- 250/10- УЗ				_Н -0					20 90	117 0	22 00	—	15 40
ТСЗГЛ- 400/10- УЗ	400	6; 10	0,4	Д/У _Н -11; У/У _Н -0	1, 20	3, 9 0	2, 5	5,5	20 50	117 0	21 00	—	17 05
ТСЗГЛ Ф- 400/10- УЗ									20 90	117 0	22 00	—	17 60
ТСЗГЛ- 630/10- УЗ	630	6; 10	0,4	Д/У _Н -11; У/У _Н -0	1, 65	5, 7 3	2, 0	5,5	20 50	126 0	20 00	—	21 80
ТСЗГЛ Ф- 630/10- УЗ									21 00	126 0	22 00	—	22 00
ТСЗГЛ- 1000/10 -УЗ	1000	6; 10	0,4	Д/У _Н -11; У/У _Н -0	2, 15	8, 4 0	1, 5	6,0	22 50	126 0	22 00	—	31 50
ТСЗГЛ Ф- 1000/10 -УЗ								8,0	23 00	126 0	22 00	—	31 70
ТСЗГЛ- 1250/10 -УЗ	1250	6; 10	0,4	Д/У _Н -11; У/У _Н -0	2, 25	1 0, 6	1, 0	6,0	22 50	126 0	22 00	—	35 50
ТСЗГЛ Ф- 1250/10 -УЗ								8,0	23 00	126 0	22 00	—	35 70
ТСЗГЛ- 1600/10 -УЗ	1600	6; 10	0,4	Д/У _Н -11; У/У _Н -0	3, 20	1 1, 3	1, 0	6,0	25 10	126 0	24 10	—	46 60
ТСЗГЛ Ф- 1600/10 -УЗ								8,0	25 60	126 0	24 10	—	46 60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1 3	14
ТСЗГЛ	250	6;	0,4	Д/У	4,40	16,4	0,	6,	280	162	242	—	550

- 25000/ 10-УЗ	0	10		Н- 11; У/У Н-0			5	0	0	0	0		0
ТСЗГЛ Ф- 2500/1 0-УЗ								8, 0	280 0	162 0	242 0	—	550 0
ТСЗ- 16/0,66 -УХЛ4	16	0,3 8; 0,6 6	0,2 3	У/У Н-0	0,11 5	0,44	3, 0	3, 8	800	440	860	—	160
ТСЗ- 25/0,66 -УХЛ4	25	0,3 8; 0,6 6	0,2 3	У/У Н-0	0,15 5	0,60	3, 0	3, 8	810	440	940	—	195
ТСЗ- 40/0,66 -УХЛ4	40	0,3 8; 0,6 6	0,2 3	У/У Н-0	0,22	0,88	3, 0	3, 8	880	440	980	—	240
ТСЗ- 63/0,66 -УХЛ4	63	0,3 8; 0,6 6	0,2 3	У/У Н-0	0,29	1,28	3, 0	3, 8	920	440	110 0	—	310
ТСЗ- 100/0,6 6- УХЛ4	100	0,3 8; 0,6 6	0,2 3	У/У Н-0	0,39	1,45	3, 0	3, 8	980	550	112 0	—	460
ТСЗ- 160/10	160	6; 10	0,2 3; 0,4	У/У Н-0; Д/У Н-11	0,70	2,70	4, 0	5, 5	180 0	950	170 0	—	140 0
ТСЗ- 250/10	250	6; 10	0,2 3; 0,4; 0,6 9	У/У Н-0; Д/У Н-11	1,00	3,80	3, 5	5, 5	185 0	100 0	185 0	—	180 0
ТСЗ- 400/10	400	6; 10	0,2 3; 0,4; 0,6 9	У/У Н-0; Д/У Н-11	1,30	5,40	3, 0	5, 5	225 0	100 0	216 0	—	240 0
ТСЗ- 630/10	630	6; 10	0,4; 0,6	У/У Н-0;	2,00	7,30	1, 5	5, 5	225 0	100 0	230 0	—	340 0

			9	Д/У н-11									
ТС3- 1000/1 0	100 0	6; 10	0,4; 0,6 9	У/У н-0; Д/У н-11	3,00	11,2 0	1, 5	5, 5	240 0	135 0	255 0	—	460 0
ТС3- 1600/1 0	160 0	6; 10	0,4; 0,6 9	У/У н-0; Д/У н-11	4,20	16,0 0	1, 5	5, 5	265 0	135 0	320 0	—	650 0
ТМ- 25/10	25	6; 10	0,4	У/У н-0; Д/У н-11	0,13	0,6	3, 2	4, 5	112 0	460	122 5		380
ТМ- 40/10	40	6; 10	0,4	У/У н-0; Д/У н-11	0,17 5	0,88	3, 0	4, 5	112 0	480	127 0		485

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТМ- 63/10	63	6; 1 0	0,4	У/У н-0; Д/У н-11	0,2 4	1,2 8	2, 8	4, 5	112 0	560	140 0		600
ТМ- 100/10	100	6; 1 0	0,4	У/У н-0; Д/У н-11	0,3 3	1,9 7	2, 6	4, 5	120 0	800	147 0		720
ТМ- 160/10	160	6; 1 0	0,4 0,6 9	У/У н-0; Д/У н-11	0,5 1	2,6 5 3,1 0	2, 4	4, 5 6, 5	122 0	102 0	160 0		110 0
ТМ- 250/10	250	6; 1 0	0,4 0,6 9	У/У н-0; Д/У н-11	0,7 4	3,7 4,2	2, 3	6, 5 6, 5	131 0	105 0	176 0		142 5
ТМ3- 250/10	250	6; 1 0	0,4	У/У н-0; Д/У н-11	0,7 5	3,7	2, 3	4, 5	180 0	140 0	175 0		170 0
ТН3- 250/10													200 0

ТМ-400/10 ; ТМН-400/10	400	6; 1 0	0,4	У/У _{н-0} ; Д/У _{н-11}	0,9 5	5,5	2, 1	4, 5	140 0	108 0	190 0	700	190 0
			0,6 9	Д/У _{н-11}		5,9							
ТМЗ-400/10	400	6; 1 0	0,4 ;	У/У _{н-0} ; Д/У _{н-11}	0,9 2	5,5	2, 1	4, 5	186 0	200 0	140 0		210 0
ТНЗ-400/10			0,6 9	Д/У _{н-11}									260 0
ТМ-630/10 ; ТМН-630/10	630	6; 1 0	0,4	У/У _{н-0} ; Д/У _{н-11}	1,3 1	7,6	2, 0	5, 5	175 0	127 5	215 0		300 0
			0,6 9	Д/У _{н-11}		8,5							
ТМЗ-630/10	630	6; 1 0	0,4 ;	У/У _{н-0} ; Д/У _{н-11}	1,4 2	7,6	1, 8	5, 5	200 0	219 0	140 0		290 0
ТНЗ-630/10			0,6 9	Д/У _{н-11}									340 0
ТМ-1000/1 0	100 0	6; 1 0	0,4	У/У _{н-0} ; Д/У _{н-11}	2,4 5	12, 2	1, 4	5, 5	270 0	175 0	300 0	100 0	500 0
			0,6 9	Д/У _{н-11}		11, 6							
ТМН-1000/1 0	100 0	6; 1 0	0,4	У/У _{н-0} ; Д/У _{н-11}	2,4 5	12, 2	1, 4	5, 5	345 0	100 0	340 0	200 0	800 0
			0,6 9	Д/У _{н-11}									
ТМЗ-1000/1 0	100 0	6; 1 0	0,4 ;	У/У _{н-0} ; Д/У _{н-11}	2,4 5	10, 6	1, 4	5, 5	230 0	232	150 0		417 0
ТНЗ-1000/1 0			0,6 9	Д/У _{н-11}									560 0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТМ-	160	6;	0,4	У/У	3,30	18,	1,	5,	245	230	340		7000

1600/10; ТМН-1600/10	0	10		$\frac{H-0}{D/Y}$ $\frac{H-11}{H-11}$		0	3	5	0	0	0		
			0,69	$\frac{D/Y}{H-11}$					3700	1850	4000		9600
ТМЗ-1600/10	1600	6;10	0,4; 0,69	$\frac{Y/Y}{H-0};$ $\frac{D/Y}{H-11}$	3,30	18,0	1,3	5,5	2700	2650	1600		6500
ТНЗ-1600/10													8000
ТМ-2500/10	2500	6;10	0,4; 0,69	$\frac{D/Y}{H-11}$	4,60	26,0	1,0	5,5	3500	2260	3600		8000
ТМН-2500/10	2500	6;10	0,4; 0,69	$\frac{D/Y}{H-11};$ $\frac{Y/D}{-11}$	4,60	23,5	1,0	5,5	3650	2230	4000		12200
ТМЗ-2500/10	2500	6;10	0,4; 0,69	$\frac{D/Y}{H-11};$ $\frac{Y/Y}{H-0}$	4,60	24,0	1,0	5,5	2900	2900	1800		10000
ТНЗ-2500/10													12000
ТМГ11-400/10-Y1	400	6;10	0,4	$\frac{Y/Y}{H-0};$ $\frac{D/Y}{H-11}$	0,83	5,4	0,8	4,5	1350	855	1415	325	1255
ТМГ11-630/10-Y1	630	6;10	0,4	$\frac{Y/Y}{H-0};$ $\frac{D/Y}{H-11}$	1,06	7,45	0,6	5,5	1545	1000	1540	450	1860
ТМГ11-1000/10-Y1	1000	6;10	0,4	$\frac{Y/Y}{H-0};$ $\frac{D/Y}{H-11}$	1,4	10,8	0,5	5,5	1720	1135	1860	795	2750
ТМГ11-1250/10-Y1	1250	6;10	0,4	$\frac{D/Y}{H-11}$	1,65	13,5	0,5	6,0	1825	1130	2020	875	3250
ТМГ1	160	6;	0,4	$\frac{D/Y}{H-11}$	2,15	16,	0,	6,	218	126	217	130	4250

1- 1600/1 0-Y1	0	1 0		_H -11		5	4	0	0	0	0	0	
ТМГС У- 25/10- Y1	25	6; 1 0	0,4	У/У _H -0	0,11 5	0,6 0	2, 8	5, 5	900	530	930	65	280
ТМГС У- 40/10- Y1	40	6; 1 0	0,4	У/У _H -0	0,11 5	0,8 8	2, 6	4, 5	900	560	100 0	98	370
ТМГС У- 63/10- Y1	63	6; 1 0	0,4	У/У _H -0	0,22	1,2 8	1, 8	4, 5	940	730	102 0	130	420
ТМГС У- 100/10 -Y1	100	6; 1 0	0,4	У/У _H -0	0,27	1,9 7	1, 2	4, 5	100 0	720	118 0	152	540
ТМГС У- 160/10 -Y1	160	6; 1 0	0,4	У/У _H -0	0,41	2,6 0	1, 0	4, 5	112 0	750	120 0	175	680
ТМГС У- 250/10 -Y1	250	6; 1 0	0,4	У/У _H -0	0,58	3,7 0	0, 8	4, 5	122 0	840	124 0	250	950

