

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

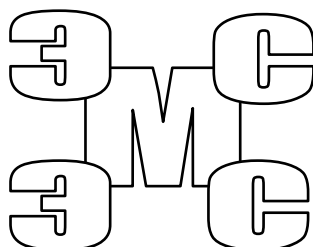
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра электромеханических систем и электроснабжения

210-2021

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям и курсовому проектированию по дисциплинам
«Проектирование систем электроснабжения» для студентов направления
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль
«Электроснабжение») и «Проектирование систем электроснабжения
сооружений» направления 35.03.06 Агроинженерия («Электроснабжение и
электрооборудование сельскохозяйственных предприятий») всех форм
обучения



Воронеж 2021

УДК 620.9

Составители:

канд. техн. наук А.В. Тикунов
Т.Е. Черных,

Методические указания к практическим занятиям и курсовому проектированию по дисциплинам «Проектирование систем электроснабжения» для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение») и «Проектирование систем электроснабжения сооружений» направления 35.03.06 Агроинженерия («Электроснабжение и электрооборудование сельскохозяйственных предприятий») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.В. Тикунов, Т.Е. Черных. Воронеж: Изд-во ВГТУ. 2021, 26 с.

Основной целью методических указаний является получение обучающимися практических навыков разработки и расчета систем электроснабжения.

Предназначены для проведения практических занятий, а также выполнения курсового проекта по дисциплинам «Проектирование систем электроснабжения» и «Проектирование систем электроснабжения сооружений» учащимися всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле «Практикум ПСЭ.pdf».

Ил. 3. Табл. 5. Библиогр.: 6 назв.

УДК 620.9

Рецензент – Н.В. Ситников, канд. техн. наук, доц.
доцент кафедры электромеханических систем
и электроснабжения Воронежского государственного
технического университета

*Издается по решению учебно-методического совета
Воронежского государственного технического университета*

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ	4
ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	5
1 Систематизация и анализ потребителей электрической энергии	7
2 Разработка структурной схемы системы электроснабжения	9
3 Определение расчетной электрической нагрузки	11
4 Определение расчетных токов в линиях	15
5 Выбор силового электрооборудования напряжением до 1000 В	16
5.1 Выбор и проверка комплектных шинопроводов	16
5.2 Выбор сечений силовых линий	17
5.3 Выбор силовых распределительных пунктов	18
5.4 Проверка сечений на соответствие выбранному аппарату защиты	19
5.5 Выбор защитной аппаратуры	22
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	25
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	26

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены в соответствии с рабочей программой дисциплин «Проектирование систем электроснабжения» для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение») и «Проектирование систем электроснабжения сооружений» направления 35.03.06 Агроинженерия («Электроснабжение и электрооборудование сельскохозяйственных предприятий») всех форм обучения.

Цель практических работ – закрепление теоретического материала, полученного на лекционных занятиях, а также получение навыков инженерных разработки систем электроснабжения на примере цеха промышленного предприятия.

Цель курсового проектирования – закрепление и расширение знаний, полученных на лекционных и практических занятиях по принципам разработки систем электроснабжения, методике их расчета, а также развитие навыков самостоятельной работы и умений использования специальной технической литературы.

В результате выполнения практических работ и курсового проектирования студент должен:

Уметь:

- разрабатывать структурные схемы систем электроснабжения различных объектов;
- выполнять расчеты систем электроснабжения;
- выполнять выбор структурных элементов систем электроснабжения .

Владеть:

- методами расчета, необходимыми для решения задач проектирования систем электроснабжения.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Перед выполнением практических работ обучающийся должен строго выполнить весь объем домашней подготовки; знать, что выполнению каждой работы предшествует проверка готовности студента.

При выполнении работ студент должен самостоятельно изучить методические рекомендации по проведению конкретной работы; выполнить соответствующие расчеты; пользоваться справочной и технической литературой; подготовить ответы на контрольные вопросы.

Изучая теоретическое обоснование, студент должен иметь в виду, что основной целью изучения теории является умение применить ее на практике для решения практических задач.

При решении задач рекомендуется сначала наметить ход решения. В случае простых задач рекомендуется сначала найти решение в общем виде, лишь в конце поставив числовые значения. В случае задач с большим вычислением рекомендуется после того, как намечен ход решения, подставлять числовые значения и проводить вычисления в промежуточных формулах.

После выполнения работы студент должен представить отчет о проделанной работе с полученными результатами.

Все схемы и рисунки, сопровождающие выполнение практических работ выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ.

