

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЭЛЕКТРОПРИВОД.
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию
в качестве учебно-методического пособия для студентов
учреждений высшего образования по специальности
1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства
(по направлениям), направление специальности
1-74 06 05-01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства
(электроэнергетика)*

Минск
БГАТУ
2019

УДК 62-83(07)
ББК 31.291я7
Э45

Составители:

*В. А. Дайнеко, Н. А. Равинский, Е. М. Прищепова,
Т. Г. Базулина, В. Л. Петрович*

Рецензенты:

кафедра «Электроснабжение» БНТУ
(кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой *В. Б. Козловская*);
заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов
и электротехники УО «БГТУ» *Д. С. Карпович*

Электропривод. Курсовое проектирование : учебно-методическое пособие / Сост.:
Э45 В. А. Дайнеко [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2019. – 264 с.
ISBN 978-985-519-960-2.

Содержит методические рекомендации по выполнению курсовой работы по дисциплине «Электропривод», основные требования к оформлению, образец выполнения курсовой работы с подробными рекомендациями, приложения.

Предназначено для студентов учреждений высшего образования. Пособие рекомендуется также использовать при дипломном проектировании.

УДК 62-83(07)
ББК 31.291я7

ISBN 978-985-519-960-2

© БГАТУ, 2019

Содержание

Введение.....	5
Цели, задачи и тематика курсовых работ.....	6
Структура и содержание курсового проекта (работы).....	7
Методические рекомендации по выполнению курсовой работы.....	12
Раздел 1. Технологические характеристики рабочей машины.....	12
Раздел 2. Выбор электродвигателя для привода рабочей машины.....	15
Раздел 3. Выбор элементов кинематической принципиальной схемы.....	54
Раздел 4. Расчет переходных процессов в электроприводе.....	56
Раздел 5. Разработка принципиальной электрической схемы управления электроприводом.....	57
Раздел 6. Определение показателей разработанного электропривода.....	109
Раздел 7. Разработка ящика управления электроприводом.....	119
Раздел 8. Заключение.....	132
Требования к оформлению курсовой работы.....	134
Список использованных источников.....	137
Образец выполнения курсовой работы.....	140
Приложение А. Основные степени защиты асинхронных электродвигателей серии АИР.....	207
Приложение Б. Категории помещений, их характеристика и рекомендуемые для этих помещений исполнения.....	208
Приложение В. Приближенное значение постоянной времени нагрева асинхронных электродвигателей с нормальным КЗ ротором мощностью до 90 кВт серии АИР.....	209
Приложение Г. Технические данные электродвигателей серий АИР и 4А....	210
Приложение Д. Основные технические данные электродвигателей серии 4А с повышенным пусковым моментом.....	216
Приложение Е. Технические данные электродвигателей серии 4А повышенного скольжения.....	218
Приложение Ж. Значения мощности, кВт, асинхронных двигателей с повышенным скольжением в режиме S3 при различных ПВ.....	221
Приложение И. Активное сопротивление обмотки фазы статора электродвигателей серии 4А при 20°С.....	222
Приложение К. Значения коэффициента потерь мощности для асинхронных электродвигателей основного исполнения серии АИР.....	224
Приложение Л. Справочные данные по мотор-редукторам и редукторам.....	225

Приложение М. Номинальные коэффициенты K_i ненадежности элементов электропривода.....	240
Приложение Н. Графические зависимости для определения поправочных коэффициентов $a_1...a_4$ отдельных элементов электропривода в расчетах надежности.....	244
Приложение П. Обозначения условные графические и позиционные в электрических схемах.....	249
Приложение Р. Форма и размеры таблицы для составления перечня элементов схемы.....	259
Приложение С. Буквенные коды наиболее распространенных элементов электрических схем по ГОСТ 2.710–81.....	260

Репозиторий БГАТУ

Введение

Электропривод потребляет более 60 % вырабатываемой энергии и имеет определяющее значение для повышения производительности труда. Выпускники агроэнергетического факультета и факультета электрификации БГАТУ должны быть теоретически грамотными и подготовленными к решению задач по применению электропривода на производстве.

Курсовая работа закрепляет теоретические знания, полученные студентами на лекциях, лабораторных работах и практических занятиях, путем самостоятельного и творческого проектирования конкретного электропривода рабочей машины.

Для достижения данной цели студент знакомится с описанием конкретной рабочей машины, производит выбор электродвигателя привода рабочей машины, выбирает передаточное устройство, разрабатывает схему управления и проектирует ящик управления. Проектирование электропривода выполняется в соответствии с заданием.

Данное пособие рекомендуется также использовать при выполнении дипломного проекта.

Учебно-методическое пособие оформлено в соответствии с требованиями ЕСКД.

Цель, задачи и тематика курсовых работ

Цель курсовой работы: выработать у студентов навыки самостоятельного решения комплекса задач по построению электропривода рабочей машины.

Задачи курсовой работы:

- освоить методы расчета и проектирования электроприводов рабочих машин;
- научиться пользоваться специальной литературой, справочными пособиями, реферативными журналами и другими библиографическими изданиями;
- подготовить студентов к дипломному проектированию.

Достижению этих целей способствует индивидуальный характер заданий к курсовой работе.

Тематика курсовых работ

Тематика курсовых работ предполагает разработку электроприводов транспортеров кормов, транспортеров скребковых для выгрузки материалов, тросошайбовых транспортеров для подачи кормов, раздатчиков внутри кормушек, транспортеров тюков, скреперных установок, шнековых транспортеров, ковшовых транспортеров, пневмотранспортеров, гидравлических транспортеров, кормоприготовительных машин, измельчительных и смесительных установок, кормоприготовительных агрегатов, раздатчиков кормов стационарных и электромобильных, компрессоров, пилорам, вентиляционных установок, водоподъемных установок, задвижек, ворот ремонтной мастерской, агрегатов витаминной муки, кран-балок, обкаточных и испытательных стендов и т. п.

Структура и содержание курсового проекта (работы)

1 Структура курсового проекта (работы) должна включать следующие элементы (материалы приведены в порядке их расположения):

- титульный лист;
- задание;
- ведомость комплекта проектной документации (для курсовых проектов);
- реферат;
- содержание;
- введение;
- текст пояснительной записки с иллюстративным материалом, таблицами, графиками и т. п.;
- заключение;

- список использованных источников;
- приложения.

2 Общий объем курсовой работы в зависимости от рабочей машины составляет 40...60 страниц.

3 Объем графической части курсовых проектов составляет, как правило, 2 листа формата А1 (объем графической части курсовой работы может быть уменьшен).

4 Способ выполнения текстовых материалов – машинописный (основной) с применением выходных печатающих устройств ЭВМ – при этом рекомендуется, набирая текст в текстовом редакторе Word, использовать шрифт Times New Roman размером 14 pt (пунктов) с полуторным интервалом, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 1,25 см.

Структурные элементы курсового проекта (работы)

1 **Титульный лист** является первой страницей расчетно-пояснительной записки. Выполняется на бланке установленной формы. На титульном листе рамки не выполняются, штамп основной надписи не приводят.

2 **Задание на проектирование** является главным руководством, на основании которого разрабатывается проект. Задание выполняется на бланке установленного образца, который выдается руководителем курсового проекта (работы). Задание на КП (КР) утверждается заведующим кафедрой. При получении задания свою подпись на нем ставит студент.

Форма задания на курсовой проект (курсовую работу) приведена в [1].

3 **Ведомость комплекта проектной документации** (для курсовых проектов) является сводным перечнем всех материалов, разработанных при проектировании.

4 **Реферат** – это краткая характеристика выполненного проекта, предназначенная для предварительного ознакомления с проектом и отражающая основное содержание работы с точки зрения ее достоинств и достижения цели, поставленной в теме проекта.

Текст реферата пишется на стандартном листе, оформленном рамкой. Основную надпись на данном листе не помещают. Номер страницы не проставляют.

Заголовок «Реферат» пишется с прописной буквы и располагается на отдельной строке симметрично тексту. Объем реферата – не более одной страницы. Вначале указывают объем проектной документации: перечисляют общий объем текстовых материалов с выделением, в том числе, иллюстраций (эскизов,

рисунков, таблиц и т. п.); указывают объем графической части проекта. Указывают количество использованных источников. Далее приводят ключевые слова. Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста расчетно-пояснительной записки, которые в наибольшей степени характеризуют содержание. Ключевые слова приводятся в именительном падеже и записываются строчными буквами через запятые после слов «Ключевые слова». Затем дают краткое содержание проекта (работы), отражающее цель работы, методы разработки, принятые решения, приводят итоговые результаты и основные показатели, указывают возможности внедрения основных результатов проекта.

Образец реферата приведен в [1].

5 Содержание предназначено для облегчения поиска необходимых материалов при чтении записки, а также для общего ознакомления с работой и представления об объемах всех разделов. Содержание начинается текстовую часть расчетно-пояснительной записки. Его размещают сразу после листа реферата с новой страницы и при необходимости продолжают на последующих листах. Слово «Содержание» пишут с прописной буквы посередине страницы. В содержании приводят порядковые номера и наименования разделов, подразделов и пунктов, имеющих наименование, а также приложения с их обозначениями и наименованиями. Указывается номер листа (страницы), на котором размещено начало материала (раздела, подраздела и т. п.). На первой странице содержания приводят основную надпись по форме, соответствующей основной надписи первого листа текстового материала. Пример оформления оглавления приведен в [1].

6 Введение характеризует современное содержание тех вопросов и проблем, которым посвящен курсовой проект (работа). Во введении нужно обосновать необходимость проведения именно этой работы, показать ее место в ряду аналогичных работ, актуальность и новизну разрабатываемой темы, цель проекта и что ожидается получить в результате его выполнения.

7 Текст пояснительной записки. Содержание разделов расчетно-пояснительной записки определяется заданием на проектирование. Оформление расчетно-пояснительной записки осуществляется в соответствии с [1].

8 Заключение должно отражать основные результаты работы, выводы и предложения.

9 Список использованных источников. Составление списка использованных источников является завершением курсового проекта (работы), основой для которого служат записи всех просмотренных и изученных книг, статей из сборников и журналов и других материалов.

Как правило, используется алфавитный способ группировки материала в списках,

когда источники группируют в алфавитном порядке записей. В начале списка размещаются по алфавиту книги, а затем – статьи из журналов и сборников. При этом иностранные источники размещают по алфавиту после перечня всех источников на языке выполняемой работы.

Библиографический указатель использованной при выполнении УМП литературы дается на отдельной странице (страницах) под заголовком «Список использованных источников». Заголовок порядкового номера не имеет.

В список включают только те источники, на которые в тексте ПЗ имеется ссылка. Каждый источник, включенный в список, нумеруют арабскими цифрами с точкой и записывают с новой строки.

Примеры записи литературных источников приведены в [1].

10 Приложения. Материал, дополняющий текст документа, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, и т. д. Приложения оформляют как продолжение записки на последующих ее листах.

В тексте записки на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте записки.

Содержание курсовой работы

При выполнении курсовой работы должны быть рассмотрены все разделы и пункты в нижеприведенной последовательности.

Содержание расчетно-пояснительной записки включает в себя следующие разделы и пункты:

Введение.

1 Технологические характеристики рабочей машины.

1.1 Назначение.

1.2 Описание конструкции рабочей машины.

1.3 Описание рабочих органов и их параметров.

1.4 Технологическая схема использования рабочей машины.

1.5 Требования к управлению рабочей машиной.

1.6 Характеристика условий окружающей среды и требований к электрооборудованию.

2 Выбор электродвигателя для привода рабочей машины.

2.1 Расчет и построение механических характеристик рабочей машины под нагрузкой и на холостом ходу.

2.2 Расчет и построение нагрузочной диаграммы рабочей машины.

2.3 Выбор предполагаемого электродвигателя по роду тока, напряжению, числу фаз, типу, модификации, частоте вращения.

2.4 Выбор кинематической принципиальной схемы электропривода.

2.5 Приведение мощности, момента и скорости рабочей машины к валу электродвигателя и обоснование режима его работы.

2.6 Окончательный выбор электродвигателя по мощности с учетом режима работы.

2.7 Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска, перегрузочной способности и на допустимое число включений в час.

2.8 Проверка выбранного электродвигателя на нагревание за цикл нагрузочной диаграммы.

2.9 Построение механической и электромеханической характеристик электродвигателя.

3 Выбор элементов кинематической принципиальной схемы.

3.1 Выбор монтажного исполнения электродвигателя.

4 Расчет переходных процессов в электроприводе.

4.1 Обоснование способа пуска и торможения электропривода.

5 Разработка принципиальной электрической схемы управления электроприводом.

5.1 Требования к управлению машиной и пути их реализации.

5.2 Описание разработанной схемы управления электроприводом.

5.3 Выбор аппаратов защиты электрических цепей и аппарата защиты электродвигателя в аварийных состояниях по критерию эффективности.

5.4 Выбор аппаратов управления электроприводом.

6 Определение показателей разработанного электропривода.

6.1 Расчет показателей надежности разработанного электропривода.

6.2 Определение удельных и энергетических показателей разработанного электропривода.

7 Разработка ящика управления электроприводом.

7.1 Определение суммарной площади монтажных зон аппаратов и типа ящика управления.

7.2 Пояснения о размещении аппаратов в ящике управления и составлении схемы соединений ящика управления.

7.3 Выбор проводов для схемы соединения ящика управления и кабелей для схемы внешних соединений.

8 Заключение.

Список использованных источников.

Приложения.

Содержание графической части курсовой работы включает в себя девять чертежей формата А4..А2:

1 Механические характеристики и нагрузочная диаграмма рабочей машины (формат А4).

2 Механические и электромеханические характеристики электродвигателя (формат А4).

3 Нагревание и охлаждение электродвигателя (за цикл нагрузочной диаграммы, формат А4).

4 Принципиальная электрическая схема управления электроприводом (формат А4, А3 или А2).

5 Схема расположения аппаратов в ящике управления (формат А4).

6 Технические данные аппаратов ящика управления (формат А4).

7 Перечень надписей ящика управления (формат А4).

8 Схема соединений ящика управления (формат А4, А3 или А2).

9 Схема внешних соединений элементов электропривода (формат А4, А3 или А2).

При выполнении курсовой работы следует использовать рекомендуемую литературу, а также информацию, приведенную в приложениях к данному учебно-методическому пособию. Разработка ящика управления электроприводом производится по требованиям, изложенным в [4].

В приложениях А...С приведена справочная информация, рекомендуемая при выполнении курсовой работы.

Методические рекомендации по выполнению курсовой работы

Раздел 1 Технологические характеристики рабочей машины

1.1 Назначение

В пояснительной записке кратко, одной, двумя фразами раскрывается назначение рабочей машины.

1.2 Описание конструкции рабочей машины

Описание конструкции некоторых рабочих машин и их работы приведены в специальной литературе (например, в [5], [25], [2], [3] и т. д.), на которую потом следует сослаться в конце описания.

Рисунок, поясняющий описание машины, приводится в расчетно-пояснительной записке.

1.3 Описание рабочих органов и их параметров

В рабочей машине выделяют рабочие органы, которые выполняют резку, смятие, перемещение материалов и т. п. Обычно это дробильные барабаны, лопасти мешалок, вентиляторов, насосов, прорезиненные ленты, скребки, задвижки и т. п. Рабочие органы вращаются или перемещаются. Знать их параметры необходимо для определения момента инерции рабочей машины, определения мощности и т. д. Параметрами являются, например, следующие величины: диаметр барабана, его масса, удельная масса ленты, линейные размеры ленты и барабана, угловые и линейные скорости движения рабочих органов, например ленты и т. п.

Описание рабочих органов и их параметры обычно приводятся в литературе по теме проекта (обычно это литература по механизации ферм и т. п.). Рисунки, поясняющие описание рабочих органов машины, приводятся в расчетно-пояснительной записке.

1.4 Технологическая схема использования рабочей машины

Условно, в упрощенном виде, изобразите в пояснительной записке путь материала на рабочую машину, внутри машины (если есть несколько рабочих органов) и с рабочей машины. На этой технологической схеме работы машины надо показать загружающие, выгружающие, регулирующие устройства, бункеры,

задвиги и т. п. Знание параметров этих устройств позволит определить объем перерабатываемого материала за одно включение, время паузы (остановки машины) и время последующей работы, последовательность включения машины, открытия задвижек, установить требования к управлению.

В этом пункте обосновывается потребность в устройствах контроля уровня, пути, скорости и т. п. Например, если рабочая машина загружается материалом из бункера, то для исключения холостого хода машины при пустом бункере требуется контролировать уровень материала в бункере или ток электродвигателя (при уменьшении нагрузки до холостого хода ток электродвигателя уменьшается).

Иногда машина работает на бункер. В этом случае нужно контролировать нижний и верхний уровень материала в бункере.

Возможны в проекте ограничения по пути. Тогда используются конечные контактные или бесконтактные выключатели.

Обычно в задании на проектирование указываются эти особенности работы машины, а также ее технологические параметры, например производительность, линейная скорость перемещения груза и др. В большинстве случаев этого бывает достаточно для проектирования электропривода. Но иногда требуется определять дополнительные параметры, не заданные в задании. Например, массу навоза за одну уборку для транспортеров по уборке навоза или суточную потребность в воде и среднюю подачу воды для водоподъемной установки и т. п. В этом случае следует обратиться к книгам по теме проекта (животноводству, водоснабжению и т. п.) и найти, например, выход навоза за сутки на одно животное для проекта электропривода навозоуборочного транспортера или суточное потребление воды животными для проекта электропривода по водоснабжению. Обязательно сделать ссылку на использованную литературу при записи норм, коэффициентов и других параметров, с указанием страницы, номера таблицы и т. п.

1.5 Требования к управлению рабочей машиной

В этом пункте должны быть изложены требования задания к управлению рабочей машиной. Обычными являются следующие требования:

- 1) дистанционное ручное управление. Предусмотреть дополнительно наладочный режим;
- 2) автоматическое программное управление (для рабочих машин, график работы которых строго определен);

3) перед включением должен быть подан предупредительный звуковой сигнал (для поточной линии из двух машин и более);

4) обеспечить включение сначала разгружающего рабочего органа, потом (с выдержкой времени) основного рабочего органа и только потом (с выдержкой времени) загружающего рабочего органа машины. Отключение рабочих органов (или нескольких машин) производится в обратном порядке с выдержкой времени. Эти требования относятся к поточным технологическим линиям и подробно изложены в учебнике [5], глава 10;

5) остановка из двух и более мест (по необходимости);

6) световая сигнализация о наличии напряжения, состояния рабочей машины («Вкл.» или «Откл.»), сигнализация предупредительная, сигнализация причины аварийного отключения и т. п.;

7) защита цепей от коротких замыканий, защита электродвигателя в аварийных состояниях по критерию эффективности.

Пункты 1, 6, 7 требований к управлению рабочей машиной являются обязательными для любого варианта задания.

Могут быть обоснованы и сформулированы другие требования к схеме управления, не указанные выше, например наличие амперметра в цепи питания электродвигателя для контроля его загрузки и т. п.

Похвально, если разработчик курсовой работы выдвинет и согласует с руководителем свои предложения, улучшающие электропривод рабочей машины, приводящие к энерго- или ресурсосбережению, к повышению надежности работы схемы и электропривода в целом.

1.6 Характеристика условий окружающей среды и требований к электрооборудованию

Характеристика условий окружающей среды обычно приводится в задании, для того чтобы при разработке проекта учли условия работы электродвигателя, конечных выключателей и другого электрооборудования. На основании этой характеристики Вы должны сформулировать требования к степени защиты электрических аппаратов и электродвигателей. Руководствуйтесь приложением Б. Для электродвигателя запишите отдельно требуемое климатическое исполнение, категорию размещения и степень защиты (приложение А).

Раздел 2 Выбор электродвигателя для привода рабочей машины

2.1 Расчет и построение механических характеристик рабочей машины под нагрузкой и на холостом ходу

В задании указана мощность $P_{\text{сн}}$ на валу рабочей машины и номинальная частота вращения $n_{\text{сн}}$ ее выходного вала при номинальной производительности. Мощность $P_{\text{схх}}$ холостого хода рабочей машины при нулевой производительности в рамках курсовой работы принять $P_{\text{схх}} = 0,1 \dots 0,2 P_{\text{сн}}$.

Номинальная угловая скорость $\omega_{\text{сн}}$ рабочей машины и номинальный момент $M_{\text{сн}}$ определяются по формулам

$$\omega_{\text{сн}} = 0,1045 n_{\text{сн}}, \quad (2.1)$$

$$M_{\text{сн}} = \frac{P_{\text{сн}}}{\omega_{\text{сн}}}. \quad (2.2)$$

Механическая характеристика рабочего органа или машины $M_{\text{с}} = f(\omega)$ под нагрузкой строится на основании уравнения

$$M_{\text{с}} = M_{\text{со}} + (M_{\text{сн}} - M_{\text{со}}) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{сн}}} \right)^{\alpha}, \quad (2.3)$$

где $M_{\text{со}}$ – момент сопротивления механизма, не зависящий от скорости, Н·м;

$M_{\text{с}}$ – момент сопротивления механизма при скорости ω , Н·м;

ω – текущая (задаваемая) угловая скорость, рад/с;

α – показатель степени, характеризующий изменение момента сопротивления от скорости.

Условно все механические характеристики рабочих машин под нагрузкой делятся на четыре группы (таблица 2.1) в зависимости от значения показателя степени α в уравнении (2.3). Выбрать значение α , $M_{\text{со}}$ и $M_{\text{с трог}}$, руководствуясь таблицей 2.1 и рисунком 2.1 [5, 6].

На рисунке 2.1 приведены реальные (по опытным данным) механические характеристики некоторых сельскохозяйственных машин. Характеристики приведены в относительных единицах.

Таблица 2.1 – Показатель степени α , M_{co} и $M_{с трог}$ для различных сельскохозяйственных механизмов и машин

Показатель степени α в уравнении (2.3)	Механизм или машина	Под нагрузкой		На холостом ходу		
		μ_{co} , о. е.	$\mu_{с трог}$, о. е.	α'	$\mu_{co хх}$, о. е.	$\mu_{с трог хх}$, о. е.
$\alpha = 0$	Ленточные, скребковые, скреперные, шайбовые, пластинчатые транспортеры, роликовые и другие подвесные конвейеры, подъемные механизмы и лебедки, ротационные вакуум-насосы, поршневые насосы при неизменной подаче, дозировочные насосы, механизмы подачи металлорежущих станков и другие, у которых момент сопротивления вызван силами трения	1	1,1...1,3	0	1,05...1,30	1,3...1,4
$\alpha = 1$	Зерноочистительные машины под нагрузкой, глиномялки, льномялки, отбойный битер, комбайн в целом без ходовой части, нагрузочный генератор постоянного тока с независимым возбуждением, молотилки, дробилки, поршневые компрессоры и другие, у которых момент зависит от скорости	0,3...0,7	0,4...2,0* (рисунок 2.1)	1...1,5	1,05...1,30	1,3...1,4
$\alpha = 2$	Вентиляторы (центробежные, осевые), центробежные насосы, сепараторы, центрифуги, турбовоздуходувки и другие, у которых основным является аэродинамический момент трения	0,05...0,3	0,15...0,40	2	1,05...1,10	1,1...1,2
$\alpha = -1$	Зерновые нории и шнеки, токарные, расточные, фрезерные, сверлильные станки, тарельчатые питатели, комбайновый двигатель, обкатываемый после ремонта (от $\omega=0$ до $\omega=0,6\omega_{ном}$) и другие, у которых момент сопротивления уменьшается с увеличением скорости из-за уменьшения коэффициента заполнения устройства и момента трения	1,4...1,5 – нория 2,0...3,0 – шнек 1,1...1,3 – ДВС**		1...1,5	1,02...1,40	1,3...1,5
<p>* – значение $M_{с трог} = 2$, относится к глиномялкам; ** – для ДВС – момент номинальный соответствует возрастающему участку на рисунке 2.1. Для других механизмов и машин – см. рисунок 2.1.</p>						

Для перевода в именованные единицы пользуются формулами

$$\left. \begin{aligned} M_{co} &= M_{сн} \mu_0 \\ M_{с трог} &= M_{сн} \mu_{с трог} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Из рисунка 2.1 можно сделать два вывода:

1) в области от $0,2\omega/\omega_0$ до $\omega = 0$ механические характеристики поднимаются вверх до значения момента трогания при $\omega = 0$, который в 1,1...3,0 раза превышает номинальный момент сопротивления при ω_n . Из этого следует, что пуск под нагрузкой многих рабочих машин выполнить невозможно. Пусковой момент,

развиваемый электродвигателем, может быть недостаточным для трогания рабочей машины с места. Эту особенность необходимо учесть при выборе способа пуска электродвигателя;

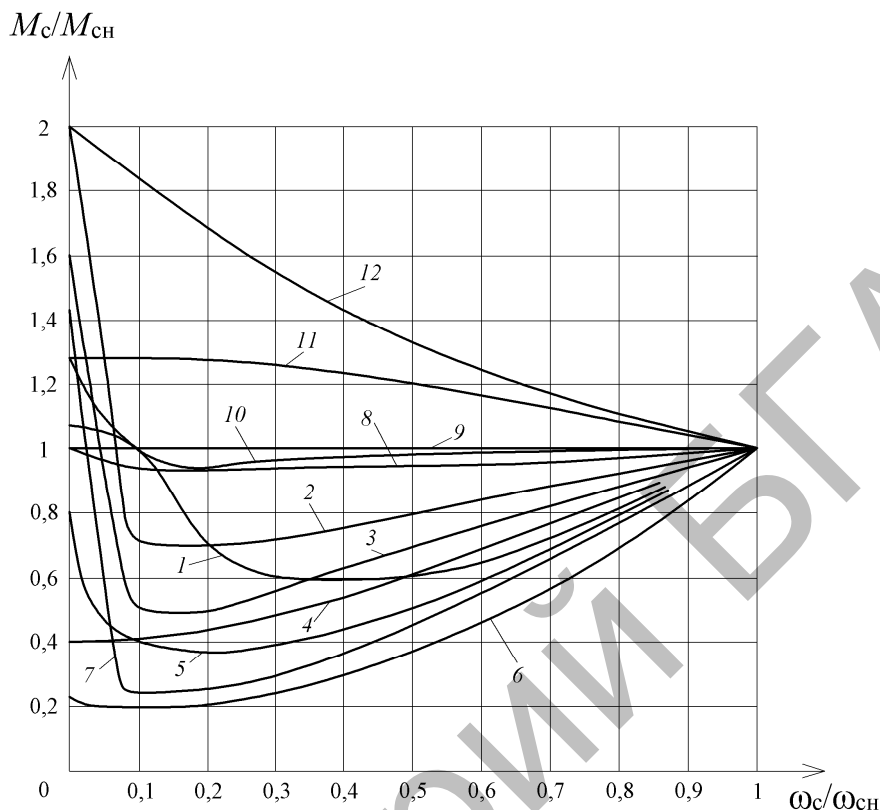


Рисунок 2.1 – Механические характеристики рабочих машин под нагрузкой:

1 – комбайнового двигателя, обкатываемого после ремонта; 2 – глиномялки под нагрузкой; 3 – льномялки; 4 – отбойного бitera (пуск в холостую); 5 – комбайна в целом без ходовой части (вхолостую); 6 – центробежного насоса и вентилятора; 7 – молотковой дробилки (пуск в холостую); 8 – ротационного вакуум-насоса; 9 – подъемных механизмов; 10 – поршневых компрессоров; 11 – нории; 12 – зернового шнека.

2) момент сопротивления $M_{со}$ не зависит от скорости и не равен моменту трогания $M_{трог}$, т. е. $M_{со} \neq M_{трог}$.

Значения $M_{со}$, взятые из таблицы 2.1, подставляют в уравнение (2.3) (если $M_{со}$ не рассчитывается отдельно). Пересчитывают относительные значения в именованные по уравнениям (2.4). Далее, руководствуясь рисунком 2.1 и уравнением (2.3), строят механическую характеристику рабочего механизма или машины в масштабе.

Обращаем Ваше внимание, что моменты сопротивления, полученные таким расчетом, не будут соответствовать приведенным моментам сопротивления рабочей машины к валу электродвигателя. Расчет приведенных моментов сопротивления выполняется в п. 2.5 задания.

Таким образом, определяется $M_{сн}$, затем $M_{со}$, показатель степени α и рассчитывается по уравнению (2.3) механическая характеристика рабочей машины.

При $\omega = 0$ определяется $M_{\text{трог}}$ по (2.4) и окончательно уточняется механическая характеристика рабочей машины в области скоростей от 0 до $0,1\omega_{\text{сн}}$, путем произвольного плавного соединения $M_{\text{трог}}$ с характеристикой момента. Так строится механическая характеристика рабочей машины для случаев пуска под нагрузкой.

При пуске рабочей машины вхолостую ее механическая характеристика существенно отличается от механической характеристики под нагрузкой. В этом случае номинальной скорости $\omega_{\text{сн}}$ соответствует момент сопротивления $M_{\text{сн хх}}$, определяемый по приведенной мощности $P_{\text{схх}}$ рабочей машины при холостом ходе

$$M_{\text{сн хх}} = \frac{P_{\text{схх}}}{\omega_{\text{сн}}}. \quad (2.5)$$

На рисунке 2.2 изображены механические характеристики холостого хода отдельных машин (см. также рисунок 2.1). Из рисунка 2.2 следует, что в этом случае момент трогания $M_{\text{трог хх}}$ не совпадает с моментом сопротивления $M_{\text{со хх}}$, не зависящим от скорости. Значения этих моментов в относительных единицах приведены в таблице 2.1.

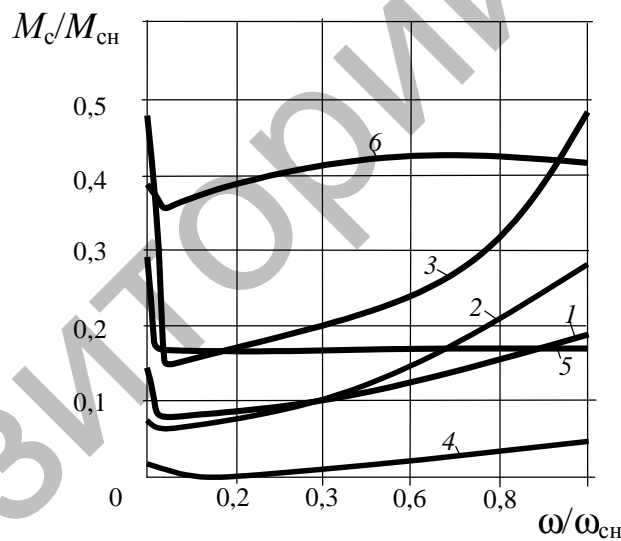


Рисунок 2.2 – Механические характеристики холостого хода отдельных машин:

1 – агрегата приготовления комбинированного силоса типа АПК-10; 2 – универсальной дробилки кормов КДУ-2,0; 3 – молотилки льняного вороха МВ-2,5; 4 – молочного сепаратора СОМ-3-100М; 5 – транспортера удаления навоза ТСН-3,0Б; 6 – нории зерновой.

Таким образом, для построения механической характеристики рабочей машины при холостом ходе вычисляют по уравнению (2.5) $M_{\text{сн хх}}$. Находят по (2.4) их истинные значения $M_{\text{со хх}} = \mu_{\text{со хх}} M_{\text{сн хх}}$, $M_{\text{с трог}} = \mu_{\text{трог хх}} M_{\text{сн хх}}$. Характер изменения момента, т. е. показатель степени α в уравнении (2.3), может на холостом ходу иметь другое значение, поэтому в таблице 2.1 приведены

значения α' , которые следует подставлять в уравнение (2.3) вместо α для расчета приведенной механической характеристики рабочей машины на холостом ходу. Механическая характеристика рабочей машины при полной нагрузке и на холостом ходу изображается на чертеже № 1 графической части.

2.2 Расчет и построение нагрузочной диаграммы рабочей машины

Нагрузочная диаграмма показывает изменение мощности или момента рабочей машины во времени, т. е. $M_c = f(t)$ или $P_c = f(t)$, где t – время, мин.

Для ее построения надо знать мощность или момент машины (механизма) на холостом ходу и под нагрузкой, время работы на холостом ходу и под нагрузкой, характер изменения нагрузки на валу рабочей машины. Характер изменения нагрузочной диаграммы, как правило, определяется изменением нагрузки от изменения производительности, от заполнения несущих элементов материалом, например от заполнения транспортера по длине и т. д., определяемой технологией работы машины. Поэтому без знания технологии работы машины нагрузочную диаграмму построить нельзя.

Если, например, ленточный транспортер длиной 40 м загружается в начале линии и лента перемещается со скоростью 1,4 м/с, то очевидно, что нагрузка на ленту будет возрастать от холостого хода до номинальной до тех пор, пока материал не заполнит ленту по всей длине. Это произойдет за время $t_{\text{загр}} = \frac{40}{1,4} = 28,6$ с.

При прекращении подачи материала такое же время требуется для освобождения ленты из-под материала, т. е. $t_{\text{разгр}} = t_{\text{загр}}$. Нагрузочная диаграмма для этого случая имеет вид, изображенный на рисунке 2.3.

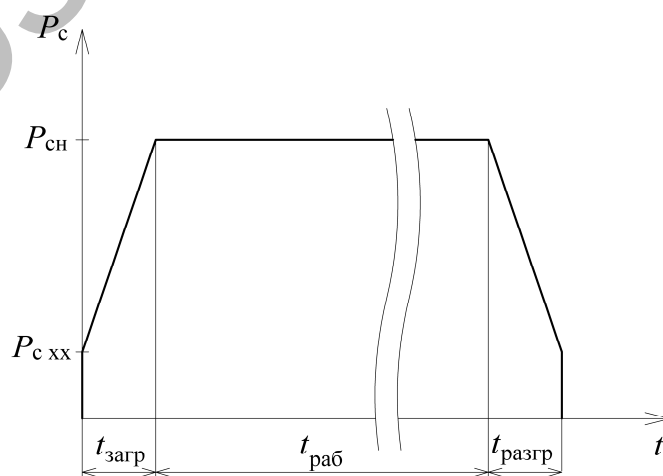


Рисунок 2.3 – Нагрузочная диаграмма ленточного транспортера

Время (в минутах) работы транспортера определяется по формуле

$$t_{\text{раб}} = \frac{m}{60Q}. \quad (2.6)$$

где m – масса материала, транспортируемого за цикл работы, кг;
 Q – производительность транспортера, кг/с.

В качестве второго примера возьмем скребковый транспортер по уборке навоза типа ТСН-3Б, имеющий 2 независимых транспортера: 1) выгружающий; 2) нагружающий горизонтальный. Последний начинает перемещать навоз по всему каналу одновременно, поэтому в начальный момент времени требуется наибольшее усилие и момент (рисунок 2.4, а). Выгружающий наклонный транспортер работает в период загрузки его горизонтальным транспортером, поэтому нагрузка на валу этого наклонного транспортера не изменяется во времени (рисунок 2.4, б). Примерный вид нагрузочных диаграмм некоторых рабочих машин приведен на рисунке 2.4.

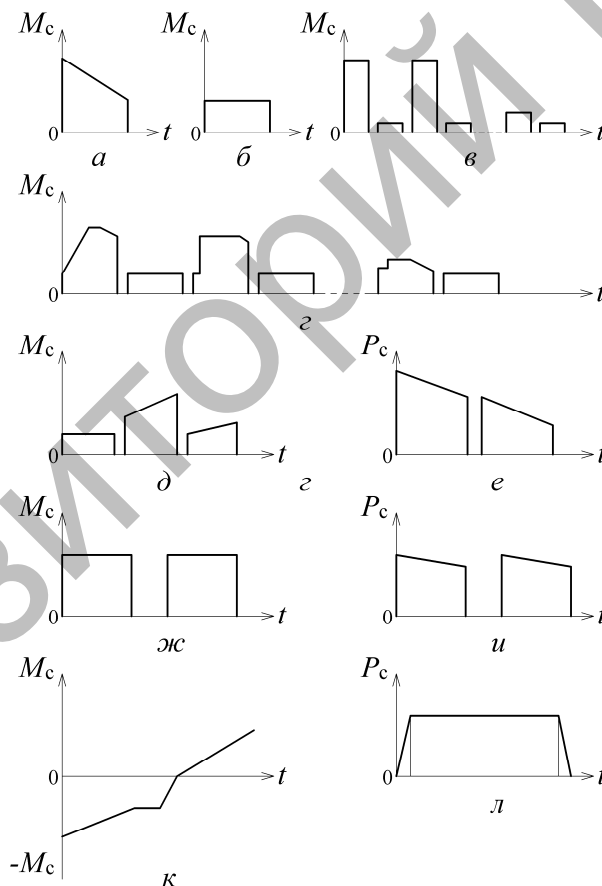


Рисунок 2.4 – Характер нагрузочных диаграмм рабочих машин:

a – горизонтальный скребковый транспортер ТСН-3Б; $б$ – наклонный скребковый транспортер ТСН-3Б; $в$ – штанговый навозоуборочный транспортер; $г$ – кареточно-скребковый навозоуборочный транспортер; $д$ – телескопический кормораздаточный транспортер; $е$ – механизм передвижения самоходного кормораздатчика; $ж$ – механизм автомобилеподъемника; $и$ – насос в водопроводной установке; $к$ – обкатки ДВС в автоматическом режиме; $л$ – транспортер ленточный, скребковый и т. д.

Нагрузочная диаграмма рабочей машины строится с соблюдением масштаба по осям нагрузки и времени на чертеже № 2 графической части (на одном листе с механическими характеристиками рабочей машины).

Обращаем Ваше **внимание**, что нагрузочная диаграмма рабочей машины не есть нагрузочная диаграмма электрического двигателя. Обоснование нагрузочной диаграммы электродвигателя приведено в методических рекомендациях, п. 2.5.

2.3 Выбор предполагаемого электродвигателя по роду тока, напряжению, числу фаз, типу, модификации, частоте вращения

Внимательно прочитайте задание и технологические характеристики рабочей машины. Руководствуясь ими, постарайтесь сформулировать требования к предполагаемому электродвигателю.

Род тока в электроприводе может быть постоянный (электропривод постоянного тока) и переменный (электропривод переменного тока).

Постоянный ток применяется только в регулируемых по скорости или моменту электроприводах металлорежущих станков, обкаточных и испытательных стендов, мобильных транспортных средств. В сельскохозяйственном производстве применяется электропривод постоянного тока только в мобильных кормораздатчиках, тележках. Здесь он наиболее целесообразен. Используются специальные тяговые электродвигатели постоянного тока низкого напряжения (из-за наличия аккумуляторной батареи постоянного тока). Они обеспечивают получение больших пусковых моментов при трогании. В остальных случаях предпочтение следует отдавать переменному току.

Следует отметить, что в регулируемых приводах также предпочтительно применение электропривода переменного тока на базе наиболее простого асинхронного электродвигателя. Особенно перспективны асинхронные электроприводы с преобразователем частоты. В связи с экономичностью частотного регулирования скорости, удобством цифрового управления преобразователей, его малыми габаритами и массой рекомендуется применять регулируемый электропривод на базе преобразователей частоты (с автономным инвертором).

Если регулировать скорость не требуется, то выбирается асинхронный электропривод переменного тока.

Основными типами двигателей переменного тока силовых приводов рабочих машин являются асинхронные и синхронные. Последние выпускаются в основном на напряжение 6000 и 10 000 В. В силовых приводах сельскохозяйственного назначения синхронные двигатели не применяются, следовательно, основным типом является

асинхронный электродвигатель. Для нерегулируемого электропривода применяется асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (КЗ) как наиболее дешевый, надежный и распространенный.

Двигатели выбирают на то **напряжение**, которое обеспечивает питающая электрическая сеть, если нет специальных требований к снижению напряжения с точки зрения техники безопасности. В Республике Беларусь электрические сети потребителей имеют линейные напряжения 400 В, следовательно, электродвигатели выбирают на напряжение 400 В. Но при этом учитывается и схема соединения трехфазной обмотки двигателя. Обычно выбирают электродвигатели при соединении обмоток «Y» на 400 В (таблица 2.2). Однако при высоте оси вращения 160 мм и выше (11 кВт и более) рекомендуется схема соединения обмоток «Δ». Это позволяет переключать электродвигатели при пуске со схемы «Y» на схему «Δ» и уменьшить пусковые токи в сети в 3 раза и во столько же раз уменьшить снижение напряжения в сети, возникающее при пуске электродвигателя. При этом необходимо помнить, что переключение обмотки при пуске со схемы «Y» на схему «Δ» возможно выполнить для привода рабочих машин, имеющих малый момент трогания или пускаемых вхолостую. Это связано с уменьшением момента электродвигателя при соединении в «Y» в 3 раза. Для такого подключения рекомендуются электродвигатели с повышенным пусковым моментом.

По числу фаз в силовых приводах рекомендуется применять трехфазные электродвигатели. Однако в некоторых приводах рабочих машин бытового назначения, в ручных машинах и электроинструменте, в приводе задвижек малой мощности могут применяться однофазные электродвигатели. Максимальная мощность выпускаемых однофазных электродвигателей составляет 3 кВт при 2-х полюсах и 2,2 кВт при 4-х полюсах. При напряжении 230 В они выпускаются в трех основных исполнениях:

1) с рабочим конденсатором (в обозначении буква E). Рекомендуются для приводов механизмов, имеющих малый момент трогания и малый приведенный момент инерции;

2) с пусковым конденсатором (в обозначении буква U);

3) с пусковым и рабочим конденсатором (в обозначении буква D).

Таблица 2.2 – Схемы включения и номинальные напряжения электродвигателей серии АИР

Мощность двигателя, кВт	Напряжения и схемы обмотки
0,025...0,370	230(Δ) или 400(Y) с тремя выводными концами
0,55...11,0	230(Δ) или 400(Y), 690(Y) с тремя выводными концами
15...110 при 1500 мин ⁻¹ 11...1000 при 1500 мин ⁻¹	230/400(Δ/Y) и 400/690(Δ/Y) с шестью выводными концами
132...400	400/690(Δ/Y) с шестью выводными концами

Исполнения U и D рекомендуются для приводов механизмов, имеющих значительный момент инерции и повышенный момент трогания.

Дополнительные исполнения:

1) со вспомогательной обмоткой, имеющей повышенное сопротивление (в обозначении буква R);

2) с рабочим конденсатором и повышенным сопротивлением обмотки ротора (в обозначении – ER). Рекомендуется для частых пусков и при пульсирующей нагрузке на валу.

Двигатели исполнения E и D в двухполюсном исполнении обеспечивают мощность от 25 до 3000 Вт, а в четырехполюсном – от 16 до 2200 Вт. Двигатели исполнения U имеют мощность в двухполюсном исполнении от 16 до 2200 Вт, а в четырехполюсном – от 10 до 1500 Вт.

Современные асинхронные электродвигатели типа АИР имеют следующие основные электрические *модификации*:

- 1) с нормальным КЗ ротором;
- 2) с фазным ротором;
- 3) с повышенным пусковым моментом;
- 4) с повышенным скольжением;
- 5) многоскоростные.

Двигатели с фазным ротором рекомендуются в следующих случаях:

1) для привода рабочих машин, требующих регулирования частоты вращения, обычно кратковременного регулирования, например в крановых механизмах.

Основной способ регулирования скорости этих электродвигателей – включение добавочных резисторов в цепь ротора. В режиме продолжительной нагрузки при регулировании скорости они используются в асинхронных вентильных каскадах, в машинах двойного питания с непосредственным преобразователем частоты (НПЧ);

2) когда мощность питающей цепи недостаточна для пуска электродвигателя с КЗ ротором. Это выражается в большом падении напряжения в линии, вследствие чего электродвигатель с КЗ ротором не может развернуться. Ранее в сельских сетях при малой мощности трансформаторов, большой длине и малом сечении проводов питающей сети это часто имело место. Поэтому, например, ранее в приводе пилорам использовали АД с фазным ротором. В современных электрических сетях такое встречается редко;

3) для работы в режиме генератора в нагружающих устройствах стендов обкатки и испытания двигателей внутреннего сгорания. Необходимо помнить, что двигатели с фазным ротором имеют минимальную мощность 2,2 кВт (степень

защиты IP44) при четырех полюсах; 1,5 кВт – при шести полюсах, а двухполюсные не выпускаются.

Двигатели с повышенным пусковым моментом предназначены для приводов механизмов, имеющих большие статические и инерционные нагрузки при пуске. Эти электродвигатели имеют минимальную мощность 7,5 кВт в восьмиполюсном исполнении, 11 кВт – в шестиполюсном исполнении и 15 кВт – в четырехполюсном исполнении. В двухполюсном исполнении не выпускаются. Благодаря двойной «беличьей клетке» ротора электродвигатели имеют большие моменты и меньшие токи при пуске.

Двигатели с повышенным скольжением. Предназначены для приводов:

- 1) механизмов с пульсирующей и ударной нагрузкой, требующих кратковременных больших вращающих моментов и снабженных маховиком;
- 2) механизмов, работающих в повторно-кратковременных и перемежающихся режимах по [28].

Номинальная мощность их приводится при ПВ = 40 %. Двигатели выпускаются в диапазоне высот оси вращения 71...250 мм (0,3...63 кВт), в двух-, четырех-, шести- и восьмиполюсном исполнении. Рекомендуются для кратковременной работы. После электродвигателей с нормальным КЗ ротором наиболее распространены.

Многоскоростные электродвигатели предназначены для приводов механизмов, требующих ступенчатого регулирования частоты вращения. Двигатели серии АИР выпускаются с высотами оси вращения, указанными в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Многоскоростные электродвигатели серии АИР

Синхронная частота вращения, об/мин	Высота оси вращения, мм	Диапазоны мощности, кВт
1500/3000	56...280M	0,10/0,14...90/110
750/1500	71...355M	0,4/0,2...132/200
1000/1500	71...280M	0,37/0,50...63/75
750/1000	80...280M	0,3/0,4...75/90
500/1000	112...355M	1,1/2,0...63/110
1000/1500/3000	80...160S	0,30/0,45/0,50...6,3/7,5/10
750/1500/3000	90L...160S	0,37/1,10/1,30...5/7,5/10
750/1000/1500	100S...315M	0,7/0,9/1,3...63/75/90
500/750/1000/1500	160S...280M	1,8/4/4,5/6,2...20/40/42/50

При выборе асинхронных электродвигателей требуется учитывать:

- 1) специализацию их по конструкции;
- 2) специализацию по условиям окружающей среды;
- 3) узкоспециализированное назначение.

По конструктивным признакам различают АД:

- 1) встраиваемые в механизмы (не имеют собственного корпуса);
- 2) с электромагнитным тормозом;
- 3) высокоточные (по установочным и присоединительным разрядам);
- 4) редукторные;
- 5) со встроенными датчиками температурной защиты;
- 6) балансирные;
- 7) для моноблочных насосов.

Для сельскохозяйственных приводов наибольший интерес представляют АД с электромагнитным тормозом, редукторные, для моноблочных насосов и со встроенными датчиками температурной защиты.

Двигатели со встроенным электромагнитным тормозом предназначены для приводов механизмов, работающих в повторно-кратковременном режиме с частыми пусками под нагрузкой (S4) и требующих фиксированной остановки за регламентированное время (100...200 мс) после отключения от сети. Двигатели выпускаются в диапазоне высот оси вращения 56...160 мм, имеют степень защиты IP44. Обеспечивают тормозной момент не менее 1,5 номинального вращающего момента. Изготавливают их трех исполнений:

- 1) самотормозящиеся, со вставкой на роторе;
- 2) с пристроенным электромагнитным тормозом, имеющим форсировку включения с помощью специальной схемы;
- 3) с автономным тормозом и тягой, закрепленной вне тормоза.

Двигатели для зубчатых мотор-редукторов имеют фланцевое исполнение, с шестерней, насаженной на вал ротора двигателя. Выпускаются с высотой оси вращения 71...132 мм.

Двигатели со встроенными датчиками температурной защиты предназначены для приводов механизмов, работающих с переменной нагрузкой, частыми пусками, в среде повышенных температур и в других тяжелых условиях эксплуатации, когда тепловые реле не обеспечивают эффективной защиты от аварийных режимов работы. Эти двигатели требуют использования специальных устройств температурной защиты, дающих сигнал на отключение двигателя от сети при любых аварийных режимах, приводящих к чрезмерному превышению температуры обмотки. Имеют в обмотке статора 3 позистора (в каждой фазе по одному), включенных последовательно. В коробке выводов имеют дополнительно 2 клеммы для подключения проводов от этих датчиков к устройству защиты. Выпускаются электродвигатели с датчиками температурной защиты всех осей вращения.

Необходимость выбора по электрическим модификациям асинхронного электродвигателя, отличающегося от нормального КЗ ротора, возникает обычно позже,

после построения нагрузочной диаграммы, когда определится режим работы электропривода. *Поэтому вначале следует ориентироваться на нормальный КЗ ротор.*

Если же позже определится режим работы S3...S7, то следует выбирать электродвигатель с повышенным скольжением.

Если определится режим работы S8 (с регулированием скорости), то выбирается асинхронный электродвигатель с нормальным КЗ ротором при работе с преобразователем частоты. Возможно применение многоскоростного электродвигателя (ступенчатое регулирование скорости), с фазным ротором (при кратковременном регулировании скорости включением сопротивлений в цепь ротора).

Если в результате последующих расчетов определите, что нужно применять для электродвигателя температурную защиту, то следует вернуться к уточнению модификации и выбрать асинхронный электродвигатель с КЗ ротором и встроенными датчиками температурной защиты.

Если рабочая машина требует быстрой остановки за время 100...200 мс, режим работы S4 (с частыми пусками) или ему подобный, то ориентируйтесь на асинхронный электродвигатель с КЗ ротором и встроенным электромагнитным тормозом

Если рабочая машина – моноблочный насос, то для нее может быть использован специальный асинхронный электродвигатель с КЗ ротором, имеющий удлиненный конец вала специальной конструкции. Такие электродвигатели выпускаются в диапазоне осей вращения 71...225 мм (0,55...55 кВт) в двух и четырехполюсном исполнении.

По условиям окружающей среды различают асинхронные электродвигатели основного исполнения, влагоморозостойкие, химостойкие, пылезащищенные, водостойкие, погружные, тропического исполнения.