Планы двухтрансформаторных цеховых КТП

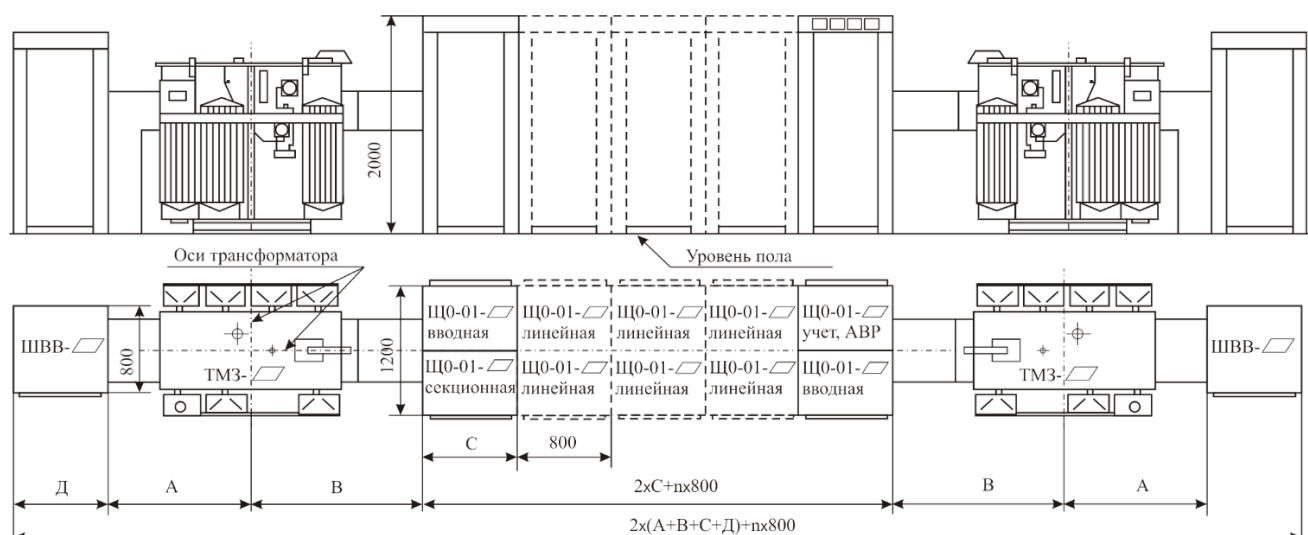


Рис. 1. План двухтрансформаторной КТП однорядного расположения со стационарными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП однорядного расположения со стационарными выключателями

Наименование	Условные обозначения размера, мм					
	А	В	С		Д	
КТП-250кВА	850	800	800	В зависимости от типа вводной панели РУНН	800	В зависимости от типа вводного шкафа УВН
КТП-400 кВА	1000	1000	800		800	
КТП-630 кВА	1100	1250	800		800	
КТП-1000 кВА	1250	1350	800		800	
КТП-1600 кВА	1300	1800	800 (1120)		1120 (800)	
КТП-2500 кВА	1400	1900	1120		1120 (800)	

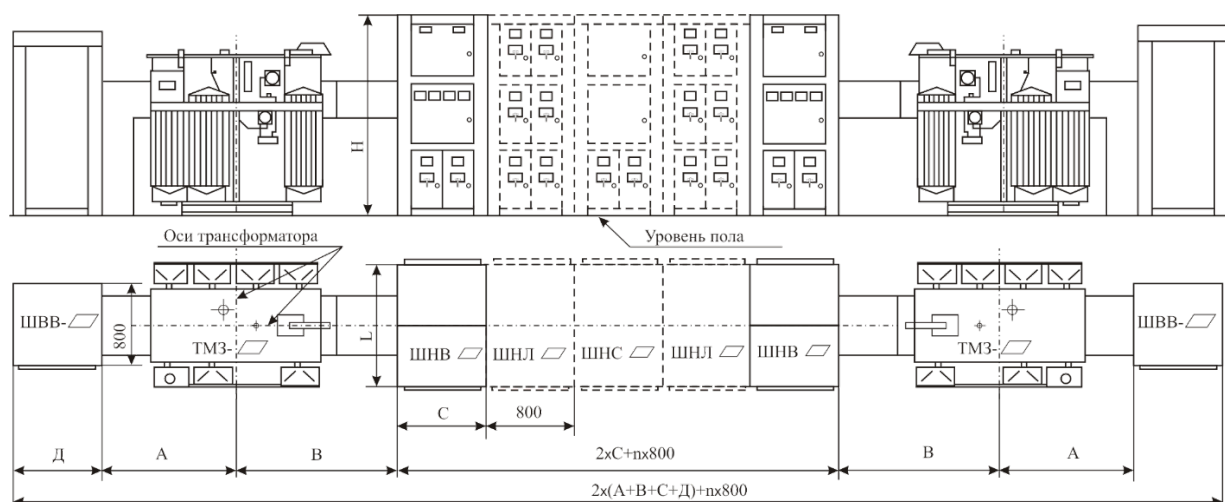
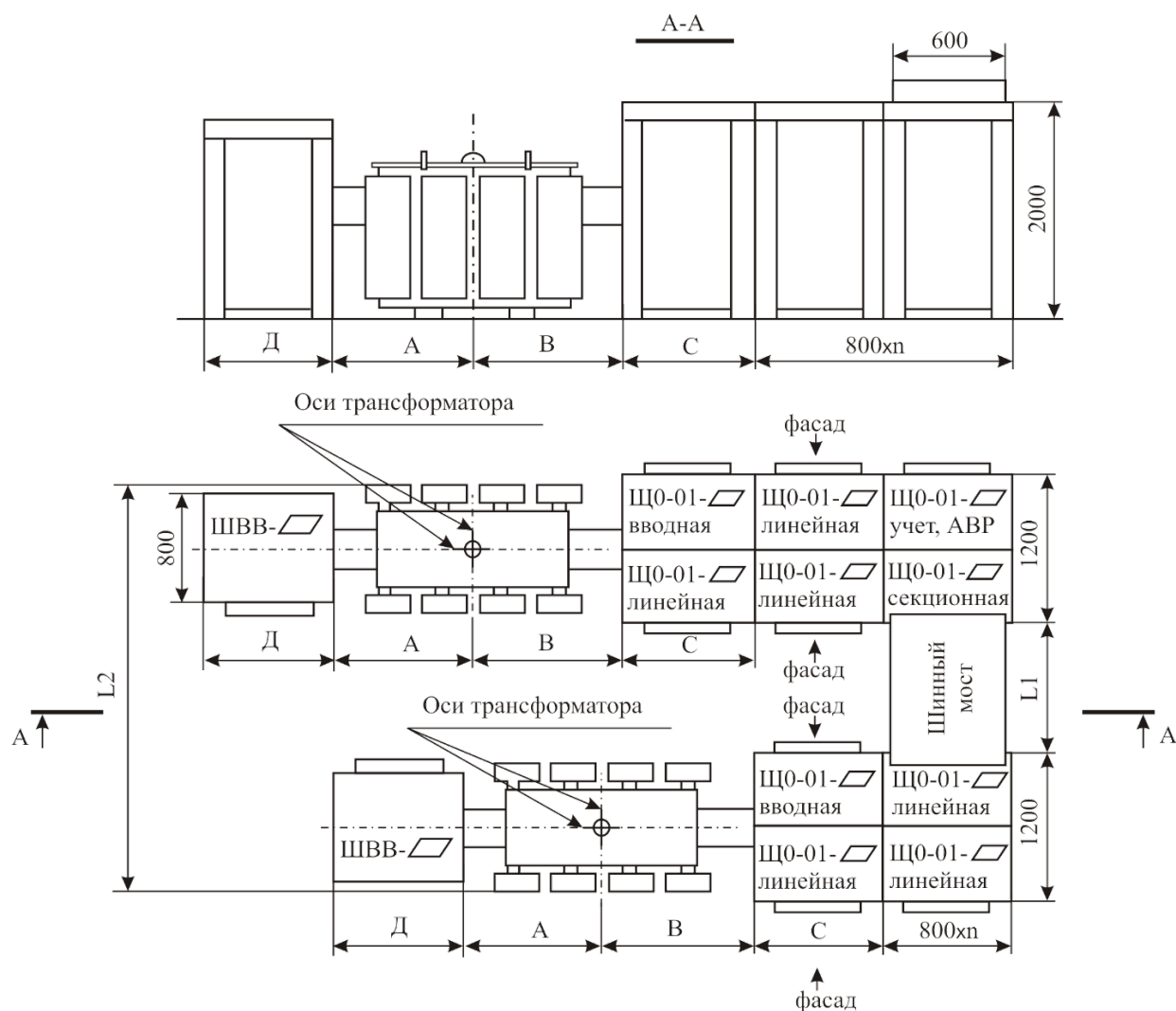


Рис. 2. План двухтрансформаторной КТП однорядного расположения с выдвижными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП однорядного расположения с выдвижными выключателями

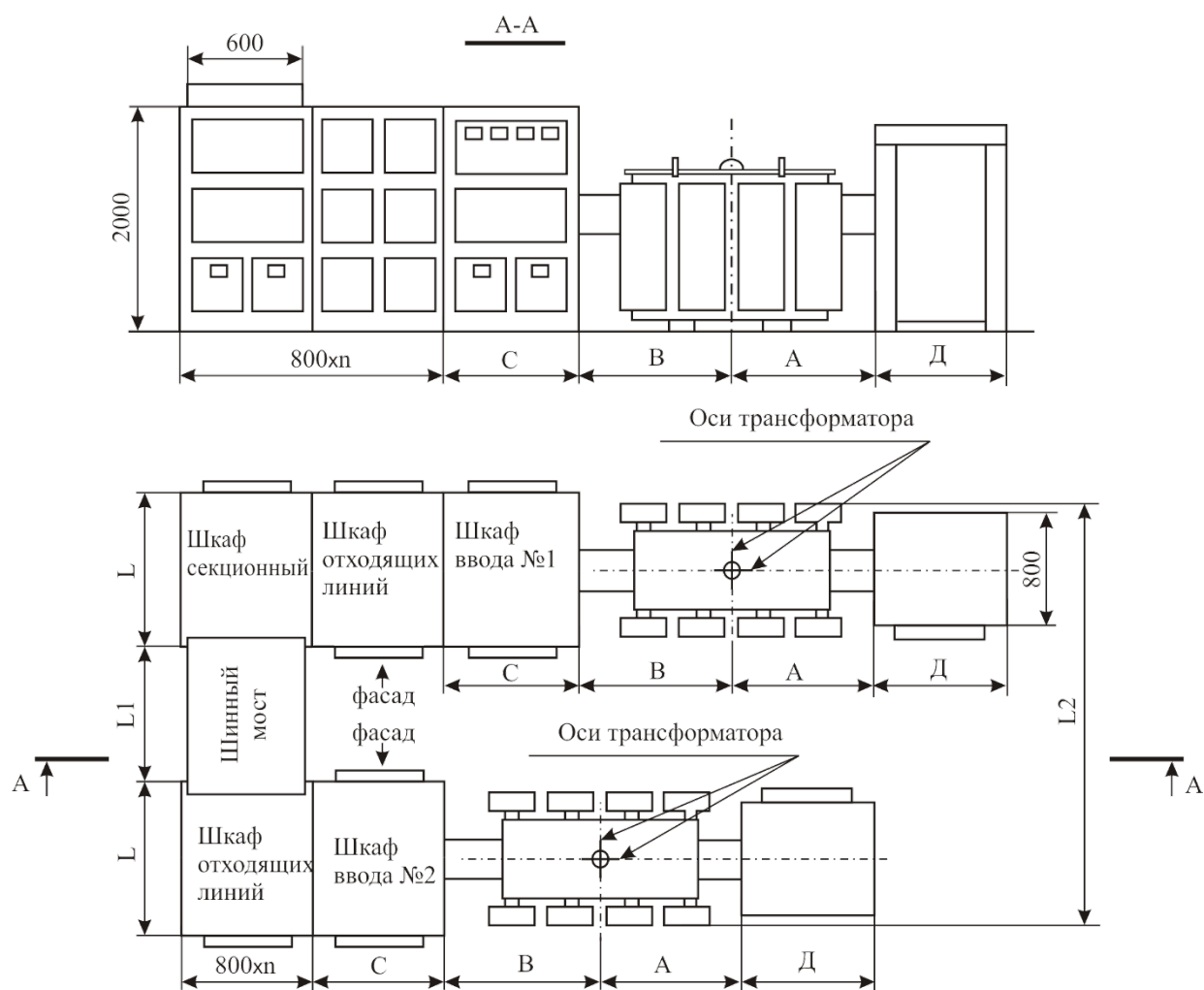
Наименование	Условные обозначения размера (мм)						
	А	В	Д		Шкафы с выключателями серии "ВА" и "Электрон"		
					С	Л	Н
					В зависимости от типа вводного шкафа РУНН		
КТП-250кВА	850	800	800	В зависимости от типа вводного шкафа УВН	800	1200	23
КТП-400 кВА	1000	1000	800		800	1200	23
КТП-630 кВА	1100	1250	800		800	1200	23
КТП-1000 кВА	1250	1350	800		800	1200	23
КТП-1600 кВА	1300	1800	1120(800)		800(1120)	1500	24
КТП-2500 кВА	1400	1900	1120(800)		1120	1500	24



План двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения левого исполнения со стационарными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения левого исполнения со стационарными выключателями

Наименование	Условные обозначения размера, мм					
	А	В	С		Д	
КТП-250кВА	850	800	800	В зависимости от типа вводной панели РУНН	800	В зависимости от типа вводного шкафа УВН
КТП-400 кВА	1000	1000	800		800	
КТП-630 кВА	1100	1250	800		800	
КТП-1000 кВА	1250	1350	800		800	
КТП-1600 кВА	1300	1800	800 (1120)		1120 (800)	
КТП-2500 кВА	1400	1900	1120		1120 (800)	



План двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения
правого исполнения с
выдвижными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения правого исполнения
с выдвижными выключателями

Наименование	Условные обозначения размера (мм)									
	А	В	Д		Шкафы с выключателями серии "ВА" и "Электрон"			Шкафы с выключателями фирмы "Merlin Gerin"		
					С	Л	Н	С	Л	Н
					В зависимости от типа вводного шкафа РУНН			В зависимости от типа вводного шкафа РУНН		
КТП-250 кВА	850	800	800	В зависимости от типа вводного шкафа УВН	800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-400 кВА	1000	1000	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-630 кВА	1100	1250	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-1000 кВА	1250	1350	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-1600 кВА	1300	1800	1120(800)		800(1120)	1500	2400	1000	1200	2300
КТП-2500 кВА	1400	1900	1120(800)		1120	1500	2400	1000	1200	2300

Технические характеристики магистральных шинопроводов
для сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением до 660 В, частотой
50–60 Гц

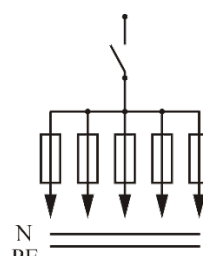
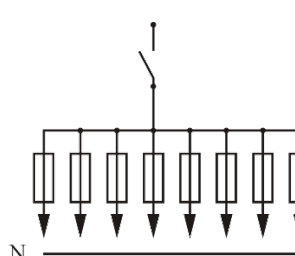
Характеристики	Тип шинопровода			
	ШМА А73УЗ	ШМА А73ПУЗ	ШМА 68-НУЗ	
Номинальный ток	1600	1600	2500	4000
Электродинамическая стойкость (амплитудное значение), $i_{уд.доп}$, кА, не менее	70	90	70	100
Термическая стойкость, $i_{тс}$, кА	20	35	35	50
Сопротивление на фазу, Ом/км: активное при температуре 20 °С, r_0 индуктивное, x_0	0,031 0,022	0,031 0,022	0,02 0,02	0,013 0,015
Сопротивление петли фаза - нуль (полное), Ом/км	0,016	0,016	—	—
Линейная потеря напряжения на 100 м при номинальном токе (нагрузка сосредоточена в конце линии, $\cos\varphi=0,8$), $\Delta U_{лш}$, В	11,5	11,5	13,5	16,5
Поперечное сечение прямой секции (ширина×высота), мм ²	300×160	300×160	444×215	44×295
Степень защиты	IP20	IP20	IP20	IP20
Типы автоматических выключателей, установленных в ответвительных секциях	А3734С, 400 А, 660 В А3744С, 630 А, 660 В А3736Ф, 400 А, 380 В А3736Ф, 630 А, 380 В			

Технические характеристики комплектных распределительных
 шинопроводов для сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением
 380/220 В, частотой 50–60 Гц

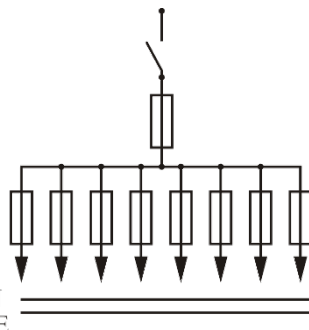
Характеристики	Тип шинопровода			
	ШРА 73УЗ			ШРМ 73УЗ
Номинальный ток	1600	1600	2500	100
Электродинамическая стойкость (амплитудное значение), $i_{уд.доп}$, кА, не менее	15	25	35	10
Термическая стойкость, $i_{тс}$, кА	7	10	14	7
Сопротивление на фазу, Ом/км: активное при температуре 20 °С, r_0 индуктивное, x_0	0,21 0,21	0,15 0,17	0,10 0,13	— —
Линейная потеря напряжения на 100 м при номинальном токе (нагрузка распределена равномерно, $\cos\varphi=0,8$), $\Delta U_{лш}$, В	6,5	8	8,5	—
Поперечное сечение прямой секции (ширина×высота), мм ²	260×80	284×95	284×125	70×80
Степень защиты	IP32	IP32	IP32	IP32
Типы коммутационно-защитной аппаратуры, установленной в ответвительных коробках: Предохранители Автоматические выключатели (ток, А)	ПН2-100 А3710 (160) А3120 (100) АЕ2050 (100)	ПН2-100 А3710 (160) А3720 (250) А3120 (100) АЕ2050 (100) АЕ2050 (100)	ПН2-100 А3710 (160) А3720 (250) А3120 (100) АЕ2050 (100)	На ток 25А АЕ2033(25)

Наличие ответвительных коробок с разъединителями на токи: 160 А 250А	Есть Нет	Есть Есть	Есть Есть	

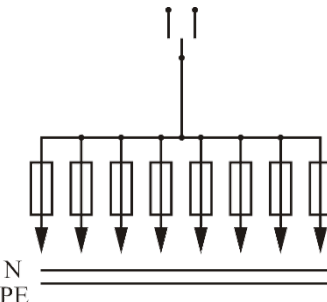
Технические характеристики шкафов распределительных с плавкими предохранителями

Тип		Номинальный ток шкафа, А	Тип и количество групп предохранителей на отходящих линиях			Схема
ШРС1	ШР11		НПН-2 $I_{\text{н}} = 60 \text{ А}$	ПНП-31 ПН2-100	ППН-35 ПН2-250	
1	2	3	4	5	6	7
-20У3	-73701-22У3, УХЛ3	250	5	—	—	 Рис. 2а
-50У3	-73701-54У2	200				
-21У3	-73702-22У3, УХЛ3	250	—	5	—	
-51У3	-73702-54У2	200				
-22У3	-73703-22У3, УХЛ3	250	2	3	—	
-52У3	-73703-54У2	200				
-23У3	-73504-22У3, УХЛ3	400	8	—	—	 Рис. 2б
-53У3	-73504-54У2	320				
-24У3	-73505-22У3, УХЛ3	400	—	8	—	
-54У3	-73505-54У2	320				
	-73506-22У3, УХЛ3	400	—	—	8	
	-73506-54У2	320				

	-73707-22Y3, УХЛІЗ	400	—	3	2	
	-73707-54Y2	320				
-27Y3		400	—	5	2	
-57Y3		320				
-26Y3	-73708-22Y3, УХЛІЗ	400	—	—	5	
-56Y3	-73708-54Y2	320				

1	2	3	4	5	6	7
-25У3	-73509-22У3, УХЛЗ	400	4	4	—	Рис. 2б
-55У3	-73509-54У2	320				
-28У3	-73510-22У3, УХЛЗ	400	2	4	2	
-58У3	-73510-54У2	320				
	-73511-22У3, УХЛЗ	400	—	6	2	
	-73511-54У2	320				
	-73512-22У3, УХЛЗ	400	8	—	—	
	-73512-54У2	320				
	-73513-22У3, УХЛЗ	400	—	8	—	
	-73513-54У2	320				
	-73514-22У3,	400	—	—	8	

	УХЛІЗ					
	-73514-54У2	320				
	-73515-22У3, УХЛІЗ	400	4	4	—	
	-73515-54У2	320				
	-73516-22У3, УХЛІЗ	400	2	4	2	
	-73516-54У2	320				
	-73517-22У3, УХЛІЗ	400	—	6	2	
	-73517-54У2	320				

1	2	3	4	5	6	7
	-73518-22У3, УХЛІЗ	400	8	—	—	 Рис. 2г
	-73518-54У2	320				
	-73519-22У3, УХЛІЗ	400	—	8	—	
	-73519-54У2	320				
	-73520-22У3, УХЛІЗ	400	—	—	8	
	-73520-54У2	320				
	-73521-22У3, УХЛІЗ	400	4	4	—	
	-73521-54У2	320				
	-73522-22У3, УХЛІЗ	400	2	4	2	

	-73522-54Y2	320				
	-73523-22Y3, YXJ3	400	—	6	2	
	-73523-54Y2	320				

Примечание:

1. Схема ШР11-73707; ШР11-73708 соответствует рис. 2а.
2. Степень защиты распределительных пунктов IP22, IP44.

[Содержание](#)

Технические данные распределительных силовых пунктов ПР-11

Наличие и тип вводного выключателя	Номинальный ток ввода, $I_{\text{н ввода, А}}$	Количество автоматических выключателей для отходящих линий	
		однополюсных ВА 47-100-1	трехполюсных ВА 47-100
		с тепловыми расцепителями на ток $I_{\text{нтр}} = 10 \div 100 \text{ А}$	
1	2	3	4
—	250	6	8
ВА 88-39			
—	400	18	—
ВА 88-39			
—	400	—	6
ВА 88-39			
—	400	12	2
ВА 88-39			
—	400	6	4
ВА 88-39			
—	400	24	—
ВА 88-39			

1	2	3	4
—	400	—	8
BA 88-39			
—	400	18	2
BA 88-39			
—	400	12	4
BA 88-39			
—	400	6	6
BA 88-39			
—	400	30	—
BA 88-39			
—	400	—	10
BA 88-39			
—	400	24	2
BA 88-39			
—	400	18	4
BA 88-39			

1	2	3	4
—	400	12	6
BA 88-39			
—	400	6	8
BA 88-39			
—	250	—	4
BA 88-39			
—	400	—	6
BA 88-39			
—	630	—	8
BA 88-39			
—	630	—	12
BA 88-39			

Примечание. Степень защиты распределительных пунктов IP21, IP54.

Технические данные распределительных силовых пунктов ПР8501 с трехполюсными АВ

Наличие и тип вводного выключателя	Номинальный ток ввода, I_n , А	Количество трехполюсных АВ на отходящих линиях	
		ВА 51-31	ВА 51-35
		с тепловыми расцепителями на ток, А	
		16 ÷ 100	100 ÷ 250
1	2	3	4
—	160	4	—
		6	
—	250	4	—
		6	
		8	
		10	
ВА 51-33	160	2	—
		4	
		6	
ВА 51-35	250	4	—
		6	
		8	
		10	

1	2	3	4
—	630	6	—
BA 51-39		8	—
—		10	—
BA 51-39		12	—
—		—	4
BA 51-39		2	2
—		4	2
BA 51-39		6	2
—		8	2
—			
BA 51-39			
—			
BA 51-39			
—			

Примечание. Степень защиты распределительных пунктов IP21, IP54.