Аттестация по дисциплине проводится с учетом выполнения каждой практической работы. При отсутствии студента по неуважительной причине студент выполняет работу самостоятельно, в свое личное время и защищает на консультации по указанию преподавателя.

Неаккуратное выполнение практической работы, несоблюдение принятых правил и плохое оформление чертежей и схем могут послужить причиной возвращения работы для доработки.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект выполняется в соответствии с индивидуальным заданием, выданным преподавателем. Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части. Оформление курсового проекта должно соответствовать СТП ВГТУ и ЕСКД.

Расчетно-пояснительная записка (РПЗ) должна содержать все необходимые расчеты, а также поясняющие схемы и рисунки.

РПЗ должна быть выполнена в печатном виде на листах формата А4 по ГОСТ 9327 (210x297 мм). Текст следует набирать, соблюдая следующие размеры полей: правое — 10 мм; левое — 20 мм; верхнее — 20 мм; нижнее — 10 мм;

Набор текста в текстовом редакторе должен удовлетворять следующим требованиям: шрифт Times New Roman, кегль 14, цвет шрифта – черный, межстрочный интервал – 1,5. Текст должен быть отформатирован по ширине страницы с применением автоматического переноса слов, первая строка с абзацным отступом 1,25 см.

Страницы РПЗ следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту, включая приложения.

Номер страницы проставляют в центре нижней части страницы без точки.

Титульный лист включается в общую нумерацию страниц. Номер страницы на титульном листе не проставляют.

Наименования структурных элементов «СОДЕРЖАНИЕ», «ВВЕДЕНИЕ», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ», «СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ», «ПРИЛОЖЕНИЕ» служат заголовками этих структурных элементов. Заголовки структурных элементов

следует располагать по центру строки без точки в конце и печатать прописными буквами, не подчеркивая. Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно одной строке. Каждый структурный элемент КП следует начинать с новой страницы. Страница КП должна быть заполнена текстом не менее чем на 1/3 часть. Содержание включает все структурные элементы КП с указанием номеров страниц, с которых они начинаются.

Для основной части приводятся наименования всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование). Приложения указываются с их наименованием. Иллюстрации (чертежи, графики, диаграммы, схемы, фотоснимки, компьютерные распечатки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые или на следующей странице.

РПЗ содержит титульный лист, задание на курсовой проект, содержание, введение, основную часть, заключение, список литературы и чертежи, оформленные в виде приложений.

Основная часть работы содержит электромагнитный, тепловой и вентиляционный расчеты.

Графическая часть проекта состоит из сборочного чертежа спроектированного электродвигателя и спецификации к нему. Вся графическая документация должна быть выполнена в соответствии с требованиями ЕСКД.

1 Систематизация и анализ потребителей электрической энергии

Первым этапом проектирования системы электроснабжения любого объекта является систематизация и анализ электроприемников (ЭП) объекта. Реализуется этот процесс на основании данных задания на проектирование (паспортные данные электроприемника, назначение электроприемника, его место в технологическом процессе объекта).

По роду тока электроприемники электроэнергии делятся на группы, использующие:

- постоянный ток;
- переменный ток;
- импульсный ток.

По номинальному напряжению ЭП делятся на:

- приемники напряжением до 1000 В;
- приемники напряжением выше 1000 В.

Этот параметр играет важную роль при планировании безопасности системы электроснабжения. Номинальное напряжение определяет мощность установки преобразования электроэнергии.

По степени симметрии нагрузка ЭП электроэнергии может быть трехфазной симметричной (двигатели, трехфазные печи) и несимметричной однофазной или двухфазной, если ее не удастся распределить между фазами равномерно (освещение, однофазные сварочные трансформаторы).

По частоте ЭП делятся на группы, использующие:

- промышленную частоту (50 Гц);
- повышенную частоту (от 50 Гц до 10кГц);
- пониженную частоту (до 50 Гц);
- высокую частоту (более 10 кГц).

По виду графиков нагрузки электроприемники подразделяются на группы по сходству режимов работы:

– приемники, работающие в режиме продолжительно неизменной или мало меняющейся нагрузки. В этом режиме электрическая машина или аппарат могут работать продолжительное время без повышения установившейся температуры отдельных частей выше допустимой (электродвигатели насосов, вентиляторов, компрессоров и т.п.) (рис. 1.1, а);

– приемники, работающие в режиме кратковременной нагрузки. В этом режиме рабочий период электрической машины или аппарата не настолько длителен, чтобы температура отдельных частей могла достигнуть установившегося значения. Период остановки настолько длителен, что машина или аппарат практически успевают охладиться до температуры окружающей среды (электродвигатели электроприводов вспомогательных механизмов металлорежущих станков, гидравлических затворов и т.п.) (рис. 1.1, б);

– приемники, работающие в режиме повторно-кратковременной нагрузки. В этом режиме кратковременные периоды работы чередуются с кратковременными периодами отключения. Повторно-кратковременный режим работы характеризуется относительной продолжительностью включения (ПВ) и длительностью цикла $t_{ц}$. В таком режиме электрическая машина или аппарат могут работать с допустимой для них продолжительностью включения неограниченное время без повышения температуры отдельных частей выше допустимой (электродвигатели кранов, сварочные аппараты и т.п.) (рис. 1.1, в).