Влагоморозостойкие электродвигатели отличаются от электродвигателей основного исполнения влагоморозостойкой изоляцией и защитными покрытиями всех деталей. Предназначены для работы при температуре окружающей среды до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности до 100 % (при температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}$). Выпускаются в диапазоне высот оси вращения 50...355 мм со степенью защиты IP54 в климатическом исполнении ХЛ, категории размещения 2 по [29].

Химостойкие электродвигатели отличаются от электродвигателей основного типа со степенью защиты IP44 применением химостойких изоляционных материалов и антикоррозийных покрытий всех деталей и узлов. Предназначены для работы в химически активной невзрывоопасной среде. Двигатели выпускаются в диапазоне высот оси вращения 50...455 мм со степенью защиты IP54, категории размещения 3 и 5 по [29].

Пылезащищенные электродвигатели предназначены для привода механизмов, работающих в условиях невзрывоопасной окружающей среды с повышенным содержанием пыли. Отличаются от основного исполнения уплотнениями по линии вала и вводных устройств. Выпускаются в диапазоне высот оси вращения 56...250 мм – для АД, выполненных на базе электродвигателей с повышенным пусковым моментом. Двигатели имеют степень защиты IP54, климатическое исполнение У, категории размещения 3.

По узкоспециализированному назначению асинхронные электродвигатели делятся на 10 видов. Основные из них:

- 1) для привода деревообрабатывающих станков;
- 2) для сельского хозяйства;
- 3) крановые;
- 4) лифтовые.

Электродвигатели для привода деревообрабатывающих станков рассчитаны для питания от сети частотой 50 или 100 Гц. Выпускаются одной высоты оси вращения – 100 мм, двухполюсные, на трехфазное напряжение 230 или 400 В, мощностью 4...7,5 кВт.

Электродвигатели асинхронные для сельского хозяйства отличаются от основного исполнения изоляционной системой, защитными покрытиями и уплотнениями по линии вала, щитов и вводного устройства.

Двигатели сельскохозяйственного исполнения имеют модификацию:

- 1) основную;
- 2) с повышенным пусковым моментом;
- 3) с повышенным скольжением;
- 4) многоскоростные;
- 5) с датчиками температурной защиты.

Небольшими сериями выпускаются специальные электродвигатели для сельского хозяйства:

1) для привода тепловентиляторов типа ТВ. Электродвигатели двухскоростные, исполнение сельскохозяйственное химостойкое, 2-й категории размещения, мощностью 1,18/0,55 и 0,55/2,2 кВт, на 750/1500 об/мин, схема обмоток Y/YU;

2) электровибраторы типа ЭВ с электродвигателями мощностью 0,12; 0,37; 0,75 и 2,2 кВт. Электровибраторы предназначены для создания колебательных движений в механизмах механического, элеваторного, строительного оборудования. Могут быть использованы для вибрационных транспортеров.

В таблице 2.4 приведен перечень основных электродвигателей, выпускаемых промышленностью и применяемых в сельскохозяйственном производстве.

Таблица 2.4 – Основные типы электродвигателей для сельскохозяйственного производства, выпускаемые электротехнической промышленностью

Тип асинхронного электродвигателя	Высота оси вращения, мм
Сельскохозяйственные, основного исполнения, степень защиты IP54, категории размещения 1...5 по ГОСТ 15150–69: АИР...СУ, АИР...СХУ...	50...200
То же, но с повышенным скольжением: АИРС...СУ...	71...200
То же, но с повышенным моментом: АИРР...СУ...	160...200
То же, но с датчиками температурной защиты: АИР...БСУ...	56...180
То же, многоскоростные: АИР.../...СУ...	63...200
Влагоморозостойкие, основное исполнение, степень защиты IP54, категория размещения 2: АИР...ХЛ2.	50...355
Химостойкие, основного исполнения, степень защиты IP54, категория размещения 3 и 5: АИР...ХУ3, АИР...ХУ5.	50...355
Пылезащищенные, основного исполнения, степень защиты IP54, категория размещения 3: АИР...АП3.	56...250
То же, но с повышенным моментом: АИР...УП3.	160...250
Для вентиляторов системы «Климат-4М»: 4АПА...У2.	80
Для привода тепловентиляторов ТВ: 4АЗВ.../...СХУ2.	100
Электровибраторы ЭВ.	63, 100, 132

Степени защиты оболочек электродвигателей установлены Публикацией МЭК34-5 и соответствующим стандартом СТ СЭВ 247-76.

Степени защиты определяются:

1) в зависимости от защищенности обслуживаемого оборудования от соприкосновения с его токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри обмотки, а также попадания внутрь оболочки твердых посторонних тел (первая цифра в обозначении, изменяется от 0 до 6; чем больше цифра, тем выше защищенность оборудования);

2) в зависимости от защищенности от вредного влияния, вызванного проникновением брызг воды внутрь оболочки (вторая цифра в обозначении, изменяется от 0 до 8; чем больше цифра, тем выше защищенность оборудования).

Степень защиты обозначают символом IP и двумя цифрами, определяющими защищенность по приведенным выше критериям. Основные степени защиты электродвигателей серии АИР приведены в приложении А.

Степень защиты электродвигателя выбирается исходя из условий окружающей среды в которой будет работать электродвигатель. В приложении Б приведены параметры среды в основных категориях помещений по классификации ПУЭ [24] и рекомендуемые степени защиты электродвигателей для этих помещений, а также климатическое исполнение электродвигателей и категории размещения по [29].

В условиях Республики Беларусь рекомендуется использовать электродвигатели для умеренного климата (с буквой «У» в обозначении, например АИР...У...или 4А...У...).

Выпускаются электродвигатели и других климатических зон, например:

- ХЛ – с холодным климатом;
- ТВ – с влажным тропическим климатом;
- ТС – с сухим тропическим климатом;
- О – для всех макроклиматических районов на суше;
- В – для всех макроклиматических районов на море и на суше.

В зависимости от мест применения при эксплуатации различают **5 категорий размещения электродвигателей**:

1 – для эксплуатации на открытом воздухе (...У1);

2 – для эксплуатации под навесом (отсутствие прямого воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков) и в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличается от колебаний на открытом воздухе (...У2);

3 – для эксплуатации в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий (...У3);

4 – для эксплуатации в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями (например, в закрытых отапливаемых производственных помещениях (...У4);

5 – для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью (например, в не отапливаемых и не вентилируемых помещениях (...У5).

Цифры 1...5 проставляются в конце обозначения типа электродвигателя, например АИР...У1.

Особое внимание следует обратить на выбор исполнения асинхронного электродвигателя для установок, размещенных в пожароопасных и взрывоопасных зонах.

Пожароопасной зоной называется пространство внутри или вне помещения, в пределах которого постоянно или периодически образуются горючие (сгораемые) вещества, и в которых они могут находиться при нормальном техническом процессе или при его нарушении.

Для всех пожароопасных зон (кроме П-Ш) степень защиты оболочки электрического двигателя должна быть не менее IP44, а в зоне П-Ш (в которой выделяется горючая пыль) – не ниже IP54. Для пожароопасных зон рекомендуются пылезащищенные электродвигатели АИР...УПУ3.

Взрывоопасной зоной является помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в которой имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси.

Для взрывоопасных зон используются взрывозащищенные электродвигатели (см. [9], т. 2, часть 4).

При выборе электродвигателя по частоте вращения, руководствуются следующим:

- Если в приводе не требуются передачи и электродвигатель соединяется с валом рабочей машины через упругую втулку, предохранительную, центробежную или другую муфту, то частота вращения электродвигателя выбирается равной частоте вращения рабочей машины.

- Если в приводе требуется передача любого вида, то могут быть выбраны электродвигатели нескольких частот вращения одинаковой мощности. Для каждого электродвигателя определяется передаточное число. Его значение должно быть оптимальным для предполагаемых передач (таблица 2.5). Если это условие соблюдается для нескольких электродвигателей, то далее можно руководствоваться следующими критериями.

- При работе электропривода в продолжительном режиме S1 критерием выбора электродвигателя по частоте вращения может выступать коэффициент энергетической добротности, равный произведению номинальных значений КПД и коэффициента мощности

$$K_{\text{доб}} = \eta_n \cos \varphi_n \quad (2.7)$$

Для нескольких электродвигателей одинаковой мощности, но разной частоты вращения вычисляется коэффициент добротности и выбирается для привода электродвигатель с максимальным значением $K_{\text{доб}}$.

Этот критерий годится и для кратковременного режима работы электропривода (правда, в меньшей мере, учитывая малое время работы привода).

- Если привод работает в режимах частых пусков, реверсов и других переходных процессов (режимы S3...S5) или в перемежающихся режимах (S6... S7), то в качестве критерия может быть принято быстроедействие электропривода. Оптимальным по быстрдействию считается электропривод, для которого произведение момента инерции ротора на квадрат передаточного отношения минимально, т. е.

$$J_{\text{рот}} i^2 \rightarrow \min. \quad (2.8)$$

где $J_{\text{рот}}$ – момент инерции ротора электродвигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

i – передаточное число передач, $i = n_{\text{нд}} / n_{\text{сн}}$;

$n_{\text{нд}}$ и $n_{\text{сн}}$ – частоты вращения ротора электродвигателя и входного вала рабочей машины, мин^{-1} .

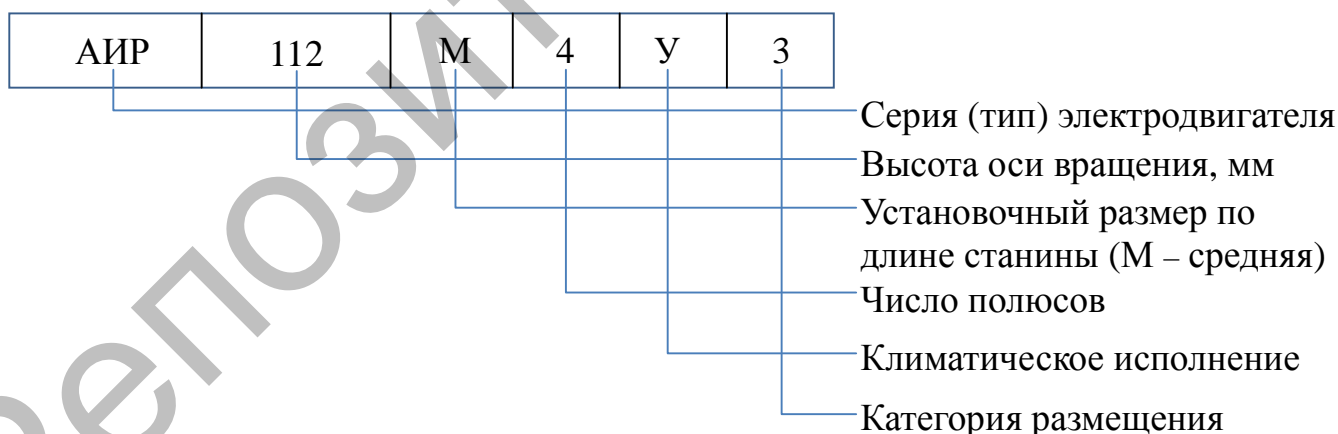
Рекомендуется для сравнения взять несколько электродвигателей разных частот вращения, но одинаковой мощности. Найти для каждого $J_{\text{рот}}$ и i^2 , потом их произведения. Электродвигатель, выбранный по такому критерию, будет обеспечивать наибольшее быстродействие и меньшие потери мощности.

- В некоторых случаях выбор частоты вращения электродвигателя предпрешен конструкцией редуктора. Например, большинство мотор-редукторов имеют электродвигатели на синхронную частоту вращения 1500 мин^{-1} .

- Критерием выбора частоты вращения электродвигателя может быть удобство в эксплуатации. С точки зрения эксплуатации выгодно иметь электродвигатели на синхронную частоту вращения 1500 мин^{-1} , поскольку из всего парка электродвигателей они составляют наибольшую долю и в случае выхода из строя не возникает проблемы с их заменой. Дополнительно следует иметь в виду, что эти же электродвигатели имеют хороший коэффициент добротности. Как правило, с увеличением частоты вращения, т. е. с уменьшением числа пар полюсов, добротность электродвигателей увеличивается.

Для обозначения электродвигателей серии АИР принята **структура**, в которой можно выделить три вида обозначений: 1 – базовое; 2 – основное; 3 – полное.

Базовое обозначение – это сочетание символов, определяющих серию, увязку мощности с установочными размерами по варианту Р или С, высоту оси вращения в мм, длину сердечника или станины в условных обозначениях (буквах), число полюсов в цифрах. Пример расшифровки структуры базового обозначения выглядит следующим образом:



Основное обозначение – это сочетание базового обозначения со следующими уточнениями:

- по виду защиты и охлаждения;
- по электрической и конструктивной модификации;
- по специализации и исполнению по условиям окружающей среды.

Например, АИРБС100М4НПТ2 (АИР 100М4 – базовое обозначение, Б – закрытое исполнение с естественным охлаждением без обдува, С – с повышенным скольжением, Н – малошумные, П – с повышенной точностью установочных размеров, Т – для тропического климата, 2 – категория размещения).

Полное обозначение – это сочетание основных обозначений с дополнительными электрическими и конструктивными характеристиками.

Например, АИРБС100М4НПТ2, 230/400 В, 60, IM 2181, КЗ-II, F100. В этом обозначении АИРБС100М4НПТ2 – основное обозначение, 230/400 В – напряжение, 60 – частота сети, IM 2181 – исполнение по способу монтажа и по концу вала, КЗ-II – исполнение выводного устройства и количества штуцеров (два), F100 – исполнение фланцевого щита (отверстия расположены на диаметре 100 мм).

Пример шильдика типового промышленного асинхронного электродвигателя показан на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – Шильдик типового промышленного электродвигателя:

1 – тип двигателя; 2 – логотип производителя; 3 – рабочая частота; 4 – число фаз и род тока питающей сети; 5 – номинальная частота вращения электродвигателя; 6 – режим работы; 7 – масса двигателя; 8 – схема соединения обмоток (звезда); 9 – номинальная мощность электродвигателя; 10 – класс изоляции по [24]; 11 – номинальное напряжение обмоток; 12 – КПД в %; 13 – дата выпуска; 14 – стандарт выполнения; 15 – степень защиты оболочки от внешнего воздействия (код IP); 16 – $\cos\phi$; 17 – номинальный ток обмоток; 18 – заводской номер

Некоторые обозначения электродвигателей серии АИР приведены ниже.

Исполнение по виду защиты и охлаждения:

АИРБ... – закрытое с естественным охлаждением без обдува;

АИР... (без буквы) – закрытое с внешним обдувом корпуса от встроенного вентилятора, является основным для двигателей с КЗ ротором;

АИРН... – защищенное;

АИРЛ... – открытое;

АИРВ... – встраиваемое;

АИРЦ... – закрытое продуваемое;

АИРФ... – с пристроенным вентилятором от отдельного электродвигателя.

Электрические модификации (приведены для закрытых двигателей с внешним обдувом корпуса от встроенного вентилятора):

АИРС... – с повышенным скольжением;

АИРР... – с повышенным пусковым моментом;

АИРХ... – с регулируемой частотой вращения;

АИРК... – с фазным ротором;

АИРУ... – однофазные, с пусковым конденсатором;

АИРЕ... – однофазные, с рабочим конденсатором;

АИРД... или АИРУЕ... – однофазные, с рабочим и пусковым конденсатором;

АИРКр... – для кратковременного режима работы.

Установочные размеры по длине станины и сердечника статора:

АИР...С... – первая длина станины (короткая);

АИР...М... – вторая длина станины (средняя);

АИР...Л... – третья длина станины (длинная).

Длина сердечников: первая – А, вторая – В, третья – С.

Возможны сочетания: SA, SB, LA, LB.

Конструктивные модификации:

АИР...Б... – с температурным датчиком;

АИР...Н... – малошумные;

АИР...П... – с повышенной точностью установочных размеров;

АИР...П2... – с высокой точностью установочных размеров;

АИР...Е... – с электромагнитным тормозом.

Исполнения по условиям окружающей среды:

АИР...У... – для умеренного климата;

АИР...ХЛ... – для холодного климата;

АИР...УХЛ... – для умеренного и холодного климата;

АИР...Т..., АИР...ТВ..., АИР...ТС... – для тропического, тропического влажного, тропического сухого климата.

Специальные:

...Х... – химостойкое исполнение;

...С..., ...СХ... – сельскохозяйственное, сельскохозяйственное химостойкое исполнение;

...Ж... – для моноблочных насосов;

...УП... – пылезащитное исполнение;

...ОМ... – для речных и морских судов;

...НЛБ... – лифтовые;

...ХД... – для деревообрабатывающих станков;

...РН... – рудничные.

Исполнение малого фланца двигателя. Диаметр отверстий во фланце, мм: 85, 100, 115, 130, 165.

Технические данные электродвигателей приводятся в каталогах и справочниках. Наиболее полные данные по электрическим машинам разных типов приведены в 2-х томах «Справочника по электрическим машинам» [9]. Что касается асинхронных электродвигателей (АД) серии АИР, то наиболее полные данные, в большем объеме и более детально, чем в [9], изложены в [16]. В этой книге содержится интересная и полная информация о свойствах и параметрах АД.

Электротехническая промышленность взамен электродвигателей серии 4А освоила и выпускает новую, унифицированную по мощности, габаритам и другим параметрам со странами бывшего СЭВ серию асинхронных электродвигателей «Интерэлектро» (АИ). В нашей стране эти электродвигатели получили название АИР (буква «Р» означает увязку по шкале мощностей варианта «Р», есть еще вариант «С»). Техническая информация об этих двигателях очень скудная, есть в [9], но наиболее полно – в [16]. В последней книге изложены технические требования к современным сериям АД, методика их оптимизации, расчета и конструирования, дано описание конструкций основных исполнений и модификаций, а также основные технологические решения, принятые при их изготовлении. Эта книга содержит не справочные данные, а скорее обоснование серии АИР и её особенности.

Серия АИР является результатом совершенствования серии 4А, но отличается от нее незначительно. Высота осей вращения и мощности совпадают. Поэтому, учитывая отсутствие полной информации о двигателях серии АИР и наличие ее для серии 4А, допускается использовать АД серии 4А при всех расчетах в курсовом проектировании, а в заказе и выходных данных работы заменять 4А на АИР. Поскольку двигатели серии АИР несколько качественно лучше АД серии 4А, то такая замена обеспечивает некоторый запас надежности.

Основные технические данные асинхронных электродвигателей серии 4А и АИР приведены в приложениях Г...Ж.

2.4 Выбор кинематической принципиальной схемы электропривода

В пункте 2.3 Вы предварительно решили, какой электродвигатель использовать. В этом пункте надо выбрать тип передачи движения от вала электродвигателя к рабочему «входному» валу рабочей машины. По сути дела, надо решить, какую использовать передачу или мотор-редуктор для получения требуемой скорости на валу рабочей машины.

Первым шагом при выборе передачи является определение общего передаточного числа

$$i_{\text{общ}} = \frac{n_{\text{нд}}}{n_{\text{сн}}}, \quad (2.9)$$

где $n_{\text{нд}}$ – номинальная частота вращения вала электродвигателя, мин⁻¹;

$n_{\text{сн}}$ – номинальная частота вращения вала рабочей машины, мин⁻¹.

Поскольку номинальная мощность электродвигателя для привода рабочей машины еще не определена, то номинальная частота вращения вала электродвигателя точно не известна. Ранее, в п. 2.3, определена только частота вращения его электромагнитного поля n_0 . Предполагается принять $n_{\text{нд}}$ в формуле (2.9) равной частоте вращения электродвигателя, имеющего мощность примерно равную приведенной к валу электродвигателя мощности рабочей машины. Такое допущение приемлемо, поскольку асинхронные электродвигатели ближайших мощностей имеют в рабочем диапазоне примерно одинаковые номинальные частоты вращения.

Номинальная частота вращения предварительно выбранного двигателя $n_{\text{нд}}$ определяется по формуле

$$n_{\text{нд}} = n_0(1 - s_{\text{н}}), \quad (2.10)$$

где n_0 – синхронная частота вращения электромагнитного поля статора электродвигателя, об/мин;

$s_{\text{н}}$ – номинальное скольжение электродвигателя, о. е.

Ориентировочная мощность электродвигателя $P'_{\text{нд}}$ и приведенная к валу электродвигателя мощность $P'_{\text{сн}}$ определяются по формуле

$$P'_{\text{нд}} \geq P'_{\text{сн}} = \frac{P_{\text{сн}}}{\eta_{\text{общ. пер}}}. \quad (2.11)$$

где $P_{\text{сн}}$ – мощность на валу рабочей машины при номинальной нагрузке, кВт;

$P'_{\text{сн}}$ – приведенная к валу электродвигателя мощность рабочей машины, кВт;

$\eta_{\text{общ. пер}}$ – общий КПД передач, о.е.

Если выбирается кинематическая схема с несколькими передачами, то общий КПД передачи определяется как произведение КПД отдельных передач. Параметры и характеристики основных передач приведены в таблице 2.5. Параметры соответствуют одноступенчатым передачам. При больших передаточных числах применяют двух или трехступенчатые редукторы, а также сочетание гибкой передачи и механического редуктора.

Таблица 2.5 – Параметры и характеристики основных передач

Тип передачи (в одну ступень)	Рекомендуемое передаточное число $i_{рек}$	Максимальная допустимая окружная скорость, м/с	Максимальное межцентровое расстояние, м	Положение валов	Постоянство передаточного числа	Средний КПД
Клиноременная	1,2...3,2	30	До 5	Параллельное	Непостоянно	0,95
Цепная	1,5...5	20	До 8	Параллельное	Постоянно	0,92
Зубчатая: – цилиндрическая, – коническая	2,5...6,3 2,5...5	До 150 До 150	Определяется размером передач	Параллельное Скрещивающ.	Постоянно Постоянно	0,97 0,96
Червячная однозаходная	8...63	До 40	–	Скрещивающ.	Постоянно	0,72

Известен также следующий рациональный диапазон передаточных чисел [7] с допустимым отклонением: $\pm 5\%$:

- ременной передачи – 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,2;
- цепной – 1,5...5,0;
- цилиндрической одноступенчатой – 2,5; 2,8; 3,15; 3,55; 4,0; 4,5; 5,0; 5,6; 6,3;
- конической одноступенчатой – 2,5; 2,8; 3,15; 3,55; 4,0; 4,5; 5,0;
- червячной одноступенчатой – 8; 10; 12,5; 14; 16; 20; 28; 40; 63.

Наилучшая кинематическая схема содержит минимум передач и промежуточных звеньев. В этом смысле рекомендуется использовать мотор-редуктор. Параметры мотор-редукторов приведены в приложении Л. Еще более упростить кинематическую схему можно, используя, например, мотор-барабан для ленточного транспортера.

В рамках курсовой работы выбор передаточного устройства сводится к выбору передаточного числа из стандартного ряда, ближайшего к расчетному.

Очень важно удачно выбрать место установки приводного устройства. Место расположения приводного устройства должно быть доступно и удобно

для подключения электродвигателя и его монтажа. Обычно это место выше приводного барабана, например для ленточных транспортеров.

Приводное устройство не должно также выступать за общие габариты машины, т. е. увеличивать габариты машины в целом. Для многих транспортеров уборки навоза приводное устройство должно иметь вертикальную установку валом вниз.

Прежде чем принять окончательное решение по компоновке, познакомьтесь с типовыми решениями по учебникам и справочникам и постарайтесь улучшить известное приводное устройство.

2.5 Приведение мощности, момента и скорости рабочей машины к валу электродвигателя и обоснование режима его работы

В п. 2.4 предварительно и ориентировочно была определена угловая скорость предполагаемого электродвигателя $\omega_{\text{нд}}$, хотя мощность его окончательно не определена. Она будет вычислена в п. 2.6.

Приведение мощности рабочей машины к валу электродвигателя выполняется по формуле (2.11). Из формулы (2.11) следует, что приведенная мощность $P'_{\text{сн}}$ незначительно больше мощности $P_{\text{сн}}$ на валу рабочей машины и зависит от КПД передач. Следовательно, вид нагрузочной диаграммы (например, рисунок 2.3) существенно не изменится при приведении мощности рабочей машины к валу электродвигателя.

Если нагрузочная диаграмма задана в виде графика $M_c = f(t)$, то приведенный к валу электродвигателя момент сопротивления рабочей машины вычисляется по формуле

$$M'_c = \frac{M_c}{\eta_{\text{пер}} i_{\text{общ}}} . \quad (2.12)$$

Из формулы (2.12) следует, что приведенный к валу электродвигателя момент M'_c может значительно отличаться от момента M_c рабочей машины при большом передаточном числе. Однако вид приведенной нагрузочной диаграммы сохранится.

Приведение номинальной угловой скорости $\omega_{\text{сн}}$ рабочей машины к валу электродвигателя выполняется по формуле

$$\omega_{\text{нд}} = \omega_{\text{сн}} i_{\text{общ}} . \quad (2.13)$$

Формулами (2.12) и (2.13) пользуются для приведения механической характеристики рабочей машины к валу электродвигателя. Такое приведение необходимо

выполнить при изображении на одном графике механической характеристики электродвигателя и приведенной механической характеристики M'_c рабочей машины, например, на рисунке 2.8. Такие расчеты выполняются после окончательного выбора электродвигателя по мощности.

Таким образом, по (2.11) или (2.12) пересчитайте мощность и момент рабочей машины к валу электродвигателя и постройте приведенную нагрузочную диаграмму и приведенную механическую характеристику рабочей машины в пояснительной записке.

Нагрузочная диаграмма электродвигателя будет совпадать по виду с нагрузочной приведенной диаграммой рабочей машины, если продолжительность времени пуска и электрического торможения несоизмеримо меньше продолжительности работы, т. е. $t_{\text{пуск}} + t_{\text{торм.л}} < 0,02t_{\text{раб}}$. Это условие всегда выполняется при продолжительной и кратковременной работе электропривода. В повторно-кратковременном режиме работы, при малом времени включенного состояния (менее 100 с) надо учитывать пусковые и тормозные моменты или мощности. В этом случае нагрузочная диаграмма электродвигателя будет отличаться от приведенной к валу электродвигателя нагрузочной диаграммы наличием дополнительных пусковых и тормозных участков. В сельскохозяйственных электроприводах такой режим работы встречается крайне редко и далее не рассматривается.

Нагрузочная диаграмма электродвигателя будет отличаться от приведенной нагрузочной диаграммы рабочей машины при перемежающихся режимах, когда нагрузка и холостой ход чередуются, причем отношение максимального момента нагрузки к среднему моменту нагрузки более 1,4.

В этом случае для сглаживания колебаний нагрузки используется дополнительный маховик в виде шкива ременной передачи и т. п. Обычно это электроприводы с пульсирующей симметричной нагрузкой (поршневые компрессоры, пилорамы) и несимметричной пульсирующей нагрузкой (сеносоломопрессы), с ударной нагрузкой (дыропробивочные и штамповочные прессы). В указанных электроприводах строится нагрузочная диаграмма рабочей машины и после предварительного выбора электродвигателя строится его нагрузочная диаграмма, которая существенно отличается от нагрузочной диаграммы рабочей машины, из-за наличия в приводе маховика, играющего в этих машинах положительную роль. Выбор электропривода для сельскохозяйственных машин с пульсирующей и ударной нагрузкой рассматривается в [5] и выходит за объем данного пособия. В случае проектирования такого электропривода смотрите [5] и [6].

Режим работы электропривода определяется по нагрузочной диаграмме с учетом постоянной времени нагрева электродвигателя, времени его работы или времени цикла.

Постоянная времени нагрева электродвигателя зависит от его теплоемкости и теплоотдачи. Эти параметры связаны с массой электродвигателя, частотой вращения ротора и допустимой температурой нагревания изоляции. В конечном счете постоянная времени нагрева T_n зависит от номинальной мощности и частоты вращения ротора электродвигателя (приложение В). В приложении В приведены ориентировочные значения постоянной времени T_n (только для обоснования режима работы электропривода). Далее T_n определяется расчетом (см. п. 2.9).

Поскольку электродвигатель окончательно не выбран, то ориентируемся приближенно на мощность $P'_{нд}$, формула (2.11). По этой мощности ориентировочно выбираем постоянную времени нагрева T_n из приложения В.

Если время работы электропривода более $3T_n$, то режим работы продолжительный – S1.

Если время цикла нагрузки менее или равно 10 минут и электродвигатель в цикле включается и отключается, а циклы повторяются многократно, то режим работы повторно-кратковременный – S3. Если при этом надо часто включать электродвигатель, то режим S4. Если дополнительно к этому надо при каждой остановке использовать электрическое торможение, то режим S5.

Если время работы электродвигателя составляет до $3T_n$ и после отключения пауза длится более $6T_n$ (для двигателей серий 4А и АИР) и электродвигатель за это время может остыть до окружающей температуры, то режим работы S2.

Если электродвигатель не отключается от сети, а режим холостого хода и нагрузки чередуется в цикле 10 минут, то режим работы перемежающийся – S6. Если при этом в цикле электродвигатель реверсируется, то режим S7.

Если в приводе регулируется скорость, то режим работы S8.

Нагрузочные диаграммы основных режимов работы электроприводов изложены в [8] и других учебниках по курсу электропривода.

2.6 Окончательный выбор электродвигателя по мощности с учетом режима работы

При выборе электродвигателя по мощности руководствуются нагрузочной диаграммой $P_1 = f(t)$. Из нагрузочной диаграммы определяют наибольшую нагрузку, а по нагрузочной диаграмме – режим работы электродвигателя. Последний определяет методику расчета мощности. Наиболее простыми и распространенными режимами работы электродвигателя являются S1...S3.

Если режим работы электродвигателя продолжительный S1 при постоянной нагрузке, то мощность электродвигателя выбирается из условия

$$P_n \geq P'_c, \quad (2.14)$$

где P'_c – приведенная к валу электродвигателя мощность рабочей машины;

$$P'_c = \frac{P_c}{\eta_{\text{общ. пер.}}}, \quad (2.15)$$

где P_c – мощность на валу рабочей машины;

$\eta_{\text{общ. пер.}}$ – КПД передачи.

Если режим работы электродвигателя продолжительный S1 при постоянной приведенной к валу электродвигателя нагрузке P'_1, P'_2 и т. д. на некотором участке продолжительностью t_1, t_2 и т. д., то сначала определяют эквивалентную мощность по нагрузочной диаграмме

$$P'_э = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots}{t_1 + t_2 + \dots}}. \quad (2.16)$$

Затем эквивалентную мощность рабочей машины приводят к валу электродвигателя по формуле

$$P'_э = \frac{P_э}{\eta_{\text{общ. пер.}}} \quad (2.17)$$

Если на каком-либо участке нагрузка является линейно-падающей или линейно-возрастающей, то в формулу (2.16) подставляется средняя мощность на этом участке: $P_{\text{ср}} = (P_{\text{нач}} + P_{\text{кон}}) / 2$.

Электродвигатель выбирается из условия

$$P_n \geq P'_э. \quad (2.18)$$

Если режим работы электродвигателя кратковременный S2, то выбирают электродвигатель продолжительного режима для кратковременной работы, кратковременно перегружая его. Для учета допустимой перегрузки определяют коэффициент термической K_T и механической K_M перегрузки

$$K_T = \frac{1}{1 - e^{-t_p/T_n}}, \quad (2.19)$$

$$K_m = \sqrt{\kappa_T(\alpha_n + 1) - \alpha_n} \quad , \quad (2.20)$$

где t_p – время работы электродвигателя по нагрузочной диаграмме, мин;

α_n – отношение постоянных потерь в двигателе к переменным; α_n взять по данным приложения К для электродвигателя, мощность которого P_n ближайшая меньшая к P_3 . Коэффициент α_n может быть вычислен по методике, изложенной далее по формуле (2.28);

T_n – постоянная времени нагрева выбранного электродвигателя, мин (приложение В).

Если T_n не задана, то поступают следующим образом. Сначала определяют P_3 по формуле (2.16). Выбирают предварительно электродвигатель по условию: номинальная мощность выбранного двигателя должна быть ближайшей меньшей, т. е. $P_n \leq P_3$. Определяют по каталогу его массу, расчетную температуру превышения $\tau_{\text{раб}}$ обмотки и расчетом – теплоотдачу A_n

$$A_n = \frac{\Delta P_n}{\tau_{\text{раб}}} \quad , \quad (2.21)$$

где ΔP_n – номинальные потери мощности в электродвигателе, Вт;

$$\Delta P_n = P_n \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right) \quad , \quad (2.22)$$

где η_n – КПД электродвигателя в номинальном режиме.

Расчетное (рабочее) превышение температуры определяется классом изоляции электродвигателя (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Классы изоляции обмоток электродвигателей АИР и 4А и допустимое превышение температуры обмотки

Параметры	Для класса изоляции			
	Е	В	F	Н
Предельно допустимое превышение температуры (максимальное значение) $\tau_{\text{доп}}$	80	90	115	140
Расчетная рабочая температура превышения $\tau_{\text{раб}}$ (средне значение)	75	80	100	125
Высота оси вращения электродвигателя, мм	–	45...63	71...335	–

Постоянная времени нагрева

$$T_{\text{н}} = \frac{C}{A_{\text{н}}}, \quad (2.23)$$

где C – теплоемкость электродвигателя Дж/°С; $C \approx 400m$, (для электродвигателей с осью вращения до 132 мм включительно) и $C \approx 480m$ (для электродвигателей с осью вращения 160 мм и более); m – масса электродвигателя, кг.

$$\text{Электродвигатель выбирается из условия } P_{\text{н}} \geq \frac{P'}{K_{\text{м}}}. \quad (2.24)$$

Если режимы работы электродвигателя повторно-кратковременные S3...S5, то сначала решают, какой модификации будет выбираться электродвигатель:

1) с повышенным скольжением, специально предназначенный для таких режимов работы;

2) продолжительного режима для работы в повторно-кратковременном режиме.

В первом случае определяют фактическую продолжительность включения по нагрузочной диаграмме

$$\varepsilon_{\phi} = \frac{t_{\text{р}}}{t_{\text{р}} + t_0 \beta_0}, \quad (2.25)$$

где $t_{\text{р}}$ и t_0 – время работы и время паузы электродвигателя за рабочий цикл не более 10 мин;

$\beta_0 \approx 0,45$ – коэффициент ухудшения теплоотдачи электродвигателей закрытых с самовентиляцией (IP44, IP54) в неподвижном состоянии.

Электродвигатель серии АИР повышенного скольжения, имеющий $\varepsilon_{\text{к}} = 0,4$, выбирают по условию

$$P_{\text{н.кат}} \geq P_{\text{э}} \sqrt{\frac{\varepsilon_{\phi}}{0,4(1 + \alpha_{\text{н}}) - \alpha_{\text{н}} \varepsilon_{\phi}}}, \quad (2.26)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – вычислить по формуле (2.28) (для электродвигателя мощностью $P_{\text{э}}$).

Во втором случае (выбор электродвигателя продолжительного режима основного исполнения) следует определять коэффициенты $K_{\text{т}}$ и $K_{\text{м}}$:

$$K_{\text{т}} = \frac{1 - e^{-\left(\frac{t_{\text{р}}}{T_{\text{н}}} + \frac{t_0}{T_0}\right)}}{1 - e^{-\frac{t}{T_{\text{н}}}}}, \quad (2.27)$$

$K_{\text{м}}$ определяется по формуле (2.21), $T_{\text{н}}$ – по формуле (2.23), а $T_0 = T_{\text{н}}/\beta_0$.

Электродвигатель в этом случае выбирается из условия (2.24).

Для асинхронных электродвигателей серии АИР или других модификаций коэффициент потерь мощности α_H может быть определен по формуле

$$\alpha_H = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{\Delta P_{\text{пер}}}, \quad (2.28)$$

где $\Delta P_{\text{пост}}$ – постоянные потери в электродвигателе, Вт;

$\Delta P_{\text{пер}}$ – переменные номинальные потери (при номинальной нагрузке), Вт.

$$\Delta P_{\text{пост}} = \Delta P_H - \Delta P_{\text{пер.н}}, \quad (2.29)$$

где ΔP_H – общие потери в электродвигателе при номинальной нагрузке, Вт,

$$\Delta P_H = P_H \left(\frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \right), \quad (2.30)$$

где P_H – номинальная мощность электродвигателя, Вт;

η_H – номинальный КПД электродвигателя, о. е.

Переменные номинальные потери можно определить по формуле (2.31), в которой первое слагаемое определяет потери в обмотках статора, а второе слагаемое – потери в обмотках ротора

$$\Delta P_{\text{пер.н.}} = 3I_H^2 r_{1p} + M_H \omega_0 s_H \quad (2.31)$$

где I_H – номинальный ток электродвигателя, А;

r_{1p} – активное сопротивление обмотки одной фазы статора электродвигателя, приведенное к рабочей температуре электродвигателя, Ом (см. приложение И);

M_H – номинальный момент электродвигателя, Н·м;

ω_0 – синхронная скорость электромагнитного поля статора, рад/с;

s_H – номинальное скольжение ротора, о. е.

В справочнике [10] сопротивление одной фазы обмотки r_0 задано при 20°C. При рабочей температуре $r_{1p} = 1,4r_0$.

Номинальный момент электродвигателя вычисляется по уравнению (2.38). Значения ω_0 , I_H , η_H определяются по данным, приведенным в приложениях Г, Ж, И данного пособия или в справочниках [9] и [10].

2.7 Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска, перегрузочной способности и на допустимое число включений в час

Выбранный по мощности электродвигатель при любых режимах работы проверяется по условиям пуска и на преодоление максимальной нагрузки, а в режимах работы S3...S5 – дополнительно на допустимую частоту включения в час.

Проверка по условиям пуска

$$M_{\text{п}} u^2 \geq 1,3 M'_{\text{со}}, \quad (2.32)$$

$$M_{\text{мин}} u^2 \geq 1,3 M'_{\text{см}}, \quad (2.33)$$

$$t_{\text{п.нагр}} < t_{\text{п.доп}}, \quad (2.34)$$

где $M_{\text{п}}, M_{\text{мин}}$ – пусковой и минимальный при пуске момент электродвигателя, Нм;

$M'_{\text{со}}, M'_{\text{см}}$ – приведенный момент, требуемый для вращения рабочей машины, при скорости $\omega = 0$ и $\omega = \omega_{\text{мин}}$, соответствующий минимальному моменту электродвигателя. Обычно принимают $\omega_{\text{мин}} = 0,15\omega_0$, где ω_0 – синхронная скорость вращающегося магнитного поля, рад/с. Значение $M'_{\text{со}}$ и $M'_{\text{см}}$ находят по приведенной механической характеристике рабочей машины;

$t_{\text{п.нагр}}$ и $t_{\text{п.доп}}$ – время пуска электродвигателя под нагрузкой и допустимое время пуска, с. Если запуск электродвигателя осуществляется только вхолостую, то вместо $t_{\text{п.нагр}}$ в формулу (2.34) следует подставить $t_{\text{п.вх}}$ (см. формулу 2.41).

$$t_{\text{п.доп}} = \frac{\tau_{\text{раб}}}{V}, \quad (2.35)$$

где $\tau_{\text{раб}}$ – берется из таблицы 2.6;

V – скорость роста температуры при пуске, °C/с, в рамках курсовой работы для асинхронного электродвигателя серии АИР значение V выбрать из приложения Г, Д или Е для двигателя серии 4А.

$u = U/U_{\text{н}}$ – относительное снижение напряжения в сети в период пуска; если u не задано, то принимают $u \approx 0,9$.

$$M_{\text{п}} = \mu_{\text{п}} M_{\text{н}}, \quad (2.36)$$

$$M_{\text{мин}} = \mu_{\text{мин}} M_{\text{н}}, \quad (2.37)$$

где $M_{\text{п}}$ и $M_{\text{мин}}$ – кратность пускового и минимальных моментов электродвигателя, см. приложения Г, Д, Е.

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (2.38)$$

где ω_H – номинальная угловая скорость ротора электродвигателя, рад/с,

$\omega_H = (\pi n_H) / 30$, где n_H – номинальная частота вращения ротора, об/мин.

Если задано в каталоге номинальное скольжение s_H , то

$$\omega_H = \omega_0(1 - s_H). \quad (2.39)$$

Время пуска двигателя под нагрузкой приближенно оценивают по выражению

$$t_{п.нагр} \approx \frac{J_{пр} \omega_H}{0,33(M_{п} + M_{мин} + M_{к}) - M'_{с.ср}}. \quad (2.40)$$

где $J_{пр}$ – приведенный к валу электродвигателя момент инерции электропривода, кг·м², в рамках курсовой работы принять $J_{пр} = 2 J_{рот.дв}$;

$M'_{с.ср}$ – средний (за время пуска) момент сопротивления рабочей машины по ее механической характеристике. Если $M'_c = f(\omega)$ неизменный во время пуска, то $M'_{с.ср} = M'_c$; если $M'_c = f(\omega)$ линейно возрастает от $M'_{с0}$ до $M'_{с.ном}$, то $M'_{с.ср} = 0,5(M'_{с0} + M'_{с.ном})$; если $M'_c = f(\omega)^2$, то $M'_{с.ср} = 0,33(M'_{с0} + M'_{с.ном})$;

M_k – критический момент электродвигателя, Н·м:

Время пуска вхолостую приближенно определяется выражением

$$t_{п.вх} \approx \frac{J_{пр} \omega_0}{0,33(M_{п} + M_{мин} + M_{к})}, \quad (2.41)$$

Критический момент электродвигателя определяется по формуле

$$M_k = \mu_k M_H. \quad (2.42)$$

где μ_k – кратность критического момента электродвигателя.

Примечание. Если запуск электродвигателя производится с переключением схемы со «Y» на «Δ», то все моменты электродвигателя следует уменьшить в 3 раза.

Проверка электродвигателя на преодоление максимальной нагрузки $P_{маx.нагр}$ из нагрузочной диаграммы производится по условию

$$M_k u^2 \geq 1,3 M'_{маx.нагр}, \quad (2.43)$$

где u – относительное снижение напряжения в сети, $u = 0,9$;

$M'_{маx.нагр}$ – максимальный момент нагрузки; определяется по графику $M'_c = f(\omega)$ при скорости ω_k или упрощенно по формуле

$$M'_{\text{max. нагр}} = \frac{P'_{\text{max. нагр}}}{\omega_{\text{н. д}}} \quad (2.44)$$

Если условия (2.43) и (2.32)...(2.34) не соблюдаются, то выбирается электродвигатель на 1 ступень большей мощности и проверку повторяют.

Иногда условия (2.32)...(2.34) являются определяющими при выборе мощности (при тяжелых условиях пуска и при неравномерной нагрузке с пиками момента или мощности).

Для повторно-кратковременных режимов работы S3...S5 дополнительно проверяют, чтобы фактическое число включений в час не превышало допустимого для данного электродвигателя числа включений в час

$$Z_{\text{доп}} > Z_{\text{фак}} = \frac{60}{t_p + t_0}, \quad (2.45)$$

где t_p и t_0 – брать в минутах.

$$Z_{\text{доп}} = 3600 \frac{(\Delta P_{\text{н}} - \Delta P_{\text{х}})\varepsilon_{\phi} + \Delta P_{\text{н}}\beta_0(1 - \varepsilon_{\phi})}{0,97 (\Delta W_{\text{н}} + \Delta W_{\text{т}})}, \quad (2.46)$$

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \left(\frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \right), \quad (2.47)$$

$$\Delta P_{\text{х}} = P_{\text{э}} \left(\frac{1 - \eta_{\text{э}}}{\eta_{\text{э}}} \right), \quad (2.48)$$

$$\eta_{\text{э}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \right) \left(\frac{\left(\frac{\alpha_{\text{н}}}{x} \right) + x}{\alpha_{\text{н}} + 1} \right)}. \quad (2.49)$$

$$\text{Коэффициент нагрузки } x = \frac{P_{\text{э}}}{P_{\text{н}}}. \quad (2.50)$$

$$\text{Потери при пуске } \Delta W_{\text{н}} = J_{\text{пр}} \frac{\omega_0^2}{2} \left(\frac{r_1}{r'_2} + 1 \right) K_{\text{п}}, \quad (2.51)$$

где $J_{\text{пр}}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции машины, кг·м²; r_1/r'_2 – отношение приведенных сопротивлений статорной и роторной обмоток;

$K_{\text{п}}$ – коэффициент увеличения потерь при пуске под нагрузкой, в отличие от пуска вхолостую; $K_{\text{п}}$ – коэффициент пропорциональности – отношение времени пуска под нагрузкой к времени пуска вхолостую

$$K_{\text{п}} = \frac{t_{\text{п. нагр}}}{t_{\text{п. вх}}}. \quad (2.52)$$

Потери при торможении ΔW_T зависят от вида электрического торможения. При торможении противовключением под нагрузкой они составляют $\Delta W_T = 3\Delta W_{\Pi}$, где ΔW_{Π} определяется по (2.51); при динамическом торможении $\Delta W_T \approx J_{\text{пр}}\omega_0^2/2$.

2.8 Проверка выбранного электродвигателя на нагревание за цикл нагрузочной диаграммы

В этом пункте надо определить температуру превышения обмотки в конце цикла нагрузочной диаграммы и построить кривую нагрева и охлаждения электродвигателя за цикл нагрузочной диаграммы.

По наибольшей температуре превышения кривой нагрева судят о тепловой нагрузке электродвигателя.

Правильно выбранный электродвигатель имеет максимальную температуру превышения ниже допустимой для изоляции обмотки данного класса.

При незначительных нагревах электродвигателя можно говорить о завышении его мощности. В этом случае проектировщик электропривода должен обратить внимание на обоснование завышения мощности электродвигателя.

Расчет кривой нагрева и охлаждения проводят по формуле

$$\tau = \tau_{\text{уст}}(1 - e^{-t/T_{\text{н}}}) + \tau_{\text{нач}} e^{-t/T_{\text{н}}}, \quad (2.53)$$

где $\tau_{\text{уст}}$ – установившаяся температура (для каждой ступени нагрузки определяется отдельно), °С;

t – время (от начала действия данной ступени нагрузки), мин;

$T_{\text{н}}$ – постоянная времени нагрева (одно значение для всех ступеней нагрузки), мин, $T_{\text{н}}$ определено ранее, см. п. 2.6;

$\tau_{\text{нач}}$ – начальная температура превышения (для каждой ступени нагрузки разная величина. Например, для второй ступени нагрузки начальная температура превышения равна конечной температуре на первом участке), °С.

Установившаяся температура превышения $\tau_{\text{уст}}$ определяется по уравнению:

$$\tau_{\text{уст}} = \frac{\Delta P_x}{A_{\text{н}}}, \quad (2.54)$$

где ΔP_x – потери мощности в электродвигателе при нагрузке на валу P_c , Вт; ΔP_x вычисляется по формуле (2.48);

$A_{\text{н}}$ – номинальная теплоотдача электродвигателя, Вт/°С; определяется по формуле (2.21).

При отключении электродвигателя его остывание происходит по уравнению

$$\tau = \tau_{\text{нач}} e^{\frac{-t}{T_0}}, \quad (2.55)$$

где T_0 – постоянная времени охлаждения, мин;

t – время от начала отключения электродвигателя, мин,

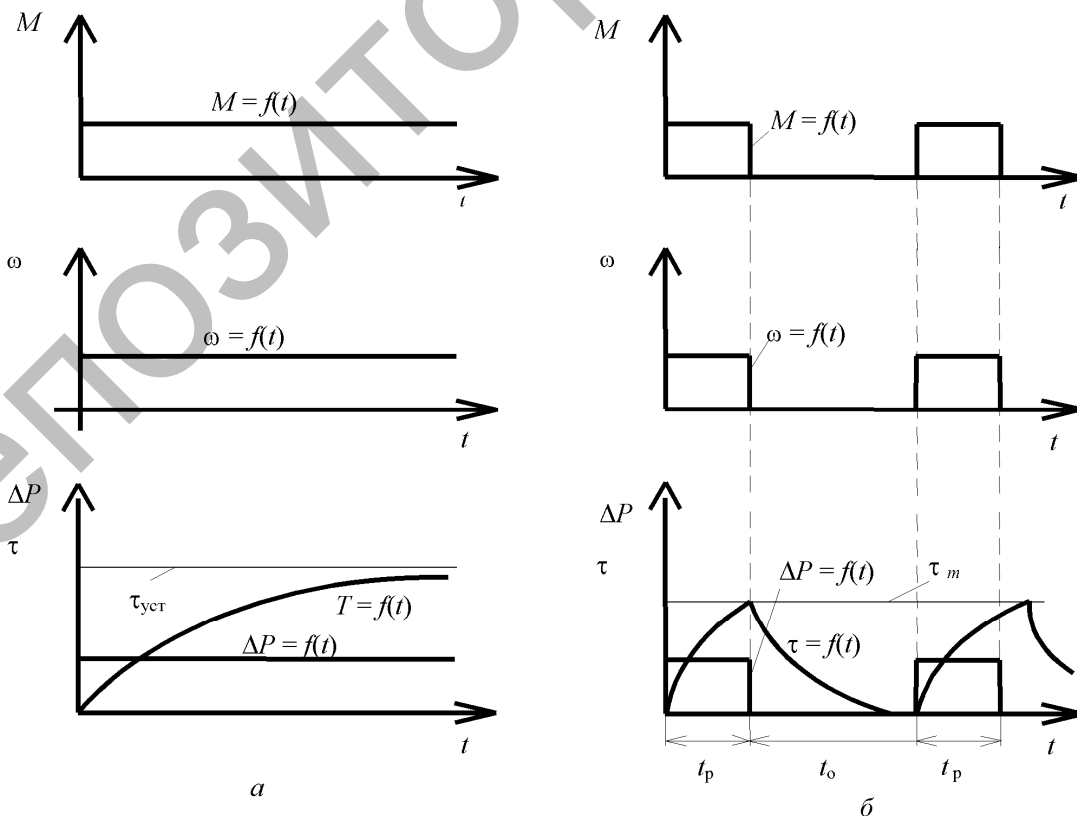
$$T_0 = \frac{T_{\text{н}}}{\beta_0}, \quad (2.56)$$

где β_0 – коэффициент ухудшения теплоотдачи при неподвижном роторе. Для асинхронных закрытых обдуваемых электродвигателей $\beta_0 = 0,45$.