Технические данные силовых распределительных
пунктов серии ПР8503

Наличие и тип вводного выключателя	Номинальный ток ввода $I_{\text{н ввода}}$, А	Количество и тип автоматических выключателей на отходящих линиях	
		ВА 57-31 С $I_{\text{нтр}} = 16 \div 100$ А или АЕ2040-10БС С $I_{\text{нтр}} = 16 \div 63$ А	ВА 57-35 С $I_{\text{нтр}} = 16 \div 250$ А
1	2	3	4
ВА 57-39 (ВА 52-39)	320; 400; 500	6; 8; 10; 12	—
—			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		—	4, 6
—			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		2	2
—			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		4	2
—			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		6	2
—			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		8	2
—			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		2	4
—			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		4	4
—			
ВА 57-35	100; 125; 160; 200	6	—
—			
ВА 57-35		8	—
—			
ВА 57-35		10	—

—			
BA 57-35		4	—
—		12	—
		BA 57 Ф35 C $I_{нтр} = 16 \div 250$ А	BA 61-29-1В (однополюсный) C $I_{нтр} = 16 \div 63$ А
BA 57-39 (BA 52-39)	320; 400; 500	4	24; 18; 12 ¹⁾
—			
BA 57-39 (BA 52-39)		2	24; 18; 12 ¹⁾
—			
BA 57-39 (BA 52-39)		—	48; 36 ¹⁾
—			
BA 57 Ф35	100; 125; 160; 200	—	48; 36 ¹⁾
—			

Примечание:

1. Возможна замена трех однополюсных выключателей BA 61-29-1 на один трехполюсный BA 61-29-3.
2. Степень защиты распределительных пунктов IP21, IP54.

Допустимые токовые нагрузки кабелей с резиновой и поливинилхлоридной
изоляцией на напряжение 0,66 кВ, 1 кВ

Номинальное сечение жилы, мм ²	Допустимые токовые нагрузки кабелей, А											
	одножильных				двухжильных				трехжильных			
	с алюминиевой жилой		с медной жилой		с алюминиевой жилой		с медной жилой		с алюминиевой жилой		с медной жилой	
	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле
1,5	—	—	29	32	—	—	24	33	—	—	21	28
2,5	30	32	40	42	25	33	33	44	21	28	28	37
4	40	41	53	54	34	43	44	56	29	37	37	48
6	51	52	67	67	43	54	56	71	37	44	49	58
10	69	68	91	89	58	72	76	94	50	59	66	77
16	93	83	121	116	77	94	101	123	67	77	87	100
25	122	113	160	148	103	120	134	157	88	100	115	130
35	151	136	197	178	127	145	166	190	109	121	141	158
50	189	166	247	217	159	176	208	230	136	147	177	192
70	233	200	318	265	—	—	—	—	167	178	226	237
95	284	237	386	314	—	—	—	—	204	212	274	280
120	330	269	450	358	—	—	—	—	236	241	321	321
150	380	305	521	406	—	—	—	—	273	274	370	363
185	436	343	594	455	—	—	—	—	313	308	421	406
240	515	396	704	525	—	—	—	—	369	355	499	468

Допустимые токовые нагрузки трехжильных кабелей с СПЭ-изоляцией
напряжением 1 кВ

Номинальное сечение жилы, мм ²	Допустимые токовые нагрузки кабелей при прокладке на воздухе при температуре окружающей среды 25 °С и в земле при температуре окружающей среды 15 °С			
	с медными жилами		с алюминиевыми жилами	
	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе
4	50	40	39	31
6	61	53	46	40
10	87	76	67	58
16	113	101	87	78
25	147	133	113	102
35	178	164	137	126
50	217	205	166	158
70	268	262	201	194
95	316	318	240	237
120	363	372	272	274
150	410	429	310	317
185	459	488	384	363
240	529	579	401	428

Примечание:

1. Марки кабелей: АПВВГ (ПВВГ); АПВБШв (ПВБШв); АПВнг-LS (ПВнг-LS); АПВБШнг-LS (ПВБШнг-LS); АПВБШп (ПВБШп); АПВБШпг (ПВБШпг).

2. Во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Ia может прокладываться кабель марки ПВБШнг-LS; во взрывоопасных зонах классов В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa – кабели марок АПВнг-LS, ПВнг-LS, АПВБШнг-LS.

Длительно допустимый ток для гибких кабелей с резиновой изоляцией напряжением 1 кВ

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Одножильные	Двухжильные	Трехжильные
1,5	—	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	190	150	130
50	235	185	160
70	290	235	200

Технические характеристики предохранителей

Тип предохранителя	Номинальный ток предохранителя, $I_{н.пр.}, А$	Номинальный ток плавкой вставки, $I_{н.вст.}, А$	Предельно отключаемый ток, I_o , кА, при напряжении	
			220/380	380/660
ПР2	15	6; 10; 15	1,2/0,8	0,8/0,7
	60	15; 20; 25; 35; 45; 60	5,5/1,8	4,5/3,5
	100	60; 80; 100	11/6,0	13/11
	200	100; 125; 160; 200	11/6,0	13/11
	350	200; 225; 260; 300; 350	11/6,0	13/11
	600	350; 430; 500; 600	15/13	23/30
	1000	600; 700; 850; 1000	15/13	23/30
НПН2	60	6; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 60	—	10/—
ПН2	100	31,5; 40; 50; 63; 80; 100	100	—
	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	100	—
	400	200; 250; 315; 355; 400	60/40	—
	600	315; 400; 500; 600	60/40	—
ППН-31	100	2; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	—	— /50
ППН-33	160	50; 63; 80; 125; 160	—	— /50
ППН-35	250	125; 160; 200; 250	—	— /50
ППН-39	630	200; 250; 320; 400; 500; 600	—	— /50

Классификация автоматических выключателей

Тип автоматического выключателя	Число полюсов	Номинальный ток, $I_{на}$, А	Тип расцепителя	$U_{на}$, В	Номинальный ток теплового расцепителя, $I_{нтр}$, А	Характеристика срабатывания электромагнитного расцепителя, $I_{нэр}$, А	Отключающая способность I_o , кА	Уставка УЗО при его наличии, mA
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВА 51	3	25 ÷ 630	Комбинированный	380/660	0,3 ÷ 630	3 ÷ 14 $I_{нтр}$	1,5 ÷ 35	—
ВА 61	1; 2; 3; 4	63	Комбинированный	380	0,5 ÷ 63	B, C, D	1,5 ÷ 30	10; 30; 100; 300
ВА 69	3	63 ÷ 100	Комбинированный	380	2 ÷ 100	C	4,0 ÷ 6,0	—
ВА 47	1; 2; 3; 4	63 ÷ 100	Комбинированный	220/380	0,5 ÷ 100	B, C, D	3,0 ÷ 10	10; 30; 100; 300
АД	2,4	63	Комбинированный	220/380	6 ÷ 63	C	4,5	10; 30; 100; 300
ВА 63 премиум	1; 2; 3; 4	63	Комбинированный	380	1 ÷ 63	C	10	—
ВА 57	3	100 ÷ 630	Комбинированный	380/660	16 ÷ 630	4000 ÷ 5000	3,0 ÷ 40	—
ВА 88	3; 4	125 ÷ 1600	Комбинированный	380	12,5 ÷ 1600	500; 10 $I_{нтр}$, регулируемый	25 ÷ 50	—
ВА 52	3	100 ÷ 630	Комбинированный	380/660	16 ÷ 630	3; 7; 10 $I_{нтр}$	8,0 ÷ 40	—

ВА 53	3	400 ÷ 1600	Полупроводниковый	380/660	160 ÷ 1600	2; 3; 5; 7; 10	20 ÷ 36	—
ВА 55	3	400 ÷ 1600	Полупроводниковый	380/660	160 ÷ 1600	2; 3; 5; 7; 10	18 ÷ 40	—
ВА 99	3; 4	125 ÷ 1600	Комбинированный	380	12,5 ÷ 1600	500; 10I _{нтр} , регулируемый	35 ÷ 50	—

Характеристики автоматических выключателей

Тип автоматического выключателя	Число полюсов	Номинальный ток, $I_{на}$, А	Тип расцепителя	Номинальный ток теплового расцепителя, $I_{нтр}$, А	Характеристика срабатывания электромагнитного расцепителя, $I_{нэр}$, А	Отключающая способность, I_o , кА		Уставка УЗО при его наличии, mA
						$U_H = 380\text{ В}$	$U_H = 660\text{ В}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВА 51-25		25	Комбинированный	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,78; 1,0; 1,25; 1,6	7; $10I_{нтр}$	3	3	—
						1,5	1,5	
				2,0; 2,5; 3,15; 4;5		2	2	
ВА 51Г-25					6,3; 8	$14I_{нтр}$	2,5	

				10; 12,5		3,8		
				16; 20; 25				
BA 47-29 (BA 47-63)	1; 2; 3; 4	63	Комбини рованны й	0,5;1;1,6;2;2,5;3;4;5;6,3;10;13;1 6;20;25;32;40;50;63	B, C, D	4,5	—	—
BA 61-29	1; 2; 3; 4	63	Комбини рованны й	0,5; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6,3; 8	B, C, D	1,5	—	10;30;100;300
				10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63		3		
BA 69-29	3	63	Комбини рованны й	2; 4; 6; 10; 16; 20; 25; 31,5; 40	C	4	—	—
				50; 63		4		
BA 51-31; BA 51Г-31	1; 3	100	Комбини рованны й	6,3; 8	3; 7; 10I _{нтр}	2	1,5	—
				10; 12,5		2,5	2	
				16; 20; 25		3,8		
				31,5; 40; 50; 63		6	4	
				80; 100		7		

BA 52-31; BA 52Г-31	3	100	Комбини рованны й	16; 20; 25	3,; 7; 10I _{нтр}	12	8	—
				31,5; 40		15		
				50; 63		18	10	
				80; 100		25		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BA 57-31	3	100	Комбинированный	16	400	4	3	—
				20		6		
				25		25		
				31,5		4	6	
				40				
				50; 63	800			
				80; 100	1200			
BA 47-100	3	100	Комбинированный	16; 20; 25; 35; 40; 50; 63; 80; 100	C и D	10	—	10;30;100;300
BA 47+N	2	32	Комбинированный	6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32	C	3	—	—
BA 63 премиум	1;2;3;4	63	Комбинированный	1; 2; 3; 4; 5; 6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	C	10	—	—
АД-12	2	63	Комбинированный	6; 10; 16; 25; 32; 40; 50; 63	C	4,5 (230 В)	—	10;30;100;300
АД-14	2	63	Комбинированный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	C	4,5	—	30; 100; 300
ВД 1-63 (УЗО)	2	63	—	16; 25; 32; 40; 50; 63	—	—	—	10;30;100;300
ВД 1-63 (УЗО)	4	63	—	16; 25; 32; 40; 50; 63	—	—	—	30; 100; 300
BA 51-33 BA 51Г-33	3	160	Комбинированный	80; 100; 125; 160	10I _{нтр}	12,5	9	—

BA 52-33 BA 52Г-33	3; 4	160	Комбинированный	80; 100	10I _{нтр}	28	12	—
				125; 160		35		
BA 88-32	3; 4	125	Комбинированный	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	500	25	—	—
				50; 63; 80; 100; 125	10I _{нтр}			
BA 99/125	3; 4	125	Комбинированный	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	500	35	—	—
				50; 63; 80; 100; 125	10I _{нтр}			
BA 88-33	3; 4	160	Комбинированный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	10I _{нтр}	35	—	—
BA 99/160	3; 4	160	Комбинированный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	10I _{нтр}	35	—	—
BA 51-35	3	250	Комбинированный	80; 100; 125; 160; 200; 250	12I _{нтр}	15	—	—
BA 52-35	3	250	Комбинированный	80; 100; 125; 160; 200; 250	12I _{нтр}	30	15	—