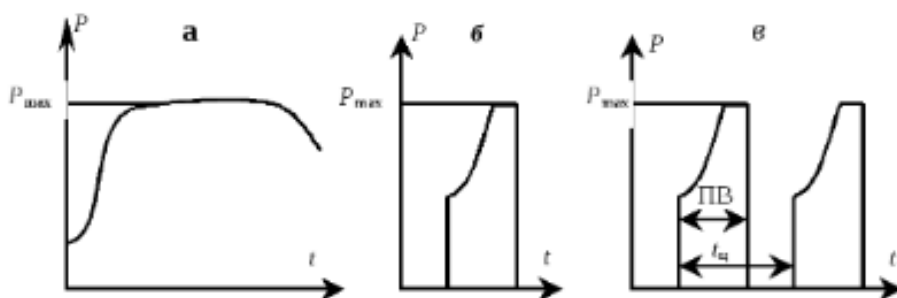


Рис. 1.1. Графики нагрузок:

а - продолжительно неизменный режим; б - кратковременный режим;
в - повторно-кратковременный режим

По надежности и бесперебойности питания потребители электроэнергии делятся на три категории.

1. Потребители первой категории—приемники, перерыв в электроснабжении которых может повлечь за собой опасность для жизни людей или большой материальный ущерб, связанный с повреждением оборудования, длительным расстройством сложного технологического процесса.

Особая группа потребителей – сверхответственные; для них обязателен независимый источник питания.

2. Потребители второй категории – приемники, перерыв в электроснабжении которых связан с существенным недоотпуском продукции, простоем людей и оборудования.

3. Потребители третьей категории – приемники, перерыв в электроснабжении которых может повлечь материальный ущерб, сопоставимый по величине со стоимостью сооружения резервных источников питания.

По величине пусковых токов различают ЭП с существенными и несущественными пусковыми токами.

Пусковые токи ЭП и их длительность следует считать существенными, когда их учет приводит к коррекции параметров элементов системы электроснабжения, выбранных по токам нормального режима, и несущественными, когда их учет не приводит к такой коррекции.

Существенными чаще всего оказываются пусковые токи асинхронных короткозамкнутых двигателей, превышающие номинальные в 4-7 раз и длящиеся от долей секунды до нескольких секунд. Существенными могут оказаться и регулируемые пусковые токи других двигателей и токи, возникающие в процессе зажигания разрядных ламп (1,5-2 номинальных в течение нескольких минут). Кроме того, значительными являются пусковые токи преобразователей.

Несущественными, благодаря малой длительности (несколько миллисекунд) и, несмотря на большую их кратность по отношению к номинальным токам, оказываются пусковые токи ламп накаливания (кратностью до 6), конденсаторных установок (кратностью до 20).

Установленная мощность является одной из важнейших характеристик ЭП и определяется как сумма номинальных мощностей однородных приемников. При этом следует учитывать, что у различных ЭП номинальная мощность понимается по-разному: а) у электродвигателей номинальная мощность равна мощности на валу при номинальной продолжительности включения; б) у электротехнологических установок – равна полной мощности, потребляемой из сети; в) у ламп накаливания номинальная и потребляемая мощности совпадают; г) у светильников с разрядными лампами номинальная мощность равна мощности ламп без учета потерь мощности в пускорегулирующих устройствах.

В связи с этим при определении установленной мощности ЭП номинальные мощности разнохарактерных потребителей суммируются только после приведения их к одинаковым условиям определения.

2 Разработка структурной схемы системы электроснабжения

После анализа электроприемников объекта необходимо разработать схему системы электроснабжения объекта на основании которой можно произвести расчет токов в каждой питающей линии, для последующего выбора токоведущих частей системы, а также коммутационных аппаратов.

Выбор правильной схемы электроснабжения - это один из главных вопросов, возникающих при организации системы распределения электроэнергии. Такая схема обязана служить обеспечению максимальной надежности питания электроприемников, а также она должна отвечать требованиям к сохранению технико-экономических показателей и удобству эксплуатации.