Построение кривой нагрева и охлаждения выполняют в графической части, чертеж № 3, соблюдая масштаб.

Вид кривых нагрева и охлаждения для некоторых режимов работы представлен на рисунке 2.6.

Аналогично рисунку 2.6, построение кривых нагрева и охлаждения выполняют совместно с нагрузочной диаграммой $M_c = f(t)$ или $P_c = f(t)$, а также зависимостью $w = f(t)$ и зависимостью потерь ΔP в двигателе от времени. На кривой $t = f(t)$ рекомендуется указать также установившиеся температуры превышения на каждом участке.



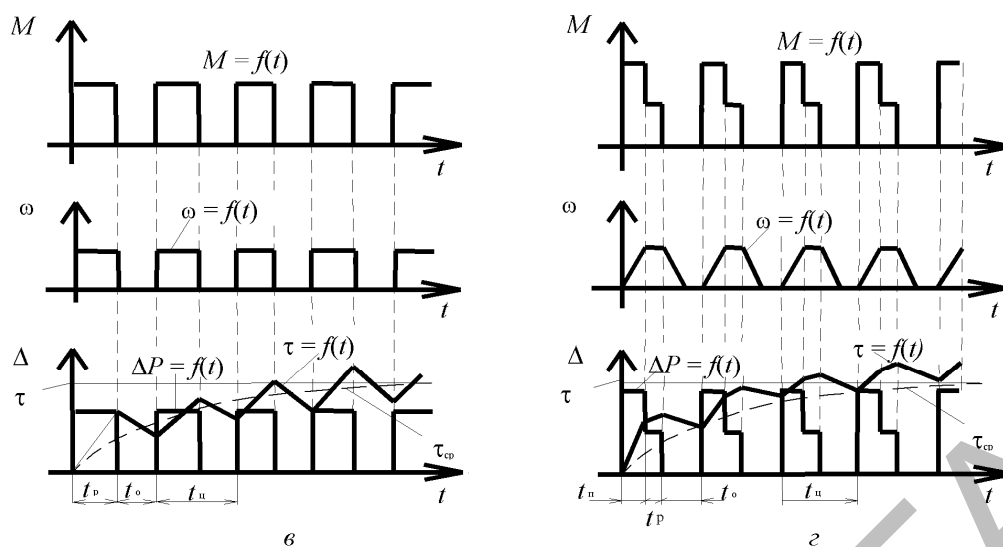


Рисунок 2.6 – Нагрев электродвигателя в различных режимах работы:

а – продолжительный режим, постоянная нагрузка (S1); *б* – кратковременный режим (S2); *в* – повторно-кратковременный режим (S3); *з* – повторно-кратковременный режим с частыми пусками (S4); M – приведенный момент нагрузки; ω – угловая скорость электродвигателя; ΔP – потери мощности в электродвигателе; τ – превышение температуры электродвигателя над окружающей средой.

2.9 Построение механической и электромеханической характеристик электродвигателя

Механическую характеристику асинхронного электродвигателя рассчитывают по уточненной формуле Клосса

$$M = \frac{2M_{\max}(1+E)}{\frac{s}{s_{\max}} + \frac{s_{\max}}{s} + 2E}, \quad (2.57)$$

где M , M_{\max} – рассчитываемый и максимальный моменты, Н·м;

s , s_{\max} – задаваемое значение скольжения и максимальное (критическое) скольжение, о. е.;

E – коэффициент, $E = f(s)$.

Критическое скольжение определяется по формуле

$$s_{\max} = s_{\text{н}} \left\{ \frac{\mu_{\max} + \sqrt{\mu_{\max}^2 + 2s_{\text{н}}(\mu_{\max} - 1) - 1}}{1 - 2s_{\text{н}}(\mu_{\max} - 1)} \right\}, \quad (2.58)$$

где μ_{\max} – кратность максимального момента (по приложениям Г...Ж), о. е.;

$s_{\text{н}}$ – номинальное скольжение, о. е.

Максимальный (критический) момент

$$M_{\max} = M_n \mu_{\max}. \quad (2.59)$$

где M_n – номинальный момент, Н·м.

Номинальный момент определяется по формуле

$$M_n = P_n / \omega_n, \quad (2.60)$$

где ω_n – номинальная угловая скорость, рад/с;

$$\left. \begin{aligned} \omega_n &= \omega_0(1 - s_n), \\ \omega_n &= \frac{\pi n_n}{30} = 0,1045 n_n, \\ \omega_0 &= \frac{\pi n_0}{30}, \quad n_0 = \frac{60 f_n}{p}, \end{aligned} \right\} \quad (2.61)$$

где n_0 – синхронная частота вращения ротора, об/мин;

ω_0 – синхронная угловая скорость, рад/с;

f_n – частота тока в сети, Гц;

p – число пар полюсов.

Коэффициент E находится в сложной зависимости от скольжения S . Изобразите изменение коэффициента $E = f(s)$ в виде ломаной линии, подобно рисунку 2.7, вычислив его значения в четырех характерных точках:

- 1) при $s = s_n$ имеем $\mu_n = 1$, а коэффициент $E = E_n$;
- 2) при $s = s_{\max}$ имеем μ_{\max} , а коэффициент $E = 0$;
- 3) при $s = s_{\min} = 0,85$ имеем $\mu = \mu_{\min}$, а коэффициент $E = E_{\min}$;
- 4) при $s = 1$ имеем $\mu = \mu_{\text{пуск}}$, а коэффициент $E = E_{\text{пуск}}$.

Значения E в этих точках вычислите по выражению (2.62), подставляя в его значения s и μ в характерных точках (1)...(4).

$$E = \frac{\frac{s}{s_{\max}} + \frac{s_{\max}}{s} - \frac{2\mu_{\max}}{\mu}}{\frac{2\mu_{\max}}{\mu} - 2}. \quad (2.62)$$

Если электродвигатель имеет $\mu_{\max} = \mu_{\text{пуск}}$, то по формуле (2.62) в точке (4) имеем деление на ноль. Чтобы этого избежать, следует принять $\mu_{\text{пуск}} = 0,95\mu_{\text{пуск. табл.}}$.

По полученным четырем точкам постройте ломаную линию $E = f(s)$, подобно рисунку 2.7.

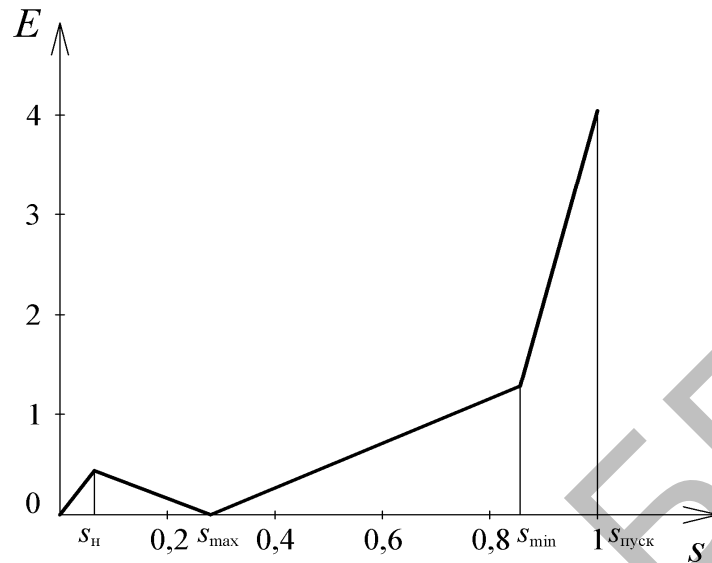


Рисунок 2.7 – Примерный вид зависимости $E = f(s)$ для асинхронных электродвигателей (возможны отрицательные значения E)

Далее задаемся значением скольжения s , находим E по кривой $E = f(s)$ и вычисляем момент по уравнению (2.57). Рекомендуется брать значения скольжения, приведенные в таблице 2.7.

По данным таблицы 2.7 строится механическая характеристика электродвигателя $\omega = f(M)$ при $U_{ном}$ и $0,9U_{ном}$ на одном графике.

Электромеханическую характеристику $\omega = f(I)$ асинхронного электродвигателя в курсовом проекте (работе) строим по четырем точкам:

- 1) ω_n при I_n ; 2) ω_0 при I_0 ; 3) ω_k при $I_{ск}$; 4) $\omega = 0$ при I_n .

Ток холостого хода (в относительных единицах) определяется по выражению

$$i_0 = \sin \varphi_n - \frac{\cos \varphi_n}{\mu_{max} + \sqrt{\mu_{max}^2 - 1}}. \quad (2.63)$$

Ток при максимальном (критическом) скольжении определяется по выражению (в относительных единицах)

$$i_{ск} = \sqrt{i_0^2 + (1 - i_0^2) \frac{\mu_{max} s_{max}}{s_n}}. \quad (2.64)$$

Номинальный ток в относительных единицах равен 1. Пусковой ток $i_{\text{п}}$ в относительных единицах указывается в каталогах или справочниках, например в приложениях Г...Е.

Пересчет тока в именованные единицы производится по формулам

$$\begin{aligned} I_0 &= i_0 I_{\text{н}} \\ I_{\text{к}} &= i_{\text{ск}} I_{\text{н}} \\ I_{\text{п}} &= i_{\text{п}} I_{\text{н}} \end{aligned} \quad (2.65)$$

Пересчет скольжений в угловую скорость производится по формуле, приведенной в таблице 2.7.

При I_0 скольжение равно 0, при $I_{\text{н}}$ скольжение равно $s_{\text{н}}$, при $I_{\text{ск}}$ скольжение равно $s_{\text{к}}$, при $I_{\text{п}}$ скольжение равно 1.

Графики механических и электромеханической характеристик электродвигателя имеют вид, показанный на рисунке 2.8. Здесь также приводится механическая характеристика рабочей машины, приведенная к валу двигателя.

Обратите внимание! Если пуск электродвигателя с переключением схемы со «Y» на «Δ», то следует строить механические характеристики при схеме соединений «Y» и схеме соединений «Δ». В этом случае в таблицу 2.7 следует добавить строки для расчета моментов по схеме «Y» при номинальном и пониженном напряжениях.

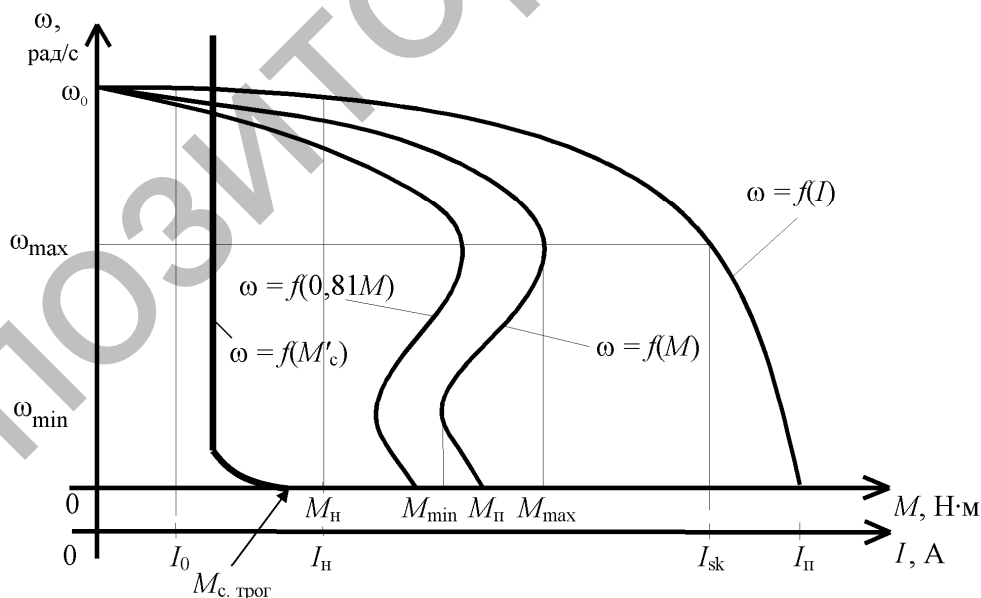


Рисунок 2.8 – Механические характеристики $\omega = f(M)$ и $\omega = f(0,81M)$ асинхронного электродвигателя при номинальном и пониженном до $0,9U_{\text{ном}}$ напряжениях соответственно, механическая характеристика рабочей машины $\omega = f(M'_{\text{с}})$, а также электромеханическая характеристика $\omega = f(I)$ электродвигателя

Таблица 2.7 – Результаты расчета механической характеристики асинхронного электродвигателя при $U_{\text{НОМ}}$ и при $U = 0,9U_{\text{НОМ}}$

Расчетные величины	Значения расчетной величины при скольжении s									
	s_{H}	$2s_{\text{H}}$	$4s_{\text{H}}$	s_{max}	0,4	0,6	0,7	0,85	0,9	1,0
E по графику $E = f(s)$				0						
$(1 + E)$				1						
$2E$				0						
$\frac{s}{s_{\text{max}}}$										
$\frac{s_{\text{max}}}{s}$										
$\frac{s}{s_{\text{max}}} + \frac{s_{\text{max}}}{s} + 2E$										
$2M_{\text{max}}(1 + E)$										
$M = \frac{2M_{\text{max}}(1 + E)}{\frac{s}{s_{\text{max}}} + \frac{s_{\text{max}}}{s} + 2E}$										
$\omega = \omega_0(1 - s)$										
$M = Mu^2 = 0,9^2 M = 0,81M$										

Раздел 3 Выбор элементов кинематической принципиальной схемы

3.1 Выбор монтажного исполнения электродвигателя

Конструктивное исполнение электрических машин *по способу монтажа* регламентируется в Публикации МЭК 34-7 и СТ СЭВ 264-76. Согласно этим документам, *конструктивное исполнение электрической машины обозначается символом IM и четырьмя цифрами (IM XXXX).*

Первая цифра (от 1 до 9) определяет группу конструктивных исполнений.

Основные конструктивные исполнения:

на лапах, с подшипниковыми щитами (цифра 1);

на лапах, с подшипниковыми щитами и с фланцем на подшипниковом щите или щитах (цифра 2);

без лап, с подшипниковыми щитами и с фланцем на одном переднем подшипниковом щите (цифра 3).

Вторая и третья цифры обозначают способ монтажа (пространственное расположение электрической машины) и направление конца вала (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Основные исполнения АД серии АИР по способу монтажа

Обозначение исполнения	Характеристика исполнения	Высота оси вращения, мм
IM 1001	На лапах, с одним концом вала, расположенным горизонтально, лапы вниз.	96...315
IM 2001	На лапах, с фланцем большого диаметра, доступным с обратной стороны, с крепящими отверстиями без резьбы, с 1 цилиндрическим концом вала, расположенным горизонтально, лапами вниз.	56...315
IM 2101	На лапах, с фланцем малого диаметра, недоступным с обратной стороны, с крепящими отверстиями с резьбой, с 1 цилиндрическим концом вала, расположенным горизонтально, лапами вниз.	56...112
IM 3001	Без лап, с фланцем большого диаметра, доступным с обратной стороны, с крепящими отверстиями без резьбы, с 1 цилиндрическим концом вала, расположенным горизонтально.	56...200
IM 3011	То же, но с вертикальным направлением конца вала.	225...315
IM 3601	Без лап, с фланцем малого диаметра, недоступным с обратной стороны, с крепящими отверстиями с резьбой, с 1 цилиндрическим концом вала, расположенным горизонтально	56...112

Четвертая цифра (от 0 до 8) обозначает исполнение конца вала электрической машины. Основные исполнения:

- с одним цилиндрическим концом вала (цифра 1);
- с двумя цилиндрическими концами вала (цифра 2);
- с одним коническим концом вала (цифра 3);
- с фланцевым концом вала (цифра 5).

Основные исполнения по способу монтажа электродвигателей серии АИР приведены в таблице 3.1.

Дополнительные исполнения АД по способу монтажа следующие:

- а) IM 1011...IM 1071 (при высоте оси вращения 56...280 мм);
- б) IM 2011...IM 2071 (56...280 мм); в) IM 2111...IM 2171 (56...112 мм);
- г) IM 3011...IM 3031 (56...200 мм); д) IM 3611...IM 3631 (56...112 мм);
- е) IM 1031 (225...315 мм).

Третья цифра в обозначении исполнения АД по способу монтажа:

1 – направление конца вала вниз; 3 – направление конца вала вверх; 7 – направление конца вала горизонтальное, но лапами вверх; 8 – направление конца вала любое.

Конструктивное исполнение электродвигателя по способу монтажа определяется местом установки электродвигателя в механизме или машине, наличием передачи и ее видом:

при применении клиноременных передач, отдельно закрепленных механических редукторов используются электродвигатели на лапах монтажного исполнения IM 1001, IM 1081;

при применении мотор-редукторов используются электродвигатели с фланцевым креплением исполнения IM 3081, IM 3031, IM 3011;

если рабочий орган, например крыльчатка вентилятора, устанавливается непосредственно на валу, то оболочка, закрепляющая рабочий орган, в данном случае корпус вентилятора, крепится к фланцу, а лапы - к специальной площадке, закрепляемой на корпусе машины. В этом случае используются электродвигатели монтажного исполнения IM 2081, IM 2001.

Раздел 4 Расчет переходных процессов в электроприводе

4.1 Обоснование способа пуска и торможения электропривода

В приводах с односкоростными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором может быть прямой пуск и пуск с переключением обмоток со схемы «звезда» на схему «треугольник» в сети 400 В. Последний способ пригоден только для электродвигателей с высотой оси вращения 132 мм и более при $\omega_0 = 314$ рад/с и $\omega_0 = 157$ рад/с, а также для электродвигателей с высотой оси вращения 160 мм и более при $\omega_0 = 104,5$ рад/с и $\omega_0 = 78,5$ рад/с. Эти электродвигатели имеют мощность 11 кВт и выше.

Если в приводе выбран двухскоростной электродвигатель, то пуск его на высшую скорость производится через низшую. Такой прием позволяет уменьшить потери энергии при пуске, следовательно, и нагрев двигателя. Кроме того, в сети будут меньшие пусковые токи, что благоприятно сказывается на работе другого электрооборудования.

Электрическое торможение применяют в случаях, когда требуется быстро и точно остановить электропривод. Иногда применяют для повышения производительности труда, например, на деревообрабатывающих станках, когда остановка электропривода после отключения без торможения продолжительная.

Теория электрического торможения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором изложена в учебнике по курсу электропривода [8], с. 82...89 и в специальной литературе, например [13].

Плавное электрическое торможение с остановкой обеспечивается при динамическом торможении. Его и рекомендуется использовать.

Раздел 5 Разработка принципиальной электрической схемы управления электроприводом

5.1 Требования к управлению машиной и пути их реализации

В задании на проектирование указаны требования к схеме управления.

В данном пункте пояснительной записки следует оговорить каждый пункт требований к схеме управления, указав пути их реализации. При этом полезно сослаться на известные типовые решения, проведя их критический обзор.

Обычно рабочая машина работает в потоке с другими машинами, и в схеме это надо учитывать.

Не забывайте о принятых ранее решениях, например, провести пуск с переключением обмоток или выполнить электрическое торможение.

Для повышения производительности труда не забывайте о возможностях автоматического или полуавтоматического управления, о наладочных работах.

В тех случаях, когда четко определяется окончание работы, предусмотрите автоматическое отключение установки. Это позволит экономить электроэнергию.

Для повышения электробезопасности установки используйте УЗО (см. п. 5.3 в данном пособии), также желательно обеспечить питание схем управления на напряжение 127 В и ниже через разделительный трансформатор.

5.2 Описание разработанной схемы управления электроприводом

В этом пункте пояснительной записки описывается разработанная Вами схема управления электроприводом.

Сначала описывается состав схемы, ее силовая часть, назначение элементов схемы. Потом описывается работа схемы в основном режиме управления, при автоматическом управлении, при наладке.

Правила выполнения и рекомендации по разработке принципиальных схем изложены в методических указаниях к курсовому проекту по дисциплине «Проектирование электрооборудования» [4], с. 6...10. Там же даны рекомендации по графическому оформлению схемы. При построении более сложных схем руководствуйтесь учебно-методическим пособием [15].

5.3 Выбор аппаратов защиты электрических цепей и аппарата защиты электродвигателя в аварийных состояниях по критерию эффективности

5.3.1 Выбор аппаратов защиты электрических цепей от сверхтоков

Сверхтоки – это токи перегрузки и короткого замыкания (КЗ).

Защиту от сверхтоков рекомендуется выполнять с помощью автоматического выключателя с комбинированным расцепителем.

Современные автоматические выключатели имеют электромагнитные расцепители с характеристиками классов А, В, С, D, Z, L, К (возможны и другие классы).

Область применения их следующая:

Класс А имеет ток срабатывания электромагнитного расцепителя от 2 до $3 I_{н. расц}$, применяется для защиты длинных электрических линий и полупроводниковых приборов. Встречается редко.

Наиболее распространены классы расцепителей, представленные в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Характеристика электромагнитных расцепителей автоматических выключателей, например, серии ВА61F29 и других серий

Класс расцепителя	$I_{ср. эм}$ в долях номинального тока расцепителя	Время срабатывания, с	Область применения
В	$3 I_{н}$ $5 I_{н}$	$t \geq 0,1$ $t < 0,1$	Для защиты электрических сетей административных и жилых зданий
С	$5 I_{н}$ $10 I_{н}$	$t \geq 0,1$ $t < 0,1$	То же, но в качестве вводного выключателя
Д	$10 I_{н}$ $20 I_{н}$	$t \geq 0,1$ $t < 0,1$	То же, что и тип С, но при пусковых и импульсных токах, например в цепях трансформатора или электродвигателя
Z	$4 I_{н} - 20 \%$ $4 I_{н} + 20 \%$	$t \geq 0,2$ $t < 0,2$	Для защиты измерительных цепей, цепей управления и сигнализации
L	$8 I_{н} - 20 \%$ $8 I_{н} + 20 \%$	$t \geq 0,2$ $t < 0,2$	Для защиты промышленных электрических сетей
К	$12 I_{н} - 20 \%$ $12 I_{н} + 20 \%$	$t \geq 0,2$ $t < 0,2$	То же, но при наличии пусковых и импульсных токов, например в цепях электродвигателя
Примечания:			
1. Тепловые расцепители, совмещенные в одном автоматическом выключателе с электромагнитными расцепителями типов В, С и D, имеют следующую характеристику: при токе $1,13 I_{н}$ срабатывают за $t \geq 1$ ч; при токе $1,45 I_{н}$ – за $t < 1$ ч.			
2. Тепловые расцепители, совмещенные с электромагнитными расцепителями типов Z, L и К, имеют: при токе $1,05 I_{н}$ $t > 1$ ч; при токе $1,3 I_{н}$ $t < 1$ ч			

Из таблицы 5.1 следует, что автоматические выключатели с расцепителями классов Z, L и K промышленного назначения имеют более точную шкалу токов срабатывания и более чувствительный к перегрузкам тепловой расцепитель.

Для защиты электрических цепей электродвигателя рекомендуются расцепители типа К, а для цепей управления – типа Z.

Выбор автоматических выключателей производится по следующим параметрам:

По номинальному напряжению:

$$U_{\text{н.авт}} \geq U_{\text{сети}}. \quad (5.1)$$

1. По номинальному току главных контактов:

$$I_{\text{н.авт}} \geq I_{\text{н.установки}}. \quad (5.2)$$

Для защиты проводников в цепи электродвигателя рекомендуется $I_{\text{н.авт}} > I_{\text{н.установки}}$.

3. По функциональному назначению. В условиях курсового проектирования автоматические выключатели выбираются для защиты электрической цепи электродвигателя от сверхтоков и для защиты цепей управления. Для этих цепей рекомендуются модульные автоматические выключатели типа ВА61F29, ВА47-29, ВА47-100 с классами электромагнитного расцепителя K или D для силовой цепи и классами Z или B – для цепей управления.

4. По номинальному току расцепителя. Номинальный ток расцепителя выбирается с учетом вида расцепителя.

Номинальный ток теплового расцепителя модульного автоматического выключателя выбирается по условию:

$$I_{\text{н. расц. } 30^\circ\text{C}} \geq \frac{I_{\text{раб}}}{K_N K_t}, \quad (5.3)$$

где $I_{\text{н. расц. } 30^\circ\text{C}}$ – номинальный ток теплового расцепителя (указанный на маркировке) при температуре настройки $+30^\circ\text{C}$, А;

$I_{\text{раб}}$ – рабочий (расчетный эквивалентный или номинальный) ток цепи, А;

K_N – коэффициент, зависящий от числа полюсов. Например, для ВА47-29 (рисунок 5.1, а) $2K_N = 1$ при 1 полюсе; $K_N = 0,875$ при 2 полюсах; $K_N = 0,83$ при 3 полюсах; $K_N = 0,81$ при 4 полюсах;

K_t – коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды. Например, для ВА47-29 (рисунок 5.1, б) при $+50^\circ\text{C}$ $K_t = 0,97$; при $+40^\circ\text{C}$ $K_t = 0,99$; при $+10^\circ\text{C}$ $K_t = 1,04$; при -10°C $K_t = 1,1$.

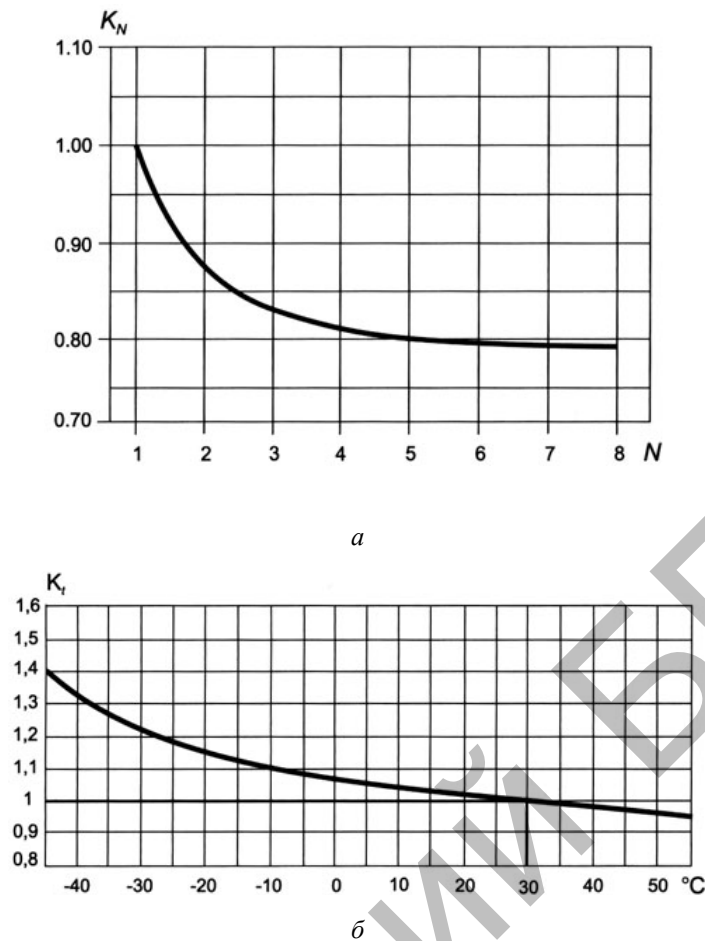


Рисунок 5.1 – Коэффициент нагрузочной способности, учитывающий число параллельно размещенных автоматических выключателей ВА47-29 (а) и коэффициент нагрузочной способности, учитывающий температуру окружающей среды для ВА47-29 (б)

По (5.3) выбирается ближайший больший ток теплового расцепителя из стандартного ряда номинальных токов выбранной серии автоматических выключателей, или его типоразмер.

Выбор электромагнитного расцепителя максимального тока сводится к определению кратности тока срабатывания $K_{эм}$ электромагнитного расцепителя или выбору класса электромагнитного расцепителя.

Требуемую кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя максимального тока определяют расчетом, с учетом максимальных или пусковых токов в сети. Например, для одиночного асинхронного электродвигателя с КЗ ротором кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя должна составлять:

$$K_{эм. расц.} \geq K_n \cdot K_i, \quad (5.4)$$

где K_i – кратность пускового тока электродвигателя (по данным каталога);

K_n – коэффициент надёжности отстройки от пускового тока. Вблизи трансформаторной подстанции $K_n \geq 1,5 \dots 1,8$, потому что учитывается наличие

апериодической составляющей в пусковом токе и повышенный уровень напряжения в сети. Во внутренних сетях зданий и сооружений апериодическая составляющая пускового тока отсутствует, в сети наблюдается снижение напряжения при пуске и уменьшение пускового тока, поэтому $K_n \geq 1,25$.

Поскольку тип характеристики современных расцепителей максимального тока задается в виде области с минимальным и максимальным значениями кратности тока срабатывания, то необходимо, чтобы выбранный по уравнению (5.4) коэффициент был меньше минимального значения $K_{эм. \min}$ у выбранного типа характеристики расцепителя, т. е.

$$K_{эм. \min} \geq K_{эм. \text{ расц.}} \quad (5.5)$$

Из классов электромагнитного расцепителя, а именно из типов А, В, С, D, Z, L, К (см. таблицу 5.1) для асинхронного электродвигателя выбирают расцепители классов D или К, причем тип К предпочтительнее, поскольку он обеспечивает меньший разброс тока срабатывания, и тепловые расцепители, соответствующие этому классу, более чувствительны.

5. По числу полюсов выбирают трехполюсные автоматические выключатели, если проводники РЕ и N совмещены в один проводник PEN. Обычно это условие соответствует подключению четырехжильного кабеля к вводно-распределительному устройству (ВРУ) или распределителю (РЩ).

Во внутренних сетях предприятий используются уже разделенные РЕ и N проводники. Поэтому к низковольтному трехфазному комплектному устройству (НКУ) подсоединяется пятижильный кабель. От НКУ могут запитываться трехфазные электродвигатели по нескольким схемам (рисунок 5.2).

- Если не требуется использовать устройство защитного отключения (УЗО) и цепи управления получают питание от сети 400 В (т. е. проводник N не используется), то выбирают трехполюсный автоматический выключатель, поскольку потребитель электроэнергии трехфазный. В цепях управления используется двухполюсный автоматический выключатель (рисунок 5.2, а).

- Если не требуется УЗО, а цепи управления выполнены на 230 В (т. е. с нулевым проводником), то в этом случае в цепи электродвигателя используется также трехполюсный автоматический выключатель. Цепи управления рекомендуется подключать через двухполюсный автоматический выключатель или предохранитель (рисунок 5.2, б). Этот вариант хуже первого, потому что позволяет включать КМ при отсутствии одной фазы, а в первом варианте – нельзя включить КМ при отсутствии двух фаз сети.

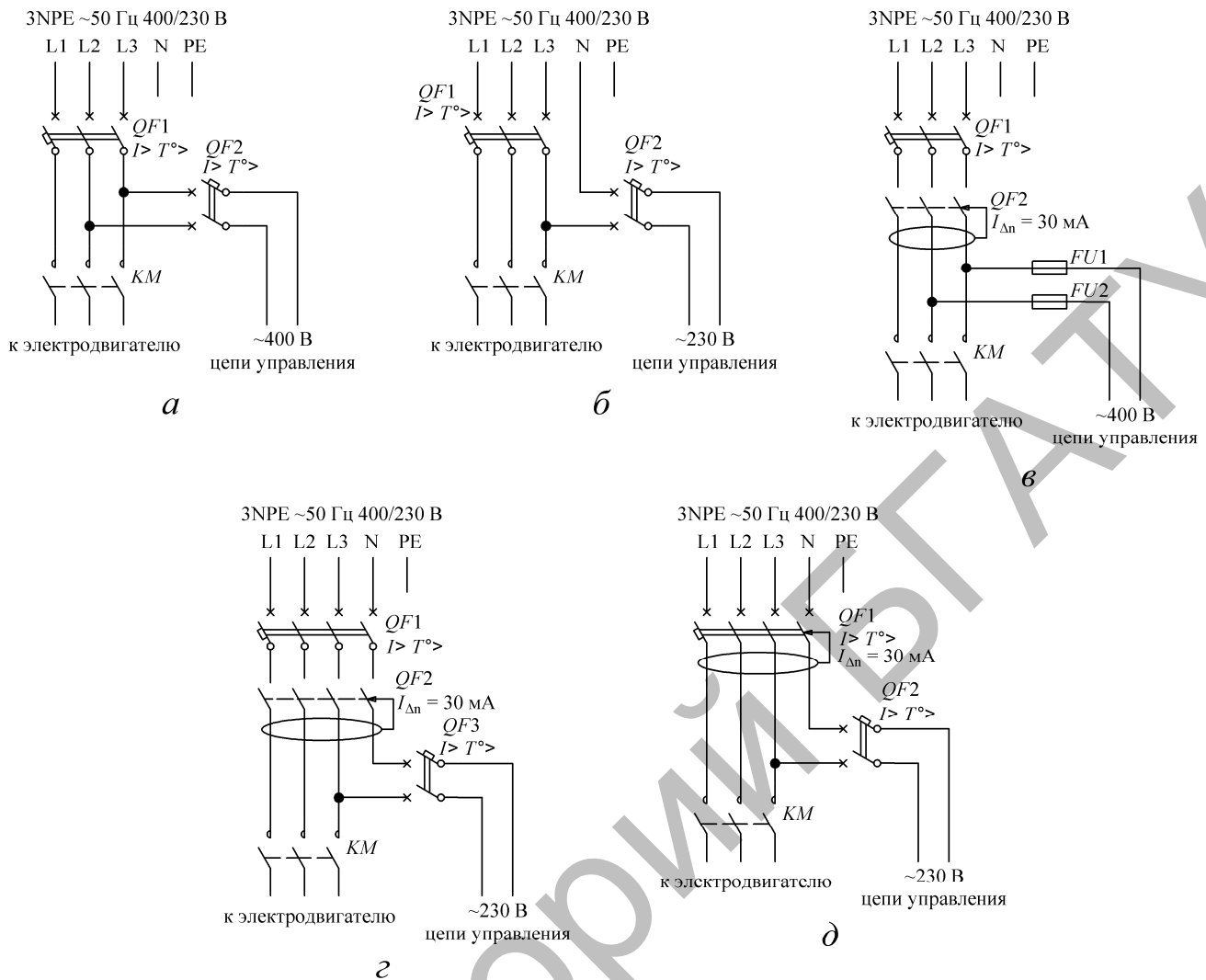


Рисунок 5.2 – Схемы принципиальные электрические включения защиты трехфазных электрических цепей без УЗО от сверхтоков с защитой цепей управления: *а* - на 400 В; *б* - на 230 В; *в* - при необходимости использовать УЗО без однофазной нагрузки; *г* - с однофазной нагрузкой цепи; *д* - с использованием дифференциального автоматического выключателя и однофазной нагрузки управления

- Если используется УЗО и нет однофазной нагрузки, то может использоваться в цепи электродвигателя трехфазный автоматический выключатель и трехфазное УЗО, а в цепи управления – двухполюсные автоматические выключатели или предохранители (рисунок 5.2, в).

- Если требуется использовать УЗО при наличии однофазной нагрузки, то выбирается автоматический выключатель четырехполюсный 3P+N или 4P. Последний отличается тем, что расцепители есть во всех четырех полюсах, а четырехполюсный автоматический выключатель 3P+N не имеет расцепителя в нулевом проводе. Для подключения цепей электродвигателя рекомендуется использовать расцепитель 3P+N, поскольку асинхронный электродвигатель представляет симметричную трехфазную нагрузку, и в нулевом полюсе тока нет (рисунок 5.2, г).

• Если требуется использовать УЗО, то можно выбрать четырехполюсный дифференциальный автоматический выключатель (рисунок 5.2, д). Этот вариант используется обычно для создания компактного НКУ.

Таким образом, основной вариант принципиальной электрической схемы силовой цепи без УЗО представлен на рисунке 5.2 а, с использованием УЗО – на рисунке 5.2, г или 5.2, д.

6. По степени защиты от воздействия окружающей среды и от соприкосновения людей с токоведущими частями выбираются автоматические выключатели исходя из условий их применения. При монтаже вне шкафа управления степень защиты оболочки должна быть IP54, при монтаже внутри шкафа управления – IP00 зажимов и IP30 оболочки или IP20 зажимов и IP30 оболочки.

7. По климатическому исполнению и категории размещения рекомендуются для шкафов автоматические выключатели для умеренного климата и третьей категории размещения, т. е. УЗ, или для умеренного и холодного климата, т.е. УХЛЗ.

Проверка выбранных автоматических выключателей производится по следующим параметрам:

1. По несрабатыванию от пусковых токов (например, от пусковых токов электродвигателя):

$$I_{н. расц. 30\text{ }^{\circ}\text{C}} K_{эм. мин} \geq K_{отс} I_{н. дв} k_i, \quad (5.6)$$

где $K_{эм. мин}$ – минимальная кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя выбранного класса. Например, при выборе расцепителя класса D $K_{эм. мин} = 10$;

$K_{отс}$ – коэффициент надежности отстройки от пускового тока, зависящий от уровня напряжения в точке подключения относительно номинального напряжения, от наличия апериодической составляющей в пусковом токе, от возможного разброса тока срабатывания расцепителей автоматического выключателя. Рекомендуется применять для модульных выключателей $K_{отс} = 1,25 \dots 1,45$, где 1,25 относится к внутренним сетям предприятий, а 1,45 – к подключению автоматических выключателей на вводе в здание;

$I_{н. дв}$ – номинальный ток двигателя, А;

k_i – кратность пускового тока.

2. По условию надежного отключения наибольшего тока КЗ:

$$I_{пред. доп} > I_{КЗ}^{(3)}, \quad (5.7)$$

где $I_{пред. доп}$ – предельный допустимый ток, отключаемый автоматическим выключателем без повреждения, кА, указывается в технических данных выключателей; $I_{КЗ}^{(3)}$ – ожидаемый ток трехфазного КЗ, кА, определяется расчетом или указан в задании.

3. По условию надежного отключения однофазного тока КЗ:

$$\frac{I_{\text{КЗ}}^{(1)}}{I_{\text{н. расц}} K_{\text{эм. макс}}} \geq 1,40, \quad (5.8)$$

где $I_{\text{КЗ}}^{(1)}$ – ожидаемый ток однофазного КЗ, А, определяется расчетом или указан в задании;

$K_{\text{эм. макс}}$ – максимальная кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя; например, для рекомендуемой характеристики типа К $K_{\text{эм. макс}} = 12 + 0,2 = 12,2$.

4. По условию согласования номинального тока комбинированного расцепителя с допустимым током проводников защищаемой электрической цепи:

$$I_{\text{н. расц}} \leq I_{\text{доп. дл}}, \quad (5.9)$$

где $I_{\text{доп. дл}}$ – допустимый длительный ток проводника, А.

5. По условию селективности:

$$t_{\text{ср. QF2}} > t_{\text{ср. QF1}}, \quad (5.10)$$

где $t_{\text{ср. QF2}}$, $t_{\text{ср. QF1}}$ – время срабатывания автоматического выключателя, стоящего соответственно ближе к источнику питания и дальше, с.

В рамках курсовой работы обязательна проверка по условию 1.

Технические данные автоматических выключателей серии ВА61F29 промышленного назначения Дивногорского завода низковольтной аппаратуры (Россия) следующие:

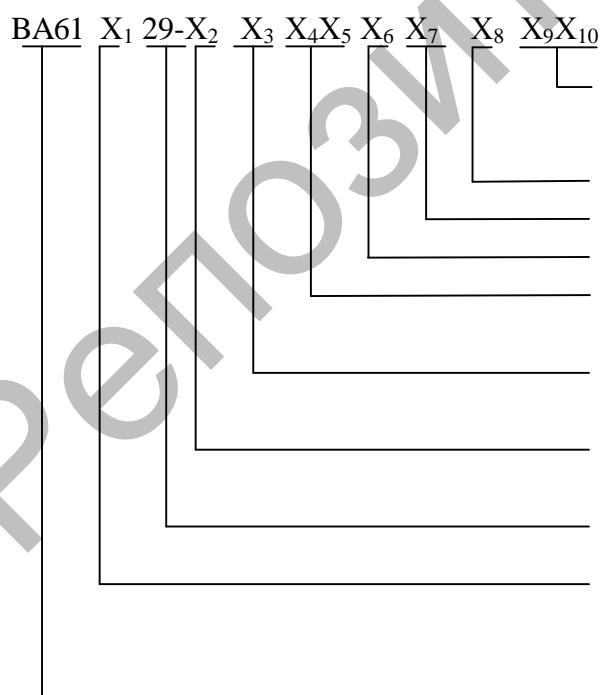
Номинальное напряжение переменного тока.....	230/400 В
Номинальный ток (главных контактов).....	63 А
Номинальный ток расцепителей.....	0,5; 0,8; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,5; 6,3; 8; 10; 12,2; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63 А
Наибольшая предельная отключающая способность, в диапазоне токов 0,5...8 А.....	1,5 А
в диапазоне токов 10...63 А.....	3,0 А
Диапазон номинальных токов с характеристикой	
Z ($4 I_{\text{н.расц}}$).....	0,5...63 А
L ($8 I_{\text{н.расц}}$).....	0,5...63 А
K ($12 I_{\text{н.расц}}$).....	0,5...40 А
Контрольная температура тепловых расцепителей.....	40 °С
Износостойкость коммутационная, циклов В-О-В.....	4000
общая, циклов В-О-В.....	12 000

Климатические условия и категория размещения.....	УХЛЗ, Т 2.1
Температура среды при эксплуатации.....	от +40 °С до – 60 °С
Потребляемая мощность 1 полюса.....	не более 4 Вт
Дополнительные сборочные единицы:	
расцепитель независимый на напряжение.....	230, 400 В – переменного тока 50 Гц
Оболочка со степенью защиты.....	IP54 на ток до 40 АIP30 на ток до 40 А
Габариты 1 модуля (1 полюса) Ш×Г×В.....	17,5×72×91 мм
2 модуля (2P).....	35×72 ×91 мм
3 модуля (3P).....	52,2×72×91 мм
4 модуля (3P + N или 4P).....	70×72×91 мм
Масса 1 модуля.....	0,15 кг

Например, если Вы выбираете автоматический выключатель промышленного назначения с трехполюсными расцепителями комбинированного типа К, на номинальный ток 12,5 А, с нейтральным полюсом, с независимым расцепителем на 230 В переменного тока, исполнения УХЛЗ, то обозначение будет следующее: «ВА61F29-3К12,5NA-PH~230В, исполнение УХЛЗ, ИУКЖ 641.232.015ТУ».

Монтируются автоматические выключатели ВА61F29 на специальных рейках типа КП-1. Число модулей, монтируемых на рейках КП-1, обозначается цифрами через дефис. Например, для монтажа 1 модуля требуется рейка ПК-1-1; 4-х модулей – типа ПК-1-4 и т. д.

Структура условного обозначения автоматических выключателей серии ВА61:



Номинальное напряжение независимого расцепителя: 24; 110; 220 В постоянного тока; 24, 127, 230, 400 В ~50 Гц.

Род тока: ~ переменный; – постоянный.

PH – расцепитель независимый.

NA – наличие нейтрального полюса.

Номинальный ток расцепителя, А:

от 0,5 до 63 А (см. техн. данные).

Условное обозначение типа расцепителя:

Z; L; K.

Количество полюсов с расцепителями:

1; 2; 3; 4.

Условное обозначение номинального тока выключателей: если **29** – то на 63 А.

Условное обозначение типа расцепителя: если буква **F** – то комбинированный расцепитель;

если буква **H** – электромагнитный расцепитель.

Серия автоматического выключателя.

Развернутая схема автоматического выключателя ВА61F29 с независимым расцепителем представлена на рисунке 5.3. Там же изображена схема включения независимого расцепителя с помощью кнопки *SB* дистанционного отключения. Кнопка может быть заменена контактом реле защиты электродвигателя в аварийных состояниях или контактом промежуточного реле.

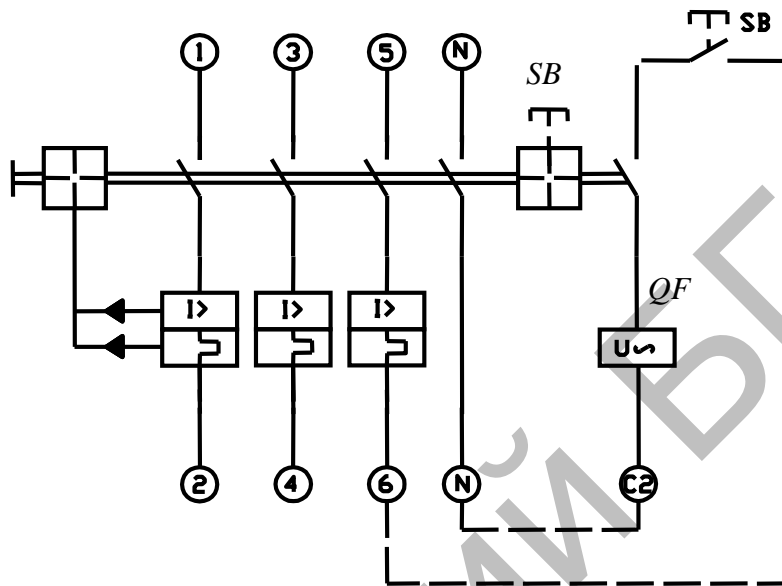


Рисунок 5.3 – Развернутая схема автоматического выключателя ВА61F29 с независимым расцепителем

Технические данные модульных автоматических выключателей серии ВА47-29 и ВА47-100 «Интерэлектрокомплект» (г. Москва) приведены в таблице 5.2.

Структура условного обозначения автоматических выключателей серии ВА47:

ВА47-X₁ X₂-X₃ X₄ X₅ X₆-X₇ X₈-X₉ X₁₀

Технические условия на изготовление ТУ2000.

Исполнение: УХЛ3.

Номинальный ток расцепителей (см. таблицу 5.2).

Условное обозначение типа расцепителя: **В; С; D**.

Число полюсов: **1; 2; 3; 4**;

Условное число, обозначающее номинальный ток автоматического выключателя:

если **29**, то $I_{н. авт} = 63$ А,

если **100**, то $I_{н. авт} = 100$ А.

Серия автоматического выключателя.

Таблица 5.2 – Технические данные автоматических выключателей серии ВА47

Наименование параметра	Значение параметров для				
	ВА47-29			ВА47-100	
1	2			3	
Номинальное напряжение переменного тока, В постоянного тока (на один полюс), В	~230/400 – 60			~230/400 – 60	
Номинальный ток комбинированных расцепителей, А	1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63			16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	
Номинальный ток главных контактов, А	63			100	
Наибольшая отключающая способность, кА	4,5			10 (при $\cos\varphi = 0,45\dots0,5$) 20 (при $\cos\varphi = 0,2\dots0,25$)	
Число полюсов	1, 2, 3, 4			1, 2, 3, 4	
Тип характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя; диапазон номинальных токов расцепителя, в долях к $I_{н. расц}$	В	С	D	С	D
	3...5	5...10	10...20	5...10	10...20
Характеристика теплового расцепителя по ГОСТ Р50345 – 99 и температуре настройки 30°C (расцепитель нерегулируемый)	При 1,13 $I_{н. расц}$ $t_{ср} > 1$ ч, при 1,45 $I_{н. расц}$ $t_{ср} < 1$ ч			При 1,13, 1,13 $I_{н. расц}$ $t_{ср} > 1$ ч для токов до 63 А и $t_{ср} \geq 2$ ч для токов > 63 А. При 1,45 $I_{н. расц}$ $t_{ср} < 1$ ч для токов до 63 А и $t_{ср} < 2$ ч для токов > 63 А	
Износостойкость механическая электрическая	20000 циклов В-О 6000 циклов В-О			20 000 циклов В-О 6000 циклов В-О	
Максимальное сечение провода, присоединенного к зажимам автоматического выключателя, мм ²	25			35	
Диапазон рабочих температур, °С	– 40...+50			– 40...+50	
Степень защиты по [30]	IP20			IP20	
Габаритные размеры, мм (ШхГхВ) одного модуля (Р)					
2Р	18×75×81			27×75×81	
3Р	36×75×81			54×75×81	
4Р	54×75×81			81×75×81	
	72×75×81			108×75×81	
Масса одного модуля, кг	0,103			0,156	

Например, Вам нужен четырехполюсный автоматический выключатель серии ВА47 с классом расцепителя D, на 80 А, исполнения УХЛЗ.

Условное обозначение такого выключателя: ВА-47-100-4D80УХЛЗ.

Монтируются автоматические модульные выключатели на специальных монтажных рейках (DIN-рейках), подобно другим аппаратам.

5.3.2 Выбор устройств защитного отключения

В электроприводах рабочих машин рекомендуется использовать устройства защитного отключения (УЗО). Обычно это электроприводы кормораздатчиков мобильных и стационарных, установок для удаления навоза. УЗО рекомендуется использовать на всех мобильных электрических установках и там, где электроустановка находится под постоянным управлением оператора, например в комбикормовом цеху.

Для повышения пожарной безопасности УЗО рекомендуется использовать на установках, работающих в пожароопасных помещениях (например, в сенохранилищах и т. п.).

Устройства защитного отключения (УЗО) выбирают по следующим параметрам:

- 1) по номинальному напряжению U_n ;
- 2) по номинальному току I_n ;
- 3) по номинальному отключающему дифференциальному току I_{Dn} ;
- 4) по условию реагирования на форму тока;
- 5) по числу полюсов;
- 6) по степени защиты.

При выборе УЗО руководствуются следующим:

1. $U_n \geq U_{\text{сети}}$.
2. $I_n \geq I_{\text{н. уст-ки}}$, причем знак $>$ предпочтителен.

Шкала номинальных токов УЗО: 6(6,3); 16; 25; 40; 63; 80; 100; 125 А.

При выборе I_n УЗО надо обращать внимание на ток стоящего выше (по направлению подачи энергии) автоматического выключателя. Необходимо, чтобы номинальный ток УЗО был на 1 ступень больше номинального тока теплового расцепителя автоматического выключателя.

$$I_{\Delta n} \geq 3I_{\Delta}, \quad (5.11)$$

где I_{Δ} – суммарный ток утечки защищаемой цепи электроустановки, мА.