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BA 57-35	3	250	Комбинированный	16	320	3,5	3,5	—
				20		6	5,5	
				25		9	6	
				31,5; 40; 50	630	10	9	
				63	1250	15	12	
				80		25	15	

				100		30		
				125		35		
				160	1600	40	18	
				200; 250	2500			
BA 88-35 BA 99/250	3; 4	250	Комбинированный	125; 160; 200; 250	$10I_{\text{нтр}}$	35	—	—
BA 51-37	3	400	Комбинированный	250; 320; 400	$10I_{\text{нтр}}$	25	12	—
BA 52-37	3	400	Комбинированный	250; 320; 400	$10I_{\text{нтр}}$	30	18	—
BA 53-37 BA 55-37	3	400	Комбинированный	160; 250; 400	2; 3; 5; 7; 10	20	20	—
BA 88-37	3; 4	400	Комбинированный	250; 315; 400	$10I_{\text{нтр}}$	35	—	—
BA 99/400	3; 4	400	Комбинированный	250; 315; 400	$10I_{\text{нтр}}$	50	—	—
BA 51-39	3	630	Комбинированный	400; 500; 630	$10I_{\text{нтр}}$	35	20	—
BA 52-39	3	630	Комбинированный	250; 320; 400; 500; 630	$10I_{\text{нтр}}$	40	20	—
BA 53-39 BA 55-39	3	630	Полупроводниковый	160; 250; 400; 630	2, 3, 5, 7, 10	25	25	—
BA 57-39	3	630	Комбинированный	320	3200	25	—	—
				400	2000; 4000			
				500	2500; 5000	40	18	—
				630	3200; 5000			
BA 88-40	3; 4	800	Комбинированный	400; 500; 630; 800	$10I_{\text{нтр}}$	35	—	—
BA 99/800	3; 4	800	Комбинированный	400; 500; 630; 800	$10I_{\text{нтр}}$	50	—	—

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BA 53-	3	1000	Полупроводниковый	400; 630; 800;	2; 3; 5; 7	25	25	—

41 BA 55- 41				1000				
BA 53- 43 BA 55- 43	3	1600	Полупроводниковый	1000; 1250; 1600	2; 3; 5	36	36	—
BA 88- 43 BA 99/1600	3; 4	1600	Комбинированный	800; 1000; 1250; 1600	Регулируемая	50	—	—
BA 75- 45	3	2500	Полупроводниковый	1600; 2000; 2500	2; 3; 5; 7	36	36	—
BA 75- 47	3	4000	Полупроводниковый	2500; 3000; 3500; 4000	2; 3; 5	45	45	—

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по организации самостоятельной работы

«Цеховое электроснабжение»

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки: Электроснабжение

Квалификация выпускника бакалавр

Изучается в 8 семестре

Ставрополь
2026

Настоящие методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Настоящие методические указания разработаны в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования, рабочим учебным планом и рабочей программой дисциплины «Цеховое электроснабжение».

В МУ приведены методика и порядок проведения самостоятельной работы студентов по дисциплине «Цеховое электроснабжение». Оно содержит план-график выполнения самостоятельной работы, контрольные точки и виды отчетности по ним. Приведены рекомендации по организации работы с литературой, методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины, и список рекомендуемой литературы. Учебно-методические указания предназначены для студентов очной и заочной формы обучения направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины

План-график выполнения самостоятельной работы

Контрольные точки и виды отчетности по ним

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Методические указания по подготовке к практическим занятиям

Методические указания по подготовке собеседованию

Список рекомендуемой литературы

Введение

Самостоятельная работа является внеаудиторной и предназначена для самостоятельного изучения определенных тем дисциплины по материалам, рекомендованным преподавателем, а также в порядке подготовки к практическим занятиям.

Для достижения этой цели в процессе изучения дисциплины решаются следующие задачи:

- ознакомление с теоретическими и методологическими основами проектирования систем цехового электроснабжения;
- формирование способности обоснования проектных решений.
- изучение методов оптимизационного анализа систем цехового электроснабжения промышленных предприятий;
- формирование системных и профессиональных компетенций по проектированию систем цехового электроснабжения промышленных предприятий;
- решение вопросов повышения энергоэффективности с учетом экологических требований;
- систематизация, углубление и расширение теоретических знаний и практических навыков.

1 Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности. Решение этой задачи вряд ли возможно только путем передачи знаний в готовом виде от преподавателя к студенту. Для решения этой задачи в учебные планы всех специальностей включена самостоятельная работа, составляющая 50% учебного времени студента.

В широком смысле под самостоятельной работой студентов следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне ее, в контакте с преподавателем и в его отсутствие.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Содержание внеаудиторной самостоятельной определяется в соответствии с рекомендуемыми видами заданий согласно примерной и рабочей программ учебной дисциплины. Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы являются:

- для овладения знаниями: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы), составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными

документами, учебно-исследовательская работа, использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернета и др.

- для закрепления и систематизации знаний: работа с конспектом лекции, обработка текста, повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей, составление плана, составление таблиц для систематизации учебного материала, ответ на контрольные вопросы, заполнение рабочей тетради, аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект-анализ и др), подготовка мультимедиа сообщений/докладов к выступлению на семинаре (конференции), подготовка реферата, составление библиографии, тематических кроссвордов, тестирование и др.

- для формирования умений: решение задач и упражнений по образцу, решение вариативных задач, выполнение чертежей, схем, выполнение расчетов (графических работ), решение ситуационных (профессиональных) задач, подготовка к деловым играм, проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности, опытно экспериментальная работа, рефлексивный анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов. Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Следует с первых дней обучения в вузе приучать себя к целесообразному распределению занятий по месяцам и неделям семестра.

При этом очень важна равномерная работа как основное условие успешных занятий в вузе.

Высшей ступенью обучения является приобретение навыков самостоятельной творческой работы, а творческому применению знаний нужно учиться параллельно с их приобретением.

Задачами самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» являются:

- ознакомление с теоретическими и методологическими основами проектирования СЭС ПП;
- формирование способности обоснования проектных решений.
- изучение методов оптимизационного анализа систем электроснабжения промышленных предприятий;
- формирование системных и профессиональных компетенций по проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий;
- решение вопросов повышения энергоэффективности с учетом экологических требований;
- систематизация, углубление и расширение теоретических знаний и практических навыков.

2 План-график выполнения самостоятельной работы

Общий объём самостоятельной работы в рамках изучения дисциплины «Цеховое электроснабжение» составляет 60 часов.

В структуре самостоятельной работы предусмотрено выполнение РГР, самостоятельное изучение теоретического материала, подготовка к практическим занятиям.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенции: ПК-3, ПК-4, ПК-7.

РГР формируется из многовариантных заданий по проектированию цеховых сетей.

Целью выполнения РГР является закрепление теоретических знаний по дисциплине, практическое применение теоретических знаний и получение практических навыков по проектированию цеховых СЭС.

Расчетно – графическая работа состоит из пояснительной записки 20-30 листов текста на листах формата А4, выполненных, как правило, с использованием ЭВМ и необходимых сопутствующих материалов (графики, диаграммы, схемы).

Варианты задания выдаются индивидуально.

В процессе проектирования необходимо выполнить следующее:

1. Описание (краткое) технологического процесса проектируемого цеха по литературным источникам.
2. Выбор напряжения цеховой сети и системы питания.
3. Выбор электродвигателей, пусковой и защитной аппаратуры для электроприемников на участке цеха (по заданию преподавателя).
4. Расчет электрического освещения цеха.
5. Расчет электрических нагрузок цеха.
6. Расчет необходимой компенсирующей мощности. Выбор типа компенсационного электрооборудования для повышения коэффициента мощности до заданной величины.

7. Уточнение расчетных нагрузок; выбор мощности, числа трансформаторов и мест размещения цеховых подстанций с учетом компенсации реактивной нагрузки.

8. Разработка схемы цеховой электрической сети.

9. Расчет и выбор распределительной силовой сети для электроприемников на участке в осях (задается преподавателем), питающей и троллейной сети всего цеха.

10. Выбор аппаратуры ячейки КРУ на РП – 10 кВ.

12. Выбор кабелей 10 кВ питающих цеховые подстанции.

Рекомендуемые темы РГР:

Проектирование схемы электроснабжения механического цеха

Проектирование схемы электроснабжения инструментального цеха

Проектирование схемы электроснабжения кузнечного цеха

Проектирование схемы электроснабжения деревообрабатывающего цеха

Проектирование схемы электроснабжения цеха металлорежущих станков

Проектирование схемы электроснабжения ремонтно-механического цеха

Проектирование схемы электроснабжения цеха по выпуску металлоизделий.

Проектирование схемы электроснабжения электромеханического цеха

Проектирование схемы электроснабжения гальванического цеха

Проектирование схемы электроснабжения электротермического

Защита РГР является обязательной формой проверки ее выполнения. Защита производится на выделенном занятии в рамках часов учебной дисциплины. Публичная защита стимулирует научный интерес, творчество, ответственность студентов.

Содержание РГР оценивается по пятибалльной системе. Защита состоит в коротком докладе студента по выполненной работе и в ответах на вопросы.

Оценка «отлично» ставится студенту, который в срок, в полном объеме и на высоком уровне выполнил РГР. При защите и написании работы студент продемонстрировал приобретенные навыки и умения. Тема, заявленная в работе раскрыта полностью, все выводы студента подтверждены материалами исследования и расчетами. Отчет подготовлен в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Оценка «хорошо» ставится студенту, который выполнил РГР, но с незначительными замечаниями, был менее самостоятелен и инициативен. Тема работы раскрыта, но выводы носят поверхностный характер, практические материалы обработаны не полностью.

Оценка «удовлетворительно» ставится студенту, который допускал просчеты и ошибки в работе, не полностью раскрыл заявленную тему, делал поверхностные выводы, слабо продемонстрировал аналитические способности и навыки работы с теоретическими источниками.

Оценка «неудовлетворительно» ставится студенту, который не выполнил ПГП, либо выполнил с грубыми нарушениями требований, не раскрыл заявленную тему, не выполнил практическую часть работы.

Вопросы для проведения собеседования

1. Что такое расчетная нагрузка?
2. Каков порядок расчета нагрузок методом коэффициента расчетной активной мощности?
3. Дайте определения коэффициентов использования, спроса, формы, максимума, загрузки и для чего они предназначены?
4. Что такое пиковая нагрузка и с какой целью она определяется?
5. Какие методы определения расчетных нагрузок однофазных электроприемников Вам известны?
6. Как рассчитать расчетную нагрузку однофазного приемника включенного на фазное напряжение?
7. Как рассчитать расчетную нагрузку однофазного приемника

включенного на линейное напряжение?