На данном этапе проектирования систему электроснабжения проще всего представить в виде структурной схемы, на которой показаны приемные пункты электроэнергии, устройства преобразования и распределения электрической энергии и приемники электрической энергии в виде прямоугольников, а линиями – электрические связи между ними.

При разработке схемы электроснабжения выбор зачастую стоит между двумя основными типами распределения - радиальным или магистральным. Но на практике возможны комбинированные способы, тогда возникает смешанная схема распределения.

Радиальное электроснабжение. При такой схеме питание каждого потребителя происходит по независимой линии. То есть напрямую от питающего узла, отдельно от других электроприемников. Получается, что такие линии лучами расходятся из единого центра, образуя на схеме радиусы. Отсюда и возникает название - радиальное электроснабжение.

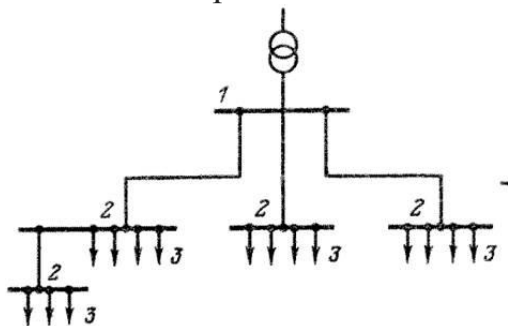


Рис. 2.1. Радиальная схема электроснабжения:

1 – распределительное устройство (ВРУ), 2 – силовой распределительный щит, 3 – потребители

Данный способ организации распределительной сети удобен тем, что потребители не оказывают взаимного влияния друг на друга. Выход из строя или помехи на одной из линий не отразятся на работе сети в целом или их влияние будет минимальным. Еще один плюс радиальной схемы распределения состоит в том, что все электроприемники могут быть равноудалены от источника питания. Это дает равномерное распределение нагрузки.

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.

Магистральное электроснабжение. Схема предусматривает передачу электрической энергии по одной или двум параллельным линиям. При этом потребители или распределительные пункты могут быть подсоединены к магистрали в различных ее точках. С экономической точки зрения такое

решение имеет много преимуществ. Как минимум, результатом является экономия проводов и прочих материалов.

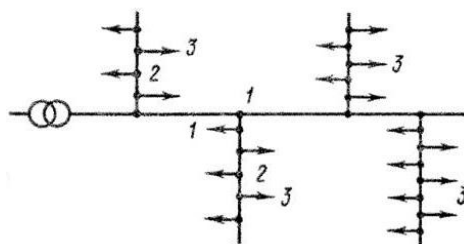


Рис. 2.2. Магистральная схема электроснабжения:

1 – магистральный шинопровод, 2 – распределительный шинопровод,
3 – потребители

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.

Наиболее актуальна магистральная схема распределения электроэнергии в отношении потребителей, которые расположены близко друг к другу и в одном направлении от ввода или распределительного пункта. Из минусов можно отметить низкую степень надежности, поскольку выход из строя магистрали приводит к отключению целого ряда потребителей. В связи с этим магистральное электроснабжение подходит только для питания потребителей второй и третьей категории надежности.

Также не стоит объединять в одну магистральную цепочку токоприемники разного технологического назначения. К примеру, электродвигатели станков совместно с нагревательными приборами или насосное оборудование совместно с осветительными приборами. То есть разные группы должны питаться от разных магистралей.

3 Определение расчетной электрической нагрузки

В случае, когда электроприемник (ЭП) подключается к источнику электрической энергии по отдельной питающей линии, то для расчета тока в линии используют номинальную (паспортную) мощность этого электроприемника.

Для ЭП, работающих в повторно-кратковременном режиме указанная в паспорте мощность должна быть приведена к номинальной мощности продолжительного режима $P_{ном}$ при ПВ = 100%:

$$P_{ном} = P_{насп} \sqrt{ПВ_{насп}}, \quad (3.1)$$

где $P_{насп}$ – паспортная мощность электроприемника, кВт; $ПВ_{насп}$ – паспортная продолжительность включения, отн.ед., (стандартный ряд значений ПВ: 15, 25, 40 и 60%).

Для сварочных машин и трансформаторов электрических печей, паспортная мощность которых указывается в кВА, номинальная активная мощность определяется:

$$P_{ном} = S_{насп} \cos \varphi_{насп} \sqrt{ПВ_{насп}}, \quad (3.2)$$

где $S_{насп}$ – паспортная мощность трансформатора; $\cos \varphi_{насп}$ и $ПВ_{насп}$ – паспортные значения коэффициента мощности и продолжительности включения.