При расчете $I_{\Delta n}$ в мА пользуются формулой:

$$I_{\Delta n} \geq 3(0,4I_n + 0,01l), \quad (5.12)$$

где I_n – номинальный ток электроустановки, А;

l – длина фазного проводника от места установки УЗО до клемм потребителя, м.

Стандартные значения $I_{\Delta n}$ равны 10; 30; 100; 300; 500 мА (иногда 1000 мА).

3. По условию реагирования на форму тока известны УЗО для синусоидального тока (тип АС); для синусоидального и пульсирующих постоянных токов (тип А); для синусоидальных, пульсирующих и постоянных токов (тип В).

В цепях асинхронного электродвигателя применяются УЗО типа АС.

4. По числу полюсов УЗО бывают: 2-полюсные – для однофазной нагрузки; 3- и 4-полюсные – для трехфазной нагрузки.

5. По степени защиты УЗО обычно бывают IP20, IP25, IP40. Для размещения в шкафу достаточна степень защиты IP20.

Проверка выбранного УЗО:

1) проверка защиты УЗО от токов КЗ и перегрузки осуществляется на основании требований [24]: «... не допускается использовать УЗО в групповых линиях, не имеющих защиты от сверхтока, без дополнительного аппарата обеспечивающего защиту от сверхтока.

При использовании УЗО, не имеющих защиты от сверхтока, необходима их расчетная проверка в режимах сверхтока с учетом защитных характеристик вышестоящего аппарата, обеспечивающего защиту от сверхтока».

В частности, номинальный ток УЗО I_n должен быть на 1 ступень больше, чем номинальный ток теплового расцепителя $I_{n,расц} QF$ автоматического выключателя т. е.:

$$I_n > I_{n,расц} QF ; \quad (5.13)$$

2) по номинальному пропускаемому условному току КЗ, т. е. $I_{н.у.}$:

$$I_{н.у.} > I_{кз}^{(3)} , \quad (5.14)$$

где $I_{кз}^{(3)}$ – трехфазный ток КЗ в начале линии, где установлено УЗО, кА;

3) *на селективность*. Поскольку в условиях проекта УЗО будет использоваться на отдельной конечной линии, то проверку на селективность не проводят;

4) *на интеграл Джоуля*. Применяемый для защиты от сверхтока автоматический выключатель должен иметь интеграл Джоуля $\int i^2 t$ и ток токоограничения $I_{пр}$ меньше, чем интеграл Джоуля и пиковый ток применяемого УЗО. Это условие записывается в виде:

$$\left. \begin{aligned} \int i^2 t_{QF} &< \int i^2 t_{УЗО} \\ I_{пр. QF} &< I_{р_{УЗО}} \end{aligned} \right\} \quad (5.15)$$

где $\int i^2 t$ – интеграл Джоуля, $A^2 \cdot c$, находится по графику $\int i^2 t = f(I_0)$, где I_0 – ожидаемый ток КЗ, кА;

$I_{пр. QF}$ – пропускаемый ток токоограничения автоматического выключателя, кА, находится по графику $I_{пр. QF} = f(I_0)$;

$I_{p \text{ УЗО}}$ – пиковый ток УЗО, кА, приводится в [19] и [20], в таблице 5.3 данного пособия.

Таблица 5.3 – Технические данные УЗО серии АСТРО*УЗО производства ГПОПЗ МЭИ (г. Москва)

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение U_n , В	230/400 (50 Гц)
Номинальный ток, А	16; 25; 40; 63; 80; 100; 125
Номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка) $I_{\Delta n}$, mA	10; 30; 100; 300; 500
Номинальный неотключаемый дифференциальный ток	$0,5 I_{\Delta n}$
Номинальная отключающая способность, кА	1,5
Номинальный условный ток КЗ, кА	10
Номинальное время отключения, мс, не более	30
Диапазон рабочих температур, °C	-25...+40 °C
Максимальное сечение подключаемых проводников, мм ²	25
Число полюсов	2; 4
Габаритные размеры (Ш×Г×В) двухполюсных четырёхполюсных	36×75×81 72×75×81

В условиях курсовой работы проверку на интеграл Джоуля не проводят в связи с отсутствием исходной информации по интегралу Джоуля автоматических выключателей.

Таким образом, выбранные УЗО в рамках курсовой работы проверяют только по условию № 1.

УЗО типа ВД1-63 выпускаются компанией ИЭК (Россия). Их технические данные приведены в таблице 5.4, значения интеграла Джоуля и пикового тока, выдерживаемые УЗО, – в таблице 5.5, а обозначение контактов – на рисунке 5.4.

Таблица 5.4 – Технические данные УЗО типа ВД1-63 компании ИЭК (Россия)

Наименование параметра	Значения параметра
1	2
Номинальное напряжение U_n , В	230/400
Номинальный ток I_n , А	16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$, mA	10; 30; 100; 300
Число полюсов	2, 4
Номинальный условный дифференциальный ток КЗ I_c , кА	3
Рабочая характеристика при наличии дифференциального тока	АС

Окончание таблицы 5.4

1	2
Время отключения, с, при: $I_{\Delta n}$	0,1
$2 I_{\Delta n}$	0,08
$5 I_{\Delta n}$	0,04
500 А	0,04
Износостойкость, циклов В–О, не менее	10^4
Условия эксплуатации	УХЛ 4; $-40 \dots +50$ °С
Степень защиты выключателя	IP20
Масса (2 / 4 полюса), кг	0,2 / 0,4
Габаритные размеры (ширина, высота), мм	36×82 (2-полюсное) 72×82 (4-полюсное)

Структура условного обозначения типоразмеров УЗО серии ВД1:

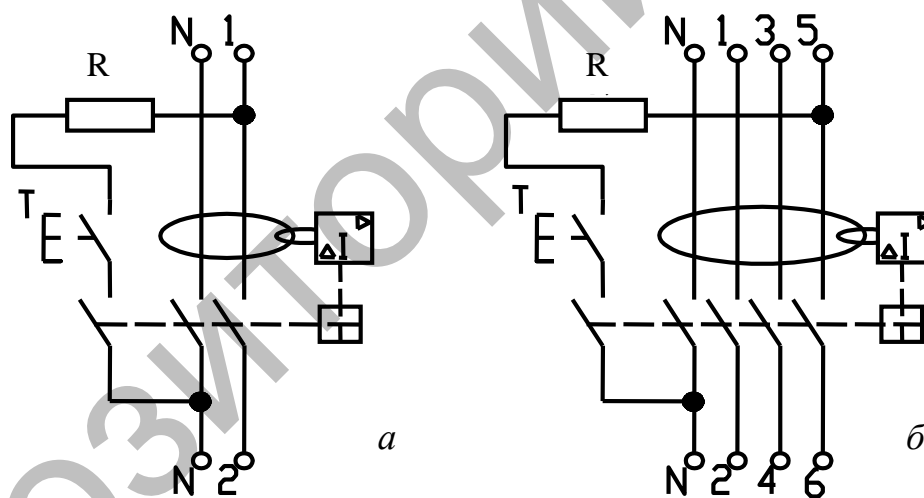
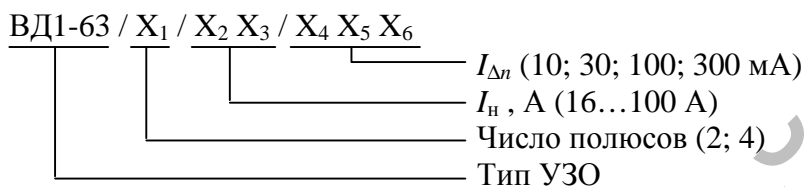


Рисунок 5.4 – Электрические схемы УЗО типа ВД1-63:
а – двухполюсного; *б* – четырехполюсного

Двухполюсные УЗО серии ВД1-63 выпускаются на токи: 16А (10; 30; 100 мА); 25 А (10; 30; 100; 300 мА); 32 А (30; 100 мА); на 40, 50, 63, 80, 100 А с токами 30; 100; 300 мА [20].

Четырехполюсные УЗО серии ВД1-63 выпускаются на токи: 16А (10; 30; 300 мА); 25 А (10; 30; 100; 300 мА); на 32, 40, 50, 63, 80, 100 А с токами (30; 100; 300 мА).

Таблица 5.5 – Значения интеграла Джоуля и пикового тока, выдерживаемые УЗО

Параметр	Номинальный ток УЗО, А							
	16	20	25	32	40	63	80	100
Интеграл Джоуля I^2t , кА ² ·с	1,2	1,8	2,7	4,5	8,7	22,5	26,0	42,0
Пиковый ток I_p , кА	1,1	1,2	1,4	1,85	2,35	3,3	3,5	3,8

Дифференциальные автоматические выключатели объединяют функции защиты от сверхтока и защиты по току утечки. В России дифференциальные автоматы с электромагнитным расцепителем типа D не выпускаются. Известные четырехполюсные дифференциальные автоматы ООО «Интерэлектрокомплект» типа АД-14, имеют расцепители типа B и C, поэтому в цепях электродвигателя их применять не рекомендуется.

Известны четырехполюсные дифференциальные автоматы с расцепителями типа D западноевропейских фирм «Legrand» (Франция), «Шнейдер-электрик» (Германия), «Siemens» (Германия) и др. Но в условиях курсового проектирования их применение нецелесообразно.

5.3.3 Выбор аппарата защиты электродвигателя по критерию эффективности

Выбор аппарата защиты по критерию эффективности сводится к расчету коэффициента эффективности k -го устройства защиты электродвигателя на i -м механизме (для всех известных устройств защиты) и выбором устройства защиты с максимальным значением \mathcal{E}_{ki} :

$$\mathcal{E}_{ki} = \sum_{k=1}^N P_{ij} g_{ki}, \quad (5.16)$$

где P_{ij} – вероятность отказа асинхронного электродвигателя i -го механизма по j -й причине (таблица 5.6);

g_{kj} – вероятность срабатывания k -го устройства защиты при основных аварийных j -х причинах (таблица 5.7);

N – число устройств защиты.

Вероятности отказа асинхронных электродвигателей некоторых машин и механизмов по j -й причине указаны в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Вероятность P_{ij} отказа асинхронного электродвигателя i -го механизма по j -й причине

Машины и механизмы	Средний срок службы, год	Интенсивность отказа $\lambda, \text{год}^{-1}$	Вероятность отказа P_{ij} по j -й причине				
			Неллофазный режим	Неподвижный ротор	Перегрузка технологич.	Увлажнение обмотки	Нарушение охлаждения
Погружные насосы	2,4	0,41	0,44	0,23	0,06	0,23 (сниж. $R_{ув}$)	0,04 (сухой ход)
Насосы жидкого навоза	2,5	0,4	0,34	0,26	0,14	0,26	0
Центробежные насосы	4,3	0,23	0,42	0,31	0,09	0,18	0
Вакуумные насосы	3,7	0,27	0,37	0,41	0,06	0,16	0
Вентиляторы в животноводческих помещениях	2,9	0,34	0,4	0,21	0,09	0,3	0
Вентиляторы электрокалориферов	7,0	0,14	0,69	0,17	0	0	0,14
Навозоуборочные транспортеры	2,8	0,36	0,23	0,41	0	0,26	0,1
Нории в помещениях	3,3	0,30	0,26	0,54	0,1	0	0,1
Нории вне помещений	2,7	0,30	0,26	0,44	0,1	0,20	0
Дробилки кормов	3,8	0,26	0,28	0,24	0,1	0,28	0,17
Транспортеры кормов в животноводческих помещениях	1,9	0,53	0,36	0,31	0,1	0,13	0,1
Дозаторы	5,3	0,19	0,32	0,58	0	0	0,1
Смесители	2,6	0,38	0,23	0,19	0,22	0,26	0,1
Кормораздатчики	1,3	0,76	0,30	0,37	0	0,29	0,04
В кормоцехах шнеки и другие транспортеры	2,6	0,38	0,33	0,39	0,1	0,14	0,14
Станки деревообработки	7,9	0,13	0,1	0,1	0,5	0,2	0,1
Пневмотранспортеры	4,3	0,23	0,43	0,41	0,06	0,06	0,04

Вероятности срабатывания некоторых устройств защиты при основных аварийных режимах указаны в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Вероятность g_{kj} срабатывания устройств защиты при основных аварийных режимах

Устройство защиты	Вероятность g_{kj} срабатывания при аварийных режимах				
	Неполнофазный режим	Неподвижный ротор	Перегрузка технологич.	Увлажнение обмотки	Нарушение охлаждения
Тепловые реле РТЛ и РТТ	0,6	0,45	0,75	0	0
Реле контроля напряжения неполно-фазного режима, тип ЕЛ-8...ЕЛ-13	0,80	0	0	0	0
Реле защиты по току при неполно-фазном режиме плюс защита от токов перегрузки, тип РЗД-3М	0,80	0,90	0,7	0	0
Реле защиты по току при неполно-фазном режиме плюс защита от токов перегрузки, тип БСЗД-1	0,80	0,90	0,65	0	0
Система электронной бесконтактной защиты СиЭЗ-4А, СиЭЗ-8-25, СиЭЗ-20-80	0,95	0,95	0,66	0	0
Устройство температурной защиты УВТЗ-5 с контролем неполнофазного режима	0,80	0,67	0,95	0	0,90

Тепловое реле выбирается по току электродвигателя. Номинальный ток электродвигателя I_H должен быть в диапазоне регулирования номинального тока несрабатывания теплового реле, т. е.

$$I_{\text{расц. мин}} \leq I_H \leq I_{\text{расц. макс}}, \quad (5.17)$$

где $I_{\text{расц. мин}}$ и $I_{\text{расц. макс.}}$ – диапазон регулирования номинального тока несрабатывания (таблица 5.9 и 5.10 – для РТТ, таблица 5.11 – для РТЛ).

Кроме этого, тепловые реле выбирают по степени инерционности (только для серии РТТ-2). Инерционность теплового реле оценивается временем срабатывания реле при шестикратном токе несрабатывания (таблица 5.8). Для приводов с затяжным пуском ($t_{\text{пуска}} > 5$ с) выбираются инерционные реле.

Третий параметр выбора – по виду контакта во вспомогательной цепи реле: 1) с размыкающим контактом; 2) с переключающим контактом (рисунок 5.5). Замыкание переключающего контакта можно использовать для сигнализации.

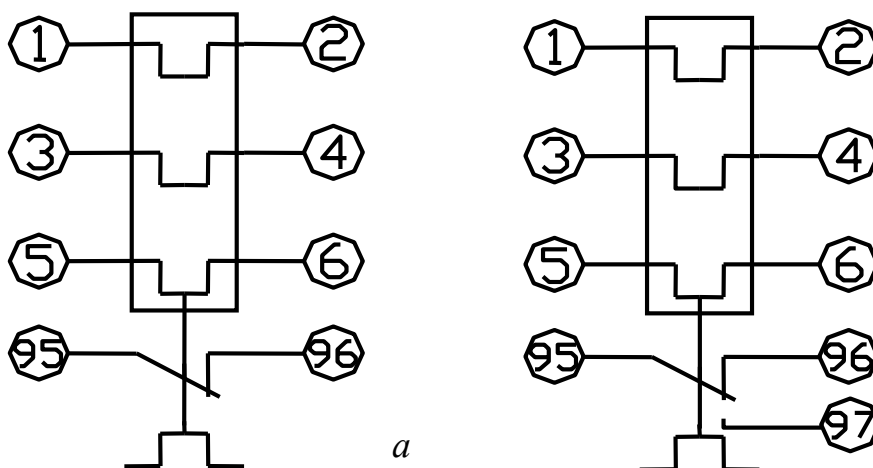


Рисунок 5.5 – Принципиальные электрические схемы реле РТТ с размыкающим контактом (а) и переключающим контактом (б)

Четвертый параметр выбора – по способу установки (монтажа) реле.

Выбор указанных выше параметров зашифрован в структуре условного обозначения реле:

РТТ – X₁ X₂ X₃ X₄ X₅ 4

Категория размещения – 4.

Климатическое исполнение УХЛ или О.

Обозначение исполнения реле по величине инерционности:

П – пониженная инерционность (только для РТТ-2);

отсутствие буквы означает реле повышенной инерционности.

Род контактов вспомогательной цепи реле:

1 – с размыкающим контактом; отсутствие цифры означает переключающий контакт.

Цифры, обозначающие способ установки реле:

1 – исполнение на все токи для индивидуальной установки;

2 – исполнение на 40 А (РТТ-1) для втычного присоединения

к пускателю ПМ12-040; **3** – исполнение на 40 А (РТТ-1) для

втычного присоединения к пускателю ПМ12-025; на 63 А

(РТТ-2) для втычного присоединения к пускателю ПМ12-063

4 – исполнение на 40 А (РТТ-1) для присоединения к

пускателям ПМЕ-200 и ПМА-300.

Номинальный ток реле: **1** – исполнение на 40 А (РТТ-1);

2 – исполнение на 63 А (РТТ-2).

Пример записи обозначения реле с диапазоном регулирования от 13,6 до 18,4 А, для втычного присоединения к пускателю ПМ12-063, с переключающим контактом, пониженной инерционности, для использования в умеренном климате: «Реле РТТ - 23ПУХЛ4, 16А.ТУ16-647.024-85».

Реле РТТ выпускает Кашинский завод электроаппаратуры (Россия).

Таблица 5.8 – время срабатывания реле РТТ-2 при трехполюсной работе и нагреве с холодного состояния шестикратным номинальным током несрабатывания при любом положении регулятора уставки и температуре окружающей среды 20° С

Обозначение типоразмера реле	Степень инерционности	Время срабатывания реле при шестикратном номинальном токе несрабатывания, с
РТТ-21, РТТ-211	Повышенная	6–12
РТТ-21П, РТТ-211П	Пониженная	4–8

Примечание: Допускается при минусовом положении регулятора уставки увеличение времени срабатывания на 1 с.

Таблица 5.9 – Основные параметры реле РТТ-1

Обозначение типа реле	Номинальный ток реле, А	Диапазон регулирования номинального тока несрабатывания реле, А	Средний условный ток несрабатывания реле, А	Наибольший ток продолжительного режима, А, при температуре окружающей среды		Мощность, потребляемая одним полюсом реле, Вт, не более	Номинальное сечение внешних изолированных проводников, мм ² , при материале токопроводящей жилы	
				40 °С	55(60) °С*		медь	алюминий
1	2	3	4	5	6	7	8	9
РТТ-1	40	0,17–0,23	0,20	0,23	0,23	1,30	1,0	2,5
		0,21–0,29	0,25	0,29	0,29	1,35	1,0	2,5
		0,27–0,37	0,32	0,37	0,37	1,40	1,0	2,5
		0,34–0,46	0,40	0,46	0,46	1,45	1,0	2,5
		0,42–0,58	0,50	0,58	0,58	1,45	1,0	2,5
		0,54–0,72	0,63	0,72	0,72	1,50	1,0	2,5
		0,68–0,92	0,80	0,92	0,92	1,50	1,0	2,5
		0,85–1,15	1,00	1,15	1,15	1,50	1,0	2,5
		1,10–1,40	1,25	1,40	1,40	1,55	1,0	2,5
		1,36–1,84	1,60	1,84	1,84	1,55	1,0	2,5
		1,70–2,30	2,00	2,30	2,30	1,60	1,0	2,5
		2,10–2,90	2,50	2,90	2,90	1,60	1,0	2,5
		2,70–3,70	3,20	3,70	3,70	1,60	1,0	2,5
		3,40–4,60	4,00	4,60	4,60	1,60	1,0	2,5
		4,25–5,75	5,00	5,75	5,75	1,65	1,0	2,5
		5,35–7,23	6,30	7,23	7,23	1,75	1,0	2,5
6,80–9,20	8,00	9,20	8,70	1,80	1,0	2,5		
8,50–11,5	10,0	11,5	10,0	1,85	1,0	2,5		
10,6–14,3	12,5	14,3	12,5	1,85	1,5	2,5		
13,6–18,4	16,0	18,4	16,0	1,90	2,5	4,0		

Окончание таблицы 5.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		17,0–23,0	20,0	23,0	20,0	2,00	2,5	6,0
		21,3–25,0**	25,0	25,0	23,0	2,10	4,0	6,0
		21,2–28,7	25,0	28,7	25,0	2,10	4,0	6,0
		28,0–40,0	34,0	40,0	34,0	2,50	6,0	10,0

Примечания:
 * Для температуры окружающей среды 60 °С нагрев выводов для подсоединения внешних проводников не нормируется.
 ** Реле поставляются для комплектации пускателей типа ПМЕ-200, ПМ12-025

Таблица 5.10 – Основные параметры реле РТТ-2

Обозначение типа реле	Номинальный ток реле, А	Диапазон регулирования номинального тока несрабатывания реле, А	Условный средний ток несрабатывания реле, А	Наибольший ток продолжительного режима, А, при температуре окружающей среды		Мощность, потребляемая одним полюсом реле, Вт, не более	Номинальное сечение внешних изолированных проводников, мм ² , при материале токопроводящей жилы	
				40 °С	55 °С*		медь	алюминий
РТТ-2	63	8,50–11,5	10	11,5	11,5	1,80	1,0	2,5
		10,6–14,3	12,5	14,3	14,3	1,81	1,5	2,5
		13,6–18,4	16	18,4	18,4	1,90	2,5	4,0
		17,0–23,0	20	23,0	23,0	2,00	2,5	6,0
		21,2–28,7	25	28,7	28,7	2,10	4,0	6,0
		27,2–36,8	32	36,8	36,8	2,30	6,0	10,0
		34,0–46,0	40	46,0	46,0	2,55	10,0	16,0
		42,5–57,5	50	57,5	55,0	2,95	16,0	25,0
		53,5–63,0	63**	63,0	60,0	3,60	16,0	25,0
53,5–72,3	63	72,3	68,5	3,60	25,0	35,0		

Примечания:
 * Для температуры 60 °С нагрев выводов для подсоединения внешних проводников не нормируется.
 ** Реле предназначены только для комплектации с пускателями типа ПМА-400 и ПМ12-063 на ток 63.

Реле электротепловые токовые серии РТЛ применяются совместно с электромагнитными пускателями серии ПМЛ. Реле 1-го и 2-го габаритов крепятся непосредственно к корпусу пускателей. Они же могут устанавливаться отдельно с помощью клеммников КРЛ-104 (для 1-го габарита) и КРЛ-204 (для 2-го габарита). Реле 3-го габарита предназначены для индивидуальной установки и присоединяются к контактам ПМЛ при помощи перемычек.

Технические данные электротепловых реле РТЛ приведены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 - Технические данные электротепловых реле серии РТЛ

Тип реле	Пределы регулирования номинального тока несрабатывания, А	Номинальный ток реле, А	Мощность, потребляемая 1 полюсом реле не более, Вт
РТЛ-1001-04	0,1...0,17	25	1,7...2,8
РТЛ-1002-04	0,16...0,26		
РТЛ-1003-04	0,24...0,40		
РТЛ-1004-04	0,38...0,65		
РТЛ-1005-04	0,61...1,0		
РТЛ-1006-04	0,95...1,6		
РТЛ-1007-04	1,5...2,6		
РТЛ-1008-04	2,4...4,0		
РТЛ-1010-04	3,8...6,0		
РТЛ-1012-04	5,5...8,0		
РТЛ-1014-04	7,0...10		
РТЛ-1016-04	9,5...14		
РТЛ-1021-04	13...19		
РТЛ-1022-04	18...25		
РТЛ-2053-04	23...32	80	3,6...5,7
РТЛ-2055-04	30...41		
РТЛ-2057-04	38...52		
РТЛ-2059-04	47...64		
РТЛ-2061-04	54...74		
РТЛ-2063-04	63...86		
РТЛ-3105-04С	75...105	200	5,4...12,3
РТЛ-3125-04С	90...125		
РТЛ-3160-04С	115...160		
РТЛ-3200-04С	145...200		
Реле серии РТЛ имеют следующие характеристики:			
время срабатывания при токе $1,2I_{н.расц}$			20 мин;
время возврата не менее			1,5 мин;
время срабатывания при токе $6I_{н.расц}$			4,5...9 с для 1 габарита, 4,5...12 с для 2 габарита, 4,5...8 с для 3 габарита.

Тепловые реле РТЛ имеют: три полюса; температурный компенсатор; механизм для ускоренного срабатывания при обрыве фазы; регулятор тока несрабатывания; ручной возврат; один замыкающий и один размыкающий контакты или размыкающий контакт для реле 1-го и 2-го габаритов; размыкающий контакт для реле 3-го габарита; переднее присоединение внешних проводников; несменные нагревательные элементы.

Структура условного обозначения электротепловых токовых реле серии РТЛ следующая:

$$\text{РТЛ} - X_1 X_2 X_3 X_4 - 04C,$$

где РТЛ – серия электротепловых токовых реле;

X_1 – исполнение по номинальному току реле (габарит): 1 – на 25 А;

2 – на 80 А; 3 – на 200 А;

$X_2 X_3 X_4$ – исполнение по току несрабатывания (см. таблицу 5.11);

04 – климатическое исполнение 0, категория размещения 4 (ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70). Реле допускает применение в категории размещения 3 при отсутствии вредных отложений пыли, песка, воздействия атмосферных осадков;

С – наличие одного размыкающего контакта; отсутствие буквы означает исполнение реле с одним замыкающим и одним размыкающим контактами.

Пример записи обозначения реле РТЛ с диапазоном регулирования тока уставки реле от 2,4 до 4 А, для втычного присоединения к электромагнитному пускателю, с 1 замыкающим и 1 размыкающим контактами: РТЛ-1008-04; номинальный ток уставки реле 3,2 А.

Реле защиты двигателей типа РЗД-3М

Реле защиты предназначено для защиты трехфазных асинхронных электродвигателей напряжением до 1 кВт при неполнофазных режимах, коротких замыканиях в обмотке статора и при перегрузке по току.

Реле обеспечивает отключение защищаемых электродвигателей путем воздействия на катушку электромагнитного пускателя или независимый расцепитель автоматического выключателя. Питание реле осуществляется от токовых цепей защищаемого электродвигателя, что является существенным преимуществом данного реле защиты.

Реле РЗД-3М выполнено в пластмассовом корпусе, состоящем из двух полукорпусов. Корпус служит для защиты элементов реле от внешних воздействий. В верхней части корпуса расположены клеммы для подключения внешних проводников. В нижней части имеются отверстия для установки реле на панели.

На лицевой стороне корпуса расположен потенциометр для регулирования номинального тока в диапазоне, указанном в таблице 5.12. Регулировку надо производить только с помощью отвертки через шлиц на ручке потенциометра. На ручке потенциометра установлен колпачок, на который нанесена риска для ориентировки относительно шкалы. Шкала в пределах диапазона регулирования линейна.

Основные технические характеристики реле РЗД-3М:

1. Уставка по току срабатывания реле при перегрузке.....	$1,2 I_H$
2. Время срабатывания при перегрузке при $1,2 I_H$, с.....	120... 150
при $6,0 I_H$, с.....	10... 12
3. Уставка по току срабатывания реле при обрыве фазы, не более.....	$0,3 I_H$
4. Время срабатывания при обрыве фазы и токе $0,3 I_H$, с.....	6
токе $6,0 I_H$, с.....	2
5. Мощность защищаемого электродвигателя, кВт.....	1,3... 400
6. Допустимая нагрузка на контакты выходного реле при напряжении 400(230) В, не более, А.....	1,5(5)
7. Диапазон регулирования уставки по току срабатывания при перегрузке.....	0,5... 1
8. Номинальный ток, токи срабатывания уставки при перегрузке и при обрыве фазы реле зависят от количества намотанных витков силового кабеля в соответствии с таблицей 4.11	
9. Рабочая температура окружающей среды, °С.....	от – 40 до + 50
10. Степень защиты – IP40. (Относительная влажность – до 98 % при температуре 25 °С).	
11. Диаметр отверстия для пропускания фазной жилы силового кабеля	
для реле РЗД-3М1(2), мм.....	22
для реле РЗД-3М3, диаметр окна трансформатора тока, мм.....	39
для реле РЗД-3М4, то же, мм.....	40
12. Габаритные размеры, не более, мм.....	160×135×90
13. Масса, не более, кг.....	1,1

При подключении реле в работу каждая фазная жила (А, В, С) силового кабеля, обеспечивающего питание электродвигателя, пропускается через одно из отверстий в корпусе реле (РЗД-3М1, РЗД-3М2) или окно отдельного трансформатора тока (РЗД-3М3, РЗД-3М4) необходимое количество раз (рисунок 5.6).

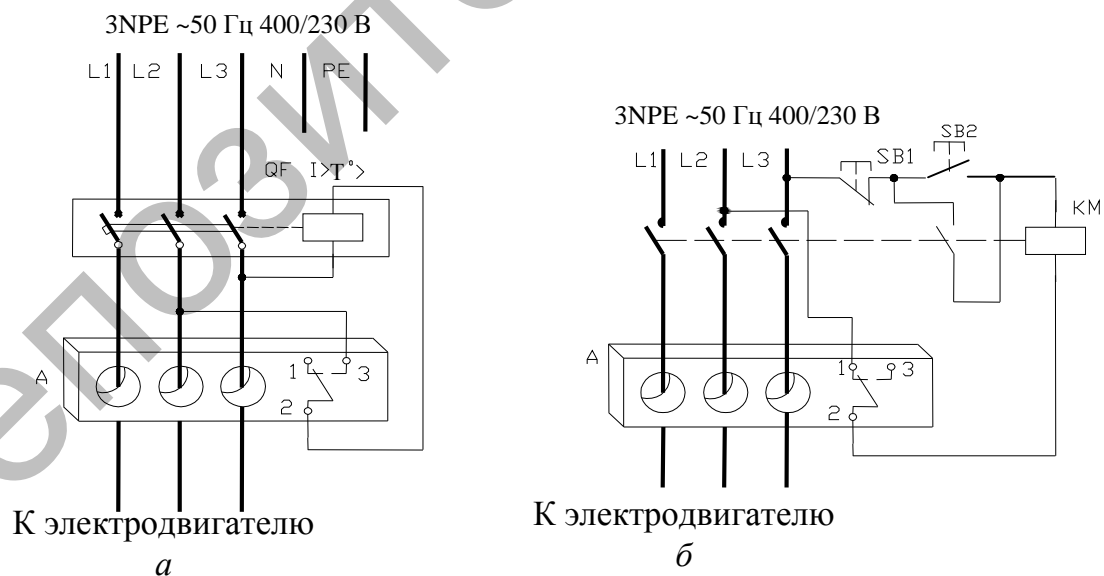


Рисунок 5.6 – Принципиальная электрическая схема включения реле защиты электродвигателя типа РЗД-3М с автоматическим выключателем (а) и электромагнитным пускателем (б):
А – устройство защиты РЗД-3М

Номинальные ампервитки ($I \cdot W_H$) каждого типоразмера реле приведены в таблице 5.12. В зависимости от номинальных ампервитков реле имеет 4 типоразмера. В пределах указанных диапазонов номинальных токов защищаемого электродвигателя уставку по току срабатывания регулируется с помощью потенциометра на лицевой стороне реле.

На рисунке 5.7 представлена типовая характеристика срабатывания реле РЗД-3М. Реле РЗД-3М выпускает ОАО «ВНИИР» (г. Чебоксары, Россия).

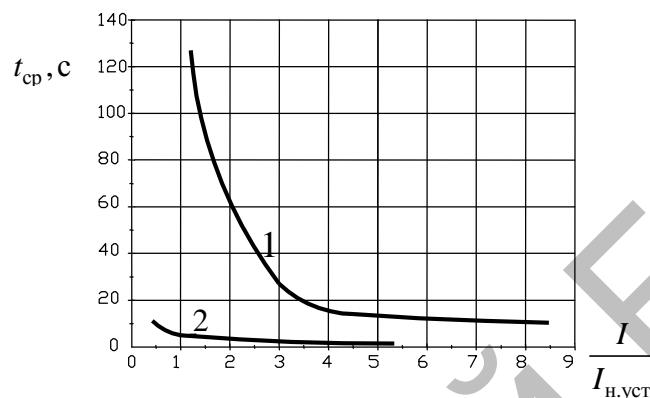


Рисунок 5.7 – Типовые характеристики срабатывания реле РЗД-3М:

1 – перегрузка по току; 2 – неполнофазный режим

Таблица 5.12 – Номинальное число витков и диапазон токов для различных типоразмеров реле РЗД-3М

Тип реле	Число витков проводника в отверстии корпуса или трансформатора при номинальных токах, А									
	2,5...5	5...10	10...20	20...40	40...80	80...160	100...200	150...300	300..600	400...800
РЗД-3М1 $I \cdot W_H = 80$	16	8	4	2	1	–	–	–	–	–
РЗД-3М2.1 $I \cdot W_H = 160$	–					1	–	–	–	–
РЗД-3М2.2 $I \cdot W_H = 200$	–						1	–	–	–
РЗД-3М3 $I \cdot W_H = 300$	–							$\frac{1}{сТТ}^*$	–	–
РЗД-3М4.1 $I \cdot W_H = 600$	–								$\frac{1}{сТТ}^*$	–
РЗД-3М4.2 $I \cdot W_H = 800$	–									$\frac{1}{сТТ}^*$

* В комплект поставки входят три специальных трансформатора тока (ТТ).

Бесконтактная система защиты двигателей (БСЗД) предназначена для защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с номинальным напряжением не более 400 В, мощностью от 3 до 45 кВт при следующих аварийных режимах:

1) обрыве любого из фазных проводников или асимметрии напряжений более 15 %;

2) при перегрузке по току (включая режим заторможенного ротора).

Особенностями БСЗД являются питание от токовых цепей защищаемого электродвигателя (подобно на реле РЗД-3М, см. текст выше), а также отсутствие выходного реле (включение и выключение катушки пускателя производится встроенным тиристором).

Технические характеристики БСЗД:

1. Диапазон уставки системы по номинальному току электродвигателя, А.....	8...25
20...80
2. Время срабатывания при перегрузке, с,	
током $1,5I_{уст}$	20
током $3,5I_{уст}$	5
при обрыве любого из фазных проводников.....	не более 3
3. Точность срабатывания по времени, %.....	± 10
4. Режим перегрузки отслеживается по оптическому индикатору при превышения уставки тока электродвигателя.....	в 1,5 раза
5. Коммутируемое напряжение переменного тока 50 Гц, В.....	от 42 до 400
6. Коммутируемый ток, А.....	от 0,05 до 1
7. Степень защиты блока.....	IP40
8. Климатическое исполнение.....	УХЛ 4.04
9. Температура окружающего воздуха, °С.....	- 40...+55
10. Габаритные размеры, мм.....	70×82×100
11. Масса, кг.....	не более 0,4

Принципиальная электрическая схема включения БСЗД в цепь управления реверсивного магнитного пускателя приведена на рисунке 2.18.

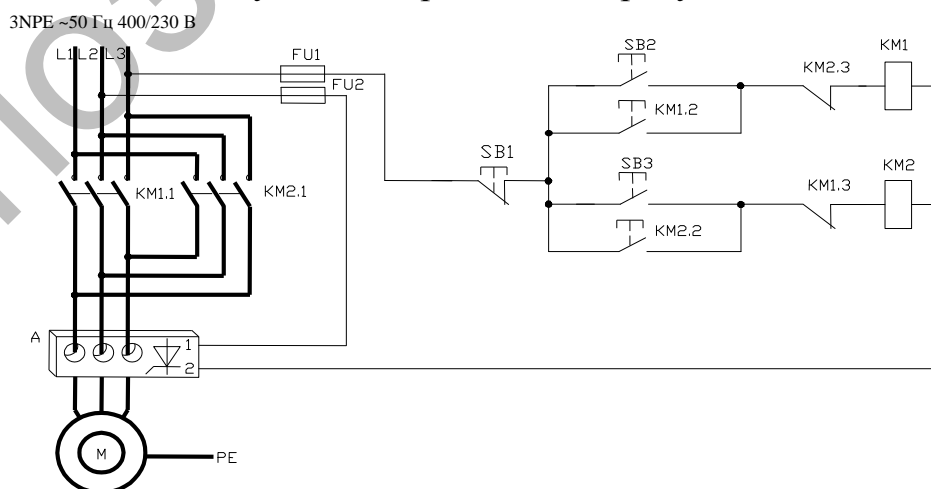


Рисунок 5.8 – Принципиальная электрическая схема включения устройства защиты БСЗД в цепь управления реверсивного магнитного пускателя: А – устройство БСЗД

Сравнение защитных характеристик БСЗД и РЗД-3М позволяет заключить, что РЗД-3М имеют лучшие защитные характеристики (срабатывание при $1,2 I_{уст}$), чем БСЗД (срабатывание при $1,5 I_{уст}$). Кроме этого, РЗД-3М охватывает больший диапазон мощностей, начиная с 1,3 кВт; а БСЗД – с 4 кВт.

Устройство БСЗД выпускает научно-производственное предприятие «БИНОМ» (г. Витебск).

Устройство защиты электродвигателей электронное СиЭЗ-4А предназначено для защиты электродвигателей с номинальным (рабочим) током в диапазоне 0,2...8 А (ориентировочной мощностью от 0,1 до 3 кВт) при следующих аварийных режимах:

- обрыв фазы;
- перегрузка;
- заклинивание ротора электродвигателя.

Мощность, потребляемая устройством от сети, составляет не более 3ВА. Устройство обеспечивает электронную настройку защиты на рабочий ток в цепи питания электродвигателя при его работе в номинальном (штатном) режиме. Режимы работы и перегрузок отслеживаются с помощью светодиодного индикатора.

Устройство защиты СиЭЗ-4А производит отключение электродвигателя за 40 с при кратности тока перегрузки 1,3; за 15 с – при кратности тока перегрузки 1,5; за 12 с – при кратности тока перегрузки 2; за 6 с – при кратности тока перегрузки 2,5; за 5 с – при кратности тока перегрузки 3,5; за 4 с – при кратности тока перегрузки 4; за 3 с – при кратности тока перегрузки 5. При обрыве любого из фазных проводов или перекосе фазных токов отключение электродвигателя происходит за 2 с. При КЗ – время срабатывания устройства составляет не более 0,1 с.

Габаритные размеры – не более 90×70×65 мм. Масса – не более 0,4 кг.

Общий вид устройства защиты электродвигателей СиЭЗ-4А изображен на рисунке 5.9.



Рисунок 5.9 – Общий вид устройства защиты электродвигателей СиЭЗ-4А

Принципиальная электрическая схема включения устройства защиты СиЭЗ-4А изображена на рисунке 5.10.

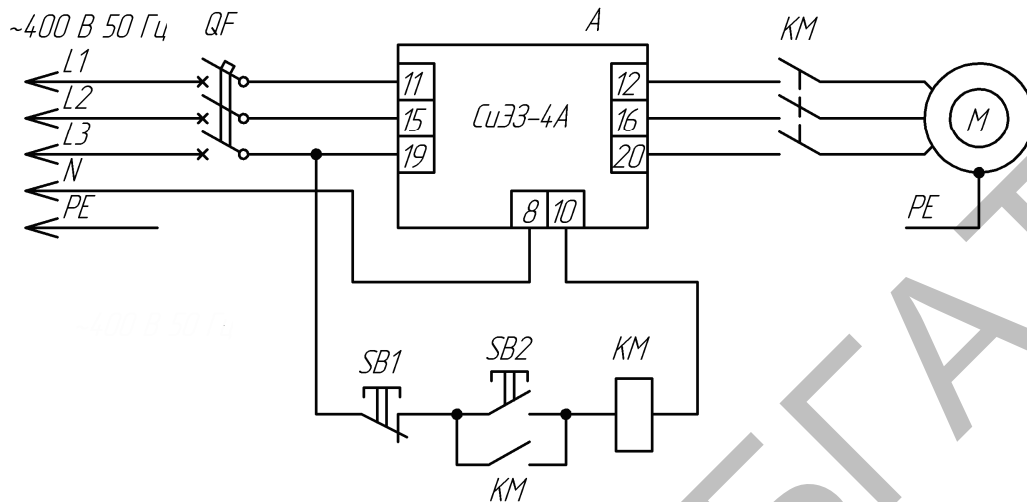


Рисунок 5.10 – Принципиальная электрическая схема включения аппарата защиты СиЭЗ-4А

Для вхождения защиты СиЭЗ-4А в режим настройки необходимо при нажатой кнопке «Настройка» на передней панели устройства подать электропитание на него, включив автоматический выключатель. Индикатор «Настройка» будет светиться желтым мигающим светом, сигнализируя о вхождении защиты СиЭЗ-4А в режим настройки.

Далее необходимо включить электродвигатель в рабочем (штатном) режиме. После выхода электродвигателя на установившийся режим работы нажать кнопку «Настройка» на передней панели СиЭЗ-4А и удерживать ее до момента, пока индикатор «Настройка» на передней панели не засветится зеленым цветом.

Если индикатор «Настройка» засветится красным цветом, то это показывает, что настройка устройства защиты СиЭЗ-4А не произошла, так как значение тока, протекающего по цепи питания электродвигателя, не попало в рабочий диапазон защиты СиЭЗ-4А. В этом случае необходимо измерить значение рабочего тока и сравнить его с номинальным диапазоном токов защиты СиЭЗ-4А. Свечение индикатора зеленым цветом означает, что защита СиЭЗ-4А настроена на рабочий ток электродвигателя. После этого необходимо отключить питание устройства СиЭЗ-4А. Теперь устройство СиЭЗ-4А запомнило настройки и готово к работе. При последующем включении устройство СиЭЗ-4А будет обеспечивать защиту электродвигателя в соответствии с параметрами последней настройки. О работе двигателя в пределах настроенного режима свидетельствует постоянное свечение зеленым цветом индикатора «Настройка».

Свечение индикатора «Настройка» СиЭЗ-4А зеленым цветом означает, что среднее значение тока (по трем фазам) в цепи электродвигателя находится в диапазоне $\pm 20\%$ от значения тока, на которое было настроено устройство СиЭЗ-4А. Отсутствие свечения индикатора означает, что ток в цепи электродвигателя ниже уровня $0,8 I_{\text{настр}}$. Мигание индикатора зеленым цветом означает, что ток в цепи электродвигателя выше $1,2 I_{\text{настр}}$.

При превышении тока в цепи питания электродвигателя выше значения аварийного уровня срабатывания защиты индикатор устройства часто мигает красным цветом, сигнализируя о превышении аварийного порога тока. Начинается отсчет времени аварийного отключения электродвигателя.

После аварийного отключения электродвигателя по причине перегрузки красный индикатор горит непрерывно. После аварийного отключения электродвигателя по причине обрыва фазы красный индикатор мигает редко (период мигания – 2 с), а по причине КЗ – мигает часто (период мигания – 0,3 с).

При возникновении аварийной ситуации СиЭЗ-4А отключает электродвигатель, на передней панели устройства загорается индикация «Настройка» и защита СиЭЗ-4А входит в режим самоблокировки. После возникновения аварии необходимо устранить причину аварии и затем повторно включить электродвигатель. Для повторного запуска необходимо отключить электропитание устройства СиЭЗ-4А. После отключения электропитания произойдет разблокировка устройства СиЭЗ-4А. При последующей подаче питания устройство готово к работе.

Устройства защиты бесконтактные электронные СиЭЗ-8-25 и СиЭЗ-20-80 предназначены для защиты трехфазных асинхронных электродвигателей при следующих аварийных режимах:

- обрыв любой из фаз;
- увеличение тока двигателя сверх номинального (рабочего) значения вследствие электрических или технологических перегрузок;
- затормаживание (заклинивание) ротора электродвигателя.

Устройства защиты СиЭЗ-8-25 рассчитаны на ток 8...25 А, а СиЭЗ-20-80 – на ток 20...80 А.

Особенностями устройств защиты СиЭЗ-8-25 и СиЭЗ-20-80 являются питание их от токовых цепей защищаемого электродвигателя и отсутствие выходного реле (включение и выключение катушки пускателя производится встроенным тиристором). Режим перегрузки отслеживается по оптическому индикатору при превышении уставки тока электродвигателя в 1,5 раза.

Общий вид устройств защиты СиЭЗ-8-25 и СиЭЗ-20-80 изображен на рисунок 5.11.



Рисунок 5.11 – Общий вид устройства защиты СиЭЗ-8-25 и СиЭЗ-20-80

Настройка прибора производится следующим способом. Выкручивают пробку, находящуюся в верхней части корпуса, которая закрывает доступ к подстроечному резистору $R1$, служащему регулятором настройки системы на номинальный (рабочий) ток электродвигателя. Регулятор должен находиться в крайнем левом положении. Включить электродвигатель без подключения цепи управления магнитным пускателем.

После включения электродвигателя и перехода его в рабочий режим необходимо с помощью отвертки с изолированной ручкой вращать регулятор настройки $R1$ по ходу часовой стрелки до момента включения оптического индикатора (зеленое свечение), находящегося в верхней части корпуса.

Принципиальная электрическая схема включения СиЭЗ-8-25 (СиЭЗ-20-80) в цепь управления реверсивного электромагнитного пускателя приведена на рисунке 5.12.

После включения оптического индикатора вращать регулятор настройки более 2-х полных оборотов не допускается во избежание ухода характеристик за пределы допусков. Регулятор имеет 60 полных оборотов.

Начинать настройку необходимо после выведения регулятора настройки в крайнее левое положение.

Режимы работы двигателя отслеживаются по светодиодному индикатору:

- если электродвигатель работает в номинальном (рабочем) режиме, свечение индикатора зеленое;
- при увеличении тока электродвигателя в 1,5 раза от номинального свечение индикатора будет оранжевое, свыше 3,5 раз – красное.

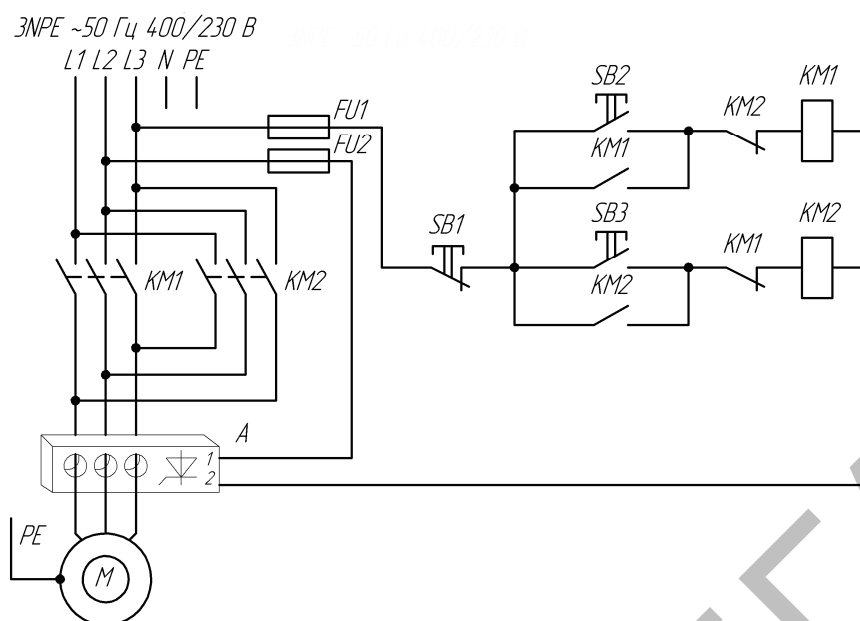


Рисунок 5.12 – Принципиальная электрическая схема включения устройства защиты СиЭЗ-8-25 (СиЭЗ-20-80) в цепь управления реверсивного электромагнитного пускателя:
A – устройство СиЭЗ-8-25 (СиЭЗ-20-80)

В процессе эксплуатации устройство защиты СиЭЗ может быть перенастроено не более 200 раз.

При перегрузке электродвигателя током до значения $1,5 I_{уст}$ устройство защиты СиЭЗ-8-25 (СиЭЗ-20-80) не реагирует. В этом состоит недостаток устройства.

При срабатывании системы в цепях автоматики, где пуск осуществляется электроконтактным манометром или аналогичными устройствами, цепь катушки магнитного пускателя с последовательно соединенной системой защиты СиЭЗ после отключения электродвигателя остается под напряжением. При этом осуществляется блокировка включения системы. Индикатор светится красным светом. При полном снятии напряжения с цепи управления происходит установка системы в рабочий режим.

Если номинальный рабочий ток двигателя менее 8 А, то силовой провод пропускается через отверстие в корпусе несколько раз с тем, чтобы суммарный ток, проходящий через полученные витки силового проводника, был не менее 8 А.

Требуемое количество витков N определяется по формуле:
$$N \geq \frac{8}{I_n}$$

Функция контроля температуры реализуется при подключении к клеммам 3 и 4 устройства защиты СиЭЗ цепи датчика температуры, состоящего из 3-х последовательно включенных позисторов СТ14-1, встроенных в статорную обмотку.

При исключении датчиков температуры к клеммам 3 и 4 устройства защиты СиЭЗ необходимо подключить резистор типа МЛТ, имеющий сопротивление $R = 220 \dots 390$ Ом (мощность $0,5 \dots 2$ Вт).

Отключение электродвигателя по сигналу от позисторов происходит при достижении температуры статорной обмотки не более $1,1T_{кл}$, где $T_{кл} = 105$ °С – классификационная температура позистора.

В системе предусмотрена возможность ввести режим электронной блокировки повторных пусков электродвигателя после срабатывания защиты, до устранения неисправности. Схема реализуется путем шунтирования последовательной RC-цепочкой цепи управления катушкой электромагнитного пускателя. Возврат системы в рабочий режим производится при полном снятии напряжения с цепи управления электромагнитным пускателем.

Устройство температурной защиты УВТЗ-5 состоит из усовершенствованной схемы температурной защиты УВТЗ-1М. Оно имеет узел контроля напряжения нулевой последовательности и узел контроля сопротивления позисторов, заложенных в обмотке электродвигателя.

Схема температурной защиты УВТЗ-5 имеет значительно более высокую помехоустойчивость, чем применявшееся ранее устройство УВТЗ-1М.

Схема работает следующим образом. При температуре обмоток электродвигателя, не превышающей допустимую, и при симметричной системе напряжений трехфазной сети герконовое выходное реле включено. Сопротивление позисторов мало (до 150 Ом), а узел контроля напряжения нулевой последовательности выдает малый сигнал напряжения.

При аварийном увеличении температуры обмоток увеличивается сопротивление позисторов, тиристор выходного каскада открывается и шунтирует обмотку выходного реле, от чего оно отключается. Контакт реле размыкается, что приводит к отключению электромагнитного пускателя и электродвигателя от сети.