8. Как определяется средняя нагрузка отдельных фаз?
9. Для каких целей используются пиковые нагрузки?
10. Как учесть при расчете нагрузки повторности включения?
11. Как считается расчетный ток для гибкого токоподвода?
12. Чему равно значение коэффициента мощности для крановых электродвигателей с электродвигателями с короткозамкнутым ротором?
13. Как определяется значение коэффициента использования при расчете нагрузки?
14. Какие существуют методы определения расчетных нагрузок предприятия?
15. Каким основным параметром определяется выбор схемы распределительной сети напряжением 0,4 кВ?
16. Для ЭП какой категории предусматривается использование петлевых и радиальных двухлучевых сетей?
17. Какие допускают перегрузки кабели с пропитанной бумажной изоляцией?
18. Какие допускают перегрузки кабели их СПЭ?
19. Как выбираются сечения кабелей магистральной линии с несколькими ответвлениями и магистральных шинопроводов, а также распределительных шинопроводов с равномерно распределенной нагрузкой?
20. Как выбираются сечения проводов для выполнения электропроводки и сечения кабельных линии напряжением до 1 кВ?
21. Как выбираются марки кабелей и проводов на напряжении до 1 кВ ?
22. Каким условиям должны удовлетворять выбранные площади сечений проводов и жил кабелей напряжением до 1000 В?
23. Как определяется расчетный ток нагрузки для линии, питающей

многодвигательный агрегат с одновременным пуском электродвигателей?

24. Как расчетный ток для электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы приводится к длительному режиму работы?
25. Какие требования предъявляются ПУЭ к отклонению напряжения от номинального для силовых электроприемников?
26. Как согласовать выбранное сечение проводника с аппаратом защиты этого проводника?
27. Какими схемами замещения моделируется двухобмоточный трансформатор?
28. В каких случаях используются упрощенные схемы замещения трансформаторов? В чем суть этих упрощений?
29. Зависит ли мощность холостого хода от номинального напряжения?
30. Какие трансформации учитываются в схеме замещения трансформаторов?
31. Зависит ли мощность холостого хода от номинального напряжения?
32. Каким образом определяется напряжение на высшей стороне трансформатора?
33. Опишите принцип действия силовых конденсаторов как источника реактивной мощности
34. Как влияет установка КУ на параметры режима?
35. Перечислите особенности КРМ в сетях с резкопеременной и вентильной нагрузкой.
36. Как изменяются потери активной мощности при компенсации реактивной мощности?
- 37.5 Как изменяются потери напряжения при компенсации реактивной мощности?
- 38.6. Как изменяется полный ток в линии при компенсации реактивной мощности?

- 39.Изобразите схемы включения конденсаторов в сеть.
- 40.Каковы основные принципы размещения КУ в системах электроснабжения промышленных предприятий?
- 41.Из каких разделов должна состоять пояснительная записка проекта СЭС?
- 42.В какой последовательности располагаются разделы спецификации?
- 43.Каков порядок изложения результатов расчетов?
- 44.Как нумеруют чертежи, выполненные на нескольких листах?
- 45.Обязательной ли является подпись нормоконтролёра?
- 46.Как обозначаются сборные шины на электрических схемах?
- 47.Каким образом определяются приведенные затраты, почему они называются приведенными?
- 48.В чем сущность и область применения коэффициента приведенных затрат?
- 49.Как определяются средние удельные дисконтированные затраты по капиталовложениям в элементы СЭС?
- 50.От чего зависит стоимость 1 км кабеля СПЭ различных сечений?
- 51.Как определяется стоимость конденсаторов различной мощности?
- 52.Как цена кабеля СПЭ зависит от сечения экрана?
- 53.Как обозначается на принципиальной схеме щит освещения?
- 54.В чем заключается различие приведенных и дисконтированных затрат?
- 55.Как выбираются автоматические выключатели?
- 56.Для защиты каких сетей применяются автоматические выключатели?
- 57.Какие виды расцепителей Вы знаете?
- 58.Как выбираются автоматические выключатели и предохранители для защиты двигателей?
- 59.Для защиты каких сетей применяются плавкие предохранители?
- 60.Какие аппараты не проверяются применяются в электроустановках

напряжением выше 1кВ?

61. Какие аппараты не проверяются применяются в электроустановках напряжением до 1кВ?
62. При каких условиях обеспечивается надежная селективность последовательно включенных предохранителей?
63. Как выбираются контакторы и магнитные пускатели для управления и защиты асинхронного двигателя?
64. Как выбираются автоматические выключатели и предохранители для защиты двигателей?
65. Каковы условия выбора сечений шин по допустимому нагреву?
66. С какой целью выполняется проверка сечений по термической стойкости?
67. Как рассчитать допустимую потерю напряжения?
68. Как проверяются выбранные сечения кабелей по допустимой потере напряжения?
69. Какие условия должны соблюдаться при выборе проводников линий по условиям их нагревания?
70. Какие сопротивления учитываются при расчете токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ?
71. Как происходит выбор расчетного момента возникновения КЗ?
72. От чего зависит значение и характер изменения апериодической составляющей тока КЗ?
73. Перечислите способы ограничения токов КЗ.
74. Какая точка на расчетной схеме электроустановки выбирается в качестве расчетной?
75. Перечислите факторы, определяющие конструктивное исполнение подстанций.
76. Перечислите факторы определяющие расположение подстанций;
77. Опишите конструктивное исполнение и особенности размещения КТП 6-10 кВ

78. Из каких элементов состоит шинопровод?

79. Каковы главные преимущества использования шинопроводов?

80. Как работает шинопровод?

81. Имеют ли шинопроводы степени защиты IP?

Повышенный уровень

1. Для каких расчетов определяется средняя, среднеквадратическая, расчетная и пиковая нагрузка?
2. Какие Вы знаете способы определения эффективного числа электроприемников?
3. Как учитываются однофазные ЭП при расчете нагрузок?
4. Как рассчитывается групповое значение коэффициента использования?
5. Чему равно значение коэффициента мощности для крановых электродвигателей с фазовым ротором?
6. Чему равна постоянная времени нагрева для различных элементов системы электроснабжения?
7. От чего зависит расчетный коэффициент для определения нагрузки группы электроприемников?
8. По каким признакам формируются характерные группы электроприемников?
9. Какие допускаются потери напряжения в КЛ из СПЭ?
10. От каких параметров зависит выбор схемы сети 0,38 кВ?
11. От каких факторов зависит значение поправочного коэффициента, учитывающего реальные условия охлаждения проводника?
12. С учетом каких условий выбираются сечения распределительных линий, питающих асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором во взрывоопасных зонах?
13. Как проверить выбранные по допустимому нагреву сечения кабельных линий по потере напряжения?
14. Как зависят сопротивления и проводимости трансформаторов от их номинальной мощности?

15. Что характеризует относительное значение индуктивного (полного) сопротивления трансформатора?
16. Сколько режимов целесообразно рассмотреть при определении потерь холостого хода трансформаторов?
17. Допускается ли потери мощности XX определять с учетом технического состояния и срока службы трансформатора?
18. В каких местах электрической сети целесообразна установка КУ?
19. Какие схемы используются для включения конденсаторов в сеть?
20. Какими коммутационными аппаратами подключаются КУ?
21. Как регулируется мощность батарей конденсаторов?
22. Каковы основные принципы размещения КУ в системах электроснабжения промышленных предприятий?
23. Как обозначаются шинопроводы на электрических схемах?
24. Каким образом оформляется схема освещения территории?
25. Как обозначается на принципиальной схеме щит освещения?
26. В чем заключается различие приведенных и дисконтированных затрат?
27. Как влияет выбор значений расчетного периода и нормы дисконта на дисконтированные затраты элементов СЭС?
28. Сформулируйте принципы составления математических зависимостей затрат на этапе ТЭО и принятые допущения?
29. Почему при увеличении мощности трансформаторов ТП уменьшается оптимальная степень КРМ на НН?
30. На основании каких документов принимается стоимость потерь электроэнергии на различных уровнях напряжения?
31. Перечислите факторы, определяющие расположение подстанций в цехах.
32. При каких условиях обеспечивается надежная селективность последовательно включенных предохранителей?
33. Какие виды проверок по условиям КЗ применяются в

электроустановках напряжением до 1кВ?

34. Какое время принимается в качестве расчетной продолжительности КЗ при проверке электрических аппаратов и проводников на термическую стойкость при КЗ?
35. Какие средства защиты применяют от однофазных замыканий на стороне низкого напряжения?
36. Какие защиты используются для защиты синхронных и асинхронных электродвигателей?
37. С какой целью применяется устройство АВР?
38. От каких факторов зависит значение потерь напряжения в шинопроводах?
39. Как проверить выбранные сечения шинопроводов по термической и электродинамической стойкости?
40. От каких факторов зависят места заземления экранов?
41. Чему равно приведенное время КЗ?
42. Как изменяется допустимая плотность тока в зависимости от площади сечения проводника?
43. В каких сетях и почему выбор проводников линий производят по допустимой потере напряжения?
44. Какие условия принимаются при составлении расчетной схемы электроустановок напряжением до 1 кВ?
45. Из какого условия при расчете токов КЗ допускается исходить при питании электрической сети напряжением до 1 кВ через понижающий трансформатор?
46. Почему в сетях до 1 кВ рассчитывается наименьший из токов однофазного КЗ?
47. Приведите назначение и классификацию КТП
48. Опишите конструкции выкатных и стационарных КРУ.
49. Во сколько раз отличается стоимость шинопроводов по сравнению с традиционными системами распределения электроэнергии?

50. Каковы преимущества использования алюминиевых проводников вместо медных?

4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Большая часть самостоятельной работы студента состоит в **изучении литературы**. Одна из задач студента – научиться самостоятельно работать с книгой, а это требует определенных затрат энергии и времени. Поэтому надо научиться делать эту работу рационально, то есть необходимо учиться читать.

Как работать с учебной и научной книгой

Методы эффективной работы с книгой в целях развития интеллекта можно условно разделить на две группы:

1. Правильная организация процесса чтения
2. Повышение скорости чтения и восприятия.

В комплексе оба метода могут в 2-3 раза сократить время прочтения различных материалов.

При чтении текста мозг формирует «свою трактовку содержания» прочитанного. Происходит перекодирование сообщения на языке собственных мыслей читателя. Мозг выделяет «ядерное», сущностное значение из текста. Эффективность такой перекодировки зависит от осмысления и внимательности чтения.

Как показали эксперименты, знание и умелое применение некоторых упражнений дают возможность извлекать «ядерное» значение в тексте быстро и надежно. Эти упражнения основаны на использовании дифференциального алгоритма чтения. Центральное место в этом алгоритме занимает «блок доминанта». Это слово в переводе с латинского языка означает «господствующий, основной, главный». Что же такое доминанта применительно к тексту?

Доминанта – главная смысловая часть текста. Она выражается своими словами, на языке собственных мыслей, является результатом переработки текста, его осмысления в соответствии с индивидуальными особенностями читателя, выявления основного замысла автора.

Дифференциальный алгоритм чтения в соответствии с блоками позволяет реализовать логико-семантический анализ текста: вначале выделить ключевые слова, затем построить смысловые ряды и, наконец, выделив цепь знаний, сформулировать доминанту. Именно так и только так (по О.А. Андрееву) можно увидеть главное, действительно, проникнуть в суть вещей, явлений, излагаемых автором.

Возможны три основных способа чтения.

- Первый способ – артикуляция или проговаривание вслух (или почти вслух) того, что читаешь. Скорость такого чтения невелика.
- Второй способ – чтение про себя, при котором речевой процесс проявлен в форме внутренней речи, то есть без открытой артикуляции. Текст, при этом усваивается более эффективно. Способ в принципе допускает быстрое чтение.
- Третий, наиболее совершенный способ чтения – тоже молча, но в условиях максимального сжатия внутренней речи, при котором она проявляется в виде коротких залпов ключевых слов и смысловых рядов, адекватно отражающих смысл текста.

Итак, артикуляция замедляет процесс чтения и от нее необходимо избавиться. Однако не приведет ли сокращение артикуляции при повышении скорости чтения к снижению качества восприятия и осмысления полученной информации?

Как показали исследования психологов, иногда при чтении слова могут быть заменены наглядными представлениями, пространственными схемами. Целые группы слов – одним словом.