Расчет электрических нагрузок узла системы электроснабжения (силового распределительного пункта, распределительного или магистрального шинпровода, секции шин) осуществляют по методу коэффициента расчетной активной мощности (K_p). Расчетная активная мощность (P_p) – это мощность, соответствующая такой неизменной токовой нагрузке (I_p), 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 $K_{и}$ 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 ($ПВ = 100 \%$).

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:

$$P_c = K_{и} P_{н}, \text{ кВт}, \quad (3.3)$$

$$Q_c = K_{и} P_{н} \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр}. \quad (3.4)$$

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

Групповой коэффициент использования узла питания определяется по формуле:

$$K_{и гр.} = \frac{\sum K_{и} P_{н}}{\sum P_{н}}. \quad (3.5)$$

Эффективное число ЭП рассчитывается по формуле:

$$n_э = \left(\sum_{i=1}^n p_{Hi} \right)^2 / \sum_{i=1}^n n p_{Hi}^2, \quad (3.6)$$

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; $\sum_{i=1}^n p_{Hi}$ – суммарная установленная мощность ЭП узла питания, кВт; p_{Hi} – номинальная (установленная) мощность i -го ЭП, кВт.

На практике при расчете эффективного числа электроприемников используют следующие рекомендации:

а) при $m = \frac{P_{ном.макс}}{P_{ном.мин}} > 3$ $K_{и.ср} \geq 2$ $n_э$ может быть определено по формуле:

$$n_э = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{ном}}{P_{ном.макс}}, \quad (3.7)$$

где $P_{ном.макс}$, $P_{ном.мин}$ – номинальные активные мощности наибольшего и наименьшего электроприемников в группе;

б) при $m > 3$ и $K_{и.ср} < 2$ эффективное число ЭП определяется с помощью кривых или таблицы;

в) при $m \leq 3$ и любом значении $K_{и.ср}$ допускается принимать $n_э = n$, где n – исходное число ЭП. При определении величины $n_э$ могут быть исключены из расчета те наименьшие ЭП группы, суммарная номинальная мощность которых не превышает 5% суммарной мощности всей группы (при этом число исключенных ЭП не учитывается также и в величине n).

Найденное по формулам (3.6) или (3.7) $n_э$ округляется до ближайшего меньшего целого числа.

Максимальные расчетные активная (P_m) и реактивная (Q_m) мощности группы приемников с переменным графиком нагрузки определяются из выражений:

$$\begin{aligned} P_m &= K_m P_{см}; \\ Q_m &= Q_{см} \quad \text{при } n_э > 10 \\ Q_m &= 1.1 Q_{см} \quad \text{при } n_э \leq 10 \end{aligned} \quad (3.8)$$

Примечание. Величина K_m находится по кривым $K_m = f(n_э)$ для различных средневзвешенных значений коэффициента использования $K_{и.ср}$ или по таблице [2].

Для ЭП с практически постоянным графиком нагрузки расчетная активная нагрузка принимается равной средней мощности за наиболее загруженную смену $P_m = P_{см}$.

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по установленной мощности и коэффициенту спроса:

$$P_{p.o.} = P_{н.о.} K_{co} \quad (3.9)$$

K_{co} принимается по справочным данным [2]. Величина $P_{но}$ находится как:

$$P_{н.о.} = P_{уд.о.} \cdot F, \quad (3.10)$$

где $P_{о уд.}$ - удельная плотность осветительной нагрузки, Вт/м² (принимается по справочным материалам [2]).

$P_{о уд.}$

F – площадь цеха, м² (определяется по генплану).

Полная расчетная нагрузка цеха (с учетом освещения) определяется:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o.})^2 + Q_p^2} \quad (3.11)$$

Для удобства полученные результаты расчета целесообразно представлять в табличной форме (таблица 3.1).