При возникновении обрыва фазы увеличивается напряжение нулевой последовательности, тиристор открывается и шунтирует катушку выходного реле. Это приводит к отключению электродвигателя.

Таким образом, УВТЗ-5 моментально реагирует на обрыв фазы, не допуская опасной работы электродвигателя в неполнофазном режиме или его перегрева при незапуске на двух фазах, а также предотвращает перегрев обмоток при перегрузке, при стопорном режиме, при нарушении охлаждения.

Более подробные данные об устройстве температурной защиты типа УВТЗ-5 изложены в [21].

Принципиальная схема включения УВТЗ-5 с электромагнитным пускателем изображена на рисунке 5.13.

Технические характеристики УВТЗ-5.

Устройство предназначено для работы в условиях:

- температура окружающего воздуха – от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$;
- относительная влажность воздуха – не более 90 % при 20°C ;
- окружающая среда невзрывоопасная, не содержит значительного количества пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию;
- отсутствует непосредственное воздействие солнечной радиации;
- рабочее положение в пространстве – вертикальное, допустимое отклонение – до 15° в любую сторону;
- место установки – жесткая вертикальная плоскость, защищенная от попадания осадков, масла, эмульсии и т. д.

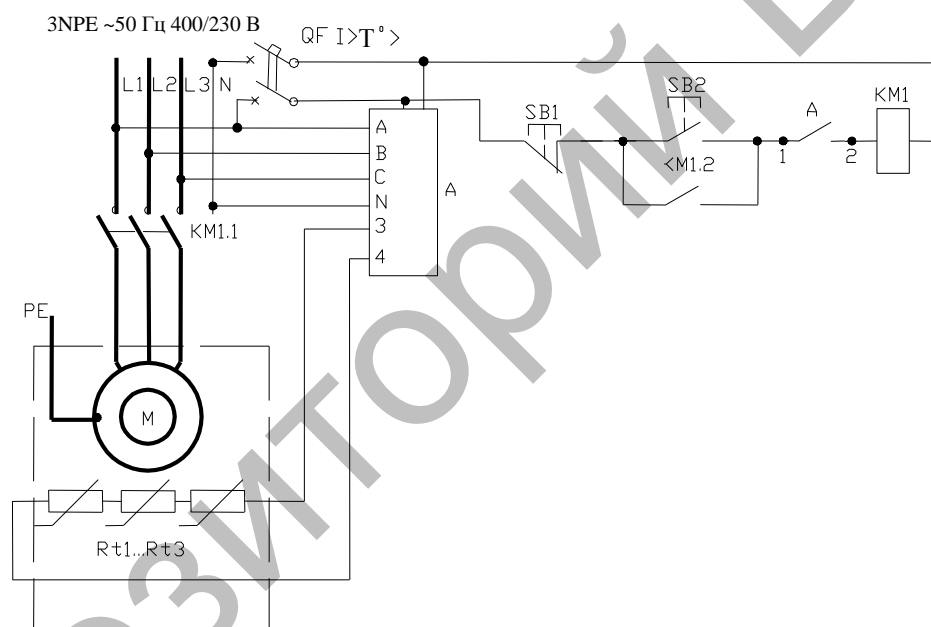


Рисунок 5.13 – Принципиальная электрическая схема включения реле УВТЗ-5 для защиты асинхронного электродвигателя: А – реле УВТЗ-5

Основные технические параметры УВТЗ-5:

Номинальное напряжение сети, В.....	400±15 %
Частота тока, Гц.....	50 (60)
Номинальный ток нагрузки, А.....	0,65...25
Номинальная величина уставки срабатывания по току замыкания на землю,А..	0,01 + 20 %
Максимальное отклонение уставки срабатывания от номинальной во всем диапазоне рабочих температур, %.....	30
Время срабатывания, с.....	не более 0,03
Потребляемая мощность, Вт.....	не более 7
Сопротивление срабатывания устройства по входу температурной защиты,Ом	2100 + 10 %

Максимальное отклонение уставки срабатывания по току замыкания на землю в зоне срабатывания температурной защиты, %.....	не более 5
Кратность включаемого тока.....	не более 7
Электрическая износоустойчивость при номинальной нагрузке.....	не менее 1044 циклов
Допустимая частота включения – отклонений нагрузки в час, при ПВ 40 %.....	120
Сопротивление изоляции устройства в холодном состоянии, МОм.....	не менее 20
Сигнализация включенного состояния.....	световая
Срок службы устройства.....	10 лет
Габаритные размеры (Ш×В×Г).....	170×264×100
Масса устройства, кг.....	2,5

5.4 Выбор аппаратов управления электроприводом

Аппараты управления – это контакторы или магнитные пускатели, реле промежуточные, реле времени, кнопки, переключатели и т. п.

В проекте рекомендуется использовать *электромагнитные пускатели (контакторы)* серии ПМЛ, предназначенные для дистанционного управления трехфазными асинхронными двигателями.

Электромагнитные пускатели (контакторы) выбирают:

- по номинальному напряжению:

$$U_{н. п.} \geq U_{н. с.}, \quad (5.18)$$

где $U_{н. п.}$ – номинальное напряжение пускателя (контактора), В;

$U_{н. с.}$ – номинальное напряжение сети, В.

- по номинальному току:

$$I_{н. п.} \geq I_{дл}, \quad (5.19)$$

где $I_{н. п.}$ – номинальный ток пускателя (контактора), А;

$I_{дл}$ – длительный расчетный ток линии, в которой установлен пускатель (контактор), А;

- по номинальному напряжению обмотки (катушки) электромагнитного пускателя (контактора):

$$U_{н. к.} \geq U_{н. у.}, \quad (5.20)$$

где $U_{н. к.}$ – номинальное напряжение обмотки (катушки) пускателя (контактора), В;

$U_{н. у.}$ – номинальное напряжение цепи управления, в которую включается обмотка (катушка) магнитного пускателя (контактора), В;

- по току нагревательного элемента магнитного пускателя (при встроенном тепловом реле):

$$I_T \geq I_{дл}, \quad (5.21)$$

где I_T – номинальный ток нагревательного элемента теплового реле электромагнитного пускателя, А.

Пускатели (контакторы) электромагнитные серии ПМЛ имеют следующую структуру условного обозначения:

ПМЛ- $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7X_8X_9X_{10}$

- X_1 – величина пускателя (контактора) по номинальному току: **1** – 10 А; **2** – 25 А; **3** – 40 А; **4** – 63 А; **5** – 125 А; **6** – 160 А; **7** – 250 А.
- X_2 – Исполнение по назначению и наличию теплового реле:
1 – нереверсивный без теплового реле; **2** – нереверсивный с тепловым реле; **5** – реверсивный пускатель без теплового реле с электрической блокировкой (для степени защиты IP00, IP20) и электрической и механической блокировками (для IP40, IP54); **6** – реверсивный пускатель с тепловым реле с электрической и механической блокировками; **7** – пускатель «звезда–треугольник».
- X_3 – Исполнение по степени защиты и наличию встроенных элементов управления: **0** – IP00 без дополнительных элементов; **1** – IP54 без дополнительных элементов; **2** – IP54 с кнопками «Пуск» и «Стоп»; **3** – IP54 с кнопками «Пуск», «Стоп» и сигнальной лампой. **4** – IP40 без кнопок; **5** – IP40 с кнопками «Пуск» и «Стоп»; **6** – IP20 без дополнительных элементов.
- X_4 – Исполнение по числу вспомогательных контактов и роду тока вспомогательной цепи (з – замыкающих, р – размыкающих): **0** – 1з (для аппаратов 1 и 2 величины на 10 и 25 А соответственно); 1з + 1р (для аппаратов 3, 4, 5, 6, 7 величины на 40, 63, 125, 160 и 250 А соответственно); **1** – 1р (для аппаратов 1 и 2 величины на 10 и 25 А соответственно); 2з + 2р на номинальные токи контакторов 3...7 величины; **2** – 3з + 1р на номинальные токи аппаратов 3...7 величины; **3** – 4з + 1р на номинальные токи аппаратов 3...7 величины; **4** – 5з+1р на номинальные токи аппаратов 3...7 величины; **5** – 1з (для аппаратов 1 и 2 величины на 10 и 25 А соответственно) постоянного тока; **6** – 1р (для аппаратов 1 и 2 величины на 10 и 25 А соответственно) постоянного тока.
- X_5 – Если стоит буква **Д**, то для 1 величины номинальный ток аппарата равен 16 А, для 2 величины – 32 А, для 4 величины – 80 А, для 5 величины – 100 А.
- X_6 – Сейсмостойкое исполнение (если стоит буква **С**).
- X_7 – Исполнение с креплением на стандартные рейки (если стоит буква **М**).
- X_8X_9 – Климатическое исполнение (**О** – для работы в умеренном, холодном, сухом тропическом климате; **ТВ** – в тропическом влажном) и категория размещения (**4** – в исполнении IP00. Это исполнение допускает использование и в категории размещения 3 по ГОСТ 15543–70 при отсутствии вредных отложений пыли, песка, воздействия атмосферных осадков; **2** – для исполнения IP54).
- X_{10} – Исполнение по износостойкости: **А** – высокое; **Б** – среднее; **В** – низкое. Отличаются количеством серебра в контактах (в А – наибольшее). Рекомендуется при применении в категории АС-3 выбирать: если более 400 циклов в сутки – исполнение А; если 120...400 циклов в сутки – исполнение Б; менее 120 циклов в сутки – исполнение В.

Контакторы пускателей серии ПМЛ на токи 10...63 А допускают крепление на их дугогасительных камерах приставок с блок-контактами типа ПКЛ и пневмоприставок типа ПВЛ.

Число контактов в приставках ПКЛ и применение приставок в пускателях приведены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Характеристика контактной приставки ПКЛ

Тип приставки	Количество контактов		Исполнение пускателей (контакторов)			
	закрывающих	размыкающих	неревверсивных		реверсивных	
			IP00, IP20, IP54 (без кнопок управления)	IP54 (с кнопками управления)	IP00, IP54 (без кнопок управления)	IP54 (с кнопками управления)
ПКЛ-1104	1	1	+	+	+	+
ПКЛ-2004	2	–	+	+	+	+
ПКЛ-2204	2	2	+	–	+	–
ПКЛ-4004	4	–	+	–	+	–
ПКЛ-0404	–	4	+	–	–	–

Пневмоприставки типа ПВЛ имеют 1 замыкающий и 1 размыкающий контакты. Пневмоприставка ПВЛ-II имеют выдержку 0,1...30 с при включении, ПВЛ-12 – 10...180 с при включении, ПВЛ-21 – 0,1...30 с при отключении, ПВЛ-22 – 10...180 с при отключении. Схемы пневмоприставок приведены на рисунке 5.14.

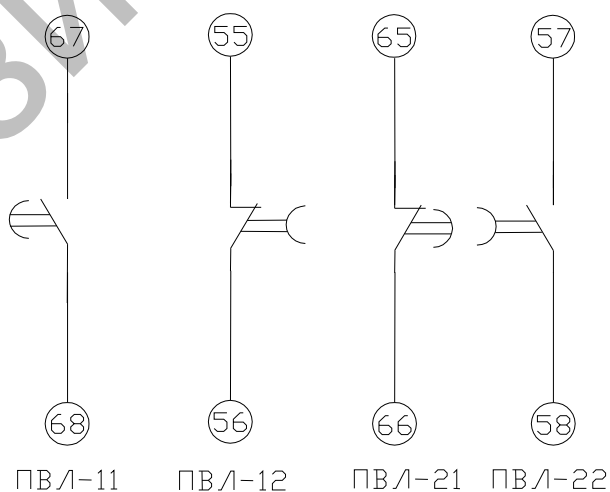


Рисунок 5.14 – Принципиальные электрические схемы пневмоприставок ПВЛ к контакторам серии ПМЛ

Номинальное напряжение втягивающих катушек контакторов ПМЛ при частоте 50 и 60 Гц: 24; 36; 42; 48; 110; 127; 220; 230; 240; 380; 400; 415; 500; 600 В.

Пример расшифровки обозначения пускателя. Надо выбрать пускатель второй величины на ток 25 А, реверсивный без теплового реле, исполнения IP20, число дополнительных контактов – 1 размыкающий (10...25 А), не сейсмическое исполнение, крепление не на рейке, климатическое исполнение О, категория размещения 2 (под навесом), износостойкость Б (средняя), с катушкой на 400 В, с приставкой контактной на 1р + 1з контакты. Шифруется обозначение следующим образом:

«ПМЛ 2501О2Б, катушка 400 В, контактная приставка ПКЛ-1104, ТУ16-523.549-82».

Реле электромагнитные промежуточные серии РЭП34 предназначены для применения в цепях переменного тока с номинальным напряжением до 660 В частоты 50 и 60 Гц и постоянного тока с номинальным напряжением до 220 В. Реле выпускаются с креплением на стандартную DIN-рейку размером 35 мм.

По классификационным признакам реле характеризуется:

по назначению – номинального режима работы; *по роду тока в цепи включающей катушки* – переменного тока; *по роду включающей катушки* – с катушкой напряжения; *по виду возврата* – одностабильные; *по способу крепления* – с помощью винта или защелки;

по виду присоединения внешних проводников – с передним присоединением; *по способу присоединения внешних проводников* – с винтовыми зажимами; *по защищенности* – открытого исполнения.

Климатическое исполнение и категория размещения реле – УХЛ4, Т3.

Степень защиты реле – IP00, IP20.

По коммутационной износостойкости реле выпускаются классов А и Б.

Номинальное напряжение втягивающей катушки:

переменного напряжения частоты 50 Гц: 12; 24; 36; 40; 48; 110; 220; 230; 240; 380; 400; 415; 440; 500; 660 В.

Реле допускают *работу во всех следующих режимах*: продолжительном, прерывисто-продолжительном (восьмичасовом), кратковременном, повторно-кратковременном при относительной продолжительности включения до 60 % и количестве циклов коммутации не более 2400 в час.

Ограничители перенапряжений, подключаемые к катушке реле, ограничивают коммутационные перенапряжения: на катушках управления аппарата – до двукратного амплитудного значения для напряжения 110; 230; 400 В и четырехкратного амплитудного значения – для напряжения 24 и 48 В (с учетом допустимого увеличения напряжения до 110 % номинального значения).

Винтовые зажимы выводов допускают присоединение двух медных или алюминиевых проводов сечением от 0,75 до 2,5 мм².

Основные параметры реле:

1. Номинальное напряжение контактов, В

а) при переменном токе.....от 12 до 660

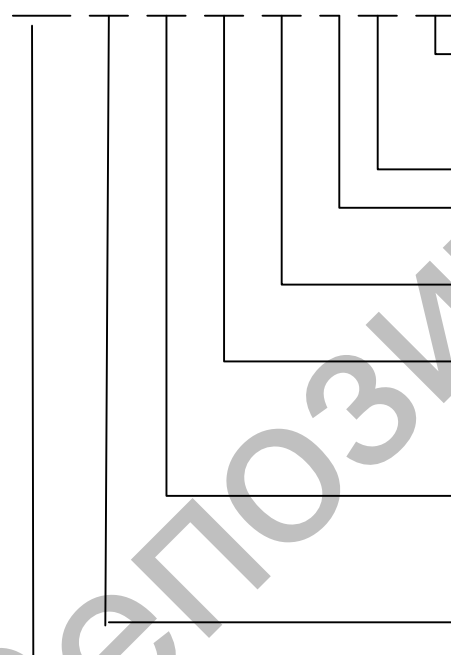
б) при постоянном токе.....	от 12 до 220
2. Номинальный ток контактов, А.....	10
3. Наименьший номинальный рабочий ток контактов, А	
а) при напряжении 12 В.....	0,025
б) при напряжении 24 В.....	0,01
4. Допустимые пределы изменения напряжения цепи управления, от номинального, доли единицы.....	от 0,85 до 1,1
5. Потребляемая мощность при температуре окружающего воздуха (20±5)°С и номинальном напряжении, ВА, не более.....	7,5±1,5
6. Время срабатывания при температуре окружающего воздуха (20±5)°С и номинальном напряжении, с, не более.....	0,020
7. Время возврата при температуре окружающего воздуха (20±5)°С и номинальном напряжении, с, не более	0,015
8. Механическая износостойкость, млн циклов.....	16
9. Испытательное напряжение изоляции в холодном состоянии в нормальных климатических условиях в течение 1 с, В.....	2500
10. Электрическое сопротивление изоляции в холодном состоянии в нормальных климатических условиях, МОм, не менее.....	50

Таблица 5.14 – Типоисполнения реле РЭП34

Степень защиты			
IP00		IP20	
Число и исполнение контактов	Индексы обозначения реле	Число и исполнение контактов	Индексы обозначения реле
2з+2р	РЭП34-22-10 УХЛ4	2з+2р	РЭП34-22-11 УХЛ4
3з+1р	РЭП34-31-10 УХЛ4	3з+1р	РЭП34-31-11 УХЛ4
4з	РЭП34-40-10 УХЛ4	4з	РЭП34-40-11 УХЛ4
4з+2р	РЭП34-42-10 УХЛ4	4з+2р	РЭП34-42-11 УХЛ4
4з+4р	РЭП34-44-10 УХЛ4	4з+4р	РЭП34-44-11 УХЛ4
6з+2р	РЭП34-62-10 УХЛ4	6з+2р	РЭП34-62-11 УХЛ4
8з	РЭП34-80-10 УХЛ4	8з	РЭП34-80-11 УХЛ4
2з+6р	РЭП34-26-10 УХЛ4	2з+6р	РЭП34-26-11 УХЛ4
2з+4р	РЭП34-24-10 УХЛ4	2з+4р	РЭП34-24-11 УХЛ4
3з+3р	РЭП34-33-10 УХЛ4	3з+3р	РЭП34-33-11 УХЛ4
3з+5р	РЭП34-35-10 УХЛ4	3з+5р	РЭП34-35-11 УХЛ4
5з+1р	РЭП34-51-10 УХЛ4	5з+1р	РЭП34-51-11 УХЛ4
5з+3р	РЭП34-53-10 УХЛ4	5з+3р	РЭП34-53-11 УХЛ4
6з	РЭП34-60-10 УХЛ4	6з	РЭП34-60-11 УХЛ4
7з+1р	РЭП34-71-10 УХЛ4	7з+1р	РЭП34-71-11 УХЛ4

Таблица 5.15 – Габаритные, установочные размеры и масса реле

Типоисполнение	Высота, мм	Ширина В, мм	Глубина, мм	Масса, кг, не более
РЭП34-22-10, РЭП34-31-10, РЭП34-40-10	56±0,5	39,5	72±1	0,21
РЭП34-42-10, РЭП34-44-10, РЭП34-62-10, РЭП34-80-10, РЭП34-26-10			104	0,28
РЭП34-22-11, РЭП34-31-11, РЭП34-40-11	62±0,5	39,5	72,1±1	0,21
РЭП34-42-11, РЭП34-44-11, РЭП34-62-11, РЭП34-80-11, РЭП34-26-11			104	0,28
РЭП34-24-10, РЭП34-33-10, РЭП34-35-10, РЭП34-51-10, РЭП34-53-10, РЭП34-60-10, РЭП34-71-10, РЭП34-24-11, РЭП34-33-11, РЭП34-35-11, РЭП34-51-11, РЭП34-53-11, РЭП34-60-11, РЭП34-71-11	62±0,5	39,5	104	0,28

РЭП 34 X₁X₂ X₃ X₄ X₅ X₆ X₇

Цифра, указывающая исполнение реле по износостойкости: **А; Б.**

Цифра, характеризующая категорию размещения по [29]: **3; 4.**

Обозначение климатического исполнения по [29]: **УХЛ, Т.**

Цифра, указывающая исполнение реле по степени защиты: **0** – степень защиты IP00; **1** – степень защиты IP20.

Цифра, указывающая род тока в цепи включающей катушки, род включающей катушки и вид возврата: **1** – реле переменного тока с катушкой напряжения, одностабильные.

Количество замыкающих и размыкающих контактов: X₁ – замыкающих; X₂ – размыкающих. Например, **22** – 2 замыкающих и 2 размыкающих, и т. д.

Номер серии.

Обозначение вида реле: реле электромагнитные промежуточные.

Пример записи обозначения реле с двумя замыкающими и двумя размыкающими контактами, с включающей катушкой на номинальное напряжение 230 В, частоты 50 Гц, класса коммутационной износостойкости А, степень защиты IP00 при его заказе и в документации другого изделия: для поставок внутри страны:

«Реле РЭП34-22-10УХЛ4А, 230 В, ТУ3425-00700216823-93».

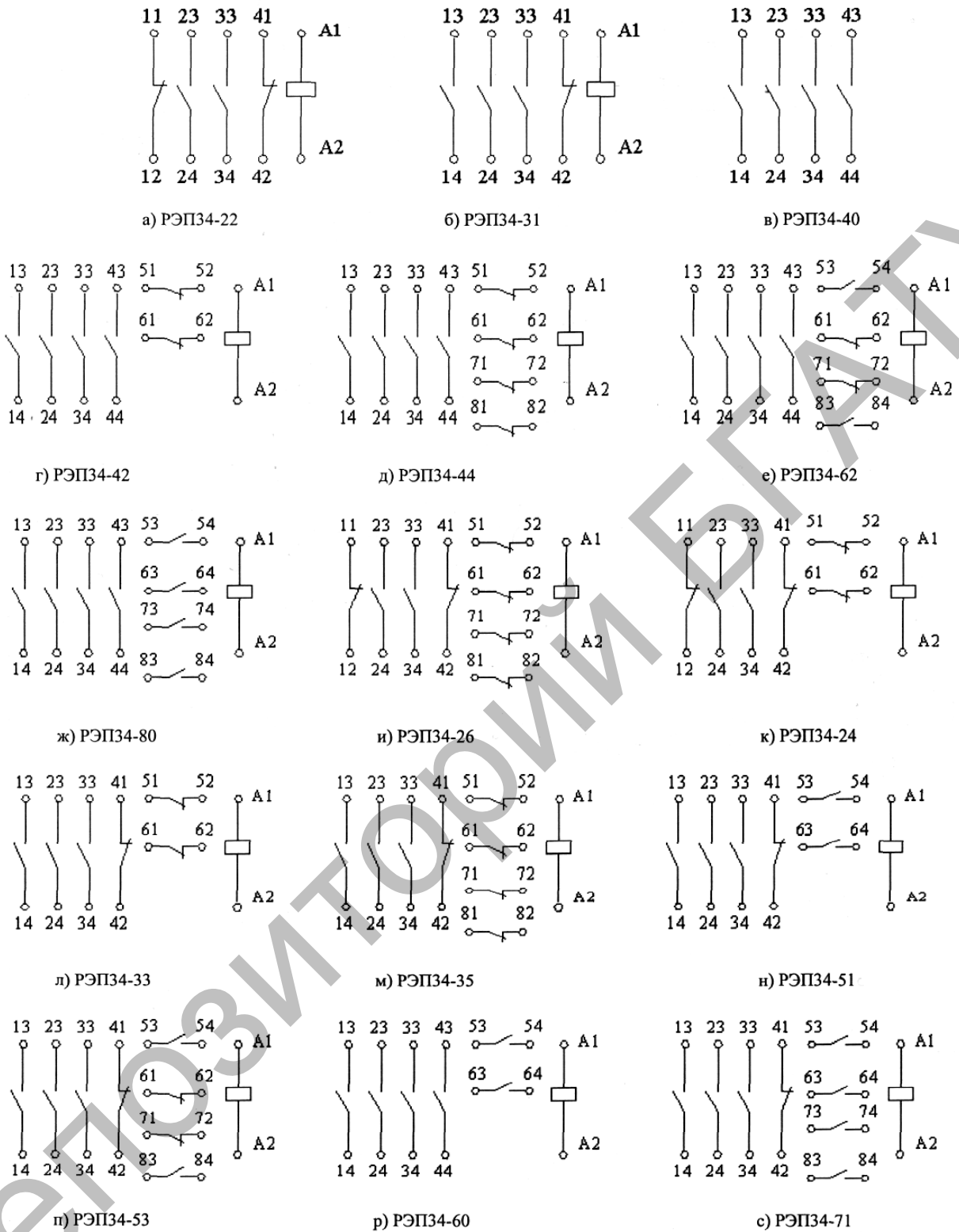


Рисунок 5.15 – Схемы электрические принципиальные реле РЭП34

В курсовой работе приветствуется использование и других современных промежуточных реле, например, РП-21, РП-63, реле РК-1Р... РК-4Р, РК-4РZ, РК-4РR компании «Евроавтоматика ФиФ» и др. с обязательной ссылкой на сайт производителя.

Реле времени разнообразны по принципу действия, числу цепей управления, по выдержкам времени и т. д.

В курсовой работе чаще всего применяются реле времени с суточной программой для задания, например, времени начала трех уборок навоза в сутки и т. п.

Для этих целей наиболее подходят программируемые реле времени с суточным циклом.

Простейшее из таких устройств – *электромеханическое реле 2РВМ* с двумя циклами программ (с 2 контактами), с автоматическим под заводом часового механизма с помощью встроенного однофазного электродвигателя и редуктора.

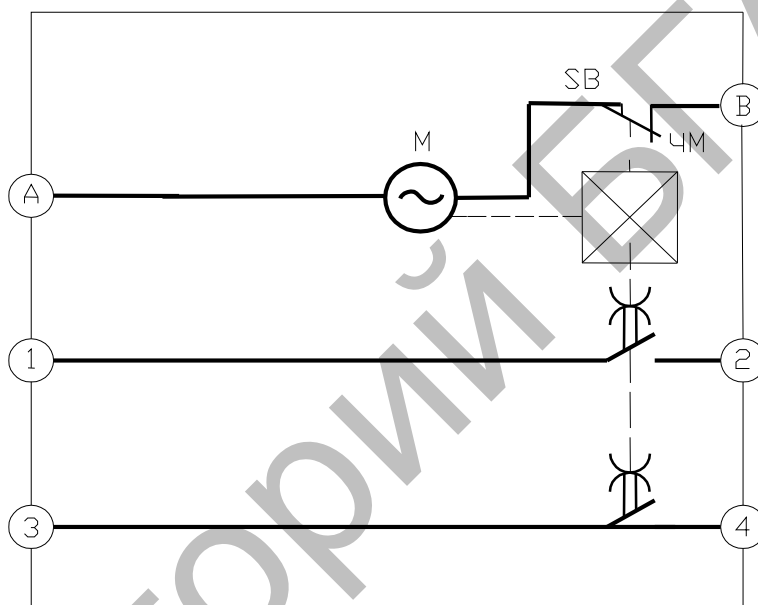


Рисунок 5.16 – Принципиальная электрическая схема реле 2РВМ:
SB – микровыключатель заводной пружины; ЧМ – часовой механизм; 1, 2 – контакты с дискретой 20 мин; 3, 4 – контакты с дискретой 15 мин

Реле выбирается на напряжение 230 В, 50 Гц. Одна программа может изменяться через 20 мин, другая – через 15 мин. Ток переключения контактов – не менее 10 А, 230 В. Габариты реле 220×170×120 мм. В рамках курсовой работы применение реле 2РВМ нежелательно.

Большие возможности имеют таймеры электронные программируемые. Например, ОАО «Электротехнический завод» (г. Киев) выпускает *таймеры программируемые с суточным или недельным циклом типа РВЦ-03*.

Выпускаются 2 исполнения реле: РВЦ-03-2 (с секундной дискретностью импульса) и РВЦ-03-1 (с минутной дискретностью импульса).

Функциональные возможности реле:

- индикация текущего времени;
- управление по заданной программе, с независимыми вставками по программам;
- сохранение памяти программы при отключении питания;
- многократное повторение программы.

Основные технические характеристики:

Напряжение питания, В.....	~24, 127, 230
.....-24, 110, 220
Потребляемая мощность, Вт.....	не более 5
Погрешность хода в сутки, с.....	+4
Запас хода часов, ч.....	150
Максимальное число уставок реле.....	60
Регулируемая выдержка времени.....	дискретная
Число независимых цепей управления.....	3
Количество контактов	
РВЦ-03-01.....	3 замыкающих
РВЦ-03-02.....	3 переключающих
Длительно допустимая сила тока контактов, А.....	8
Максимальная коммутируемая активная мощность, Вт.....	2000
Диапазон рабочих температур, °С.....	-20...+55
Степень защиты реле.....	IP40
клеммника.....	IP10
Масса, кг.....	не более 0,3
Габаритные размеры, мм (Ш×В×Г).....	55×75×105
Крепление.....	на рейку DIN-35

Схема контактов реле РВЦ-03 показана на рисунке 5.17.

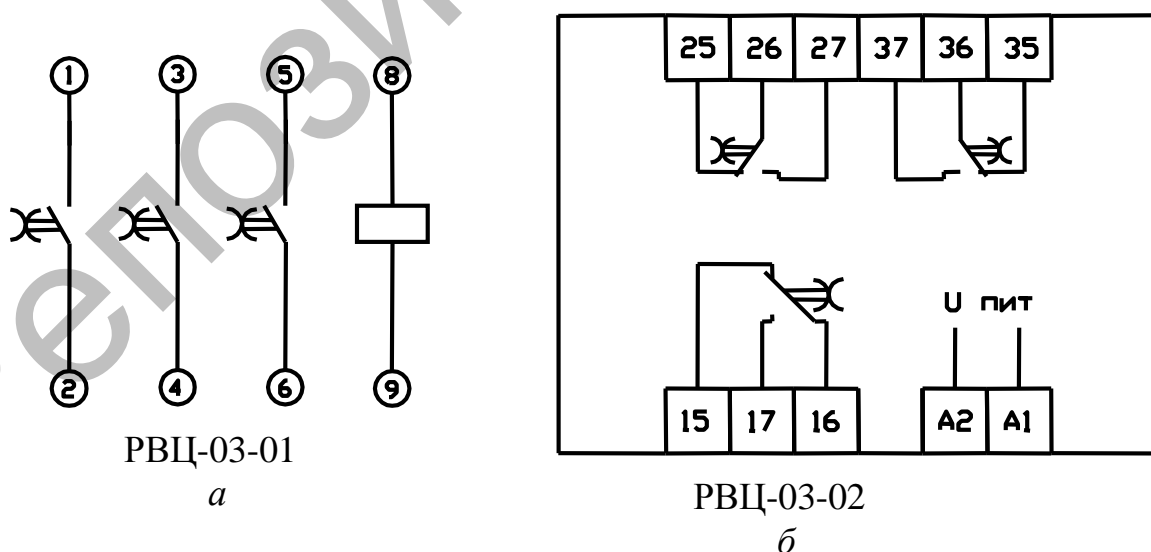


Рисунок 5.17 – Принципиальные электрические схемы таймера программируемого РВЦ-03 исполнения РВЦ-03-01 (а) и исполнения РВЦ-03-02 (б)

Реле времени РП21М-В предназначены для коммутации электрических цепей с определенными, предварительно установленными выдержками времени, а реле РП21М-003В3 – для автоматического циклического включения и отключения электрических цепей, например для питания световой сигнализации (получения мигающего света). Такие реле заменяют широко используемые в сельском хозяйстве реле времени пневматические РВП72.

Реле времени имеют электромагнитное реле РП21М и полупроводниковую приставку времени. Регулировка выдержки времени осуществляется с помощью ручки на лицевой панели.

Контакты реле РП21М-003В1 замыкаются с выдержкой времени после подачи напряжения питания на выводы катушки А и В.

Реле времени РП21М-002В2 работает следующим образом. При замыкании внешнего управляющего контакта К и наличии напряжения питания на выводах В и 11 реле срабатывает без выдержки времени. После размыкания контакта К реле отключается с выдержкой времени. В случае отключения напряжения питания реле РП21М-002В2 отключается без выдержки времени.

После включения напряжения питания реле РП21М-003В3 начинает работать в циклическом режиме, т. е. с выдержкой времени включается, а затем через такое же время отключается. Циклическая работа продолжается до отключения напряжения питания.

В зависимости от способа крепления, вида и способа присоединения внешних проводников реле могут поставляться:

- 1) без розетки: крепление на панели при помощи двух винтов М4, с ламелями под пайку для заднего присоединения;
- 2) с розеткой типа 2: крепление посредством защелки, с винтовыми зажимами для переднего присоединения;
- 3) с розеткой типа 3: с помощью двух винтов М4, с винтовыми зажимами для переднего присоединения.

Основные технические данные реле приведены в таблице 5.16.

При выборе реле указывают выдержку времени, напряжение питания, тип розетки, например: РП21М-003В1, 1...10 с, ~230 В, с розеткой типа 3.

Принципиальные электрические схемы контактов реле РП21М-В приведены на рисунке 5.18.

Таблица 5.16 – Основные технические данные реле РП21М-В

Параметр	Тип реле		
	РП21М-003В1	РП12М-002В2	РП21М-003В3
Выполняемая функция	С выдержкой на включение	С выдержкой на отключение после отключения напряжения управления при сохранении напряжения питания	Циклическое с одинаковыми длительностями импульса и паузы
Количество и вид контактов	3 перекл.	2 перекл.	3 перекл.
Диапазон выдержки времени	(0,1...1; 1...10; 10...100) с (1...10;10...100) мин		
Напряжение питания, В: постоянный ток	12; 24; 110; 120	24; 110; 220	12; 24; 110; 120
переменный ток, 50 Гц	110; 230	110; 230	110; 230
Потребляемая мощность - реле постоянного тока, Вт - реле переменного тока, ВА	4 5		
Коммутируемый ток, А ~220В	4,0 (включаемый) $\cos\phi = 0,4$ 0,4 (отключаемый) $\cos\phi = 0,4$		
- 220В	0,18 за время $t \leq 0,01$ с		
Температура окружающего воздуха, °С	-40 до +55° С		
Габаритные размеры (Ш×В×Г)	43×92×98 (с розеткой)		

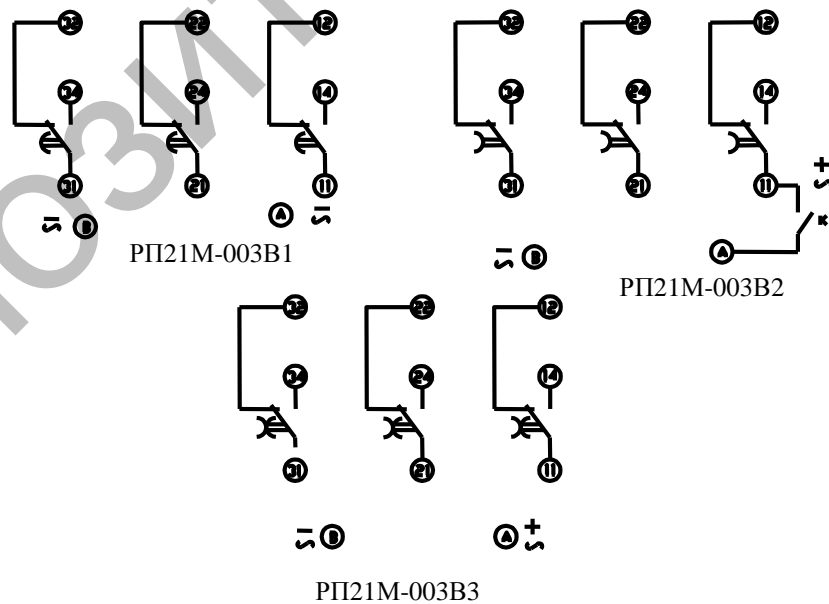
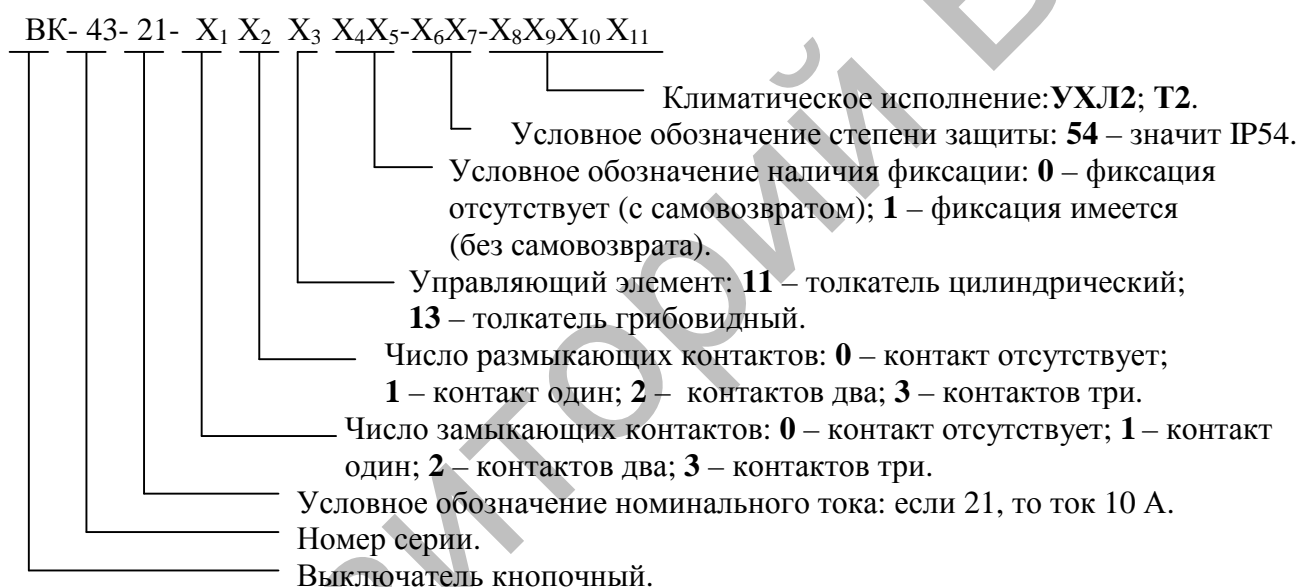


Рисунок 5.18 – Принципиальные электрические схемы контактов реле: РП21М-003В1, РП21М-003В2, РП21М-003В3

Кнопки управления предназначены для подачи оператором управляющего воздействия при управлении различными электромагнитными аппаратами (реле, пускателями, контакторами), а также для коммутирования цепей управления, сигнализации, электрической блокировки и других цепей постоянного и переменного тока. Ассортимент кнопок управления разнообразный. Данное пособие рекомендует использовать в качестве кнопок выключателя кнопочные серии ВК43, а в качестве простых переключателей – переключатели кнопочные серии ВК44.

По электрическим параметрам **выключатели кнопочные серии ВК43** удовлетворяют работе в сети до 660 В переменного тока при токе 10 А. Имеют высокую степень защиты – IP54, хорошее климатическое исполнение и категорию размещения (УХЛ2, Т2).

Число размыкающих или замыкающих пар контактов – до трех. Остальные возможности вытекают из структуры условного обозначения:



Например: «ВК43-21-11110-54УХЛ2, красный, ТУ3428-002-05758144-95» – означает: выключатель кнопочный 43 серии, на токе 10 А, 1 замыкающий и 1 размыкающий контакты, толкатель цилиндрический, без фиксации, степень защиты – IP54, климатическое исполнение УХЛ2.

Цвет толкателей может быть черный («Пуск») или серый, зеленый, желтый, белый, синий, а также красный («Стоп»), грибовидный красный толкатель применяется для аварийной кнопки «Стоп».

Переключатели кнопочные серии ВК-44 имеют рукоятку с фиксацией на два (0–I) и три (I–0–II) положения и без фиксации на 2 положения. Контакты – двухполюсные (с 1 замыкающим и 1 размыкающим контактами), их количество 1, 2 или 3.

Особенности переключателей зашифрованы в структуре условного обозначения:

ВК 44- 21- X₁ X₂ 16 X₃ - X₄X₅ X₆X₇X₈X₉



Климатическое исполнение: **УХЛ2; Т2.**

Степень защиты: **54** – значит IP54.

Фиксация: **0** – фиксация отсутствует (с самовозвратом);

1– фиксация имеется (без самовозврата).

Условное обозначение привода по виду основной детали:

16 – рукоятка короткая.

Размыкающие контакты: **0** – контакт отсутствует; **1** – контакт 1;

2 – контактов 2; **3** контактов 3.

Замыкающие контакты: **0** – контакт отсутствует; **1** – контакт 1;

2 – контактов 2; **3** – контактов 3.

Номинальный ток 10 А.

Номер серии 44.

Обозначение вида аппарата.

Например, переключатель кнопочный, рукоятка короткая, с фиксацией на 3 положения, белого цвета, с тремя замыкающими и тремя размыкающими контактами, для умеренного климата: «ВК 44 -21-33161-54УХЛ2 ТУ3428-023-05758144-99».

Выпускается серия ВК Кашинским заводом электроаппаратуры (Россия).

При выполнении курсовой работы также рекомендуется использовать кнопки управления серии КЕ, а также посты кнопочные серии ПКЕ.

При разработке электропривода может возникнуть необходимость в *конечных выключателях или путевых переключателях* при управлении подвижными механизмами, при ограничениях положения механизмов и т. п.

Контактные выключатели весьма разнообразны по принципу действия, конструкции и возможностям.

До сих пор находят применение в электрооборудовании выключатели типа ВПК-2000. Они имеют цилиндрический толкатель или ролик на приводном устройстве. Упор, действующий на толкатель, должен перемещаться со скоростью от 0,6 до 30 м/с.

Выключатель имеет две независимые цепи (с одним замыкающим и одним размыкающим контактом) на напряжение до 400 В и ток до 10 А.

Выключатели конечные типа ВК-200 и ВК-300 более совершенны. Они мгновенно переключают контакты, независимо от скорости перемещения упора. Выпускаются с самовозвратом в исходное положение и без самовозврата. Корпус металлический, требует заземления. Контакты рассчитаны на напряжение до 400 В и ток до 10 А.

Бесконтактные переключатели типа БВК имеют пластмассовый корпус с прорезью, внутри которого находится генератор релаксационных колебаний, залитый эпоксидной смолой.

При внесении алюминиевой пластинки в прорезь выключателя генерация колебаний срывается и на выходе усилителя появляется сигнал.

Некоторые технические данные бесконтактных переключателей серии БВК-260...265:

Напряжение питания.....	24 В постоянного тока
Допустимые отклонения напряжения.....	(0,85...1025) U_n
Максимальная величина выходного тока.....	250 мА (нагрузка не ниже 91 Ом)
Погрешность.....	1,0 мм
Дифференциал хода переключателей.....	не более 2 мм
Вероятность безотказной работы за 1000 ч.....	не ниже 0,96
Время переключения (вкл/откл), мс.....	не более 0,3/0,6
Климатическое исполнение.....	УХЛ4
Степень защиты.....	IP65
Габариты, мм.....	78×78×45
Масса, кг.....	0,3

Включаются БВК по схеме на рисунке 5.19.

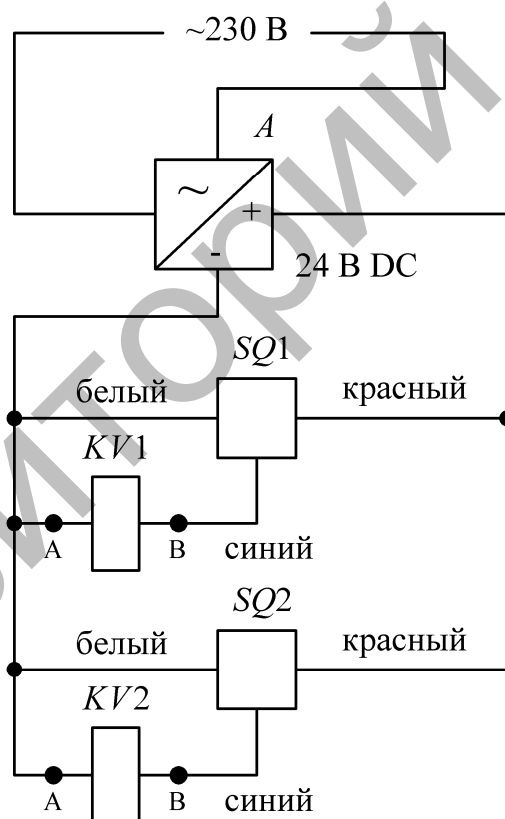


Рисунок 5.19 – Принципиальная электрическая схема включения БВК 260...265 в сеть переменного тока 230 В: А – блок питания; SQ1, SQ2 – БВК 260...265

Выход БВК включается на реле постоянного тока, 24 В, с сопротивлением катушки не ниже 91 Ом (например, реле РПУ-2-3Х002 с $R_{кат} = 280$ Ом, паспорт 01.04.03, два переключающих контакта на 230 В, 5 А, габариты 113×54×113 мм).

Обычно в схемах управления по положению требуется применять два БВК (для крайнего левого и крайнего правого положений). В этом случае блок питания надо выбирать на мощность двух реле и двух БВК (суммарная мощность не менее 12 Вт). Если применяются три БВК и более, используется блок питания большей мощности (до 50 Вт).

Блоки питания разнообразны по принципу преобразования, конструкции, по выходным напряжениям.

В данном пособии приведены сведения о двух блоках питания СООО «Евроавтоматика Ф и Ф» (г. Лида): блок ZS на 12 Вт и блок ZI на 50 Вт [17].

Стабилизированный блок питания ZS выпускается в корпусе, приспособленном для монтажа на DIN-рейке 35 мм. Оснащен защитой выхода от короткого замыкания и перегрузки, а также предохранителем на входе, размещенном внутри корпуса. Входное напряжение – 230 В АС $\pm 5\%$, выходная мощность 12 Вт, уровень пульсаций < 3 мВ, рабочая температура – $+10... 60^{\circ}\text{C}$. Размеры $105 \times 60 \times 60$ мм, масса – 0,550 кг. Выпускается с разным уровнем выходного напряжения, от 5 до 48 В. На 24 В имеет обозначение ZS-4. Выходной ток – 0,5 А.

Импульсный блок питания ZI современного типа с преобразователем частоты отличается компактностью. В тех же габаритах и при массе 0,19 кг имеет мощность 50 Вт. Входное напряжение – от 85 до 264 В АС. На 24 В имеет обозначение ZI-4. Выходной ток – 2 А. Другие условия применения аналогичны блоку ZS.

Обращаем Ваше внимание, что в каталоге [17] приведено много сведений об автоматике промышленного и бытового назначения.

Зажимы наборные ЗН27 и блоки зажимов БЗН27 (ТУ 16-89 ИГФР.687222.023) предназначены для присоединения, ответвления и заземления проводников в электрических цепях переменного и постоянного тока. Применяются в шкафах НКУ.

ЗН27 полностью соответствуют требованиям международных стандартов и совместимы со всеми типами зарубежных зажимов как по техническим параметрам, так и с эстетической точки зрения.

ЗН27 являются зажимами нового поколения, принципиально переработанными по сравнению с ранее разработанными ОАО «ВНИИР» ЗН24, БЗН24 и качественно превосходящими их по основным параметрам.

Основные отличия:

1. Степень защиты IP20. Применение моста поперечного соединения позволяет объединять клеммы также с соблюдением требований защиты IP20.

2. Крепление проводников осуществляется посредством замкнутой скобы, что упрощает подсоединение проводников и улучшает надежность их крепления при втычном монтаже.

3. Применение замкнутой скобы позволило значительно уменьшить габариты зажимов и разместить на рейке той же длины большее количество клемм при тех же сечениях подсоединяемых проводников.

4. В качестве материала для изготовления **ЗН27** используется термопластичная пластмасса, что значительно повышает их прочность и исключает возможность появления трещин при закручивании винтов.

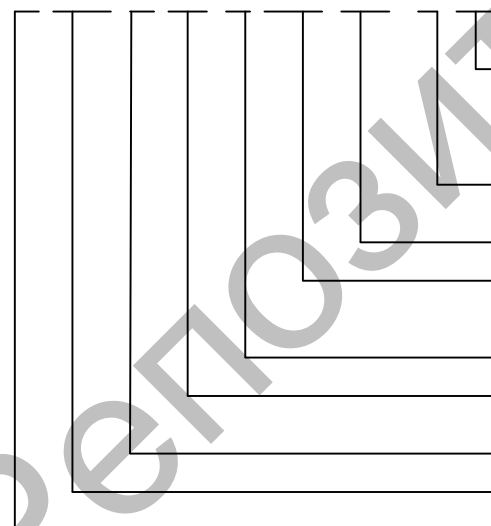
Кроме явных технических преимуществ **ЗН27** вследствие применения цветной пластмассы эстетически значительно превосходят **ЗН24**.

Таблица 5.17 – Габаритные размеры зажима (одного)

Обозначение	Высота, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
ЗН27-2,5М10-25 Д/Д УЗ (тип 1)	32,5	28	5,5
ЗН27-6М40 Д/Д УЗ	50	40	8
ЗН27-16М80 Д/Д УЗ	57,5	50	12
ЗН27-35М135-160 Д/Д УЗ	60	55	17,5
ЗН27-95М250 Д/Д УЗ	100	84	28

Структура условного обозначения:

Б ЗН27- X₁ X₂ X₃ X₄X₅ X₆X₇ X₈ X₉



Обозначение способа установки зажима на рейке (исп. I – крепление на С – образную рейку; исп. II – крепление на DIN-рейку шириной 15 мм).

Количество зажимов в блоке (применяется только для блоков).

Вид климатического исполнения по [29].

Способ соединения проводника с выводом с каждой стороны зажима: Д/Д – винт/винт.

Номинальный ток.

Функциональное назначение: М – мостиковые; Л – с установкой на печатные платы; И – измерительные.

Номинальное сечение подсоединяемого проводника.

Зажим наборный серии 27.

Блок (применяется только для блоков).

Количество зажимов на рейке определяется заказчиком.

В настоящее время зажимы могут быть изготовлены серого, зеленого, оранжевого и желтого цвета, для проводника РЕ – желто-зеленого.