Быстро читающие люди обладают способностью, не проговаривая читаемый текст, сразу улавливать и фиксировать замысел автора, а затем усваивать его на уровне внутренней речи. В этом случае, несмотря на высокую скорость чтения, происходит глубокое понимание и усвоение прочитанного, так как основная идея понятна с самого начала. Задачу научиться такому чтению можно решать в два этапа. Первый предполагает сокращение артикуляции, если она ярко выражена, второй – овладение приемами чтения, при которых текст воспринимается крупными информационными блоками.

Перед углубленным чтением любого текста (статьи, книги, конспекта, лекции перед экзаменом) сначала бегло просмотрите его целиком. При этом постарайтесь выявить основные стержневые идеи, наиболее крупные части и логику их изложения. Лишь после такого просмотра переходите к более детальному чтению.

Перед чтением статьи или параграфа учебника попробуйте проделать следующее: прочитайте внимательно первый абзац, потом бегло просмотрите первые или последние фразы следующих абзацев (в них обычно содержится основная информация), обратите внимание на курсивы, разрядки, подзаголовочный текст и, наконец, внимательно прочтите один-два последних абзаца; постарайтесь выявить основное направление текста и его построение.

Прочитав в тексте интересную идею, полезно остановить свое внимание на ней, прислушаться к тем мыслям, которые она у вас вызвала, подумать о тех последствиях, которые из нее вытекают, попытаться развивать ее дальше.

Существенно замедляют чтение регрессии – частые возвратные движения глаз, многократное повторное прочитывание материала. Возвратиться к уже прочитанному, но недостаточно хорошо понятому участку лучше всего, когда прочитан законченный смысловой фрагмент

текста и сделана хотя бы попытка его осмысления, а не в процессе чтения предложения.

Любой текст не однороден по своей информационной насыщенности. В некоторых предложениях, абзацах сконцентрировано очень много информации, например, формулируются основные положения, ведущие идеи и т.д., а другие служат лишь иллюстрацией, фоном. Таким образом, текст имеет «смысловой рельеф». Чем точнее читатель умеет определить степень важности каждого отрезка текста и приспособить к «смысловому барьеру» способ своего чтения (то есть замедлить и углубить в более важных местах и ускорять в менее важных), тем продуктивнее чтение. Постарайтесь гибко варьировать способ работы с текстом в соответствии с его «смысловым барьером».

Чтобы чтение было эффективным, попробуйте по прочитанному всегда отвечать на 6 вопросов: *«Кто делает? Что делает? Когда? Почему? Где? Как?»*

Формы ведения записей

Самостоятельная работа с книгой может быть успешной, если текст не только прочитан, но и законспектирован. Существует несколько **форм записей**, но любая форма записи не даст нужного результата, если не будет пробуждать мысли того, кто ее ведет, если отсутствует активная работа ума и формирование своих выводов из прочитанного.

Выбор формы записи зависит от индивидуальных особенностей человека, его образованности и опыта. При этом не меньшую роль играет назначение записей, то есть то, какие задачи ставит перед собой человек (для самообразования, для выступления на семинаре, для использования в будущем).

Введение записей мобилизует наряду со зрительной памятью, также и моторную память. Кроме того, у человека, систематически ведущего записи изучаемой литературы, создается свой фонд материалов для быстрого повторения и мобилизации накопленных знаний.

Все записи должны быть убористыми и компактными. Интервалы между строками должны быть достаточными, чтобы вписывать дополнения. Рекомендуется вести записи ручкой, а карандашом или ручкой другого цвета пользоваться для отметок и выделений при последующей работе. Полезно также датировать записи.

Записи могут носить различный характер: план, выписки, тезисы, аннотирование, конспектирование, реферирование.

1. План - наиболее краткая формой записи. Это перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. План обычно раскрывает структуру произведения, логику автора, способствует лучшей ориентации в содержании.

Так, составленным планом можно воспользоваться, чтобы вспомнить прочитанное или быстро отыскать в книге нужное место. Представление об основных пунктах плана дает оглавление книги, поэтому во многих случаях наименования глав и разделов можно использовать в качестве пунктов. Составление плана приучает логически мыслить, вырабатывать умение сжато и последовательно излагать суть вопроса в письменной и устной форме.

Существует два способа составления плана: работа над ним по ходу чтения и составление плана после ознакомления с произведением. При этом план получается более последовательным и стройным.

Трудность составления плана состоит в том, что надо выяснить для себя, прежде всего, построение изучаемого текста, ход мыслей автора и лишь затем изложить содержание работы кратко и ясно. При всей своей краткости план дает представление о содержании прочитанного. Следует учесть, что форма плана не исключает цитирования отдельных мет и обобщений. Различают простой и развернутый план. В отличие от простого плана развернутый план не только содержит перечисление вопросов, но и раскрывает основные идей произведения, может включать выдержки из него, схемы, таблицы. Планом, особенно развернутым, необходимо пользоваться при написании выступления или статьи.

В целом развернутый план дает гораздо большее представление о произведении, его основных идеях, задачах, которые в нем решаются. Он может включать положения, замечания, собственные мысли студента.

Важно знать, что составление планов помогает вырабатывать способность к отвлеченному, абстрактному мышлению, но наибольшую пользу составление плана даст подготовленным лицам, которые бывают достаточно лишь взглянуть на перечень основных вопросов, чтобы воспроизвести содержание прочитанного.

2. Тезисы – более сложная и совершенная форма записи, чем составление плана.

Это сжатое изложение основных мыслей прочитанного произведения или подготовляемого вступления. Особенностью тезисов является их утвердительный характер.

В них сосредотачивается самое главное, только выводы и обобщения, в них меньше доказательств, иллюстрации и пояснений. Тезисы не должны повторять дословно текст, но в ряде мест могут быть близки к нему, воспроизводя некоторые характерные выражения автора, важные для понимания хода его мыслей. Составление тезисов помогает глубже понять основные идеи произведения, выделить главное в нем; приучают сжато, точно и четко сформулировать свои мысли, повышает культуру речи и письма. При составлении тезисов учитывают следующее. Прежде всего, если произведение небольшое, необходимо внимательно изучать его в целом, если большое – изучать по главам и разделам. Затем, когда будут ясны основные идеи, кратко и последовательно излагать их в виде пунктов.

Различают простые и сложные, развернутые тезисы. Если записывают только утверждение чего – либо, такой тезис называют простым, а сложным тезисом будет выражение главной мысли, содержащее, кроме утверждения, еще и краткое ее доказательство.

Часто тезисы формулируются самим автором как выводы и обобщения в заключении книги или разделах книги. Нередко тезисы выделяются в тексте другим шрифтом.

Рекомендуется делать тезисные записи своими словами, причем можно записывать один абзац за другим, учитывая смысловую связь между ними. Но в большинстве случаев следует составлять сводный тезис, сложный по форме. При этом объединяется несколько утверждений, тесно связанных между собой.

Тезисы по содержанию очень близки к **конспекту**, но конспект носит более описательный характер, и его положения не столь категоричны, как в тезисах. Кроме того, конспект представляет собой более полную форму записи.

Следует отметить, что различие между формами записей условно, но в любой форме запись – важнейшая часть самостоятельной работы с книгой.

3. Выписки. Это записи текста из книги: теоретических положений, статистических данных, имеющих по мнению читателя важное значение.

Достоинство выписок состоит в точности воспроизведения текста книги, удобстве пользования записями при последующей работе, в накоплении обобщений и фактического материала. Выписки полезны для повторения, освежения в памяти прочитанного, для быстрой мобилизации своих знаний, когда необходимо в короткий срок вспомнить материал. Выписки выделяют из текста самое главное и тем самым помогают глубже понять его. Без них трудно обойтись при подготовке доклада, реферата, выступления. Выписки следует рассматривать как составную часть тезисов и конспектов.

Выписывать текст можно и по ходу чтения и после его завершения. В последнем случае надо замечать места, которые потом будут выписаны. Необходимо каждую выписку снабжать ссылкой на источник с указанием соответствующей страницы. Это нужно, чтобы в последствии можно было быстро найти в книге соответствующее место. Целесообразно выписывать из

текста только такие места, в которых содержится самое главное, суть вопроса. Выписки должны быть ориентированы на изучение произведения в целом, а не отдельных мест, поскольку положения, вырванные из общего контакта, понимаются нередко совсем не так, как этого хотел автор. Иначе говоря, отдельно взятые, лишенные пояснений выдержки могут быть не поняты или поняты неправильно.

Выписки бывают дословные (цитаты) и «свободные», когда мысли автора излагаются своими словами. Следует учесть, что большие отрывки, которые трудно цитировать, целесообразнее в краткой форме переложить своими словами, но «яркие» и важные места лучше выписывать дословно. Каждую цитату следует заключать в кавычки. Если ее берут из середины предложения, то после вводных кавычек ставят три точки. Ставят их и в конце цитаты, если из предложения опущены последние слова.

Следует знать, что какого-либо единого метода выписок, годного для всех случаев, не существует, поскольку у каждого человека свои особенности мышления и восприятия, свой подход к теме. Все это влияет на содержание и характер выписок.

Выписки рекомендуется хранить в картотеке, конвертах или папках, на которых следует обозначить общую тему.

4. Аннотация – еще одна форма записи, являющаяся кратким обобщением содержания книги. Ею удобно пользоваться, если имеется намерение вернуться к изучаемому произведению. Аннотация может быть необходима и для того, чтобы не забыть о нем.

Для составления аннотации надо сначала полностью прочитать и глубоко продумать произведение. При всей своей краткости аннотация может содержать отдельные фрагменты авторского текста, а не только оценку книги или статьи.

5. Резюме очень близко к аннотации. Это запись, являющаяся краткой оценкой прочитанного материала. Различие между ними состоит в том, что

аннотация сжато характеризует произведение в целом, а резюме концентрирует внимание на его выводах, главных итогах.

6. Конспект – наиболее совершенная и наиболее сложная форма записи. Слово «конспект» происходит от латинского «*conspectus*», что означает «обзор, изложение». В правильно составленном конспекте обычно выделено самое основное в изучаемом тексте, сосредоточено внимание на наиболее существенном, в кратких и четких формулировках обобщены важные теоретические положения.

Конспект представляет собой относительно подробное, последовательное изложение содержания прочитанного. На первых порах целесообразно в записях ближе держаться тексту, прибегая зачастую к прямому цитированию автора. В дальнейшем, по мере выработки навыков конспектирования, записи будут носить более свободный и сжатый характер.

Конспект книги обычно ведется в тетради. В самом начале конспекта указывается фамилия автора, полное название произведения, издательство, год и место издания. При цитировании обязательная ссылка на страницу книги. Если цитата взята из собрания сочинений, то необходимо указать соответствующий том. Следует помнить, что четкая ссылка на источник – неременное правило конспектирования. Если конспектируется статья, то указывается, где и когда она была напечатана.

Конспект подразделяется на части в соответствии с заранее продуманным планом. Пункты плана записываются в тексте или на полях конспекта. Писать его рекомендуется четко и разборчиво, так как небрежная запись с течением времени становится малопонятной для ее автора. Существует правило: конспект, составленный для себя, должен быть по возможности написан так, чтобы его легко прочитал, и кто-либо другой.

Формы конспекта могут быть разными и зависят от его целевого назначения (изучение материала в целом или под определенным углом зрения, подготовка к докладу, выступлению на занятии и т.д.), а также от характера произведения (монография, статья, документ и т.п.). Если речь

идет просто об изложении содержания работы, текст конспекта может быть сплошным, с выделением особо важных положений подчеркиванием или различными значками.

В случае, когда не ограничиваются переложением содержания, а фиксируют в конспекте и свои собственные суждения по данному вопросу или дополняют конспект соответствующими материалами их других источников, следует отводить место для такого рода записей. Рекомендуется разделить страницы тетради пополам по вертикали и в левой части вести конспект произведения, а в правой свои дополнительные записи, совмещая их по содержанию.