Таблица 3.1

№ п/п	Наименование узлов питания и групп электроприемников	Количество ЭП n	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100 %		$m = P_{н.макс} / P_{н.мин}$	Коэффициент использования $K_{и}$	$\cos\varphi / \operatorname{tg}\varphi$	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число электроприемников $N_{э}$	Коэффициент максимума K_m	Максимальная нагрузка			Расчетные токи
			одного ЭП (наименьшего, наибольшего) P_n , кВт	общая P_n , кВт				$P_{см} = K_{и} P_m$, кВт	$Q_{см} = P_{см} \operatorname{tg}\varphi_{см}$, кВар			$P_m = K_m P_{см}$, кВт	$Q_m = Q_{см}$ при $\rho > 10$, $Q_m = 1,1 Q_{см}$ при $\rho \leq 10$, кВар	$S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}$, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Приемники группы А															
1	Металлообрабатывающие станки	74	0,6-33,3	416,4	55,5	0,14	0,5/1,73	58,3	100,8						
2	Кран-балки, краны	4	4,8-24,2	38,8	5	0,06	0,6/1,33	2,3	3						
3	Электрические печи	2	22	44	1	0,55	0,95/0,33	24,2	8						
4	Сварочные аппараты	8	10-45	186	4,5	0,3	0,35/2,67	55,8	149						
Итого по группе А:		88	0,6-45	685,1	>3	0,2	-	140,6	260,8	30	1,34	138,4	260,8		
Приемники группы Б															
5	Вентиляторы	17	1,2-10	103,7	-	0,65	0,8/0,75	67,4	50,6						
6	Нагрев. аппараты	13	0,8-45	194,3	-	0,8	0,95/0,33	155,4	51,3						
7	Преобразовательные агрегаты	3	15	45	-	0,7	0,95/0,33	31,5	10,4						
Итого по группе Б		33	0,8-45	343	-	-	-	254,3	112,3	-	1	254,3	112,3		
Итого силовая нагрузка по цеху (гр. А и Б)		121	0,6-45	1028,1	-	-	-	394,9	373,1	-	-	442,7	373,1		
	Электрическое освещ.	-	-	25,7	-	$K_c = 0,85$	-	22	-	-	-	22	-		
Итого по цеху:		-	-	1053,8	-	-	-	416,9	373,1	-	-	464,7	373,1	596	

4 Определение расчетных токов в линиях

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

$$I_p = I_H, \text{ А.} \quad (4.1)$$

Как уже отмечалось выше, в случае, когда электроприемник подключается к источнику электрической энергии по отдельной питающей линии, то для расчета тока в линии используют мощность этого электроприемника (во всех формулах P_H , S_H – номинальная (паспортная) мощность ЭП (P_H – в кВт, S_H – в кВА):

– для трехфазных электродвигателей

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi \eta}, \text{ А;} \quad (4.2)$$

– для многодвигательного электропривода трехфазного исполнения

$$I_H = \frac{\sum P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi \eta}, \text{ А,} \quad (4.3)$$

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

– для трехфазной электрической печи, сварочного трансформатора

$$I_H = \frac{S_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_H}, \text{ А;} \quad (4.4)$$

– для однофазных электродвигателей, подключаемых на фазное напряжение (U_ϕ)

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{U_\phi \cos \varphi \eta}, \text{ А;} \quad (4.5)$$

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

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{2 U_\phi \cos \varphi \eta} = \frac{\sqrt{3} P_H \cdot 10^3}{2 U_H \cos \varphi \eta}, \text{ А;} \quad (4.6)$$

– для однофазных электрических печей, сварочных трансформаторов, подключенных на фазное напряжение

$$I_H = \frac{S_H \cdot 10^3}{U_\phi}, \text{ А;} \quad (4.7)$$

– для однофазных электрических печей, сварочных трансформаторов, подключенных на линейное напряжение

$$I_H = \frac{\sqrt{3} S_H \cdot 10^3}{2 U_H}, \text{ А;} \quad (4.8)$$

– для остальных трехфазных ЭП

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi}, \text{ А;} \quad (4.9)$$

– для остальных однофазных ЭП, подключенных на фазное напряжение

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{U_\phi \cos \varphi}, \text{ А;} \quad (4.10)$$

– для остальных однофазных ЭП, подключенных на линейное напряжение

$$I_n = \frac{\sqrt{3} P_n \cdot 10^3}{2 U_n \cos \varphi}, \text{ А.} \quad (4.10)$$

Расчетный ток группы электроприемников

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} \quad (4.11)$$

5 Выбор силового электрооборудования напряжением до 1000 В

5.1 Выбор и проверка комплектных шинопроводов

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

$$I_p \leq I_n, \quad (5.1)$$

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:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_n} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}) \sum_{i=1}^n I_{pi} \cdot l_i, \quad \%, \quad (5.2)$$

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:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\Delta U_{\text{лш}} \cdot l_{\text{ш}}}{U_n}, \quad \%, \quad (5.3)$$

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:

$$I_k^{(3)} \leq i_{тс}, \text{ кА}, \quad (5.4)$$

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

где $i_{тс}$ – термическая стойкость шинопровода, кА; $i_{уд \text{ доп.}}$ – электродинамическая стойкость шинопровода, кА, взятые из технических характеристик.

5.2 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.