Таблица 5.18 – Технические данные зажимов наборных ЗН27

Условное обозначение зажимов	$I_{\text{НОМ}}$, А	Зажимной винт	Сечение провода, мм ²		Диаметр провода, мм	
			min	max	min	max
ЗН27-2,5М10-25	10–25	М3	0,028	3,5	0,19	2,1
ЗН27-6М40	40	М4	0,38	14,5	0,7	4,3
ЗН27-16М80	80	М4	2,5	30,2	1,8	6,2
ЗН27-35М135-160	135–160	М6	4	75	2,3	9,8
ЗН27-95М250	250	М10	10	268,8	3,6	18,5
С увеличенным размером окна скобы						
ЗН27-2,5М25	25	М3	0,028	4,9	0,19	2,5

Примечания:

1. Способ присоединения проводника – Д/Д (винт/винт);
2. Максимальное напряжение: ~660 В, –440 В;
3. Температура допустимая: –50 °С...+90 °С;
4. Климатическое исполнение: УЗ, ТЗ

При выборе необходимо указать: количество зажимов в блоке, номинальное сечение проводника, номинальный ток, климатическое типоразмерное исполнение, функциональное назначение зажима, способ крепления проводника к зажиму, тип крепежной рейки.

Образец записи блока зажимов БЗН27: мостиковый; номинальный ток – 25 А; способ крепления провода – винт/винт; климатическое исполнение – УЗ; количество зажимов в блоке – 5; для установки на DIN-рейку: БЗН27-2,5М25-Д/Д3-5/исп. II/.

Сигнальная арматура весьма разнообразна по виду, напряжению, роду тока, цвету светофильтра.

Современная сигнальная арматура на напряжение 230 В строится на базе неоновых ламп, которые экономичнее и долговечнее, чем лампы накаливания. Как правило, добавочный резистор имеет мощность не более 2 Вт. Неоновая лампа вставляется в арматуру, которая имеет светофильтры разных цветов: красного (к), желтого (ж), зеленого (з), синего (с), белого (б), см. таблицу 5.19.

При пониженных напряжениях (<60 В), неоновые лампы не применяются. В этом случае используется арматура сигнальная светодиодная или с лампами накаливания.

Световые сигнальные лампы (СКЛ) применяются в электрощитах, пультах управления и сигнализации. Данный тип ламп полностью заменяет лампы накаливания и превосходит их в работе по многим параметрам (малое потребление тока – 10 мА, высокая наработка на отказ – 25 000 часов, взрывоустойчивы, пожаробезопасны, широкий угол обзора – 120 градусов). Особое внимание стоит обратить на лампы серии СКЛ-11, СКЛ-12, СКЛ-15, СКЛ-16, так как они заменяют одновременно лампу накаливания, арматуру и цветовой защитный колпак.

Таблица 5.19 – Арматура светосигнальная неоновая на 230 В

Тип	Конструктивное исполнение	Диаметр отверстия, мм	Примечания
AL-22	Конусный светофильтр, цвета к, ж, з, с, б	22	Подсветка – неоновой лампой ВА9S на 240 В, металлическое кольцо, подключение – проводами под зажимной винт
AL-22TE	Светофильтр цилиндрический плоский, цвета к, ж, з, с, б	22	Без металлического кольца, остальное соответствует арматуре AL-22
ENR-22	Светофильтр цилиндрический плоский. Снабжена отражателем-концентратом. Цвета к, ж, з, с, б	22	То же, но меньших габаритов, с зажимами, встроенными в корпус

Лампы СКЛ выпускают в расчете на эксплуатацию в цепях постоянного однонаправленного тока (тип 1); переменного (произвольной частоты и формы) или постоянного тока любого направления (тип 2); переменного тока частотой 50 Гц или 400 Гц синусоидальной формы (тип 3).

Лампы СКЛ имеют три группы свечения: группа А (нормальной яркости); группа Б (повышенной яркости); группа В (высокой яркости). Предназначены для работы в цепях с напряжением от 3 до 360 В, сила тока 5...20 мА.

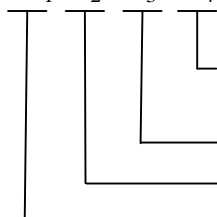
Типы ламп СКЛ и их цоколи приведены в таблице 5.20.

Таблица 5.20 – Типы ламп СКЛ и их цоколи

Лампа	СКЛ-1	СКЛ-2	СКЛ-3	СКЛ-4	СКЛ-5	СКЛ-8	СКЛ-10	
Цоколь без резьбы	B15d/18	B15d/18	B15s/18	B15s/18	B22	B9	B15d/18	
Лампа	СКЛ-6	СКЛ-7	СКЛ-9	СКЛ-13	СКЛ-11	СКЛ-12	СКЛ-15	СКЛ-16
Цоколь с резьбой	E14	E27	E14	E10	Без цоколя*			
* малогабаритные, с присоединенными проводниками								

Условное обозначение светодиодных ламп СКЛ:

СКЛ-12- X₁ X₂ X₃- X₄



Рабочее напряжение: 3; 6; 12; 24; 28; 36; 55; 60; 75; 110; 127; 230; 400 В

Род тока: **1** – постоянный; **2** – универсальный; **3** – переменный.

Цвет свечения: **1** – красный; **2** – зеленый; **3** – желтый.

Группа свечения: **A** – нормальной яркости (20 МКД); **B** – повышенной яркости (40 МКД); **B** – высокой яркости (более 40 МКД).

Например, надо выбрать лампу сигнальную светодиодную на напряжение 230 В, 50 Гц, нормальной яркости, зеленую, малогабаритную: СКЛ-16-А23-230.

Внешний вид светодиодных сигнальных ламп СКЛ показан на рисунке 5.20.

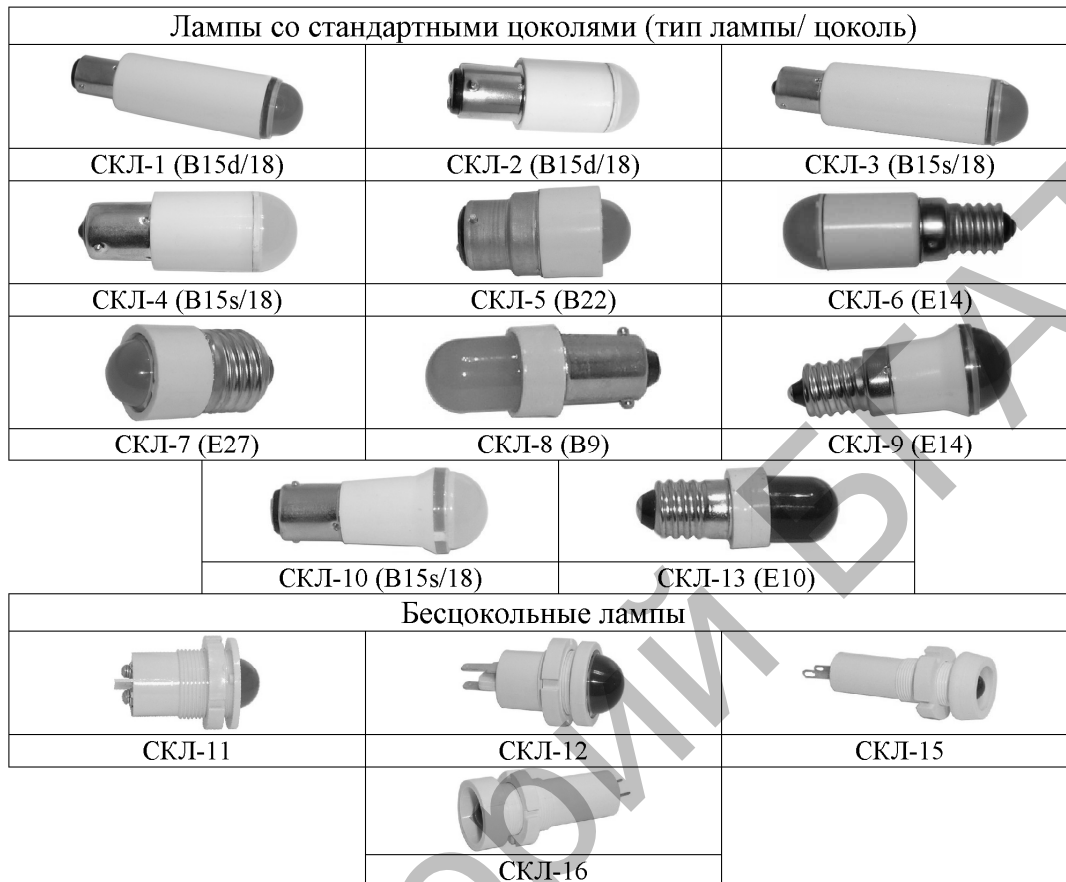


Рисунок 5.20 – Внешний вид светодиодных сигнальных ламп СКЛ

Для звуковой сигнализации используются звонки типа МЗ, ЗВОФ, ЗВП, сирены СС-1, ревуны ВВП, РВФ. Напряжение питания – 12; 36; 110; 220; 380 В.

Если при составлении схемы управления электроприводом понадобится выбирать элементы автоматики (датчики уровня и т. п.), то следует обратиться к специальной литературе, например [18].

Таким образом, каждый выбранный аппарат управления должен иметь обозначение (в полном объеме его зашифровки) и отдельно должны быть указаны его номинальные параметры. Для переключателя управления должна быть задана таблица состояния контактов в каждом положении рукоятки переключателя.

В курсовой работе приветствуется применение и других современных аппаратов управления электроприводом с обязательной ссылкой на литературный источник. При выборе аппаратов управления руководствуйтесь справочниками и современными каталогами, например [17], [18], а также сайтами-производителями изделий.

Раздел 6 Определение показателей разработанного электропривода

6.1 Расчет показателей надежности разработанного электропривода

Электропривод относится к восстанавливаемым системам. Для них характерны следующие показатели надежности.

Вероятность наработки между отказами

$$R(T_3) = e^{-\Lambda T_3}, \quad (6.1)$$

где T_3 – заданное время работы (в часах);

Λ – параметр потока отказов.

1. Параметр потока отказов

$$\Lambda = \sum_i^N \lambda_i, \quad (6.2)$$

где λ_i – интенсивность отказа i -го элемента.

2. Нарботка на отказ

$$\bar{t}_H = \frac{1}{\Lambda}. \quad (6.3)$$

Показатели ремонтпригодности:

1. Среднее время восстановления системы $\bar{\tau}_B$.

2. Вероятность восстановления системы в заданное время

$$\Theta(\bar{\tau}_3) = 1 - \left(1 + 2 \frac{\bar{\tau}_{33}}{\bar{\tau}_B} \right) e^{-\frac{2\bar{\tau}_3}{\bar{\tau}_B}}, \quad (6.4)$$

где $\bar{\tau}_B$ – минимальное время, заданное техническими условиями для восстановления системы, чтобы не нарушить технологический процесс; это время может быть принято равным допустимому времени простоя оборудования, ч;

$\bar{\tau}_3$ – минимальное время, заданное на восстановление системы, ч.

3. Коэффициент готовности

$$K_T = \frac{\bar{t}_H}{\bar{t}_H + \bar{\tau}_B}. \quad (6.5)$$

Таким образом, при курсовом проектировании должны быть определены 6 показателей, указанных выше.

Для определения данных показателей воспользуемся методикой коэффициентного метода расчета показателей надежности электропривода. Этот метод применяется на стадии проектирования электропривода.

Сущность его состоит в том, что в расчете используется не интенсивность отказа λ_i отдельного i -го элемента, а коэффициент ненадежности K_i (чем больше этот коэффициент, тем более ненадежный элемент):

$$K_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_{\text{баз. элемента}}}, \quad (6.6)$$

где λ_i – интенсивность отказа i -того элемента;

$\lambda_{\text{баз. элемента}}$ – интенсивность отказа базового элемента; базовым элементом выбирается резистор, для которого $\lambda_{\text{баз. элемента}} = 0,03 \times 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$.

Важной особенностью коэффициентного метода является простой и удобный способ учета режима работы и условий окружающей среды с помощью поправочных коэффициентов.

Приведенный ниже порядок расчета показателей надежности электропривода составлен по справочнику [6], с. 382...383.

В пояснительной записке составляется таблица по форме таблицы 6.1.

- В графе 2 «Наименование и тип элемента» таблицы 6.1 выписываются элементы составленной ранее принципиальной электрической схемы и их типы (электродвигатель АИР..., автоматический выключатель ВАБ1... и т. д., в таблицу 6.1 можно не включать вспомогательные элементы: светосигнальную арматуру, звонки, сирены; приборы контроля напряжения и т. д., не влияющие на надежность работы схемы).

- В графу 3 «Условное обозначение на схеме» выписывается позиционное обозначение элементов, взятое из принципиальной схемы и записанное в графе 2.

- В графу 4 проставляются номинальные параметры аппарата (по его паспорту). Как правило, это номинальный ток аппарата. Для электродвигателя – его номинальная мощность. В таблице 6.2 приведены параметры, которые являются определяющими номинальными для элементов схем.

- В графу 5 проставляется номинальный коэффициент ненадежности K_i элементов схемы (приложение М).

Если в приложении М в столбце 3 нет ссылок на рисунок, по которому находятся поправочные коэффициенты, то это значит, что в приложении М

приведены среднестатистические данные коэффициента ненадежности, а поправочные коэффициенты $\alpha_1 \dots \alpha_4$ в таблице 6.1 равны 1 (графы 9...12).

Если в приложении М в столбце 3 есть ссылки на рисунок, по которому находятся поправочные коэффициенты $\alpha_1 \dots \alpha_4$, то их значения находят по указанным рисункам и заносят в таблицу 6.1 (графы 9...12) при температуре 40 °С.

Обратите внимание, что для электромагнитных реле и пускателей выписывается коэффициент ненадежности для катушки отдельно и одной группы контактов – отдельно, для автоматических выключателей K_i задан на один полюс. При трехполюсном автоматическом выключателе этот коэффициент умножается на три, при четырех полюсах – на четыре и т.п.

- В графе 6 проставляется значение фактического параметра графы 4, например фактическое значение мощности на валу или тока, протекающего по цепи, и т. п.

- В графе 7 проставляются фактические коэффициенты нагрузки элементов схемы. Например, для электродвигателя коэффициент нагрузки $K_{\text{наг}} = P_2/P_{\text{ном}}$. Для других элементов коэффициент нагрузки находят по формулам, приведенным в таблице 6.2. Если элемент не указан в таблице 6.2, то

$$K_{\text{наг}} = \frac{\text{значение графы 6 таблицы 5.1}}{\text{значение графы 4 таблицы 5.1}} \quad (6.7)$$

- В графу 8 проставляется предполагаемая температура окружающей среды, в которой будет работать элемент схемы. Обычно берут $\Theta = 40^\circ \text{C}$, но в котельных и в других жарких помещениях $\Theta = 50^\circ \text{C}$.

- В графе 9 проставляется поправочный коэффициент схемы с учетом влияния коэффициента нагрузки и температуры окружающей среды (приложение Н).

Если элемент схемы в приложении Н не имеет ссылки на рисунки приложения Н, то проставляется $\alpha_1 = 1$.

- В графе 10 проставляется поправочный коэффициент α_2 , учитывающий условия эксплуатации (таблица 6.3).

Оборудование, установленное в закрытых шкафах, но внутри сельскохозяйственных помещений или под навесом, оценивается коэффициентом $\alpha_2 = 2,5$. Электродвигатели, конечные выключатели и другое оборудование, установленное в сельскохозяйственных помещениях с высокой влажностью и химически активной средой, а также в сырых и особо сырых помещениях, имеют $\alpha_2 = 10$.

- В графе 11 проставляется поправочный коэффициент α_3 , характерный для электродвигателей, коммутационных элементов, разъемов (приложение Н). Для других элементов схемы $\alpha_3 = 1$.

- В графе 12 проставляется поправочный коэффициент α_4 , характерный для реле маломощных (приложение Н), контактов и магнитных пускателей (приложение Н). Для других элементов схемы $\alpha_4 = 1$.

- В графе 13 проставляется коэффициент надежности с учетом работы и условий эксплуатации

$$K'_i = K_i \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3. \quad (6.8)$$

Для электромагнитных реле, контактов и пускателей, характеризующихся отдельно коэффициентами ненадежности катушек и контактных групп, в пояснительной записке приводится расчет коэффициента K'_i .

$$K_i = [K_{i\text{обм}} \alpha_5 + NK_{i\text{конт}} \alpha_3 \alpha_4 \left(\frac{f_{\text{факт}}}{f_{\text{ном}}} \right)] \alpha_2, \quad (6.9)$$

где $K_{i\text{обм}}$, $K_{i\text{конт}}$ – номинальные коэффициенты ненадежности обмотки и контактов электромагнитных аппаратов;

α_5 – поправочный коэффициент, учитывающий долю времени нахождения обмотки под напряжением в течение одного цикла (включено – отключено). Например, для катушки реверсивного пускателя с одинаковым временем работы «вперед» и «назад» $\alpha_5 = 0,5$. Для контактора, участвующего в переключении при пуске со схемы «звезда» на схему «треугольник» и работающего 5...20 с при продолжительном S1 режиме работы электропривода $\alpha_5 \approx 0$;

N – число контактных групп;

α_2 , α_3 , α_4 – поправочные коэффициенты (определены ранее);

$f_{\text{факт}}$ и $f_{\text{ном}}$ – фактическое и номинальное число включений элемента в час; $f_{\text{ном}} = 10$ включений в час. Определяется $f_{\text{факт}}$ из анализа работы схемы и из подобию работы машин аналогичной группы в производственных условиях. Наиболее вероятное число пусков в час для рабочих машин приведено в таблице 6.4.

Для пускателей и контактов следует, в принципе, разделять силовые контакты и блок-контакты и определять для них свои коэффициенты нагрузки и K'_i . Для условий курсовой работы разделение контактов на главные и блок-контакты не производить.

- В графу 14 вписывается коэффициент использования элементов схемы по времени

$$l_{\text{исп}} = \frac{t_{\text{раб}}}{t_{\text{цикла}}}, \quad (6.10)$$

где $t_{\text{раб}}$ и $t_{\text{цикла}}$ – соответственно время работы элемента и установки. Время определяется из анализа работы схемы. Например, диоды в цепи динамического торможения двигателя работают 10 с в цикле 1 минута. В этом случае коэффициент использования

$$l_{\text{исп}} = 10/60 \approx 0,16.$$

- В графу 15 записывается результирующий коэффициент надежности элемента схемы

$$K''_i = K'_i l_{\text{исп}}. \quad (6.11)$$

- В графу 16 вписывается количество однотипных элементов, работающих в одних и тех же электрических режимах при одинаковых внешних условиях и коэффициенте использования.

- В графу 17 записывается произведение $N_i K''_i$ для каждой строки, а в конце – их сумма $\sum_{i=1}^n N_i K''_i$.

- В графу 18 записывается относительная доля надежности каждого элемента строки: $\frac{N_i K''_i}{\sum_{i=1}^n N_i K''_i}$,

где n – количество строк, используемых в расчете надежности схемы.

- В графе 19 приведено среднее время восстановления элементов схемы (таблица 6.5).

Если в таблице 6.5 нет элемента, указанного в строке таблицы 6.1, то берут подобный по назначению.

- В графу 20 проставляется относительная доля времени восстановления от общего времени восстановления. Для этого значения графы 18 умножают на значение графы 19.

Вычисляют сумму данных по графе 20. Эта сумма есть среднее время восстановления $\overline{\tau}_B$ всей схемы электропривода.

- В графе 21 указываются примечания: место установки элемента (вне ящика), количество контактов и т. д.

Определение параметров надежности производится по следующим формулам:

1. Параметр потока отказов, ч⁻¹

$$\Lambda = 0,03 \times 10^{-6} \sum_{i=1}^n N_i K''_i. \quad (6.12)$$

2. Вероятность наработки между отказами по (2.88)

$$R(T_3) = -e^{-\Lambda T_3},$$

где T_3 – время работы в году, ч. Принять T_3 по времени работы рабочей машины в году.

3. Нарботка на отказ по (6.3)

$$\bar{t}_H = \frac{1}{\Lambda}.$$

4. Среднее время восстановления системы $\bar{\tau}_B$ (сумма в графе 20 таблицы 6.1).

Таблица 6.1 – Рекомендуемая форма таблицы для расчета показателей надежности

№ п/п	Наименование и тип элемента	Условное обозначение на схеме	Номинальные параметры (по паспорту)	Номинальный коэффициент надежности K_i	Фактические параметры	Коэффициент электрической нагрузки $K_{\text{наг}}$	Температура окружающей среды,	Поправочный коэффициент			
								α_1	α_2	α_3	α_4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Коэффициент надежности с учетом поправочных коэффициентов K'_i	Коэффициент использования элемента $I_{\text{исп}}$	Результирующий коэффициент надежности K''_i	Количество элементов N_i	$N_i K''_i$	$\frac{N_i K''_i}{\sum_{i=1}^n N_i K''_i}$	Среднее время восстановления $\bar{\tau}_{ei}$, ч	$\frac{N_i K''_i}{\sum_{i=1}^n N_i K''_i} \bar{\tau}_{Bi}$	Примечание
13	14	15	16	17	18	19	20	21
				$\sum_{i=1}^n N_i K''_i$			$\sum_{i=1}^n \frac{N_i K''_i}{\sum_{i=1}^n N_i K''_i} \bar{\tau}_{Bi}$	

Таблица 6.2 – Электрические нагрузки элементов

Элемент	Определяющий параметр	Расчетная формула коэффициента нагрузки
Резистор	Мощность рассеянная	$K_H = \frac{P_{\text{факт}}}{P_{\text{доп}}}$
Диод	Средний выпрямленный ток	$K_H = \frac{I_{\text{факт}}}{I_{\text{доп}}}$
Тиристор	Обратное напряжение	$K_H = \frac{U_{\text{обр.факт}}}{U_{\text{обр.доп}}}$
Транзистор	Мощность рассеянная	$K_H = \frac{P_{\text{факт}}}{P_{\text{доп}}}$
Конденсатор	Приложенное напряжение	$K_H = \frac{U_{\text{факт}}}{U_{\text{доп}}}$
Дроссель	Плотность тока в обмотке	$K_H = \frac{j_{\text{факт}}}{j_{\text{доп}}}$
Реле, контакторы, пускатели, переключатели, разъемы и др. элементы коммутации	Ток через контакты	$K_H = \frac{I_{\text{факт}}}{I_{\text{доп}}}$
Трансформаторы	Рабочая мощность первичной обмотки	$K_H = \frac{S_{1\text{факт}}}{S_{1\text{ном}}}$
Электрические машины	Коэффициент нагрузки	$K_H = \frac{P_{2(\text{на валу})}}{P_{\text{ном}}}$

Таблица 6.3 – Коэффициент α_2 для различных условий эксплуатации элементов электропривода [6]

Условия эксплуатации	Коэффициент α_2
Лабораторные условия эксплуатации (закрытое отапливаемое помещение, комнатная температура, влажность не выше 65 %, отсутствие запыленности, вибраций и т. п.)	1
Эксплуатация в закрытом неотапливаемом или отапливаемом помещении с повышенной влажностью, запыленностью и т. п.	2,5
Эксплуатация в тяжелых условиях (работа на открытых местах, в полевых условиях, шахтах, на буровых установках и т. п.)	10

5 Среднее время восстановления системы в заданное время $\bar{\tau}_3$ по (6.4):

$$\Theta(\bar{\tau}_3) = 1 - \left(1 + 2 \frac{\bar{\tau}_3}{\bar{\tau}_b} \right) e^{-\frac{2\bar{\tau}_3}{\bar{\tau}_b}},$$

где $\bar{\tau}_3$ – минимальное время, заданное на восстановление системы, ч.

Принять $\bar{\tau}_3$ по таблице 6.5 как допустимую длительность простоя оборудования на данном объекте.

Если рабочая машина не используется в указанных объектах и технологических процессах, принять $\bar{\tau}_3$ равным половине времени рабочей смены.

Таблица 6.4 – Наиболее вероятное число пусков в час рабочих машин

Машины и механизмы	Наиболее вероятный режим работы	Наиболее вероятное число пусков в час
Вентиляторы, дымососы, воздуходувки, пневмотранспортеры, установки для вентилирования зерна и сена, сушилки, приточно-вытяжные установки типа «Климат», шнеки, нории и скребковые транспортеры на зернокомплексах, компрессоры, машины первичной обработки молока, дробилки, комбикормовые установки, измельчители, агрегаты витаминной муки, смесители кормов	S1, S2	1...6
Насосы водоподъема, тельферы, лебедки и другие подъемники, погрузчики, задвижки, затворы и т.п. механизмы, а также нории и другие транспортеры, работающие в автоматическом режиме на загрузку или разгрузку емкостей с датчиками уровня в поточной линии	S3	до 30

Таблица 6.5 – Время восстановления элементов в схемах электропривода [6]

Элемент	Затраты времени, ч	Среднее время восстановления \bar{t}_B , ч
Резистор	0,3...1,275	0,787
Конденсаторы	0,4...1,7	1,050
Катушки индуктивности	0,5...2,125	1,310
Трансформаторы	0,67...2,848	1,760
Контактор, пускатель, реле и т. п.	0,7...2,975	1,830
Автоматические выключатели, переключатели и т. п.	0,25...1,063	0,625
Разъемы, зажимы и другие подобные элементы	0,575...3,188	1,880
Электродвигатели, мотор-редукторы, передачи	1,250...5,313	3,280
Предохранители	0,025...0,105	0,060
Сигнальные машины	0,08...0,128	0,100

6 Коэффициент готовности по (6.5)

$$K_r = \frac{\bar{t}_H}{\bar{t}_H + \bar{\tau}_B} .$$

В заключение этих расчетов следует указать элемент наибольшей ненадежности схемы электропривода и возможные пути повышения надежности.

Обратите внимание на то, что в расчет можно не включать сигнальную аппаратуру и другие элементы схемы, не влияющие на надежность функционирования электропривода. В расчет обязательно включать механические передачи, муфты, электродвигатель.

6.2 Определение удельных и энергетических показателей разработанного электропривода

Различают 3 основных показателя разработанного электропривода: 1) удельную энергоемкость; 2) средний коэффициент загрузки; 3) средний коэффициент мощности.

Дополнительные показатели: 1) расход энергии за год; 2) время работы установки в году.

Удельную энергоемкость электропривода a (кВт·ч/т) определяют с учетом нагрузочной диаграммы по формуле

$$a = \frac{P_{1\text{ экв}}}{Q}, \quad (6.13)$$

где $P_{1\text{ экв}}$ – эквивалентная подводимая мощность по нагрузочной диаграмме, кВт;

Q – производительность машины при данной нагрузочной диаграмме, т/ч, или м³/ч, или другая размерность, характерная для рабочей машины.

Эквивалентная подводимая мощность определяется по формуле

$$P_{1\text{ экв}} = \frac{P_{2\text{ экв}}}{\eta_2}, \quad (6.14)$$

где $P_{2\text{ экв}}$ – эквивалентная мощность на валу за время работы, кВт;

η_2 – коэффициент полезного действия электродвигателя при мощности $P_{2\text{ экв}}$, определяется по формуле

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \right) \left(\frac{\frac{\alpha_H + K_H}{K_H} + K_H}{\alpha_H + 1} \right)}, \quad (6.15)$$

где α – коэффициент потерь, определяется по таблице приложения Л для выбранного электродвигателя рабочей машины;

$K_H = \frac{P_{2\text{ экв}}}{P_H}$ – коэффициент загрузки (нагрузки),

где P_H – номинальная мощность электродвигателя рабочей машины, кВт.

Эквивалентная мощность на валу определяется по формуле

$$P_{2\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_{21}^2 t_1 + P_{22}^2 t_2 + P_{23}^2 t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \dots}}, \quad (6.16)$$

где P_{21} – неизменная мощность на валу за время t_1 нагрузочной диаграммы, кВт;

P_{22} – то же за время t_2 , кВт;

P_{23} – то же за время t_3 , кВт, и т. д.

Предварительно нагрузочную диаграмму разбивают на участки, на которых мощность постоянна.

Средний коэффициент загрузки электродвигателя определяется по формуле

$$K_{\text{н. ср}} = \frac{P_{2\text{экв}}}{P_H}. \quad (6.17)$$

Средний коэффициент мощности определяется по формуле

$$\cos \gamma_{\text{ср}} = \frac{P_{1\text{ср}}}{\sqrt{3} U_{\text{ср}} I_{\text{ср}}}, \quad (6.18)$$

где $P_{1\text{ср}}$ – определяется по (6.14);

$U_{\text{ср}}$ – линейное среднее напряжение, принять равным 400 В;

$I_{\text{ср}}$ – линейный средний ток за время работы электродвигателя, А.

Значение $I_{\text{ср}}$ соответствует мощности на валу $P_{2\text{экв}}$ и находится по электро-механической характеристике для выбранного электродвигателя (рисунок 2.10)

по моменту $M_{\text{ср}} \approx \frac{P_{2\text{экв}}}{\omega_{\text{н. д.}}}$.

Расход электроэнергии за год, кВт·ч

$$W_1 = P_{1\text{экв}} \Sigma t. \quad (6.19)$$

Общее время работы установки в году определяется из условий работы

$$\Sigma t = t_{\text{раб}} N_{\text{сут}} N_{\text{вкл. в сутки}}, \quad (6.20)$$

где $t_{\text{раб}}$ – время одного включения или одного цикла работы, ч;

$N_{\text{сут}}$ – число рабочих суток в году;

$N_{\text{вкл. в сутки}}$ – число включений в сутки.

Раздел 7 Разработка ящика управления электроприводом

7.1 Определение суммарной площади монтажных зон аппаратов и типа ящика управления

Разработанная ранее принципиальная электрическая схема управления электроприводом воплощается в реальность путем разработки низковольтного комплектного устройства.

Низковольтным (до 1000 В) комплектным устройством (НКУ) называется электротехническое устройство, представляющее совокупность электрических аппаратов, приборов и другого электрооборудования, смонтированного на единой конструктивной основе и предназначенное для выполнения функций управления, защиты, измерения и сигнализации.

По конструктивным признакам НКУ делятся на следующие виды:

- 1) открытые комплектные устройства (открытые рамы и каркасы);
- 2) закрытые комплектные устройства (станции и щиты в напольных шкафах);
- 3) посты, пульты;
- 4) ящики навесные; щиты многоящичные;
- 5) панели сигнализации и управления (мнемосхемы, табло).

НКУ, как правило, имеют оболочку, предназначенную для защиты человека от случайного прикосновения к токоведущим или подвижным частям устройства и для предохранения находящихся внутри элементов от внешних воздействий.

Оболочки используются для напольных шкафов, для напольных пультов, для навесных ящичков управления.

Основные размеры оболочек ящичков управления определяет [31], см. таблицу 12.13 в [4].

Для управления асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором выпускаются навесные (на стенку или стойку) ящики серии Я5000. Они предназначены для реверсивного или нереверсивного управления одним или двумя электродвигателями. Содержат внутри смонтированные и подключаемые автоматические выключатели, контакторы, тепловые реле, клеммники, на двери имеют кнопки, переключатели, сигнальные лампы.

Ящики серии Я5000 имеют степень защиты IP21 по [30]. Подробные сведения о них изложены в каталоге завода-изготовителя [22].

Для сельскохозяйственных помещений, под навесом и для наружных установок требуются ящики управления с большей степенью защиты. Такими являются ящики и щиты серии РУСМ (степень защиты IP54, климатическое исполнение – У, ХЛ или Т, категория размещения 5 или 1).

Ящики и щиты серии РУСМ имеют 4 исполнения. Устанавливаются на стене (колонне). Имеют возможность стыковаться друг с другом с сохранением степени защиты IP54 и образованием щита управления.

Аппараты управления и защиты рассчитаны на один или два подключаемых электродвигателя.

Ящики управления серии РУСМ выпускаются Дивногорским заводом низковольтной аппаратуры. Подробные сведения о них приведены в каталоге [23].

Для курсового проектирования предполагается использовать **ящики управления электроприводом (ЯУЭ)**. Номенклатура и габаритные размеры основных ящиков управления ЯУЭ, рекомендуемых при курсовом проектировании, приведены в таблице 7.1. Ящики типа ЯУЭ регламентируются ОСТ 16.0.684.116-74 и обеспечивают степень защиты IP54, имеют сальники, специальные замки для фиксации двери.

Обратите внимание на шифровку обозначения ящика управления типа ЯУЭ:

– первые две цифры обозначают высоту ящика в дециметрах (1 дм = 100 мм): 04 – означает 400 мм, или 4 дециметра; 12 – означает 1200 мм, или 12 дециметров и т. д;

– третья цифра обозначает длину (ширину) ящика в дециметрах, например: 3 – значит 300 мм и т. д;

– четвертая цифра в обозначении – глубина ящика в полных дециметрах, например: 1 - означает 180 мм, или 1,8 дм; 2 - означает 250 мм, или 2,5 дм; 3 - означает 360 мм, или 3,6 дм; 5 - означает 500 мм, или 5 дм.

Общий вид и габаритные размеры ящиков управления электроприводом ЯУЭ изображены на рисунках 7.1 и 7.2.

Аппараты внутри шкафа монтируют на изоляционных или металлических плитах (старый вариант монтажа) или на стандартных DIN-рейках (современный вариант монтажа).

Рейки обычно размещают по длине шкафа в несколько рядов (возможно вертикальное крепление рейки).

Аппараты могут крепиться непосредственно на DIN-рейке (обычно современные модульные автоматические выключатели, УЗО, промежуточные реле, пускатели (контакторы) электромагнитные ПМЛ (если это предусмотрено заводом-изготовителем) и другие аппараты небольшой массы и габаритов).

Таблица 7.1 – Номенклатура и габаритные размеры ящиков управления электроприводом серии ЯУЭ

Типоразмер ящика	Высота H , мм	Ширина L , мм	Глубина B , мм	Габариты дверей		H_2 , мм	Примечание
				Высота H_1 , мм	Ширина L_1 , мм		
ЯУЭ-0431	400	300	180	340	240	–	1 замок
ЯУЭ-0432	400	300	250	340	240	–	
ЯУЭ-0643	600	400	360	540	340	–	
ЯУЭ-0663	600	600	360	570	550	–	
ЯУЭ-0863	800	600	360	740	540	130	2 замка
ЯУЭ-1063	1000	600	360	940	540	190	
ЯУЭ-1263	1200	600	360	1170	550	190	
ЯУЭ-1265	1200	600	500	1170	550	190	

С помощью специальных переходных планок крепятся контакторы, автоматические выключатели старых типов и другие аппараты, не имеющие прорези в основании корпуса для установки на DIN-рейке.

На рисунке 7.3 изображены DIN-рейки (иностранный название) производства Дивногорского завода низковольтной аппаратуры. Рейки ПК1.1...ПК1.4 оснащены фиксаторами для предотвращения смещения выключателей при вертикальном размещении рейки.

Для крепления на DIN-рейках аппаратов, не имеющих прорези в корпусе под выступы DIN-рейки, используются планки (рисунок 7.3, д). Рейки для монтажа модульных выключателей (1 модуль равен 17,5 мм) представлены в таблице 7.2. Большинство аппаратов крепится на рейках шириной 35 мм.

DIN-рейки бывают шириной 15; 35; 75 мм.

Таблица 7.2 – Рейки ПК-1 для монтажа модульных аппаратов

Количество модулей	1	2	3	4	5	6	7	9	**	25
Обозначение рейки*	ПК1-1	ПК1-2	ПК1-3	ПК1-4	ПК1-5	ПК1-6	ПК1-7	ПК1-9	ПК1-...	ПК1-25

* Дивногорского завода низковольтной аппаратуры; ** через 2 модуля, например ПК1-11

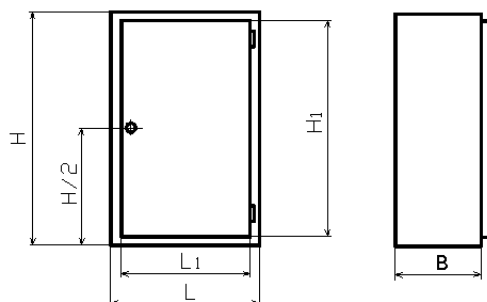


Рисунок 7.1 – Общий вид и габаритные размеры ящиков серии ЯУЭ с одним замком (высотой 400 и 600 мм)

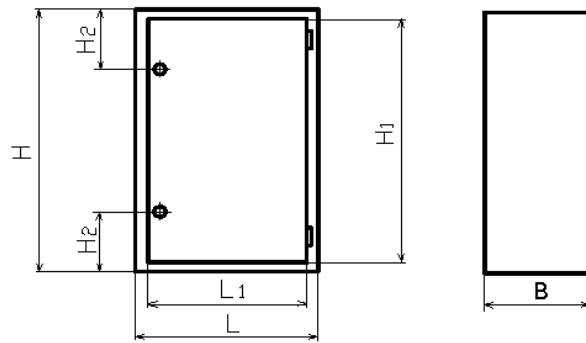


Рисунок 7.2 – Общий вид и габаритные размеры ящиков серии ЯУЭ с двумя замками (высотой 800, 1000 и 1200 мм)

Размещение модульного автоматического выключателя ВА47-29 на стандартной DIN-рейке на рисунке 7.4.

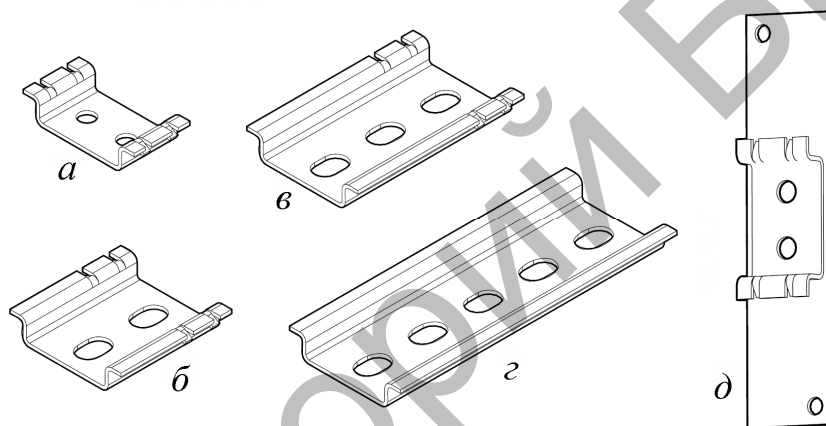


Рисунок 7.3 – Общий вид элементов для крепления аппаратов внутри ящика управления:
а – рейка ПК-1 для 1 модуля; *б* – ПК-1-2 для двух модулей; *в* – ПК-1-3 для 3 модулей;
г – типа ПК1-... для многих модулей; *д* – специальная планка типа ПА для крепления немодульных аппаратов на DIN-рейке.



Рисунок 7.4 – Крепление модульного автоматического выключателя ВА47-29 на DIN-рейке

Габариты ящика управления определяются количеством и размерами аппаратов управления, защиты и сигнализации, размещенными в ящике, а следовательно, площадью, занимаемой монтажными зонами аппаратов.

Монтажные зоны аппаратов приведены в методическом пособии к курсовому проекту (таблицы 6.2-1 и 6.2-2) по дисциплине «Проектирование электрооборудования» [4]; некоторые габариты аппаратов защиты электродвигателей, управления и сигнализации приведены в разделе 2.5 данного пособия.

Поскольку принципиальная электрическая схема к моменту выбора габаритов ящика управления составлена, то известны аппараты и их число. Составляется таблица по форме таблицы 7.3, в которую заносятся аппараты, размещаемые на передней (внутренней) стенке ящика и на двери, с учетом клеммников (рядов зажимов).

Таблица 7.3 – Определение суммарной площади монтажных зон аппаратов

Позиционное обозначение аппарата	Высота монтажной зоны Н, мм	Ширина монтажной зоны В, мм	В·Н, мм ²	Высота аппарата h, мм	Ширина аппарата b, мм	Позиционное обозначение аппарата	Высота монтажной зоны Н, мм	Ширина монтажной зоны В, мм	В·Н, мм ²	Высота аппарата h, мм	Ширина аппарата b, мм
На рейках задней стенки						На двери ящика управления					
QF1						SB1					
..						HL1					
..											
ХТ											
Σ В·Н =				Σ В·Н =							

Необходимая площадь стенки и двери, на которой монтируются аппараты, должна быть больше суммарной площади $\sum B \times H$ с учетом площади, занимаемой проводами. Обычно

$$S_{\text{необх}} \geq 1,3 \sum B \times H . \quad (7.1)$$

В таблице 7.4 приведены площади задней стенки и двери ящиков ЯУЭ, а также полезная глубина.

Таблица 7.4 – Полезная площадь задней стенки и двери ящиков управления ЯУЭ

Тип ящика	Полезная площадь, мм ²		Полезная глубина ящика B_0 , мм
	стенки	двери	
ЯУЭ-0431	60 000	50 000	120
ЯУЭ-0432	60 000	50 000	190
ЯУЭ-0643	150 000	130 000	290
ЯУЭ-0663	250 000	220 000	290
ЯУЭ-0863	350 000	320 000	290
ЯУЭ-1063	450 000	410 000	290
ЯУЭ-1263	550 000	510 000	290
ЯУЭ-1265	550 000	510 000	440

Выбирать заведомо большой ящик является ошибкой (приводит к лишней затрате материалов).

7.2 Пояснения о размещении аппаратов в ящике управления и составлении схемы соединений ящика управления

После определения типа и габаритов ящика управления следующим этапом проектирования является разработка чертежа «*Схема расположения аппаратов в ящике управления*».

В масштабе 1:10 или 1:5 (при необходимости) рисуется на одном листе задняя стенка ящика управления и дверь.

На расстоянии 100...150 мм от нижнего края ящика (отметки 0) располагают рейку, на которой будут крепиться клеммники ХТ1 и т. д. Их количество и число зажимов определяются при разработке схемы соединений шкафа управления.

Далее располагают несколько рядов реек с расстояниями между ними, достаточными для размещения аппаратов (обычно 140...160 мм).

Рекомендуется вырезать из бумаги шаблоны аппаратов в выбранном масштабе, подписать их и, манипулируя ими по плоскости задней стенки или двери чертежа, расположить их по осям удобно для монтажа, с соблюдением монтажных зон. При этом, обратите внимание, что такие аппараты, как автоматические выключатели и реле, не имеют, как правило, контактных зажимов на боковых стенках, а поэтому могут монтироваться вплотную друг к другу.

Рекомендуется на верхней рейке задней стенки размещать автоматические выключатели, ниже – контакторы (электромагнитные пускатели), еще ниже – аппарат защиты электродвигателя от аварийных состояний. Такое расположение удобно для монтажа, наглядно. Другие аппараты размещаются на свободных

местах (на рейках). Указывают расстояния между осями аппаратов, начиная от левого края (отметки 0).

На двери располагают сигнальную арматуру в верхнем ряду, ниже ее – кнопки управления, переключатели. Обычно для каждого электродвигателя выбирается расположение органов управления на двери по вертикальным линиям (для наглядности и удобства управления). На чертеже указывается расстояние между осями аппаратов, начиная от нулевых линий (снизу и с левого края).

Все аппараты имеют позиционное цифровое обозначение, указанное на полках выносных линий. Эти позиционные обозначения должны соответствовать таблице «Технические данные аппаратов ящика управления».

Позиционные обозначения аппаратов указываются на чертеже над аппаратами или внутри габарита аппарата, если позволяет место, и должны соответствовать позиционным обозначениям аппаратов на принципиальной электрической схеме управления.

На двери ниже сигнальной арматуры и органов управления или сбоку изображаются таблички надписей для каждого аппарата в виде прямоугольников. Их нумеруют. Первая табличка соответствует паспортным данным ящика управления, последующие – по верхнему ряду вниз, слева направо.

Чертеж «*Технические данные аппаратов ящика управления*» выполняется в табличной форме установленного образца (рисунок 7.5).

15	Формат	Зона	Поз.	Наименование	Обозначение	Кол.	Примечание
	8	8	8	45	80	10	25

Рисунок 7.5 – Размеры головки таблицы «Технические данные аппаратов ящика управления»

В эту таблицу записывается сначала документация на шкаф управления, т. е. перечень всех чертежей и схем, а ниже – сборочные единицы шкафа (задняя панель и дверь) и их состав.

Наименование аппаратов, установленных в шкафу, их технические данные, позиционные обозначения берут из таблицы «Перечень элементов схемы», составляемой при выполнении принципиальной электрической схемы управления. Позиционные обозначения аппаратов проставляются по порядку.

Таблица «Технические данные аппаратов» отличается от таблицы «Перечень элементов схемы» тем, что включает только аппараты, размещенные в шкафу управления. Подробное описание по составлению этого чертежа приведено в [4].

В таблице обязательно записать: 1) документацию; 2) сборочную единицу Н1 – что означает набор аппаратов на сборочной единице 1, т. е. на задней панели ящика; 3) сборочную единицу Н2 – что означает сборочную единицу 2 – на двери ящика.

Чертеж «*Перечень надписей ящика управления*» выполняется в табличной форме на листе формата А4.

Таблица имеет размеры, указанные на рисунке 7.6.

20	Панель	Подпись	Позиционное обозначение	Место надписи	Текст	Кол.	Вид шрифта	Заготовка
	8	8	30	25	80	10	10	15

Рисунок 7.6 – Размеры головки таблицы «Перечень надписей ящика управления».

В первом столбце таблицы (рисунок 7.6) проставляется нумерация сборочной единицы (Н1 – на задней стенке; Н2 – на двери); во втором столбце – порядковый номер надписи (должен соответствовать чертежу); в третьем столбце – позиционное обозначение аппарата на принципиальной электрической схеме; в четвертом – место надписи (на табличке); в пятом столбце – текст надписи. Текст должен быть кратким. От количества знаков в тексте зависит рекомендуемый размер таблички: 4 знака – табличка 16×40 мм (высота × ширина); 16 знаков – табличка 16×74 мм; 22 знака – табличка 20×100 мм. По размерам таблички определяется размер заготовки.

Чертеж «*Схема соединений ящика управления электроприводом*» выполняется с учетом разработанных ранее схем: 1) принципиальной электрической схемы, где указана цифровая (буквенно-цифровая для силовых проводников) маркировка проводников и узлов схем, а также нумерация контактов некоторых аппаратов; 2) схемы расположения аппаратов в ящике управления.

Схему соединений ящика управления выполняют, используя монтажные символы аппаратов, приведенных, например, в [4] или в [26] «Правила выполнения схем».

Рекомендуем обратиться к методическим материалам по курсовому проектированию ящика управления [4], с. 63...115, в которых содержатся подробные правила выполнения схем соединений и монтажные символы аппаратов.

7.3 Выбор проводов для схемы соединения ящика управления и кабелей для схемы внешних соединений

Обычно для электрических соединений в силовой цепи ящика управления используют медные одножильные провода типа ПВ1 сечением более 1 мм², а в цепях управления – многожильные медные провода типа ПВ3 сечением до 1 мм².

Сечение проводников определяется по допустимому току (таблица 7.5). Проводники группируют в жгуты или размещают их в перфорированных коробах. Допустимый ток проводника, прокладываемого в шкафу, определяется по формуле

$$I'_{\text{доп}} = 0,7I_{\text{доп}}, \quad (7.2)$$

где $I_{\text{доп}}$, А, – берется по таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Допустимые длительные токи проводников с полихлорвиниловой изоляцией, прокладываемые в шкафах управления

Сечение, мм ²	0,5	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25
Допустимый ток, А	7,7	10,5	11,9	16,1	18,2	28,7	35	56	70	98
<i>Примечание:</i> снижающий коэффициент (на допустимый ток) принять равным 0,70, что соответствует числу проводников в коробе 10...11 [24], таблицы 12, 13										

Схема внешних соединений показывает электрическую связь ящика управления электроприводом с электродвигателем и другими аппаратами, размещенными вне ящика управления (конечными выключателями, датчиками уровня, звонками и другими аппаратами), а также связь ящика управления с распределительным пунктом электрической сети.

На схеме без соблюдения масштаба рисуется ящик управления электроприводом и его клеммные зажимы с нумерацией, принятой в схеме соединений ящика управления.

От этих клемм отводят линии длиной 8...10 мм, на которых проставляют цифровую (или буквенно-цифровую) маркировку проводников из схемы электрической принципиальной или схемы соединений ящика управления. Далее эти линии сводят в одну, означающую кабель, и проводят его до аппарата вне ящика управления. У аппарата кабель разводят на проводники (линии), на которых проставляется маркировка проводников и их связь с клеммами аппарата. Кабели нумеруют путем разрыва их линий и изображения номера (по порядку, слева направо) в кружке диаметром 10 мм.

На линии, означающей кабель, записывают его марку, количество и сечение жил, способ прокладки. Длину кабеля указывают под линией связи.

Если используется кабель в трубе, то указывают диаметр трубы; если используется металлорукав – то его тип.

Для внешней проводки рекомендуется использовать кабель с алюминиевыми жилами типа АВВГнг (для стационарной прокладки) и гибкий кабель типа

КГВ с медными жилами и ПВХ изоляцией или гибкий кабель КГ с резиновой изоляцией. Допустимые длительные токи для этих кабелей приведены в [24], а также в таблицах 7.6...7.8.

Выбор сечений силовых внешних (находящихся за пределами ящика управления) электропроводок заключается в определении минимального сечения проводников, удовлетворяющих при этом следующим требованиям:

- а) механической прочности;
- б) допустимому нагреву;
- в) электрической защиты отдельных участков сети;
- г) допустимым потерям напряжения.

В отношении *механической прочности* выбор сечений сводится к выполнению нормативных требований [32] или [33]. В них приведены минимальные сечения проводников, которые могут быть использованы при выборе электропроводок в здании.

Таблица 7.6 – Допустимый длительный ток ($I_{\text{доп}}$) для проводов с медными жилами с резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и кабелей с медными жилами с резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной или резиновой оболочке, бронированных и небронированных

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

* Токи относятся к проводам и кабелям как с нулевой жилой, так и без нее.

Таблица 7.7 – Допустимый длительный ток ($I_{\text{доп}}$) для кабелей с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
		при прокладке			
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385
240	465	–	–	–	–

Примечание. Допустимые длительные токи для четырехжильных кабелей с пластмассовой изоляцией на напряжение до 1 кВ могут выбираться по таблице 7.7, как для трехжильных кабелей, но с коэффициентом 0,92.

Таблица 7.8 – Допустимый длительный ток ($I_{\text{доп}}$) для переносных шланговых легких и средних шнуров, переносных шланговых тяжелых кабелей, шахтных гибких шланговых, прожекторных кабелей и переносных проводов с медными жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток *, А, для шнуров, проводов и кабелей		
	одножильных	двухжильных	трехжильных
0,5	–	12	–
0,75	–	16	14
1,0	–	18	16
1,5	–	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	190	150	130
50	235	185	160
70	290	235	200

*Токи относятся к шнурам, проводам и кабелям с нулевой жилой и без нее.