Конспектирование в большей мере, чем другие виды записей, помогает вырабатывать навыки правильного изложения в письменной форме важные теоретических и практических вопросов, умение четко их формулировать и ясно излагать своими словами.

Таким образом, составление конспекта требует вдумчивой работы, затраты времени и труда. Зато во время конспектирования приобретаются знания, создается фонд записей.

Конспект может быть текстуальным или тематическим. В **текстуальном конспекте** сохраняется логика и структура изучаемого произведения, а запись ведется в соответствии с расположением материала в книге. За основу тематического конспекта берется не план произведения, а содержание какой-либо темы или проблемы.

Текстуальный конспект желательно начинать после того, как вся книга прочитана и продумана, но это, к сожалению, не всегда возможно. В первую очередь необходимо составить план произведения письменно или мысленно, поскольку в соответствии с этим планом строится дальнейшая работа. Конспект включает в себя тезисы, которые составляют его основу. Но, в отличие от тезисов, конспект содержит краткую запись не только выводов, но и доказательств, вплоть до фактического материала. Иначе говоря,

конспект – это расширенные тезисы, дополненные рассуждениями и доказательствами, мыслями и соображениями составителя записи.

Как правило, конспект включает в себя и выписки, но в него могут войти отдельные места, цитируемые дословно, а также факты, примеры, цифры, таблицы и схемы, взятые из книги. Следует помнить, что работа над конспектом только тогда будет творческой, когда она не ограничена текстом изучаемого произведения. Нужно дополнять конспект данными из других источников.

В конспекте необходимо выделять отдельные места текста в зависимости от их значимости. Можно пользоваться различными способами: подчеркиваниями, вопросительными и восклицательными знаками, репликами, краткими оценками, писать на полях своих конспектов слова: «важно», «очень важно», «верно», «характерно».

В конспект могут помещаться диаграммы, схемы, таблицы, которые придадут ему наглядность.

Составлению **тематического конспекта** предшествует тщательное изучение всей литературы, подобранной для раскрытия данной темы. Бывает, что какая-либо тема рассматривается в нескольких главах или в разных местах книги. А в конспекте весь материал, относящийся к теме, будет сосредоточен в одном месте. В плане конспекта рекомендуется делать пометки, к каким источникам (вплоть до страницы) придется обратиться для раскрытия вопросов. Тематический конспект составляется обычно для того, чтобы глубже изучить определенный вопрос, подготовиться к докладу, лекции или выступлению на семинарском занятии. Такой конспект по содержанию приближается к реферату, докладу по избранной теме, особенно если включает и собственный вклад в изучение проблемы.

Следующим методом самостоятельной работы с книгой является **реферирование** на определенную тему. Слово реферат употребляется в двух различных значениях:

1. Краткое изложение содержания книги, научной работы;

2. Доклад за заданную тему на основе критического образа литературных источников.

7. Реферат – это один из самых сложных видов самостоятельной работы с книгой, а для этого следует овладеть более простыми приемами работы – разработкой плана, составлением тезисов и конспектов. Подготовка реферата и выступление с его изложением углубляет знания, расширяет кругозор, приучает логически, творчески мыслить, развивать культуру речи.

При просмотре литературы намечается ориентировочный план реферата, в который включается обычно 3-4 основных вопроса или раздела. Каждом из разделов формулируются подвопросы, помогающие последовательно раскрыть содержание проблемы.

В процессе изучения материала формулировки подвопросов и разделов обычно уточняются. При реферировании следует делать выписки, записывать мысли, возникающие при чтении; следует также точно записывать и определения тех понятий, которые будут использованы в реферате. Из прочитанной литературы нужно заимствовать не буквальный текст, а важнейшие мысли, идеи, теоретические положения; можно цитировать небольшие отрывки, приводить диаграммы, схемы, чертежи, но главное – высказывать собственные соображения по вопросам реферата. Приведенные выше советы следует рассматривать как примерные, предполагающие и другие подходы, поскольку у каждого человека вырабатываются свои приемы и навыки составления рефератов. Большую помощь в работе над рефератом оказывают предисловия к монографиям и сборникам. В них можно найти сведения о цели издания, а также о существующих пробелах в исследовании.

При разработке плана реферата важно учитывать, чтобы каждый его пункт раскрывал одну из сторон избранной темы, а все пункты в совокупности охватывали тему целиком. Различают несколько композиционных решений реферата: во-первых, хронологическое, когда тема раскрывается в исторической последовательности; во-вторых, описательное,

при котором тема расчленяется на составные части, в целом раскрывающие определенное явление; в-третьих, аналитическое, когда тема исследуется в ее причинно-следственных связях и взаимозависимых проблемах. Важно следить за тем, чтобы каждый пункт плана был соотнесен с главной темой и не содержал повторения в других пунктах. Важными разделами реферата является вступление и заключение. Во вступлении надо обосновать актуальность темы, обозначить круг составляющих ее проблем, четко и кратко определить задачу своей работы. В заключении делаются краткие выводы, подводятся итоги. В конце реферата должен быть приложен список литературы.

В отличие от тематического конспекта реферат требует большей творческой активности, самостоятельности в обобщении изученной литературы, умения логически стройно изложить материал, оценить различные точки зрения на исследуемую проблему и высказать о ней собственное мнение. В реферате важно связать теоретические положения с практикой.

Итак, реферат – это самостоятельное произведение автора, которое должно свидетельствовать о знании литературы по данной теме, ее основной проблематике, отражать точку зрения автора реферата на эту проблематику, его умение осмысливать явления жизни на основе теоретических знаний.

При оценке реферата обычно руководствуются следующими критериями:

1. Удалось ли его автору раскрыть сущность данной проблемы;
2. Сумел ли автор показать связь рассматриваемой проблемы с жизнью;
3. Проявил ли автор самостоятельность и творческий подход в изложении реферата;
4. Можно ли считать реферат логически стройным и т.д.

5. Методические указания по подготовке к практическим занятиям

Семинарские занятия проводятся в форме дискуссии, на которых проходит обсуждение конкретных практических ситуаций. Обсуждения направлены на освоение научных основ, эффективных методов и приемов решения конкретных практических задач, на развитие способностей к творческому использованию получаемых знаний и навыков. Основная цель проведения семинара заключается в закреплении знаний полученных в ходе прослушивания лекционного материала. Семинар проводится в форме устного опроса студентов по вопросам семинарских занятий, а также в виде решения практических задач или моделирования практической ситуации. В ходе подготовки к семинару студенту следует просмотреть материалы лекции, а затем начать изучение учебной литературы. Следует знать, что освещение того или иного вопроса в литературе часто является личным мнением автора, построенного на анализе различных источников, поэтому следует не ограничиваться одним учебником или монографией, а рассмотреть, как можно больше материала по интересующей теме.

В ходе самостоятельной работы студенту необходимо отслеживать научные статьи в специализированных изданиях.

Студенту рекомендуется следующая схема подготовки к семинарскому занятию:

1. Проработать конспект лекций;
2. Прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную по изучаемому разделу;
3. Ответить на вопросы плана семинарского занятия;
4. Выполнить домашнее задание;
5. Проработать тестовые задания и задачи;
6. При затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю.

При подготовке к семинарским занятиям следует руководствоваться указаниями и рекомендациями преподавателя, использовать основную литературу из представленного им списка. Для наиболее глубокого освоения дисциплины рекомендуется изучать литературу, обозначенную как «дополнительная» в представленном списке. При подготовке доклада на семинарское занятие желательно заранее обсудить с преподавателем перечень используемой литературы, за день до семинарского занятия предупредить о необходимых для предоставления материала технических средствах, напечатанный текст доклада предоставить преподавателю.

Цели практических занятий по дисциплине «Цеховое электроснабжение»:

1. закрепление теоретического материала путем систематического контроля за самостоятельной работой студентов;
2. формирование умений использования теоретических знаний в процессе выполнения лабораторных работ;
3. развитие аналитического мышления путем обобщения результатов лабораторных работ;
4. формирование навыков оформления результатов практических работ в виде таблиц, графиков, выводов.

6. Методические указания по подготовке к собеседованию

Готовиться к собеседованию необходимо в течение всего учебного времени, т.е. с первого дня очередного семестра: вся работа студента на лекциях, семинарских занятиях, консультациях. Подготовка к сессии должна быть нацелена не столько на приобретение новых знаний, сколько на закрепление ранее изученного материала и повторение его. Сумму полученных знаний студенту перед сессией надо разумно обобщить, привести в систему, закрепить в памяти, для чего ему надо использовать учебники, лекции, консультации, курсовые работы, рефераты и т.п., а также

методические пособия и различного рода руководства. Повторение необходимо производить по разделам, темам.

Методика подготовки к сдаче зачету состоит из двух взаимосвязанных этапов.

1. Регулярное посещение всех учебных занятий в течение всего семестра: лекций, семинарских занятий, консультаций и т.п., а также активное изучение рекомендованной литературы, отработка (в случае необходимости) в установленные сроки всех пропущенных учебных занятий.

2. Непосредственная подготовка к зачету, когда студенту нужно в короткий срок (2-4 дня) охватить весь изученный материал по предмету и успешно сдать зачет. А для того, чтобы это успешно сделать, студент, в первую очередь, должен мысленно в спокойной обстановке вспомнить весь материал, изученный за семестр, с тем, чтобы выявить разделы курса (предмета) слабо изученные или плохо понятые при первоначальном изучении с целью устранения пробелов в своих знаниях. Для успешной подготовки к зачету студенту необходимо составить себе своеобразный рабочий график, в котором отразился бы последовательный переход от темы к теме, от раздела к разделу. Во время подготовки к зачету могут появиться вопросы. Их нужно записать и получить ответ на консультациях.

Иногда преподаватель делает сжатый обзор важнейших тем курса, отмечает те вопросы, на которые студенты, ранее сдававшие зачет, отвечали плохо. Во время подготовки к зачету студенту необходимо просмотреть и собственные конспекты прослушанных лекций и самостоятельно проработанных тем семинарских занятий. Это позволит ему восстановить в памяти ранее изученные положения, выявить пробелы в своих знаниях и восполнить их из других источников. Значение консультаций очень велико. Они призваны: 1) помочь устранить пробелы в знаниях; 2) помочь систематизировать весь ранее изученный материал; 3) информировать студентов о новейших сведениях по тому предмету, который изучен последним.

Собеседование проводится в форме устного опроса.

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Лыкин, А. В. Математическое моделирование электрических систем и их элементов : Учебное пособие / Лыкин А. В. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. – 227 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-7782-2262-5
2. Стрельников, Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий / Н.А. Стрельников. - Новосибирск : НГТУ, 2013. - 100 с. - ISBN 978-5-7782-2193-2,
3. Сибикин, Ю. Д. Основы электроснабжения объектов / Ю.Д. Сибикин. - М.|Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 328 с. - ISBN 978-5-4458-5750-1

Дополнительная литература

1. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – Москва : РадиоСофт, 2014. – 328 с. : ил. ; 21. – Библиогр.: с. 326-327. – ISBN 978-5-93037-208-3
2. Справочник по проектированию электрических сетей / [И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро] ; под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с. : ил. – Библиогр.: с. 370-373. – ISBN 978-5-4248-0049-8
3. Шлейников, В. Б. Электроснабжение промышленных предприятий : практикум : учебное пособие / В.Б. Шлейников ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» ; Кафедра электроснабжения промышленных предприятий, 1. – Оренбург : ОГУ, 2012. – 99 с. : табл., схем. – <http://biblioclub.ru/>. – Библиогр.: с. 97.