5.2.1 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:

$$I_p \leq I_d K_{п}, \quad (5.5)$$

где I_p – максимальный рабочий (расчетный) ток нагрузки, А; I_d – длительно допустимый ток, А; $K_{п}$ – поправочный коэффициент, учитывающий реальные условия охлаждения проводника и зависящий от температуры окружающей среды и способа прокладки.

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_n на коэффициент $K_{ПВ} = 1,14\sqrt{ПВ}$:

$$I_p = I_n K_{ПВ} = 1,14 I_n \sqrt{ПВ}, \text{ А}, \quad (5.6)$$

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:

$$1,25 I_p \leq I_d K_{п}. \quad (5.7)$$

5.2.2 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:

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{\text{тр}} + \Delta U_{\text{пл}} + \Delta U_{\text{рл}} \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (5.8)$$

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

$$\Delta U_{\text{рл}} = \frac{\sqrt{3} I_p l \cdot 100}{U_H} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi), \% \quad (5.9)$$

– для магистрали

$$\Delta U_{\text{рл}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_H} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \sum_{i=1}^n I_{pi} l_i, \% \quad (5.10)$$

Потери напряжения в питающей линии

$$\Delta U_{\text{пл}} = \frac{\sqrt{3} I_p l \cdot 100}{U_H} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}), \% \quad (5.11)$$

где I_p – расчетный ток линии, А; I_{pi} – 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. 5.1.

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

5.3 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, либо автоматическими выключателями.

Распределительные пункты выбирают по степени защиты, по номинальному току ввода, по количеству отходящих линий, типу защитного аппарата (с предохранителями или с автоматическими выключателями) и

Таблица 5.1

Удельные активные и индуктивные сопротивления кабелей

Номинальное сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление жил при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление при U _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
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

номинальному току аппаратов для присоединений. Если отходящие линии необходимо защищать только от токов КЗ, то целесообразнее использовать РП с предохранителями. В случае необходимости защиты линий от токов КЗ и от токов перегрузки следует выбирать распределительные пункты с автоматическими выключателями.

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.

5.4 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:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п}}, \text{ А}, \quad (5.12)$$

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:

$$I_{\text{пик}} = \sum_{i=1}^n I_{\text{пи}}, \text{ А}, \quad (5.13)$$

где $I_{\text{пи}}$ – 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:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п макс}} + \sum_{i=1}^n I_{\text{ни}}, \text{ А}, \quad (5.14)$$

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

Для питающей линии

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п макс}} + (I_{\text{р}} - K_{\text{и}} I_{\text{н макс}}), \text{ А}, \quad (5.15)$$

где $I_{\text{п макс}}$ – 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; $I_{\text{н макс}}$ – 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:

$$\frac{I_{\text{д}}}{I_{\text{з}}} \geq K_{\text{защ}}, \quad (5.16)$$

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 табл. 5.2.

Таблица 5.2

Значения коэффициента защиты

Тип защитного аппарата и принимаемый ток защиты I_3	Коэффициент защиты $K_{заш}$ или кратность длительно допустимого тока для сетей			
	при обязательной защите от перегрузки			не требуется защиты от перегрузки
	проводники с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией	взрыво- и пожаро-опасные помещения	кабели с бумажной изоляцией	
	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 автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель: $I_3 = I_{н\text{эр}}$	1,25	1,0	1,0	0,22
Номинальный ток расцепителя выключателя с нерегулируемой обратозависимой характеристикой (независимо от наличия или отсутствия от-сечки): $I_3 = I_{н\text{тр}}$	1,0	1,0	1,0	1,0
Ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой, обратозависимой от тока характеристикой (при наличии отсечки): $I_3 = I_{\text{уст}}$ при перегрузке	1,0	1,0	0,8	0,66

Данные по выбору сечений силовых линий целесообразно представить в виде таблицы 5.3.

Таблица 5.3

Выбор сечений силовых линий

1	2	3	4	5	Расчетные токи		8	9	10	11	12	13	14	15
					6	7								
Номер кабельной линии	Обозначение ЭП на плане цеха	Способ прокладки	Марка кабеля	Длина линии l , м	Рабочий ток I_p , А	Пиковый ток $I_{\text{пик}}$, А	Поправочный коэффициент K_n	Сечение по допустимому нагреву S , мм ²	Длительно допустимый ток I_d , А	Потери напряжения в линии ΔU_l , %	Суммарные потери напряжения ΔU_{Σ} , %	Коэффициент защиты $K_{заш}$	Ток аппарата защиты I_3 , А	Окончательно выбранное сечение

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 мм^2 по меди и 25 мм^2 по алюминию, а при больших сечениях – не менее 50 % сечения фазных проводников.