В случае для стационарных электроустановок кабели и провода для силовых и осветительных сетей должны иметь сечение не менее $2,5 \text{ мм}^2$ по алюминию и $1,5 \text{ мм}^2$ по меди. Цепи сигнализации и управления выполняются медными проводниками сечением $0,5 \text{ мм}^2$ (для цепей сигнализации и управления, предназначенных для электронного оборудования следует применять медные проводники сечением $0,1 \text{ мм}^2$).

Так как выбор сечения проводников связан непосредственно с выбором защитных аппаратов, то предварительно должны быть выбраны аппараты управления и защиты и рассчитаны их характеристики.

По условию *допустимого нагрева* сечение проводника рассчитывается по следующей формуле

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{дл}}}{K_1 K_2} \quad (7.3)$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток проводника, А;

$I_{\text{дл}}$ – длительный ток участка сети, А;

K_1 – поправочный температурный коэффициент, в обычных условиях при прокладке в воздухе при $t = 25^\circ\text{C}$ $K_1 = 1$, в помещениях сушки, пропитки и окраски $t = 35^\circ\text{C}$ и $K_1 = 0,87$;

K_2 – поправочный коэффициент, зависящий от числа рядом проложенных одновременно работающих кабелей. Эти коэффициенты приводятся в [24]. В рамках курсовой работы при определении поправочного коэффициента K_2 следует учитывать только те кабели, которые относятся к электроприводу разрабатываемой установки.

Так как выбор сечения проводников связан непосредственно с выбором *защитных аппаратов*, то предварительно должны быть выбраны аппараты управления и защиты и рассчитаны их характеристики. При протекании сверхтоков проводник должен быть отключен от сети аппаратом защиты:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_3 K_3}{K_1 K_2}, \quad (7.4)$$

где I_3 – ток срабатывания аппарата защиты (теплового расцепителя для автоматического выключателя, ток плавкой вставки для предохранителя и т. д.), А;

K_3 - коэффициент кратности, характеризующий отношение между допустимым током проводника и током аппарата защиты (см. таблицу 7.9).

Выбранное сечение проводника проверяется по *допустимой потере напряжения* (%):

$$\Delta U = \sum \frac{Pl}{CF}, \quad (7.5)$$

где P – передаваемая мощность по участку сети, кВт;

l – длина участка сети, м;

C – постоянный для данного числа проводов коэффициент, зависящий от материала провода, числа фаз и напряжения сети;

F – сечение проводника на участке сети, мм².

Таблица 7.9 – Значения коэффициентов кратности, характеризующих отношения между допустимым током проводника и током аппарата защиты

Ток и тип защитного аппарата	Для сетей, где есть защита от перегрузок			Для сетей, не требующих защиты от перегрузок
	Проводники с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией		Кабели с бумажной изоляцией	
	взрыво и пожароопасные помещения	невзрыво- и непожароопасные помещения		
Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратнозависимой от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки)	1	1	1	1
Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратнозависимой от тока характеристикой (при наличии на автоматическом выключателе отсечки ее кратность не регламентируется)	1	1	0,8	0,66
Ток срабатывания автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель	1,25	1	1	0,22
Номинальный ток плавкой вставки предохранителя	1,25	1	1	0,33

В условиях курсовой работы допускается не проверять сечение проводника по допустимой потере напряжения, в остальных случаях проверка по допустимой потере напряжения обязательна.

Если при выполнении курсовой работы проектируется электропривод рабочей машины с несколькими двигателями, расчет и выбор проводов и кабелей производится для каждого отдельного двигателя.

Раздел 8 Заключение

Заключение по работе должно подтвердить, что выполнены все пункты задания с результатами, соответствующими требованиям к курсовой работе.

Для анализа полученных результатов составляется таблица по форме таблицы 8.1. В левой части таблицы излагаются требования к электроприводе, а в правой – полученные результаты.

Таблица 8.1 – Результаты работы над проектом

Требования или условия (задания)	Результаты, полученные в проекте
1	2
1. Мощность на валу рабочей машины $P_{сн} = \underline{\quad}$ Вт при частоте вращения $n_c = \underline{\quad}$ об/мин	Мощность на валу электродвигателя $P'_{сн} = \underline{\quad}$ кВт при частоте вращения $n_{нд}$ $= \underline{\quad}$ об/мин
2. Характеристика помещения, где установлен электродвигатель: _____ _____	Выбран электродвигатель: Тип _____ . Его основные параметры: $P_n = \underline{\quad}$ кВт; $n_n = \underline{\quad}$ об/мин. Степень защиты _____ .
3. Температура превышения при нагреве обмотки за цикл работы менее допустимой рабочей для класса изоляции	Действительная температура обмотки за цикл нагрузочной диаграммы составляет _____ °С. Класс изоляции _____ . Допустимая рабочая температура _____ °С
4. Максимальный приведенный момент в цикле нагрузочной диаграммы равен _____ Н·м	Максимальный момент электро-двигателя с учетом 10 % снижения напряжения равен _____ Н·м
5. Минимальный приведенный момент сопротивления рабочей машины при пуске равен _____ Н·м	Минимальный момент электродвигателя при пуске с учетом 10 % снижения напряжения равен _____ Н·м
6. Приведенный момент сопротивления трогания рабочей машины равен _____ Н·м	Пусковой момент электродвигателя с учетом 10 % снижения напряжения равен _____ Н·м
7. Минимум передач	Используются передачи: _____ названия передач $i_{общ} = \underline{\quad}$; $i_{отдельных} = \underline{\quad}$

1	2
8. Пуск, обеспечивающий малое падение напряжения в линии	Пуск _____ (прямой; с переключением) Время пуска _____ с
9. Управление по заданию следующее: _____ _____ _____	В проекте управление следующее: _____ _____ _____
10. Аппарат защиты электродвигателя должен иметь наибольшую эффективность	Принят аппарат защиты электродвигателя типа _____, его показатель эффективности $\Theta = \underline{\quad}$
11. Показатели надежности наилучшие	В проекте достигнуты следующие показатели надежности: _____ _____ _____ _____
12. Показатели разработанного электропривода наилучшие	Достигнуты удельные показатели: _____ _____ _____
13. Ящик управления соответствующей степени защиты и наименьших габаритов	Использован ящик типа _____ Размер _____ Степень защиты _____
14. Применить в проекте ресурсо- или энергосберегающее решение, или повысить производительность рабочей машины, или повысить производительность труда оператора	_____ (характеристика решений, чем они достигаются) _____ _____ _____ _____

Требования к оформлению курсового проекта (работы)

Оформление листов пояснительной записки

Текстовые материалы ПЗ выполняются на листах белой машинописной бумаги, оформленных рамками в соответствии с рисунком 1 [1].

Основная надпись на листах пояснительной записки выполняется в соответствии с рисунком 11 [1].

Листы записки и приложений имеют сквозную нумерацию арабскими цифрами. Титульному листу, заданию на проектирование, реферату номера присваивают, но не проставляют. Номера страниц начинают проставлять с листа «Содержание».

Иллюстрации (таблицы, чертежи, схемы и т. п.), расположенные на отдельных листах записки, включают в общую нумерацию страниц. При этом лист, формат которого больше формата А4, учитывают как одну страницу.

Правила построения текстового материала

Текстовый материал ПЗ подразделяют на разделы, подразделы, пункты.

Разделам присваивают порядковые номера, которые обозначают арабскими цифрами без точки и записывают с абзацного отступа.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и номера подраздела, разделенные точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Если раздел или подраздел состоит из одного пункта, то пункт не нумеруется.

Разделы и подразделы и при необходимости пункты должны иметь заголовки. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов, пунктов. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Заголовки подразделов (пунктов) не должны повторять содержание заголовков разделов (подразделов).

Заголовок записывается с прописной буквы. Точка в конце не ставится. Заголовки не подчеркиваются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Каждый раздел ПЗ следует начинать с новой страницы.

Формулы

В пояснительной записке математические формулы могут быть расположены внутри текста или отдельными строками. Внутри текста помещают не сложные и не дробные формулы. Такие формулы, как правило, не нумеруют.

На отдельных строках приводят более сложные формулы, которые обычно сопровождаются пояснениями примененных символов. При этом выше и ниже формулы необходимо оставлять по одной свободной от записи строке.

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

Если формула не умещается в одну строку, то делается перенос. Переносить формулу на следующую строку допускается только на знаках выполнения операций: плюс (+), минус (–), умножение (×) или на знаках равенства (=), неравенства (≠), знаках соотношений и т. п.

Все формулы, помещенные в тексте ПЗ, нумеруют арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа от нее в круглых скобках.

Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и номера формулы, разделенные точкой, например (3.1).

Пример. Номинальный ток асинхронного электродвигателя I_n , А, определяется по формуле

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi_n \eta_n}, \quad (3.1)$$

где P_n – номинальная мощность, кВт;

U_n – номинальное напряжение, кВ;

$\cos \varphi_n$ – коэффициент мощности, о. е.;

η_n – КПД электродвигателя, о. е.

Таблицы

Название таблицы должно отражать содержание таблицы, быть точным, кратким. Название следует размещать над таблицей после слова «Таблица».

При переносе части таблицы на другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенные точкой.

На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте. При ссылке необходимо писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Заголовки граф и строк в таблице следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение

с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят.

Оформление проектной документации

Проектной документации присваивают обозначение, состоящее из базового цифрового обозначения, и через дефис – буквенного обозначения (см. структуру обозначения).

Структура базового обозначения при курсовом проектировании:

$$X_1X_2.X_3X_4.X_5X_6X_7.X_8X_9 - X_{10}X_{11}X_{12},$$

где X_1X_2 – индекс работы: 02 – курсовой проект, 03 – курсовая работа;

X_3X_4 – индекс кафедры (43 – кафедра ЭСХП);

$X_5X_6X_7$ – номер варианта по заданию;

X_8X_9 – год разработки (две последние цифры года);

$X_{10}X_{11}X_{12}$ – для текстовых материалов – ПЗ, для графических материалов – марка разрабатываемого чертежа.

Основные надписи

Применение тех или иных форм основных надписей определяется назначением чертежа и материалом, помещенным на разрабатываемом чертеже:

1) форма рисунка 9 [1] – для чертежей генпланов с инженерными сетями, планов зданий и сооружений с размещением оборудования, чертежей схем электрических, технологических и т. п.;

2) форма рисунка 10 [1] – для первого листа ПЗ, с которого начинается изложение текстовой части.

Список использованных источников

1. Общие требования к организации проектирования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ) : учебно-методическое пособие / В. В. Гурин, Е. С. Якубовская, И. П. Матвеевко [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2014. – 144 с.
2. Епифанов, А. П. Электропривод в сельском хозяйстве : учебное пособие / А. П. Епифанов, А. Г. Гущинский, Л. М. Малайчук. – Санкт-Петербург : Лань, 2015. – 224 с.
3. Никитенко, Г. В. Электропривод производственных механизмов : учебное пособие / Г. В. Никитенко. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 224 с.
4. Проектирование электрооборудования: Методические указания к курсовому проекту для студентов специальности 1–74 06 05. / А. К. Занберов, Е. И. Лицкевич, А. Г. Мамчиц. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Ротапринт БАТУ, 2005. – 135 с.
5. Фоменков, А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, аппаратов и поточных линий / Фоменков А. П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1984. – 288 с.
6. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В. А. Елесева, А. В. Шинянского. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
7. Орда, А. Н. Прикладная механика : пособие по курсовому проектированию для агроинженеров / А. Н. Орда, Л. С. Жаркова. – Минск : Ротапринт БАТУ, 2003. – 60 с.
8. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд., доп. и перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 576 с.
9. Справочник по электрическим машинам : в 2-х т. / под общ. ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
10. Асинхронные электродвигатели серии 4А : справочник / А. Э. Кравчик [и др.]. – М. : Энергоиздат, 1982. – 504 с.
11. Мотор-редукторы. Редукторы : каталог ЗАО «НТЧ. Приводная техника». – М. :, 2003. – 100 с.
12. Чиликин, М. Г. Теория автоматизированного электропривода : учеб. пособие для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М. : Энергия, 1979. – 616 с.
13. Марголин, Ш. М. Точная остановка электроприводов / Ш. М. Марголин. – 2-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 104 с.
14. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства : в 5 кн. : практ. пособие / под ред. В. А. Веникова. – Кн. 2. Энергосбережение

в электроприводе / Н. Ф. Ильинский, Ю. В. Рыжанковский, А. О. Горнов. – М. : Высш. шк., 1989. – 127 с.

15. Фурсенко, С. Н. Разработка проекта автоматизации технологических процессов : учеб.-метод. пособие / С. Н. Фурсенко [и др.]. – Минск : Ротапринт БАТУ, 2003. – 217 с.

16. Унифицированная серия асинхронных электродвигателей «Интерэлектро» / В. И. Радин [и др.]; под ред. В. И. Радина. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.

17. Автоматика промышленного и бытового назначения СООО «Евро-автоматика Ф и Ф» : каталог. – Лида, 2003. – 37 с.

18. Элементы и устройства сельскохозяйственной автоматики : справ. пособие / Н. И. Бохан. – 2-е изд. – М. : Ураджай, 1989. – 238 с.

19. УЗО – устройство защитного отключения : учеб. справ. пособие. – М. : ЗАО «Энергосервис», 2003. – 232 с.

20. Аппараты защиты электрических цепей: технич. каталог «Интерэлектрокомплект». – М., 2005. – 48 с.

21. Грундулис, А. О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве / А. О. Грундулис. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1988. – 111 с.

22. Низковольтное оборудование (до 1000 В) : каталог НВО «ИНОСАТ». – Минск : НВО «ИНОСАТ», 2006. – 107 с.

23. Низковольтные комплектные устройства : номенклатурный каталог 2–2003. – Дивногорск : ОАО Дивногорский завод, 2003. – 179 с.

24. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.

25. Потапов, Г. П. Погрузочно-транспортные машины для животноводства: справочник / Г. П. Потапов. – М. : Агропромиздат, 1990. – 239 с.

Технические нормативные правовые акты

26. ГОСТ 2.702–2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем. – Взамен ГОСТ 2.702–75; введ. 01.11.2013. – М. : ФГУП «ВНИИНМАШ», 2013. – 28 с.

27. ГОСТ 2.710–81 (СТ СЭВ 2182-80). Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах : ЕСКД. – Взамен ГОСТ 2.710–75; введ. 1981-07-01. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 14 с.

28. ГОСТ 183–74. Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия. Введ. 01.01.1976, с измен. 01.02.1982. – М. : Издательство стандартов, 1976. – 28 с.

29. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – Дата введ. 01.01.1971. Измен. 01.07.2014 ИУ ТНПА № 2-2014. – Минск : БелГИСС, 2014. – 68 с.

30. ГОСТ 14254–2015. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP). Введ. 01.09.2017. – М. : ТК 341 «Внешние воздействия», 2017. – 40 с.

31. ГОСТ 10985–80. Шкафы, щиты, ящики металлические. Оболочки, каркасы. Основные размеры. Введ. 01.01.1981. Измен. 01.05.1989 ИУС № 8-1989. – М. : Министерство электротехнической промышленности СССР, 1989. – 8 с.

32. ГОСТ 30331.15–2001. Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки. – Введен впервые; введ. 01.03.2003. – М. : ОАО «Компания «Электромонтаж», 2003. – 24 с.

33. ТКП 339–2011. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний / технические кодексы Министерства энергетики РБ. – Минск : Экономэнерго, 2011. – 593 с.

Образец выполнения курсовой работы

Репозиторий БГАТУ

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Агроэнергетический факультет

Кафедра ЭСХП
(название)

Курсовая работа

по дисциплине « Электропривод »
(название)

Вариант № 28

Тема: «Проектирование электропривода нории НПК-20»

Студент 4 курса 1э группы

_____ / **Ивашов И.И.** /
(личная подпись) (ФИО)

Шифр зачетной книжки

_____ **11111** _____

Руководитель:

_____ / _____ /
(личная подпись) (ФИО)

Минск, 2018

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра ЭСХП

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ЭЛЕКТРОПРИВОД»

Студент Ивашов И. И. Группа 1э Вариант 28

1. Исходные данные:

Рабочая машина Нория НПК-20 Рабочий орган _____

$P_{сн} = 2$ кВт $n_{сн} = 70$ об/мин

Длина фазного проводника от места установки УЗО до раб. машины $l = 25$ м

2. Дополнительные исходные данные и условия:

h подъема = 7,7 м; U ленты = 1,4 м/с; m поднятого зерна за цикл = 31 т

СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Введение

1 Технологические характеристики рабочей машины

1.1 Назначение

1.2 Описание конструкции рабочей машины

1.3 Описание рабочих органов и их параметров

1.4 Технологическая схема использования рабочей машины

1.5 Требования к управлению рабочей машиной

1.6 Характеристика условий окружающей среды и требований к электрооборудованию

2 Выбор электродвигателя для привода рабочей машины

2.1 Расчет и построение механических характеристик рабочей машины под нагрузкой и на холостом ходу

2.2 Расчет и построение нагрузочной диаграммы рабочей машины

2.3 Выбор предполагаемого электродвигателя по роду тока, напряжению, числу фаз, типу, модификации, частоте вращения

2.4 Выбор кинематической принципиальной схемы электропривода

2.5 Приведение мощности, момента и скорости рабочей машины к валу электродвигателя и обоснование режима его работы

2.6 Окончательный выбор электродвигателя по мощности с учетом режима работы

2.7 Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска, перегрузочной способности и на допустимое число включений в час

2.8 Проверка выбранного электродвигателя на нагревание за цикл нагрузочной диаграммы

2.9 Построение механической и электромеханической характеристик электродвигателя

3 Выбор элементов кинематической принципиальной схемы

3.1 Выбор монтажного исполнения электродвигателя

4 Расчет переходных процессов в электроприводе

4.1 Обоснование способа пуска и торможения электропривода

5 Разработка принципиальной электрической схемы управления электроприводом

5.1 Требования к управлению машиной и пути их реализации

5.2 Описание разработанной схемы управления электроприводом

5.3 Выбор аппаратов защиты электрических цепей и аппарата защиты электродвигателя в аварийных состояниях по критерию эффективности

5.4 Выбор аппаратов управления электроприводом

6 Определение показателей разработанного электропривода

6.1 Расчет показателей надежности разработанного электропривода

6.2 Определение удельных и энергетических показателей разработанного электропривода

7 Разработка ящика управления электроприводом

7.1 Определение суммарной площади монтажных зон аппаратов и типа ящика управления

7.2 Пояснения о размещении аппаратов в ящике управления и составлению схемы соединений ящика управления

7.3 Выбор проводов для схемы соединения ящика управления и кабелей для схемы внешних соединений

8 Заключение по работе**Список использованных источников****Приложения****СОДЕРЖАНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ****Чертеж № 1** Механические характеристики и нагрузочная диаграмма рабочей машины (формат А4).**Чертеж № 2** Механические и электромеханические характеристики электродвигателя (формат А4).**Чертеж № 3** Нагрев и охлаждение электродвигателя (за цикл нагрузочной диаграммы, формат А4).**Чертеж № 4** Принципиальная электрическая схема управления электроприводом (формат А4, А3 или А2).**Чертеж № 5** Схема расположения аппаратов в ящике управления (формат А4).**Чертеж № 6** Технические данные аппаратов ящика управления (формат А4).**Чертеж № 7** Перечень надписей ящика управления (формат А4).**Чертеж № 8** Схема соединений ящика управления (формат А4, А3 или А2).**Чертеж № 9** Схема внешних соединений элементов электропривода (формат А4 или А3).

Руководитель и консультант курсовой работы _____

Дата выдачи _____

Дата приема _____

Реферат

Курсовая работа выполнена в объеме: расчетно-пояснительная записка на 56 страницах машинописного текста, таблиц – 13, графическая часть на 9 листах формата А4.

Ключевые слова: электропривод, электродвигатель, мощность, момент, рабочая машина, частота вращения.

Разработан электропривод нории НПК-20. Выбран электродвигатель для привода рабочей машины, произведена проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска, перегрузочной способности и на нагрев за цикл нагрузочной диаграммы. Разработана принципиальная электрическая схема управления электроприводом согласно задания.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ	
1.1 Назначение.....	9
1.2 Описание конструкции рабочей машины.....	9
1.3 Описание рабочих органов и параметров.....	10
1.4 Технологическая схема использования рабочей машины.....	11
1.5 Требования к управлению рабочей машиной.....	12
1.6 Характеристика условий окружающей среды и требований к электрооборудованию.....	12
2 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА РАБОЧЕЙ МАШИНЫ	
2.1 Расчет и построение механических характеристик рабочей машины под нагрузкой и на холостом ходу.....	13
2.2 Расчет и построение нагрузочной диаграммы рабочей машины.....	15
2.3 Выбор предполагаемого электродвигателя по роду тока, напряжению, числу фаз, типу, модификации, частоте вращения.....	16
2.4 Выбор кинематической принципиальной схемы электропривода.....	17
2.5 Приведение мощности, момента и скорости рабочей машины к валу электродвигателя и обоснование режима его работы.....	18
2.6 Окончательный выбор электродвигателя по мощности с учетом режима работы.....	19
2.7 Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска, перегрузочной способности и на допустимое число включений в час.....	19
2.8 Проверка выбранного электродвигателя на нагревание за цикл нагрузочной диаграммы.....	23
2.9 Построение механической и электромеханической характеристик электродвигателя.....	26
3 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ	
3.1 Выбор монтажного исполнения электродвигателя.....	31
4 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ	
4.1 Обоснование способа пуска и торможения электропривода.....	32
5 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	
5.1 Требования к управлению машиной и пути их реализации.....	33
5.2 Описание разработанной схемы управления электроприводом.....	33
5.3 Выбор аппаратов защиты электрических цепей и аппарата защиты электродвигателя в аварийных состояниях по критерию эффективности.....	34
5.4 Выбор аппаратов управления электроприводом.....	40

						03.43.028.18-ПЗ		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.		Ивашов И.И.		02.2018		УП	6	56
Руковод.								
					Пояснительная записка			
							БГАТУ 11111	

6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРАБОТАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	
6.1 Расчет показателей надежности разработанного электропривода.....	42
6.2 Определение удельных и энергетических показателей разработанного электропривода.....	46
7 РАЗРАБОТКА ЯЩИКА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ	
7.1 Определение суммарной площади монтажных зон аппаратов и типа ящика управления.....	49
7.2 Пояснения о размещении аппаратов в ящике управления и составлении схемы соединений ящика управления.....	50
7.3 Выбор проводов для схемы соединения ящика управления и кабелей для схемы внешних соединений.....	51
8 ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАБОТЕ.....	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	56

						03.43.028.18-ПЗ	Лист
Изм.	Копич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		7

Введение

Статистика показывает, что при послеуборочной обработке зерна на немеханизированных зернотоках затрачивается почти вдвое больше труда, чем при обработке почвы, севе и уборке зерновых колосовых культур с помощью тракторов и комбайнов. Поэтому механизация процессов очистки, сушки и хранения зерна постоянно была важнейшей проблемой сельскохозяйственной науки вообще и земледельческой механики в частности.

Одним из основных агрегатов, входящих в состав линий по переработке зерна, являются нории (ковшовые элеваторы), которые применяются для вертикального транспортирования зерна в элеваторах, механизированных башнях, мельницах, крупяных и комбикормовых заводах. К основным достоинствам норий относятся: отсутствие дробления и наименьшее повреждение зерна; надежность и долгое использование зерновых норий; наименьшее потребление энергии; потенциал работы на перемещении кусковых материалов (жмых и т. д.).

Однако надежность работы агрегата, в первую очередь, зависит от правильности выбора электропривода.

Таким образом, целью данной работы является разработка электропривода зерновой нории НПК-20 с учетом режима работы и характера изменения нагрузки.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи: провести анализ технологической характеристики рабочей машины, произвести выбор и проверку электродвигателя привода рабочей машины, определить показатели разработанного электропривода, разработать схему управления и спроектировать ящик управления.

							Лист
							8
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	03.43.028.18-ПЗ	

1 Технологическая характеристика рабочей машины

1.1 Назначение

Нория НПК-20 применяется для вертикального транспортирования зерна, гранул и мучнистых продуктов на мукомольных и комбикормовых предприятиях, на элеваторах, сушильно-очистительных башнях, линиях гранулирования, хлебоприемных пунктах.

1.2 Описание конструкции рабочей машины

Нория представляет собой машину с гибким тяговым органом в виде ремня (ленты) и состоит из: головки, башмака, привода, шахты гладкой, шахты аспирационной, шахты разборной, ленты, ковшей, патрубков.

Корпус головки нории изготовлен из стального проката, имеет фланцы для подсоединения шахт, фланец патрубка выгрузки и фланец для подсоединения взрыворазрядителя шибберного типа диаметром 200 мм.

Приводной вал с насаженным на него барабаном установлен на подшипники качения и монтируется с корпусами подшипников и кронштейнами на корпус головки. Башмак нории состоит из сварного корпуса, ведомого вала, с насаженным на него барабаном приемного носка и двух заслонок. Корпус башмака имеет фланцы для подсоединения патрубков, к которым крепятся шахты, фланец для подсоединения загрузочного патрубка. Ведомый вал, с насаженным на него барабаном, устанавливается на подшипниках качения, корпуса которых крепятся к подвижным плитам. Винтовое натяжное устройство служит для обеспечения необходимого натяжения ленты. Заслонки предназначены для очистки башмака нории.

							Лист
							9
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

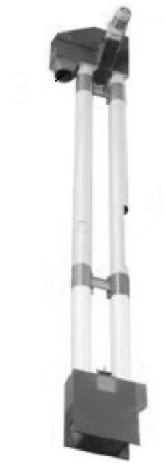


Рисунок 1.1 - Нория НПК-20. Внешний вид

1.3 Описание рабочих органов и параметров

Тяговым органом нории является ремень (лента) в виде бесконечной ветви, охватывающей приводной и ведомый барабаны. Ковши крепятся к ленте специальными монтажными болтами, гайками и шайбами при монтаже нории. Приводной барабан нории имеет бочкообразную форму для центрального позиционирования ленты нории и рифли на своей поверхности для увеличения сцепления.

Основные характеристики нории НПК-20 приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические параметры рабочей машины

Производительность по пшенице (при 0,75 т/м) при влажности 20 %, т/ч, не менее	20
Высота загрузки, мм	700
Высота выгрузки, мм	11 810
Ширина ленты, мм	24 950
Скорость ленты, м/с	1,76
Вместимость ковша, л	1,16
Шаг ковшей, мм	160
Диаметр приводного барабана, мм	400

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

03.43.028.18-ПЗ

Лист

10

1.4 Технологическая схема использования рабочей машины

Зерно поступает в башмак нории (см. рисунок 1.2) через загрузочный носок, в котором установлена заслонка. Привод вращает приводной барабан и приводит в движение ленту с закрепленными на ней ковшами. Проходя вокруг барабана башмака, ковши загружаются и поднимаются к головке нории, где под действием центробежной силы разгружаются в патрубок выгрузки.

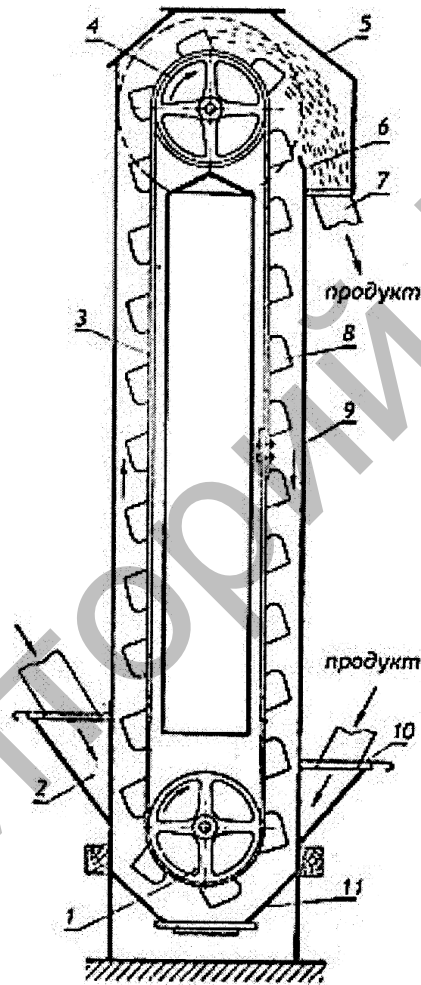


Рисунок 1.2 - Технологическая схема нории НПК-20:

- 1,4 - нижний и верхний барабаны; 2 - приемный носок; 3 - лента;
 5 - головка; 6 - козырек; 7 - выпускной патрубок; 8 - ковш; 9 - труба;
 10 - задвижка; 11 - башмак

Изм.	Копич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

03.43.028.18-ПЗ

Лист

11

1.5 Требования к управлению рабочей машиной

К управлению машиной предъявляются следующие требования: дистанционное ручное управление; световая сигнализация; защита цепей от токов короткого замыкания; защита электродвигателя в аварийных состояниях.

1.6 Характеристика условий окружающей среды и требований к электрооборудованию

Оборудование располагается на открытом воздухе. Категория размещения - вне помещений [1]. Исходя из этого степень защиты электрооборудования - IP44 [1], климатическое исполнение - У1.

							03.43.028.18-ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата			12

2 Выбор электродвигателя для привода рабочей машины

2.1 Расчет и построение механических характеристик рабочей машины под нагрузкой и на холостом ходу

Номинальная угловая скорость $\omega_{\text{сн}}$ рабочей машины и номинальный момент $M_{\text{сн}}$ определяются по формулам:

$$\omega_{\text{сн}} = \frac{\pi n_{\text{сн}}}{30} = 0,1045 n_{\text{сн}}, \quad (2.1)$$

$$M_{\text{сн}} = \frac{P_{\text{сн}}}{\omega_{\text{сн}}}. \quad (2.2)$$

Величины $\omega_{\text{сн}}$ и $M_{\text{сн}}$ определяем по (2.1) и (2.2) исходя из мощности $P_{\text{сн}}$ и частоты вращения выходного вала $n_{\text{сн}}$:

$$\omega_{\text{сн}} = 0,1045 \cdot 70 = 7,4 \text{ рад/с},$$

$$M_{\text{сн}} = \frac{2000}{7,4} = 270,3 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Механическая характеристика рабочей машины $M_c = f(\omega_c)$ под нагрузкой строится на основании уравнения

$$M_c = M_{\text{со}} + (M_{\text{сн}} - M_{\text{со}}) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{сн}}} \right)^\alpha, \quad (2.3)$$

где $M_{\text{со}}$ - момент сопротивления механизма, не зависящий от скорости, Н·м;

M_c - момент сопротивления механизма при скорости ω , Н·м;

ω - текущая (задаваемая) угловая скорость, рад/с;

α - показатель степени, характеризующий изменение момента сопротивления от скорости.

Для нашего случая (нория) номинальные значения рабочей машины в относительных единицах определяем по таблице 1.1 [1], они следующие:

- под нагрузкой: $\alpha = -1$; $\mu_{\text{со}} = 1,4$; $\mu_{\text{трог}} = 1,5$.

- на холостом ходу: $\alpha_{xx} = 1$; $\mu_{co,xx} = 1,2$; $\mu_{трог,xx} = 1,4$.

Для перевода в именованные единицы воспользуемся формулами:

$$M_{co} = M_{ch} \mu_{co}; \quad (2.4)$$

$$M_{трог} = M_{ch} \mu_{трог}; \quad (2.5)$$

$$M_{co} = 270,3 \cdot 1,4 = 378,4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{трог} = 270,3 \cdot 1,5 = 405,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Задаваясь значением ω согласно рисунку 1.1 [1] строим механическую характеристику рабочей машины под нагрузкой. При этом уточняем механическую характеристику в области от 0 до $0,1 \omega_{ch}$, принимая во внимание момент трогания $M_{трог}$. Результаты расчетов сведем в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Расчет механической характеристики машины под нагрузкой

ω , рад/с	0	0,7	1,2	2,2	3,7	5,2	6,7	7,4
M_c , Н·м	405,5	346,0	340,6	337,9	324,4	305,4	283,8	270,3

При пуске рабочей машины вхолостую ее механическая характеристика существенно отличается от механической характеристики под нагрузкой. В этом случае номинальной скорости ω_{ch} соответствует момент сопротивления $M_{ch,xx}$, определяемый по мощности $P_{ch,xx}$ рабочей машины на холостом ходу:

$$M_{ch,xx} = \frac{P_{ch,xx}}{\omega_{ch}}. \quad (2.6)$$

Поскольку $P_{ch,xx}$ неизвестно, то условно принимаем $P_{ch,xx} = 0,2P_{ch}$.

$$P_{ch,xx} = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ кВт};$$

$$M_{ch,xx} = \frac{400}{7,4} = 54,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для перевода в именованные единицы воспользуемся формулами:

$$M_{co,xx} = M_{ch,xx} \mu_{co,xx}; \quad (2.7)$$

$$M_{трог,xx} = M_{ch,xx} \mu_{трог,xx}; \quad (2.8)$$

$$M_{\text{со. хх}} = 54,1 \cdot 1,2 = 64,9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{трөг. хх}} = 54,1 \cdot 1,4 = 75,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По рассчитанным выше моментам согласно уравнению (2.3) строим механическую характеристику рабочей машины на холостом ходу. Результаты расчетов сведем в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Расчет механической характеристики рабочей машины на холостом ходу

ω , рад/с	0	0,7	1,2	2,2	3,7	5,2	6,7	7,4
$M_{\text{схх}}$, Н·м	75,7	63,9	63,1	61,7	59,5	57,3	55,1	54,1

Механические характеристики рабочей машины под нагрузкой и на холостом ходу приведены в графической части работы, лист № 1.

2.2 Расчет и построение нагрузочной диаграммы рабочей машины

Для того, чтобы построить график нагрузочной диаграммы $P = f(t)$, нужно знать технологию работы механизма, то есть продолжительность нагрузки, степень ее нагрузки, характер изменения нагрузки в процессе работы.

Время работы машины определяем исходя из данных, указанных в задании на курсовую работу. Масса поднятого зерна за цикл работы составляет 31 т при производительности рабочей машины 20 т/ч.

Таким образом, время работы за цикл можно найти из выражения

$$t_{\text{раб}} = \frac{60m}{Q} = \frac{60 \cdot 31}{20} = 93 \text{ мин},$$

где m - масса зерна, т;

Q - производительность нории, т/ч.

При этом мощность нории относительно постоянна и равна P_c .

Время загрузки и разгрузки нории определим по формуле:

$$t_{\text{загр}} = t_{\text{разгр}} = \frac{l}{60V} = \frac{7,7}{60 \cdot 1,4} = 0,1 \text{ мин.},$$

где l - расстояние транспортирования, м;

V - скорость перемещения транспортируемого материала, м/с.

Таким образом, общее время работы транспортера будет равно

$$t_{\text{общ}} = t_{\text{загр}} + t_{\text{раб}} + t_{\text{разгр}} = 0,1 + 93 + 0,1 = 93,2 \text{ мин.}$$

Зная момент сопротивления рабочей машины и время ее работы, строим нагрузочную диаграмму рабочей машины под нагрузкой. Нагрузочная диаграмма представлена в графической части работы, лист № 1.

2.3 Выбор предполагаемого электродвигателя по роду тока, напряжению, числу фаз, частоте вращения

Животноводческие и птицеводческие комплексы РБ в основном подключены к общей энергосистеме на переменное напряжение трехфазного синусоидального тока; поэтому выбираем двигатель асинхронный с короткозамкнутым ротором с $U_n = 400/230$ В.

Критерием выбора частоты вращения электродвигателя может быть удобство в эксплуатации. С точки зрения эксплуатации выгодно иметь электродвигатели на синхронную частоту вращения 1500 мин, поскольку из всего парка электродвигателей они составляют наибольшую долю, и в случае выхода из строя не возникает проблемы с заменой. Кроме того, такие электродвигатели имеют хороший коэффициент добротности, поскольку с уменьшением числа пар полюсов добротность увеличивается [1].

								Лист
								16
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	03.43.028.18-ПЗ		

На основании вышеизложенного предварительно выбираем нерегулируемый электропривод переменного тока с асинхронным электродвигателем со следующими параметрами: напряжение питания - 400 В; схема соединения обмоток - Y; число фаз - 3; модификация - обычный КЗ ротор; синхронная частота вращения поля - $n_o=1500$ об/мин; климатическое исполнение - У; категория размещения - 1; степень защиты - IP44, сельскохозяйственного исполнения.

2.4 Выбор кинематической принципиальной схемы электропривода

Определим общее передаточное число:

$$i_{\text{пр}} = \frac{n_{\text{н.дв}}}{n_{\text{сн}}}; \quad (2.9)$$

где $n_{\text{н.дв}}$ - номинальная частота вращения вала электродвигателя, об/мин;

$n_{\text{сн}}$ - номинальная частота вращения вала рабочей машины, об/мин.

Для определения $n_{\text{н.дв}}$ необходимо знать мощность электродвигателя. Ориентировочная мощность электродвигателя $P'_{\text{н.дв}}$ определяется по формуле:

$$P'_{\text{н.дв}} \geq P'_{\text{сн}} = \frac{P_{\text{сн}}}{\eta_{\text{общ.пер}}}; \quad (2.10)$$

где $P_{\text{сн}}$ - мощность на валу рабочей машины при номинальной нагрузке, кВт;

$P'_{\text{сн}}$ - приведенная к валу электродвигателя мощность рабочей машины, кВт;

$\eta_{\text{общ.пер}}$ - общий КПД передачи, о. е.

В нашем случае используем двухступенчатый цилиндрический мотор-редуктор. При этом КПД одной ступени $\eta_1 = 0,97$ [1]. Тогда для двухступенчатого мотор-редуктора имеем $\eta_2 = \eta_1^2 = 0,97 \cdot 0,97 = 0,94$.

$$P'_{\text{н.дв}} \geq \frac{2}{0,94} = 2,13 \text{ кВт.}$$

Ориентировочно принимаем электродвигатель мощностью 2,2 кВт.

Номинальную частоту вращения вала электродвигателя определим по формуле

$$n_{\text{н.дв}} = n_0 (1 - s_n), \quad (2.11)$$

где s_n - номинальное скольжение электродвигателя, о. е. (приложение Г [1]).

$$n_{\text{н.дв}} = 1500 \cdot (1 - 0,07) = 1395 \text{ об / мин.}$$

$$i_{\text{пр}} = \frac{1395}{70} = 19,93.$$

Исходя из полученного передаточного числа и конструктивных особенностей рабочей машины наиболее рациональным будет использование мотор-редуктора.

Выбираем мотор-редуктор 7МЦ2-90 с ближайшим к расчетному передаточным числом $i = 20$.

2.5 Приведение мощности, момента и скорости рабочей машины к валу электродвигателя и обоснование режима его работы

Приведенный к валу электродвигателя момент сопротивления рабочей машины вычисляется по формуле

$$M'_c = \frac{M_c}{i \eta_{\text{общ.пер}}}, \quad (2.12)$$

$$M'_c = \frac{270,3}{20 \cdot 0,94} = 14,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приведенный к валу электродвигателя момент M'_c значительно отличается от момента M_c рабочей машины при большом передаточном числе. Однако вид нагрузочной диаграммы сохранится.

Приведение мощности рабочей машины к валу электродвигателя выполняется в пункте 2.4 работы.

Приведение номинальной угловой скорости $\omega_{\text{сн}}$ рабочей машины к валу электродвигателя выполняется по формуле

$$\omega_{\text{нд}} = \omega_{\text{сн}} i_{\text{пр}}, \quad (2.13)$$

$$\omega_{\text{нд}} = 7,4 \cdot 20 = 148 \text{ рад/с.}$$

Режим работы электропривода определяется по нагрузочной диаграмме с учетом постоянной времени нагрева электродвигателя, времени его работы или времени цикла.

Поскольку электродвигатель окончательно не выбран, то ориентируемся приближенно на мощность $P'_{\text{н.дв}}$. По этой мощности ориентировочно выбираем постоянную времени нагрева $T_{\text{н}} = 19,77$ мин.

Так как время работы электродвигателя составляет более $3T_{\text{н}}$, то режим работы S1 - продолжительный [1].

2.6 Окончательный выбор электродвигателя по мощности с учетом режима работы

При режиме работы S1 выбираем электродвигатель продолжительного режима работы по условию:

$$P_{\text{н}} \geq P'_{\text{сн}}, \quad (2.14)$$

$$P_{\text{н}} \geq 2,13 \text{ кВт.}$$

Исходя из полученных расчетов для привода рабочей машины выбираем асинхронный электродвигатель АИР90L4СУ1 номинальной мощностью 2,2 кВт.

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска, перегрузочной способности и на допустимое число включений в час

Электродвигатель продолжительного режима работы S1 проверяют по условиям пуска и на преодоление максимальной нагрузки.

1. Проверка по условиям пуска:

$$M_{\text{п}} u^2 \geq 1,3M'_{\text{со}}, \quad (2.15)$$

$$M_{\text{мин}} u^2 \geq 1,3M'_{\text{см}}, \quad (2.16)$$

$$t_{\text{п.нагр}} \leq t_{\text{п.доп}}, \quad (2.17)$$

где $M_{\text{п}}$, $M_{\text{мин}}$ - пусковой и минимальный моменты электродвигателя, Н·м;

$M_{\text{со}}$, $M_{\text{см}}$ - момент, требуемый для вращения рабочей машины при скорости $\omega = 0$; $\omega = \omega_{\text{мин}}$, определяется по механической характеристике рабочей машины с учетом передаточного числа.

$t_{\text{п.нагр}}$, $t_{\text{п.доп}}$ - время пуска электродвигателя под нагрузкой и допустимое время пуска, с;

u - относительное снижение напряжения в сети при пуске, принимаем $u = 0,9$ [1].

Допустимое время пуска определяется по выражению:

$$t_{\text{п.доп}} = \frac{\tau_{\text{раб}}}{V}, \quad (2.18)$$

где V - скорость роста температуры при пуске, °С/с, определяется по приложению Г [1];

$\tau_{\text{раб}}$ - расчетная рабочая температура превышения, принимаем $\tau_{\text{раб}} = 100$ °С [1].

$$M_{\text{п}} = \mu_{\text{п}} M_{\text{н}}, \quad (2.19)$$

$$M_{\text{мин}} = \mu_{\text{мин}} M_{\text{н}}, \quad (2.20)$$

$$M_{\text{кр}} = \mu_{\text{кр}} M_{\text{н}}, \quad (2.21)$$

						03.43.028.18-ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		20

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (2.22)$$

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30} = 0,1045 n_H, \quad (2.23)$$

$$M'_{co} = \frac{405,5}{20 \cdot 0,94} = 21,6 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M'_{cm} = \frac{343,3}{20 \cdot 0,94} = 18,3 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$\omega_{H,дв} = 0,1045 \cdot 1500 \cdot (1 - 0,07) = 146,5 \text{ рад/с},$$

$$M_H = \frac{2,2 \cdot 1000}{146,5} = 15 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_n = 2,1 \cdot 15 = 31,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{мин} = 1,6 \cdot 15 = 24 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{кр} = 2,2 \cdot 15 = 33 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Проводим проверку:

$$31,5 \cdot 0,9^2 \geq 1,3 \cdot 21,6;$$

$$25,5 \geq 28,1 \text{ - условие не выполняется;}$$

$$24 \cdot 0,9^2 \geq 1,3 \cdot 18,3;$$

$$19,4 \geq 23,8 \text{ - условие не выполняется;}$$

Электродвигатель не удовлетворяет условиям пуска, поэтому необходимо выбрать электродвигатель на одну ступень выше.

Выбираем электродвигатель АИР100S4СУ1 с $P_H = 3$ кВт.

Таблица 2.3 – Технические данные выбранного электродвигателя

Двигатель	P_H , кВт	η , о. е.	$\cos \varphi$, о. е.	s_H , о. е.	μ_n	μ_{max}	μ_{min}	k_i	$J_{рот.дв.}$, кг·м ²	m , кг
АИР100S4	3	0,82	0,83	0,06	2	2,2	1,6	7	0,0087	21,6

$$\omega_{H,дв} = 0,1045 \cdot 1500 \cdot (1 - 0,06) = 148,1 \text{ рад/с};$$

$$M_H = \frac{3 \cdot 1000}{148,1} = 20,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_n = 2 \cdot 20,3 = 40,6 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M'_{\text{макс. нагр}} = \frac{P_{\text{макс. нагр}}}{\omega_{\text{н.д}}}; \quad (2.26)$$

$$M'_{\text{макс. нагр}} = \frac{2130}{148,1} = 14,4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$44,7 \cdot 0,9^2 \geq 1,3 \cdot 14,4;$$

$$36,2 \geq 18,7 \text{ - условие выполняется.}$$

Все условия соблюдаются. Следовательно, электродвигатель по вышеперечисленным условиям выбран правильно.

2.7 Проверка выбранного электродвигателя на нагревание за цикл нагрузочной диаграммы

Кривая нагрева и охлаждения электродвигателя рассчитывается по следующей формуле:

$$\tau = \tau_{\text{уст}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{\text{н}}}} \right) + \tau_{\text{нач}} e^{-\frac{t}{T_{\text{о}}}}, \quad (2.27)$$

где $\tau_{\text{уст}}$ – установившееся превышение температуры электродвигателя, °С;

t – время (от начала действия данной ступени нагрузки), мин;

$T_{\text{н}}$ – постоянная времени нагревания электродвигателя, мин;

$T_{\text{о}}$ – постоянная времени охлаждения электродвигателя, мин;

$\tau_{\text{нач}}$ – превышение температуры в начале участка, °С.

Установившаяся температура превышения $\tau_{\text{уст}}$ определяется по уравнению

$$\tau_{\text{уст}} = \frac{\Delta P_{\text{x}}}{A_{\text{н}}}, \quad (2.28)$$

где ΔP_{x} – потери мощности в электродвигателе при нагрузке на валу $P_{\text{с}}$, Вт;

$A_{\text{н}}$ – номинальная теплоотдача электродвигателя, Вт/°С.

Потери мощности в электродвигателе ΔP_x определяются по формуле

$$\Delta P_x = \frac{P_3(1-\eta_3)}{\eta_3}, \quad (2.29)$$

где P_3 - эквивалентная мощность нагрузки на валу электродвигателя, Вт;

η_3 - эквивалентный КПД, определяемый по формуле

$$\eta_3 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-\eta_n}{\eta_n} \right) \left(\frac{\alpha_n + x}{\alpha_n + 1} \right)}, \quad (2.30)$$

где η_n - номинальный КПД электродвигателя;

x - коэффициент нагрузки, о. е.;

α_n - отношение постоянных потерь в двигателе к переменным.

Номинальная теплоотдача электродвигателя определяется по формуле:

$$A_n = \frac{\Delta P_n}{\tau_{\text{раб}}}, \quad (2.31)$$

где ΔP_n - номинальные потери мощности в электродвигателе, Вт, определяются по следующей формуле:

$$\Delta P_n = \frac{P_n(1-\eta_n)}{\eta_n}. \quad (2.32)$$

Постоянная времени нагревания определяется по формуле

$$T_n = \frac{C}{A_n}, \quad (2.33)$$

где C - теплоемкость электродвигателя, Дж/°С.

Поскольку высота оси вращения равна 100 мм, то согласно [1]:

$$C = 400m = 400 \cdot 21,6 = 8640 \text{ Дж/}^\circ\text{С}.$$

$$x = \frac{P_3}{P_n} = \frac{2,1}{3} = 0,7;$$

$$\eta_0 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-0,82}{0,82} \right) \left(\frac{\frac{0,36}{0,7} + 0,7}{0,36+1} \right)} = 0,84;$$

$$\Delta P_x = \frac{2,1 \cdot (1-0,84)}{0,84} = 400 \text{ Вт}; \quad \Delta P_H = \frac{3 \cdot (1-0,82)}{0,82} = 659 \text{ Вт};$$

$$A_H = \frac{659}{100} = 6,6 \text{ Вт / } ^\circ\text{C};$$

$$t_{уст} = \frac{400}{6,6} = 60,6 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad T_H = \frac{8640}{6,6} = 1309,1 \text{ с} = 21,8 \text{ мин.}$$

Кривую нагрева строим по выражению

$$\tau = \tau_{уст} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_H}} \right). \quad (2.34)$$

Задаемся значениями t и, вычисляя величину превышения температуры электродвигателя, строим кривую нагрева двигателя.

Приведем расчет для одной из точек, а именно для времени $t = 9,3$ мин. Тогда формула (2.34) примет вид

$$\tau = 60,6 \left(1 - e^{-\frac{9,3}{21,8}} \right) = 21,05 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таблица 2.4 – К расчету кривой нагревания электродвигателя

t , мин	0	9,3	18,6	28	37,3	46,6	55,9	65,2	74,6	93,2
τ_n , $^\circ\text{C}$	0	21,05	34,78	43,82	49,65	53,45	55,94	57,56	58,62	59,76

Кривую охлаждения строим по выражению

$$\tau_{охл} = \tau_{нач} e^{-\frac{t}{T_0}}, \quad (2.35)$$

где t - время от начала охлаждения электродвигателя, мин;

T_0 - постоянная времени охлаждения, мин, определяем по выражению

$$T_o = \frac{T_n}{\beta_0}, \quad (2.36)$$

где $\beta_0 = 0,45$ - коэффициент ухудшения теплоотдачи при неподвижном роторе.

$$T_o = \frac{21,8}{0,45} = 48,4 \text{ мин.}$$

Задаем значениями t и вычисляя величину превышения температуры электродвигателя, строим кривую охлаждения двигателя. Результаты расчетов сводим в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – К расчету кривой охлаждения электродвигателя

t , мин	0	10,9	21,8	36,4	47,3	58,2	72,8	83,7	94,6	109,2
τ_n , °C	59,76	47,71	38,09	28,17	22,49	17,95	13,28	10,60	8,46	6,26

Полученная по расчетам кривая нагрева и охлаждения электродвигателя приведена в графической части проекта, лист № 3.

Из расчетов видно, что максимальная температура превышения за цикл работы не превышает предельно допустимую для данного класса изоляции, следовательно, электродвигатель выбран правильно.