Сечение нулевых защитных проводников (PE) проводников при их наличии должно равняться сечению фазных проводников при сечении последних до 16 мм^2 , иметь сечение 16 мм^2 при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм^2 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 $3 \times 50 + 2 \times 25$).

5.5 Выбор защитной аппаратуры

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 $U_{\text{н пр.}}$ должно быть, как правило, равно номинальному напряжению сети, где они устанавливаются:

$$U_{\text{н пр.}} = U_{\text{с}}; \quad (5.17)$$

– по номинальному току предохранителя $I_{\text{н пр.}}$:

$$I_{\text{н пр.}} \geq I_{\text{р}}; \quad (5.18)$$

по номинальному току плавкой вставки предохранителя $I_{\text{н вст.}}$, который должен быть отстроен от пусковых токов:

$$I_{\text{н вст.}} \geq \frac{I_{\text{п}}}{a}, \quad (5.19)$$

где $I_{\text{п}}$ – 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:

$$I_{\text{н вст.}} \geq \frac{I_{\text{пик}}}{2,5}, \quad (5.20)$$

где $I_{\text{пик}}$ – пиковый ток магистрали, рассчитанный по формуле (5.14).

При защите питающей линии номинальный ток плавкой вставки выбирается по условию (5.20), а пиковый ток определяется по формуле (5.15).

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 предназначены для защиты электроустановок напряжением до 1000 В от коротких замыканий и перегрузок.

Автоматические выключатели выбирают по следующим условиям:

$$\begin{aligned} U_{\text{на}} &\geq U_{\text{с}}; \\ I_{\text{на}} &\geq I_{\text{р}}; \\ I_{\text{нтр}} &\geq I_{\text{р}}; \\ I_{\text{нэр}} &\geq (1,25 \div 1,35)I_{\text{пик}} \end{aligned} \quad (5.21)$$

где $U_{\text{на}}$ – номинальное напряжение автоматического выключателя (АВ); $I_{\text{на}}$ – номинальный ток АВ; $I_{\text{нтр}}$ – номинальный ток теплового расцепителя;

$I_{нэр}$ – номинальный ток (ток уставки) электромагнитного расцепителя; U_c – напряжение сети; I_p – максимальный рабочий ток линии; $I_{пик}$ – 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 целесообразно представить в виде в таблицы 5.4.

Таблица 5.4

Выбор защитных аппаратов цеховых электрических сетей
(силовых и осветительных)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
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, $I_{пик}, А$	Номинальный ток аппарата защиты, $I_{на}, А$	Номинальный ток теплового расцепителя, $I_{нтр}, А$ или номинальный ток плавкой вставки предохранителя, $I_{н пл. вст.}, А$	Номинальный ток электромагнитного расцепителя, $I_{нэр}, А$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты расчетов, полученные в ходе выполнения практических работ необходимо оформить в виде расчетно-пояснительной записки, согласно требованиям СТП ВГТУ. В курсовом проекте обязательно должны быть представлены все рисунки и схемы, использованные для проведения расчетов.

По окончании расчетного проектирования необходимо провести конструкторскую проработку проекта с целью разработки графической документации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Гаврилин А.И. Электроснабжение промышленных предприятий: методические указания/ А.И.Гаврилин, С.Г.Обухов, А.И.Озга – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 120 с.
- 2 Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Ч.1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учеб. пособие/А.В. Кабышев. –Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 185с.
- 3 Чукреев Ю.Я. Основы электроснабжения: Учебное пособие по дисциплине «Электроснабжение» / Ю.Я. Чукреев. Ухта: УГТУ, 2001.
- 4 Методические указания по курсовому и дипломному проектированию по дисциплине "Системы электроснабжения" для студентов всех форм обучения специальности "Электроснабжение". Сост. Т.Л. Долгопол. Кемерово: Изд-во Кузбасского государственного технического университета, 2008. – 93 с.
- 5 Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения: Учеб. пособие./ В.Н. Радкевич. – Мн.: НПО «ПИОН», 2001. — 292 с.
- 6 ООО «БОНПЕТ». Официальный сайт. URL: <https://chint-electric.ru/skhemy-ehlektrosnabzheniya>

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям и курсовому проектированию по дисциплинам «Проектирование систем электроснабжения» для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение») и «Проектирование систем электроснабжения сооружений» направления 35.03.06 Агроинженерия («Электроснабжение и электрооборудование сельскохозяйственных предприятий») всех форм обучения

Составители:

Тикунов Алексей Владимирович
Черных Татьяна Евгеньевна

Компьютерный набор Т. Е. Черных

Подписано к изданию _____.
Уч.-изд. л. _____

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14