2.9 Построение механической и электромеханической характеристик электродвигателя

Механическую характеристику асинхронного электродвигателя рассчитываем по формуле Клосса:

$$M = \frac{2M_{\max}(1+E)}{\frac{s}{s_{\max}} + \frac{s_{\max}}{s} + 2E}, \quad (2.37)$$

где M, M_{\max} - рассчитываемый и максимальный моменты, Н·м;

s, s_{\max} - задаваемое значение скольжения и максимальное скольжение, о. е.;

E - коэффициент, который находится в сложной зависимости от $s, E = f(s)$.

Коэффициент E определим по следующему выражению:

$$E = \frac{\frac{s}{s_{\max}} + \frac{s_{\max}}{s} - \frac{2\mu_{\max}}{\mu_{\max}}}{\frac{2\mu_{\max}}{\mu_{\max}} - 2}. \quad (2.38)$$

Значение коэффициента E по формуле (2.38) определим в четырех характерных точках:

1. При $s = s_{\text{н}}$ имеем $\mu_{\text{н}} = 1$, $E = E_{\text{н}}$;
2. При $s = s_{\text{маx}}$ имеем $\mu = \mu_{\text{маx}}$, $E = 0$;
3. При $s = s_{\text{min}}$ имеем $\mu = \mu_{\text{min}}$, $E = E_{\text{min}}$;
4. При $s = 1$ имеем $\mu = \mu_{\text{пуск}}$, $E = E_{\text{пуск}}$.

$s_{\text{маx}}$ определим по следующей формуле:

$$s_{\text{маx}} = s_{\text{н}} \frac{\mu_{\text{маx}} + \sqrt{\mu_{\text{маx}}^2 + 2s_{\text{н}}(\mu_{\text{маx}} - 1) - 1}}{1 - 2s_{\text{н}}(\mu_{\text{маx}} - 1)}, \quad (2.39)$$

$$s_{\text{маx}} = 0,06 \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 + 2 \cdot 0,06(2,2 - 1) - 1}}{1 - 2 \cdot 0,06(2,2 - 1)} = 0,29.$$

Приведем расчет коэффициента E для точки №1.

$$E = \frac{\frac{0,06}{0,29} + \frac{0,29}{0,06} - \frac{2 \cdot 2,2}{1}}{\frac{2 \cdot 2,2}{1} - 2} = 0,267.$$

Результаты расчетов коэффициента E в остальных точках сводим в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты расчетов коэффициента E

№ точки	s	μ	E
1	0,06	1	0,267
2	0,29	2,2	0
3	0,85	1,6	0,696
4	1	2,0	7,691

По результатам расчетов строим графическую зависимость $E = f(s)$ (рисунок 2.1).

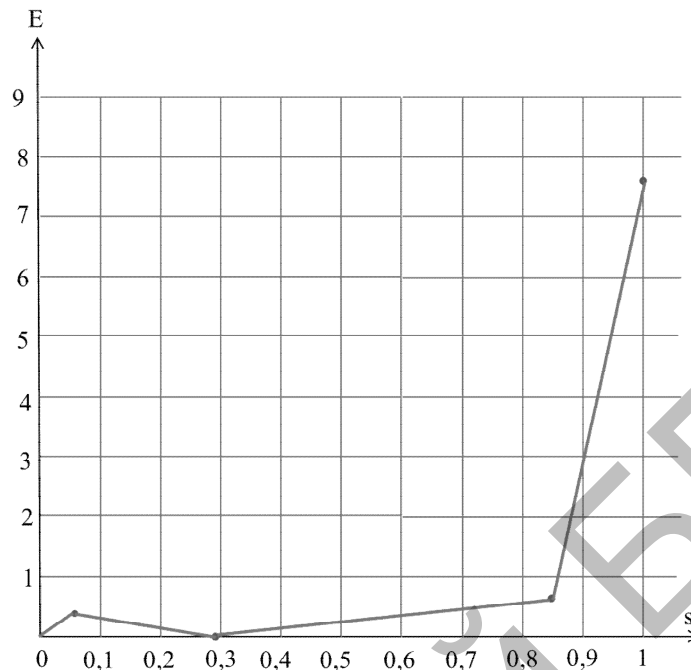


Рисунок 2.1 - Графическая зависимость $E = f(s)$

Задавая значение скольжения s находим по графику $E = f(s)$ значение коэффициента E и вычисляем момент M , результаты расчета сводим в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – К расчету механической характеристики электродвигателя

	Значение расчетной величины при скольжении s									
	s_n	$2s_n$	$4s_n$	s_{max}	0,4	0,6	0,7	0,85	0,9	1
Расчетные величины	0,06	0,12	0,24	0,29	0,4	0,6	0,7	0,85	0,9	1
E по графику	0,27	0,20	0,06	0	0,14	0,39	0,51	0,70	3,03	7,69
$1 + E$	1,27	1,20	1,06	1,00	1,14	1,39	1,51	1,70	4,03	8,69
$2E$	0,54	0,40	0,12	0,00	0,28	0,78	1,02	1,40	6,06	15,38
s/s_{max}	0,21	0,41	0,83	1,00	1,38	2,07	2,41	2,93	3,10	3,45
s_{max}/s	4,83	2,42	1,21	1,00	0,73	0,48	0,41	0,34	0,32	0,29
$s/s_{max} + s_{max}/s + 2E$	5,58	3,23	2,16	2,00	2,39	3,33	3,84	4,67	9,48	19,12
$2M_{max}(1 + E)$	113,5	107,3	94,8	89,4	101,9	124,3	135,0	152,0	360,3	776,9
M	20,34	33,22	43,89	44,70	42,64	37,33	35,16	32,55	38,01	40,63
$\omega = \omega_0(1 - s)$	148,05	138,60	119,70	111,83	94,50	63,00	47,25	23,63	15,75	0,00
$M' = 0,81M$	16,48	26,91	35,55	36,21	34,54	30,24	28,48	26,37	30,79	32,91

По полученным данным строим механические характеристики асинхронного электродвигателя при номинальном U_H и пониженном до $0,9 U_H$ напряжениях.

Построение электромеханической характеристики $\omega = f(I)$ производим по четырем характерным точкам:

1) ω_H при I_H ; 2) ω_0 при I_0 ; 3) ω_K при I_{sk} ; 4) $\omega = 0$ при I_H .

Ток холостого хода (в относительных единицах) определяется по выражению:

$$i_0 = \sin \varphi_H - \frac{\cos \varphi_H}{\mu_{\max} + \sqrt{\mu_{\max} - 1}}, \quad (2.40)$$

$$i_0 = 0,56 - \frac{0,83}{2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}} = 0,36.$$

Ток при максимальном скольжении (в относительных единицах):

$$i_{sk} = \sqrt{i_0^2 + (1 - i_0^2) \frac{\mu_{\max} \cdot s_{\max}}{s_H}}, \quad (2.41)$$

$$i_{sk} = \sqrt{0,36^2 + (1 - 0,36^2) \frac{2,2 \cdot 0,29}{0,06}} = 3,06.$$

Номинальный ток электродвигателя определим по следующей формуле:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi_H}, \quad (2.42)$$

$$I_H = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,83 \cdot 0,82} = 6,4 \text{ А}.$$

Производим перерасчет токов в именованные единицы по формулам

$$I_0 = i_0 \cdot I_H = 0,36 \cdot 6,4 = 2,3 \text{ А};$$

$$I_K = i_{sk} \cdot I_H = 3,06 \cdot 6,4 = 19,58 \text{ А};$$

$$I_H = k_i \cdot I_H = 7 \cdot 6,4 = 44,8 \text{ А}$$

Строим электромеханическую характеристику по точкам: 1) $I_0 = 2,3 \text{ А}$, $\omega_0 = 157,5 \text{ рад/с}$; 2) $I_H = 6,4 \text{ А}$, $\omega_H = 148,1 \text{ рад/с}$; 3) $I_K = 19,58 \text{ А}$, $\omega_K = 111,8 \text{ рад/с}$; 4) $I_{II} = 44,8 \text{ А}$, $\omega_{II} = 0$.

График электромеханической характеристики строим совместно с механической характеристикой электродвигателя и приводим в графической части проекта, лист № 2.

Изм.	Колоч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

3 Выбор элементов кинематической принципиальной схемы

3.1 Выбор монтажного исполнения электродвигателя

Конструктивное исполнение электродвигателя по способу монтажа определяется местом установки электродвигателя в механизме или машине, наличием передачи, ее видом и регламентируется в публикации МЭК 34-7 и СТ СЭВ 264-76.

Так как в нашем случае используется мотор-редуктор и, исходя из расположения электродвигателя, выбираем электродвигатель исполнения IM 3001 - без лап, с фланцем большого диаметра, доступным с обратной стороны, с крепящими отверстиями без резьбы, с одним цилиндрическим концом вала, расположенным горизонтально [1].

						03.43.028.18-ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		31

5 Разработка принципиальной электрической схемы управления электроприводом

5.1 Требования к управлению машиной и пути их реализации

Требования к управлению рабочей машиной были представлены в п. 1.5, в данном пункте представим пути их реализации.

Для обеспечения дистанционного ручного управления применяем электромагнитный пускатель и кнопки управления. Для обеспечения световой сигнализации применяем светосигнальную арматуру.

Применяемые аппараты управления и защиты электродвигателя будут рассчитаны в последующих пунктах.

5.2 Описание разработанной схемы управления электроприводом

Схема управления установкой предусматривает ручной режим работы. Включаем автоматический выключатель QF1, тем самым подавая напряжение на устройство защитного отключения QF2 и автоматический выключатель QF3. Включая QF3, подаем питание на цепь управления. Нажимаем кнопку SB1, при этом запитывается катушка пускателя КМ, замыкаются силовые контакты КМ и электродвигатель М нории включается в работу. О его работе сигнализирует лампа HL2. Лампа HL1 сигнализирует о наличии напряжения в сети. Отключение М осуществляем кнопкой SB2. При полной загрузке бункера выгрузки срабатывает датчик уровня SL и также отключает установку.

Автоматический выключатель QF1 защищает электродвигатель от токов коротких замыканий и перегрузок, QF3 защищает цепь управления от сверхтоков. Для защиты людей от поражения электрическим током и для предотвращения опасной утечки тока, которая может привести к пожару

						03.43.028.18-ПЗ	Лист
Изм.	Колоч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		33

в результате повреждения изоляции электропроводки устройство защитного отключения QF2. При возникновении аварийной ситуации СиЭЗ-4А отключает электродвигатель, на передней панели устройства загорается индикация «Настройка» и защита СиЭЗ-4А входит в режим самоблокировки. После возникновения аварии необходимо устранить причину аварии и затем повторно включить электродвигатель. Для повторного запуска необходимо отключить электропитание устройства СиЭЗ-4А. После отключения электропитания произойдет разблокировка устройства СиЭЗ-4А. При последующей подаче питания устройство готово к работе.

5.3 Выбор аппаратов защиты электрических цепей и аппарата защиты электродвигателя в аварийных состояниях по критерию эффективности

Защиту от сверхтоков рекомендуется выполнять с помощью автоматического выключателя с комбинированным расцепителем.

Для защиты электрических цепей электродвигателя и цепей управления от сверхтоков применяем автоматические выключатели.

Выбор автоматических выключателей производится по следующим условиям:

1. По номинальному напряжению автоматического выключателя:

$$U_{н.авт} \geq U_c, \quad (5.1)$$

где $U_{н.авт}$ – номинальное напряжение автоматического выключателя, В;

U_c – номинальное напряжение сети, В:

- для силовой цепи: $400 \text{ В} > 400 \text{ В}$. Выбираем автоматический выключатель с номинальным напряжением 400 В;
- для цепи управления: $400 \text{ В} > 230 \text{ В}$. Выбираем автоматический выключатель с номинальным напряжением 400 В.

						03.43.028.18-ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		34

2. По номинальному току автоматического выключателя:

$$I_{н.авт} \geq I_{н.установки}, \quad (5.2)$$

где $I_{н. авт}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{н. установки}$ – номинальный ток установки, А:

- для силовой цепи: $63 \text{ А} > 6,4 \text{ А}$. Выбираем автоматический выключатель с током главных контактов 63 А;

- для цепи управления: $63 \text{ А} > 1 \text{ А}$. Выбираем автоматический выключатель с током главных контактов 63 А.

3. Номинальный ток теплового расцепителя модульного автоматического выключателя выбирается по условию:

$$I_{н. расц. 30^\circ\text{C}} \geq \frac{I_{\text{раб}}}{K_N K_t}, \quad (5.3)$$

где $I_{н. расц. 30^\circ\text{C}}$ – номинальный ток теплового расцепителя (указанный на маркировке) при температуре настройки $+30^\circ\text{C}$, А;

$I_{\text{раб}}$ – рабочий (расчетный эквивалентный или номинальный) ток цепи, А;

K_N – коэффициент, зависящий от числа полюсов. Например, для ВА47-29 ([1], рисунок 5.1, а) $K_N = 1$ при 1 полюсе; $K_N = 0,875$ при 2 полюсах; $K_N = 0,83$ при 3 полюсах; $K_N = 0,81$ при 4 полюсах;

K_t – коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды. Например, для ВА47-29 ([1], рисунок 5.1, б) при $+50^\circ\text{C}$ $K_t = 0,97$; при $+40^\circ\text{C}$ $K_t = 0,99$; при $+10^\circ\text{C}$ $K_t = 1,04$; при -10°C $K_t = 1,1$:

- для силовой цепи рассчитываемого электродвигателя:

$$I_{н. расц. 30^\circ\text{C}} \geq \frac{6,4}{0,81 \cdot 0,99},$$

$$10 \text{ А} > 7,98 \text{ А}.$$

Выбираем автоматический выключатель с током срабатывания теплового расцепителя 10 А;

								Лист
								35
Изм.	Колпч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	03.43.028.18-ПЗ		

- для цепи управления:

$$I_{н. расц. 30^\circ C} \geq \frac{1}{0,875 \cdot 0,99}$$

$$2 \text{ A} > 1,15 \text{ A.}$$

Выбираем автоматический выключатель с током срабатывания теплового расцепителя 2 А.

4. По классу электромагнитного расцепителя, для защиты электродвигателя предпочтителен класс электромагнитного расцепителя *D*, для цепей управления - *B*.

5. По числу полюсов. Для защиты электродвигателя выбираем четырехполюсный автоматический выключатель, для цепи управления - двухполюсный.

6. По степени защиты от воздействия окружающей среды и от соприкосновения людей с токоведущими частями. Так как монтаж производится внутри шкафа управления, то принимаем степени защиты - IP00 зажимов и IP20 оболочки.

7. По климатическому исполнению и категории размещения. Принимаем для умеренного и холодного климата и третьей категории размещения (УХЛЗ).

Проверим выбранный автоматический выключатель для силовой цепи рассчитываемого электродвигателя по условию несрабатывания от пусковых токов:

$$I_{н. расц 30^\circ} K_{эм. min} \geq K_{отс} I_{н. дв} k_i, \quad (5.4)$$

где $K_{эм. min}$ - минимальная кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя выбранного класса. Для класса «D» $K_{эм. min} = 10$;

$K_{отс}$ - коэффициент надежности отстройки от пускового тока, для модульного выключателя $K_{отс} = 1,25$ (внутренние сети предприятий);

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

k_i - кратность пускового тока.

$$10 \cdot 10 > 1,25 \cdot 6,4 \cdot 7;$$

$100 > 56$ - условие соблюдается.

По условию надежного отключения наибольшего тока КЗ и по чувствительности к однофазному току КЗ выбранный автоматический выключатель не проверяем, поскольку в задании не указаны токи однофазного и трехфазного КЗ.

Таким образом, для защиты рассчитываемого электродвигателя выбираем автоматический выключатель ВА47-29-4D10УХЛЗ с номинальным током выключателя 63 А, током срабатывания теплового расцепителя, равным 10 А и классом электромагнитного расцепителя D; для защиты цепей управления выбираем автоматический выключатель ВА47-29-2В2УХЛЗ с номинальным током выключателя 63 А, током срабатывания теплового расцепителя, равным 2 А и классом электромагнитного расцепителя В.

В электроприводах рабочих машин рекомендуется использовать устройства защитного отключения (УЗО). УЗО рекомендуется использовать на всех мобильных электрических установках и там, где электроустановка находится под постоянным управлением оператора.

При выборе УЗО руководствуются следующим:

$$1. U_n \geq U_{\text{сети}};$$

$$400 \text{ В} \geq 400 \text{ В}.$$

$$2. I_n \geq I_{\text{н. уст-ки}};$$

$$16 \text{ А} \geq 6,4 \text{ А}.$$

При выборе $I_{\text{н.УЗО}}$ надо обращать внимание на ток стоящего выше (по направлению подачи энергии) автоматического выключателя. Необходимо, чтобы номинальный ток УЗО был на 1 ступень больше номинального тока теплового расцепителя автоматического выключателя.

3. Согласно ПУЭ (п. 7.1.83) [8],

$$I_{\Delta n} \geq 3I_{\Delta}, \quad (5.5)$$

где I_{Δ} – суммарный ток утечки защищаемой цепи электроустановки, мА.

									Лист
									37
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	03.43.028.18-ПЗ			

При расчете I_{Dn} в мА пользуются формулой

$$I_{\Delta n} \geq 3(0,4I_H + 0,01l), \quad (5.6)$$

где I_H – номинальный ток электроустановки, А;

l – длина фазного проводника от места установки УЗО до клемм потребителя, м (согласно заданию $l = 25$ м).

$$I_{\Delta n} \geq 3(0,4 \cdot 6,4 + 0,01 \cdot 25);$$

$$I_{\Delta n} \geq 8,43;$$

$$10 \text{ мА} \geq 8,43 \text{ мА}.$$

4. По условию реагирования на форму тока: выбираем УЗО для синусоидального тока (тип АС).

5. По числу полюсов: в данной курсовой работе выбираем 4-полюсное УЗО.

6. По степени защиты: для размещения в шкафу достаточна степень защиты IP20.

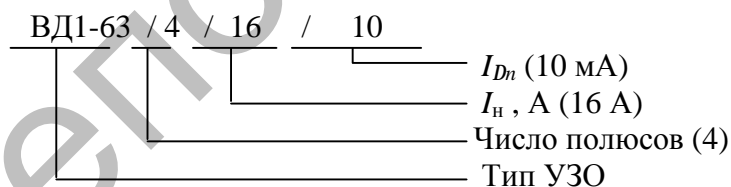
Проверка выбранного УЗО производится исходя из того, что номинальный ток УЗО I_n должен быть на 1 ступень больше, чем номинальный ток теплового расцепителя $I_{н. расц. QF}$ автоматического выключателя, т. е.:

$$I_n > I_{н. расц. QF}. \quad (5.7)$$

В данной курсовой работе это условие соблюдается:

$$16 \text{ А} > 10 \text{ А}.$$

Таким образом, выбираем УЗО серии ВД1:



Выбор аппарата защиты по критерию эффективности сводится к расчету коэффициента эффективности k -го устройства защиты электродвигателя на i -м механизме (для всех известных устройств защиты) и выбором устройства защиты с максимальным значением \mathcal{E}_{ki} :

									Лист
									38
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	03.43.028.18-ПЗ			

$$\mathcal{E}_{kj} = \sum_{k=1}^N P_{ij} g_{ik}, \quad (5.8)$$

где P_{ij} - вероятность отказа данного электродвигателя i -го механизма по j причине (таблица 5.6 [1]);

g_{kj} - вероятность срабатывания k -го устройства защиты при основных аварийных j -х режимах (таблица 5.7 [1]).

N - число устройств защиты.

Таблица 5.1 – Значение вероятностей отказа установки по различным причинам

Неполнофазный режим	Неподвижный ротор	Перегрузка	Увлажнение обмотки	Нарушение охлаждения
0,26	0,44	0,1	0,2	0

Таблица 5.2 – Значение вероятностей срабатывания защиты по различным причинам

Устройство защиты	Вероятность g_{kj} срабатывания при аварийных режимах				
	Неполно-фазный режим	Неподвижный ротор	Перегрузка технологич.	Увлажнение обмотки	Нарушение охлаждения
Тепловые реле РТЛ и РТТ	0,6	0,45	0,75	0	0
Реле контроля напряжения неполно-фазного режима, тип ЕЛ-8...ЕЛ-13	0,80	0	0	0	0
Реле защиты по току при неполно-фазном режиме плюс защита от токов перегрузки, тип РЗД-3М	0,80	0,90	0,7	0	0
Реле защиты по току при неполно-фазном режиме плюс защита от токов перегрузки, тип БСЗД-1	0,80	0,90	0,65	0	0
Система электронной бесконтактной защиты СиЭЗ-4А, СиЭЗ-8-25, СиЭЗ-20-80	0,95	0,95	0,66	0	0
Устройство температурной защиты УВТЗ-5 с контролем неполнофазного режима	0,80	0,67	0,95	0	0,90

Находим критерий эффективности для каждого из устройств защиты:

$$\mathcal{E}_{\text{тепл. реле}} = 0,26 \cdot 0,6 + 0,44 \cdot 0,45 + 0,1 \cdot 0,75 + 0,2 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = 0,43;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ЭЛ-8}} = 0,26 \cdot 0,8 + 0,44 \cdot 0 + 0,1 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = 0,21;$$

$$\mathcal{E}_{\text{РЗД-3М}} = 0,26 \cdot 0,8 + 0,44 \cdot 0,9 + 0,1 \cdot 0,7 + 0,2 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = 0,67;$$

								Лист
								39
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	03.43.028.18-ПЗ		

$$\mathcal{E}_{\text{БСЗД-1}} = 0,26 \cdot 0,8 + 0,44 \cdot 0,9 + 0,1 \cdot 0,65 + 0,2 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = 0,67;$$

$$\mathcal{E}_{\text{СиЭЗ}} = 0,26 \cdot 0,95 + 0,44 \cdot 0,95 + 0,1 \cdot 0,66 + 0,2 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = 0,731;$$

$$\mathcal{E}_{\text{УВТЗ-5}} = 0,26 \cdot 0,8 + 0,44 \cdot 0,67 + 0,1 \cdot 0,95 + 0,2 \cdot 0 + 0 \cdot 0,9 = 0,60.$$

Как показал расчет, наиболее подходящей защитой является защита типа СиЭЗ. Устройство защиты электродвигателей электронное СиЭЗ-4А предназначено для защиты электродвигателей с номинальным (рабочим) током в диапазоне 0,2...8 А ($I_{\text{н}} = 6,4$ А, см. п. 2.9 записки) (ориентировочной мощностью от 0,1 до 3 кВт) при следующих аварийных режимах:

- обрыв фазы;
- перегрузка;
- заклинивание ротора электродвигателя.

5.4 Выбор аппаратов управления электроприводом

Аппараты управления - это кнопки, переключатели, контакторы или магнитные пускатели, реле промежуточные, реле времени и т. п. Электромагнитные пускатели (контакторы) выбирают:

- по номинальному напряжению:

$$U_{\text{н. п}} \geq U_{\text{н. с}}, \quad (5.9)$$

где $U_{\text{н. п}}$ - номинальное напряжение пускателя (контактора), В;

$U_{\text{н. с}}$ - номинальное напряжение сети, В;

- по номинальному току:

$$I_{\text{н. п}} \geq I_{\text{дл}}, \quad (5.10)$$

где $I_{\text{н. п}}$ - номинальный ток пускателя (контактора), А;

$I_{\text{дл}}$ - длительный расчетный ток линии, в которой установлен пускатель (контактор), А;

- по номинальному напряжению обмотки (катушки) электромагнитного пускателя (контактора):

$$U_{н.к} \geq U_{н.у}, \quad (5.11)$$

где $U_{н.к}$ – номинальное напряжение обмотки (катушки) пускателя (контактора), В;

$U_{н.у}$ – номинальное напряжение цепи управления, в которую включается обмотка (катушка) магнитного пускателя (контактора), В.

Выбираем магнитный пускатель ПМЛ-110004 с $U_{н.п} = 400$ В, $U_{н.к} = 230$ В, $I_{н.п} = 10$ А и проверяем его по условиям (5.9), (5.10) и (5.11):

$$400 \geq 400;$$

$$10 \geq 6,4;$$

$$230 \geq 230$$
 - Магнитный пускатель проходит по условиям.

Датчики уровня принимаем санитарного исполнения (непосредственный контакт с кормом) - ДУ-04-0,2-230 перем.-Т (ДУ - датчик уровня; 04 – наклонный (45°) без регулировки погружения; 0,2 – максимальная длина погружения, м; 230 перем. – переменное напряжение 230 В; Т – типовая лопатка).

Управление схемой обеспечиваем кнопками управления. Выбираем кнопки КЕ-011. Кнопки имеют электрически не связанные замыкающие и размыкающие контакты с двойным разрывом. Номинальное напряжение переменного тока 660 В, частота 50 Гц переменного тока, номинальный ток контактов - 10 А.

В качестве сигнальной арматуры выбираем 2 лампы светосигнальные на напряжение 230 В, 50 Гц нормальной яркости, зеленые с плоским светофильтром СКЛ-12-А 23-230 [1].

									Лист
									41
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	03.43.028.18-ПЗ			

6 Определение показателей разработанного электропривода

6.1 Расчет показателей надежности разработанного электропривода

Повышение надежности сокращает простои, упрощает организацию ремонта, сокращает потребность в запчастях и т. д., т. е. в конечном итоге приводит к положительному экономическому эффекту.

Электропривод относится к восстанавливаемым системам и характеризуется следующими *показателями надежности*:

1. Вероятность наработки между отказами

$$R(T_3) = e^{-\Lambda T_3}, \quad (6.1)$$

где T_3 - заданное время работы (в часах);

Λ - параметр потока отказов.

2. Параметр потока отказов

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i, \quad (6.2)$$

где λ_i - интенсивность отказа базового элемента.

3. Нарботка на отказ

$$\bar{t}_H = \frac{1}{\Lambda}. \quad (6.3)$$

Показатели ремонтпригодности:

1. Среднее время восстановления системы $\bar{\tau}_g$.
2. Вероятность восстановления системы в заданное время

$$\theta(\bar{\tau}_3) = 1 - \left(1 + 2 \frac{\bar{\tau}_3}{\bar{\tau}_B} \right) \cdot e^{-\frac{2\bar{\tau}_3}{\bar{\tau}_B}}, \quad (6.4)$$

где $\bar{\tau}_B$ - минимальное время, заданное техническими условиями для восстановления системы с целью не нарушить технологический процесс, это время может быть принято равным допустимому времени простоя оборудования, ч;

$\bar{\tau}_3$ - минимальное время, заданное на восстановление системы.

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	03.43.028.18-ПЗ				Лист
										42

3. Коэффициент готовности:

$$K_{\Gamma} = \frac{\bar{t}_H}{\bar{t}_H \bar{\tau}_B}. \quad (6.5)$$

Результаты расчета для основных элементов принципиальной схемы, которые влияют на общую надежность системы, сводим в таблицу 6.1, которую рассчитаем согласно методике, изложенной в [1].

Пользуясь полученными данными, по таблице 6.1 можно определить:

- среднее время восстановления системы:

$$\bar{\tau}_B = 2,727 \text{ ч};$$

- параметр потока отказов:

$$\Lambda = 0,03 \cdot 10^{-6} \sum_{i=1}^N N_i K_i = 0,03 \cdot 10^{-6} \cdot 2190 = 0,0000657 \text{ 1 / ч};$$

- вероятность наработки между отказами $R(T_3)$:

$$R(T_3) = e^{-0,0000657 \cdot 567,0} = 0,96343;$$

- наработка на отказ:

$$\bar{t}_H = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{0,0000657} = 15220 \text{ ч};$$

- среднее время восстановления системы в заданное время $\bar{\tau}_3$:

$$\theta(\bar{\tau}_3) = 1 - \left(1 + 2 \frac{\bar{\tau}_3}{\bar{\tau}_B} \right) \cdot e^{-\frac{2\bar{\tau}_3}{\bar{\tau}_B}} = 1 - \left(1 + 2 \cdot \frac{20,9}{2,727} \right) \cdot e^{-\frac{2 \cdot 20,9}{2,727}} = 0,999993;$$

- коэффициент готовности K_{Γ} :

$$K_{\Gamma} = \frac{\bar{t}_H}{\bar{t}_H \bar{\tau}_B} = \frac{15220}{15220 + 2,727} = 0,99982086.$$

Таблица 6.1 – Перечень элементов схемы, условия их эксплуатации, поправочные коэффициенты и параметры надежности

№	Наименование и тип элемента	Позиционное обозначение	Номинальный параметр элемента	Номинальный коэффициент надежности K_i	Фактические параметры	Коэффициент электрической нагрузки $K_{\text{наг}}$	Температура окружающей среды, °С	Поправочные коэффициенты по графикам приложений			
								α_1	α_2	α_3	α_4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Электродвигатель	М	$P_H = 3 \text{ кВт}$	64	2,13	0,71	40	1	10	0,28	1
2	Магнитный пускатель (силовые контакты)	КМ	$I_H = 10 \text{ А}$	25	6,40	0,64	40	1	2,5	0,64	1
3	Магнитный пускатель (катушка)	КМ	$U_H = 230 \text{ В}$	20	230	1,00	40	1	2,5	1	2,6
4	Магнитный пускатель (блок-контакты)	КМ	$I_H = 6 \text{ А}$	25	0,20	0,03	40	1	2,5	0,21	1
5	Устройство защиты	А	$I_H = 10 \text{ А}$	180	6,70	0,67	40	1	2,5	1	1
6	Автоматический выключатель	QF1	$I_H = 63 \text{ А}$	52,4	6,70	0,11	40	1	2,5	0,24	1
7	УЗО	QF2	$I_H = 16 \text{ А}$	60	6,70	0,42	40	1	2,5	0,4	1
8	Автоматический выключатель	QF3	$I_H = 63 \text{ А}$	26,2	1,00	0,02	40	1	2,5	0,21	1
9	Датчик уровня	SL	-	83,3	-	-	40	1	10	1	1
10	Кнопка управления	SB1, SB2	$I_H = 10 \text{ А}$	5	0,30	0,03	40	1	2,5	0,21	1
11	Мотор-редуктор	-	-	43,2	-	-	40	1	10	1	1

03.43.028.18-ПЗ

44

Лист

Изм.	
Коллч.	
Лист	
№ док.	
Подпись	
Дата	

03.43.028.18-ПЗ

Лист
45

Продолжение таблицы 6.1

№	Коэффициент надежности с учетом поправочного коэффициента K_i	Коэффициент использования элемента $I_{i,исп}$	Результующий коэффициент надежности K_i''	Количество элементов N_i	$\frac{N_i}{K_i''}$	$\frac{(N_i \cdot K_i'')}{\sum N_i \cdot K_i''}$	Среднее время восстановления τ_{vi} , ч	$\frac{N_i K_i''}{\sum_{i=1}^n N_i K_i''} \bar{\tau}_{vi}$	Примечание
1	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	179,2	1	179,2	1	179,2	0,08	3,28	0,262	
2	40,0	1	40,0	1	40,0	0,02	1,83	0,037	
3	129,8	1	129,8	1	129,8	0,06	1,83	0,110	
4	13,1	1	13,1	1	13,1	0,01	1,83	0,018	
5	450,0	1	450,0	1	450,0	0,21	1,83	0,384	
6	31,4	1	31,4	1	31,4	0,01	0,625	0,006	
7	60,0	1	60,0	1	60,0	0,03	0,625	0,002	
8	13,8	1	13,8	1	13,8	0,01	0,625	0,006	
9	833,0	1	833,0	1	833,0	0,38	3,28	1,246	
10	2,6	1	2,6	2	5,2	0,00	1,83	0,000	
11	432,0	1	432,0	1	432,0	0,20	3,28	0,656	
				Итого	2190		20,9	2,727	

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-0,82}{0,82} \right) \left(\frac{\frac{0,36}{0,70} + 0,70}{0,36+1} \right)} = 0,84;$$

$$P_{1\text{экв}} = \frac{2,13}{0,84} = 2,54 \text{ кВт};$$

$$a = \frac{2,54}{20} = 0,127 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{т}.$$

Средний коэффициент мощности определяется по формуле

$$\cos \varphi_{\text{ср}} = \frac{P_{1\text{ср}}}{\sqrt{3} U_{\text{ср}} I_{\text{ср}}}, \quad (6.10)$$

где $U_{\text{ср}}$ - среднее линейное напряжение, принимаем равным 400 В;

$I_{\text{ср}}$ - средний линейный ток за время работы электродвигателя, А, соответствует мощности на валу $P_{2\text{экв}}$ и находится по электромеханической характеристике для выбранного электродвигателя по моменту

$$M_{\text{ср}} \approx \frac{P_{2\text{экв}}}{\omega_{\text{нд}}} \approx \frac{2,13 \cdot 1000}{148,1} \approx 14,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тогда по электромеханической характеристике находим $I_{\text{ср}} = 5 \text{ А}$.

$$\cos \varphi_{\text{ср}} = \frac{2540}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 5} = 0,73.$$

Общее время установки в году определяется из условий работы, ч:

$$\sum t = t_{\text{раб}} N_{\text{сут}} N_{\text{вкл. сут}}, \quad (6.11)$$

где $t_{\text{раб}}$ - время одного включения или одного цикла работы, ч;

$N_{\text{сут}}$ - число рабочих суток в году;

$N_{\text{вкл. сутки}}$ - число включений в сутки.

7 Разработка ящика управления электроприводом

7.1 Определение суммарной площади монтажных зон аппаратов и типа ящика управления

Габариты ящика управления определяются количеством и размерами аппаратов управления, защиты и сигнализации, размещенными в ящике, а следовательно, площадью, занимаемой монтажными зонами аппаратов. Размеры аппаратов и их монтажных зон принимаем из [3]. При определении необходимой площади стенки и двери ящика в расчетах используем размеры монтажных зон аппаратов. Однако при составлении чертежа «Ящик управления. Чертеж общего вида» для наглядности вычерчиваем аппараты не по размерам их монтажных зон, а по размерам аппаратов по фланцу.

Для размещения аппаратов управления и защиты электропривода выбираем ящик управления электроприводом серии ЯУЭ, который обеспечивает степень защиты IP54, имеет сальники, специальные замки для фиксации двери.

Расчет площадей монтажных зон аппаратов производим в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Определение монтажных зон и размеров аппаратов

Позиционное обозначение аппарата	Высота монтажной зоны H , мм	Ширина монтажной зоны B , мм	$B \cdot H$, мм ²	Высота аппарата h , мм	Ширина аппарата b , мм	Позиционное обозначение аппарата	Высота монтажной зоны H , мм	Ширина монтажной зоны B , мм	$B \cdot H$, мм ²	Высота аппарата h , мм	Ширина аппарата b , мм
На рейках задней стенки						На двери ящика управления					
QF1	120	72	8640	81	72	SB1	62	60	3720	42	40
QF2	120	72	8640	81	72	SB2	62	60	3720	42	40
QF3	120	36	4320	81	36	HL1	40	40	1600	30	30
КМ	116	87	10092	76	47	HL2	40	40	1600	30	30
А	110	110	12100	90	70						
ХТ	70	100	7000	32,5	83						
$\Sigma B \cdot H =$			50792			$\Sigma B \cdot H =$			10640		

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

03.43.028.18-ПЗ

Лист

49

Схему выполняем без масштаба. При этом аппараты (включая ряды зажимов) показываем в соответствии с их действительным расположением.

Аппараты изображаем в виде монтажных символов, представляющих собой схемы внутренних соединений отдельных аппаратов, приборов. Символ аппарата обводится тонкой сплошной линией, на чертеже размещаем свободно с учетом места для размещения их нумерации, а также с учетом маркировки отходящих от аппаратов проводов. Каждому аппарату присваиваем номер. Номера проставляем слева направо, сверху вниз по порядку, Начиная с 1, сначала для одной сборочной единицы, затем для другой. Нумерация проставляется в кружочках. При этом над чертой записываются порядковый номер аппарата, а под чертой - позиционное обозначение этого аппарата на схеме.

7.3 Выбор проводов для схемы соединения ящика управления и кабелей для схемы внешних соединений

Обычно в силовой цепи ящика управления используют медные одножильные провода типа ПВ1, а в цепях управления - многожильные медные провода типа ПВ3 сечением до 1 мм^2 . Сечение проводников определяем по допустимому току. Проводники группируем в жгуты или размещаем их в перфорированных коробах. Допустимый ток проводника, прокладываемого в шкафу, определяется по формуле:

$$I'_{\text{доп}} = 0,7 I_{\text{доп}}, \quad (7.2)$$

где $I_{\text{доп}}$ - допустимый ток для проводника, берется по таблице 7.5 [1], А.

$$I'_{\text{доп}} = 0,7 \cdot 16,1 = 11,27 \text{ А}.$$

В качестве проводников в силовой цепи ящика управления используем провод ПВ1 сечением $1,5 \text{ мм}^2$. Для цепей управления принимаем провод ПВ3 сечением $0,5 \text{ мм}^2$.

							Лист
						03.43.028.18-ПЗ	51
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Для питания электродвигателя нории ориентировочно принимаем кабель АВВГнг 4×2,5. Согласно таблице 7.5 [1] с учетом поправочного коэффициента на четырехжильный алюминиевый кабель, $I_{\text{доп}} = 17,5 \text{ А}$.

Производим проверку кабеля по условию (7.3):

$$17,5 \geq \frac{6,4}{1 \cdot 1}; 17,5 \text{ А} \geq 6,4 \text{ А} - \text{условие выполняется.}$$

По условию электрической защиты отдельных участков сети, выбор сечения проводника производим также по формуле (7.4):

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_3 K_3}{K_1 K_2}, \quad (7.4)$$

где I_3 – ток срабатывания аппарата защиты (теплового расцепителя для автоматического выключателя), А;

K_3 – коэффициент кратности, характеризующий отношение между допустимым током проводника и током аппарата защиты (согласно таблице 7.9 [1]).

$$17,5 \geq \frac{10 \cdot 1}{1 \cdot 1}; 17,5 \text{ А} \geq 10 \text{ А} - \text{условие выполняется.}$$

В условиях курсовой работы по допустимой потере напряжения проверить сечение проводника не обязательно [1].

Таким образом, для силовой цепи рассчитываемого электродвигателя окончательно принимаем кабель АВВГнг 4×2,5 – четырехжильный кабель с алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией и поливинилхлоридной оболочкой, не поддерживающей горение, без брони, с сечением токоведущих жил, равным 2,5 мм².

Для питания датчика уровня используем кабель КГ 2×0,5.

									Лист
									53
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	03.43.028.18-ПЗ			

8 Заключение по работе

Для анализа полученных результатов составляем таблицу 8.1. В левой части таблицы излагаем требования к электроприводу, а в правой - полученные результаты.

Таблица 8.1 – Полученные результаты

№	Требования по заданию	Полученные результаты
1	Мощность на валу рабочей машины - 2 кВт, при частоте вращения - 70 об/мин	Мощность на валу электродвигателя - $P_{сн} = 2,13$ кВт при частоте вращения $n_{н.дв} = 1410$ об/мин.
2	Характеристика помещения, где установлен электродвигатель - установка на открытом воздухе, IP44	Электродвигатель АИР100S4СУ1, $P_n = 3$ кВт, $n_n = 1410$ об/мин, IP44
3	Температура превышения при нагреве обмотки за цикл работы менее допустимой рабочей для класса изоляции	Действительная температура обмотки за цикл нагрузочной диаграммы составляет $59,76$ °С, класс изоляции - F, допустимая рабочая температура 100 °С
4	Максимальный приведенный момент в цикле нагрузочной диаграммы, $14,4$ Н·м	Максимальный момент электродвигателя с учетом 10 % снижения напряжения, $M_{кр} = 36,2$ Н·м
5	Минимальный приведенный момент сопротивления рабочей машины при пуске, $18,3$ Н·м	Минимальный момент электродвигателя при пуске с учетом 10 % снижения напряжения, $M_{мин} = 26,4$ Н·м
6	Приведенный момент сопротивления трогания рабочей машины, $21,6$ Н·м	Пусковой момент электродвигателя с учетом 10 % снижения напряжения, $M_n = 32,9$ Н·м
7	Минимум передач	Мотор-редуктор, $i = 20$
8	Пуск, обеспечивающий малое падение напряжения в линии	Прямой пуск, время пуска $0,12$ с
9	Управление по заданию: 1. Дистанционное ручное управление. 2. Световая индикация состояния. 3. Защита цепей от коротких замыканий. 4. Защита электродвигателя в аварийных состояниях по критерию эффективности.	Управление по заданию: 1. Дистанционное ручное управление. 2. Световая индикация состояния. 3. Защита цепей от коротких замыканий. 4. Защита электродвигателя в аварийных состояниях по критерию эффективности.
10	Аппарат защиты с наибольшей эффективностью	Принят аппарат защиты СИЭЗ с показателем эффективности $\Theta = 0,731$

Таблица 8.1 – Результаты работы над проектом - продолжение

№	Требования задания	Полученные результаты
11	Показатели надежности наилучшие	<p>В проекте достигнуты следующие показатели надежности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - среднее время восстановления системы $\bar{\tau}_B = 2,727$ ч; - параметр потока отказов $\Lambda = 0,0000657$; - вероятность наработки между отказами $R(T_3) = 0,96343$; - наработка на отказ $\bar{t}_H = 15220$ ч; - среднее время восстановления системы в заданное время $\bar{\tau}_3$: <p>$\theta(\bar{\tau}_3) = 0,999993$;</p> <ul style="list-style-type: none"> - коэффициент готовности $K_r = 0,99982086$.
12	Показатели разработанного электропривода наилучшие	<ul style="list-style-type: none"> - удельная энергоемкость электропривода: $a = 0,127$ кВт·ч/т; - средний коэффициент загрузки электродвигателя: $K_{H,CP} = 0,71$; - средний коэффициент мощности: $\cos\phi_{CP} = 0,73$; - расход электроэнергии за год: $W_1 = 1440$ кВт·ч
13	Ящик управления соответствующей степени защиты и наименьших габаритов	Ящик ЯУЭ-0643, габаритами 600×400×350 мм и степенью защиты IP54
14	Применить в проекте ресурсо- или энергосберегающее решение, или повысить производительность рабочей машины или труда оператора	<ul style="list-style-type: none"> - во время работы электропривода не перегружать электродвигатель; - сократить время простоев; - сократить время работы электропривода на холостом ходу.

Список использованных источников

1. Дайнеко, В. А. Электропривод. Проектирование нерегулируемого электропривода рабочей машины : учебно-методическое пособие к курсовой работе / БГАТУ ; сост. В. А. Дайнеко, Н. А. Равинский, Е. М. Прищепова, Т. Г. Базулина, В. Л. Петрович - Минск, 2018.

2. Методические указания по выполнению курсовой работы «Электропривод». Составители : Л. А. Калинин, П. Т. Шипуль. - Минск : БГАТУ, 1992. - 158 с.

3. Проектирование электрооборудования: Методические указания к курсовому проекту для студентов специальности 1–74 06 05. / А. К. Занберов, Е. И. Лицкевич, А. Г. Мамчиц. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск. : Ротапринт БАТУ, 2005. – 135 с.

4. Потапов, Г. П. Погрузочно-транспортные машины для животноводства : справочник / Г. П. Потапов. - Москва : Агропромиздат, 1990. - 239 с.

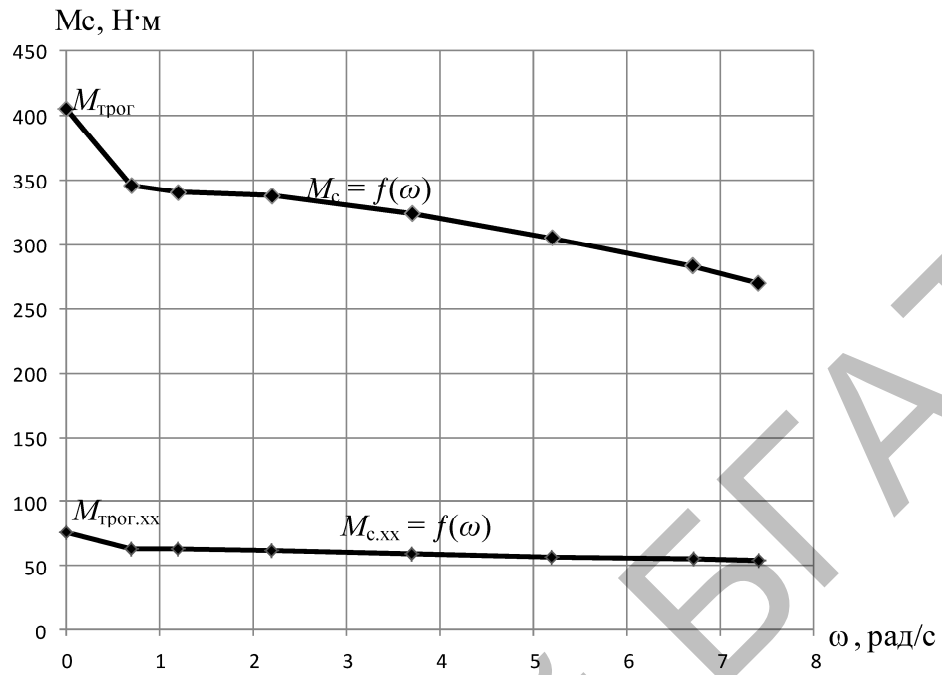
5. Электропривод : методические указания к практическим занятиям для студентов агроэнергетического факультета специальности 1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика)» / БГАТУ, кафедра Электрооборудования СХП ; сост. : Е. В. Бабаева. - Минск, 2008. - 75 с.

6. Светодиодные коммутаторные лампы СКЛ. Сигнальная арматура / каталог [Электронный ресурс]. - Режим доступа : http://www.110volt.ru/sites/foto/ria/pdf/skl_katalog.pdf. - Дата доступа : 08.02.2018 г.

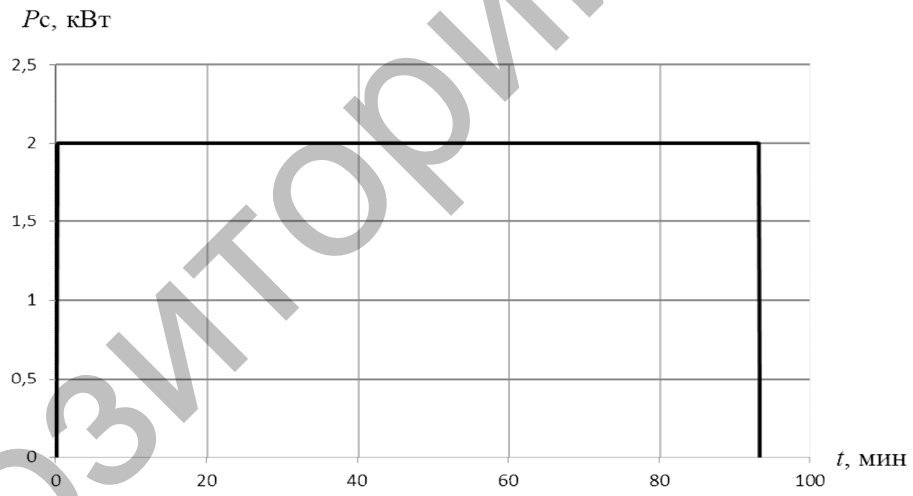
7. Общие требования к организации проектирования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ) : учебно-методическое пособие / В. В. Гурин, Е. С. Якубовская, И. П. Матвеевко [и др.]. - Минск, БГАТУ, 2014. - 144 с.

8. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.

							03.43.028.18-ПЗ	Лист
								56
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата			

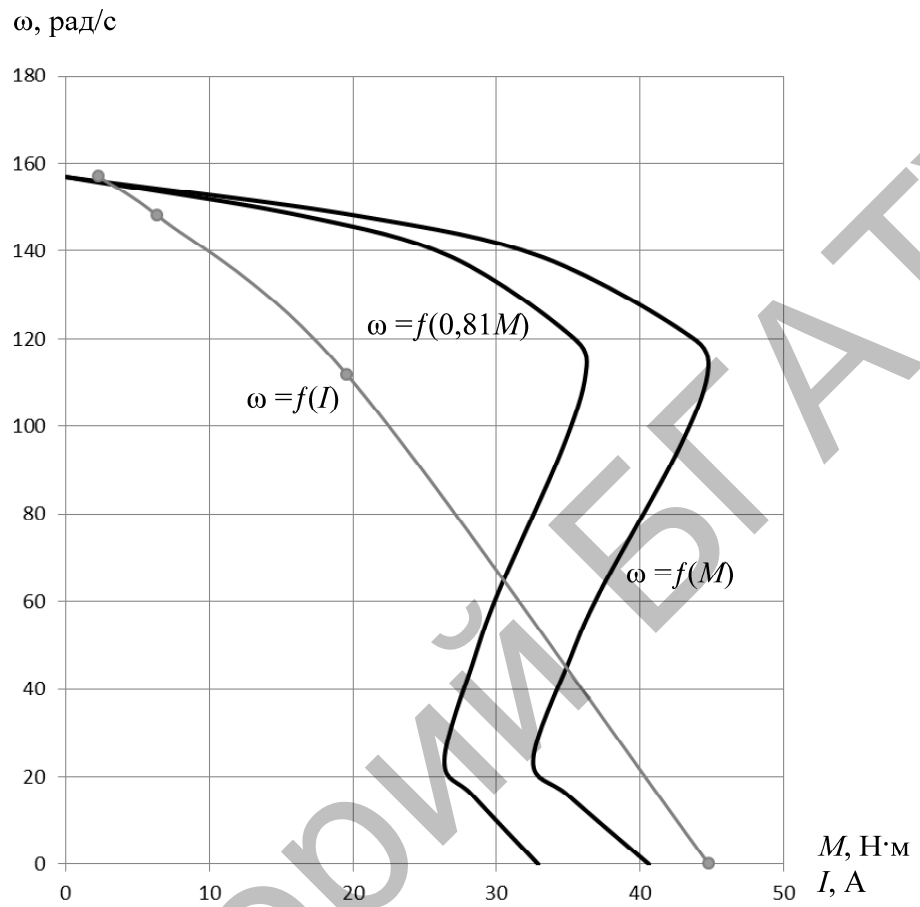


Механическая характеристика рабочей машины

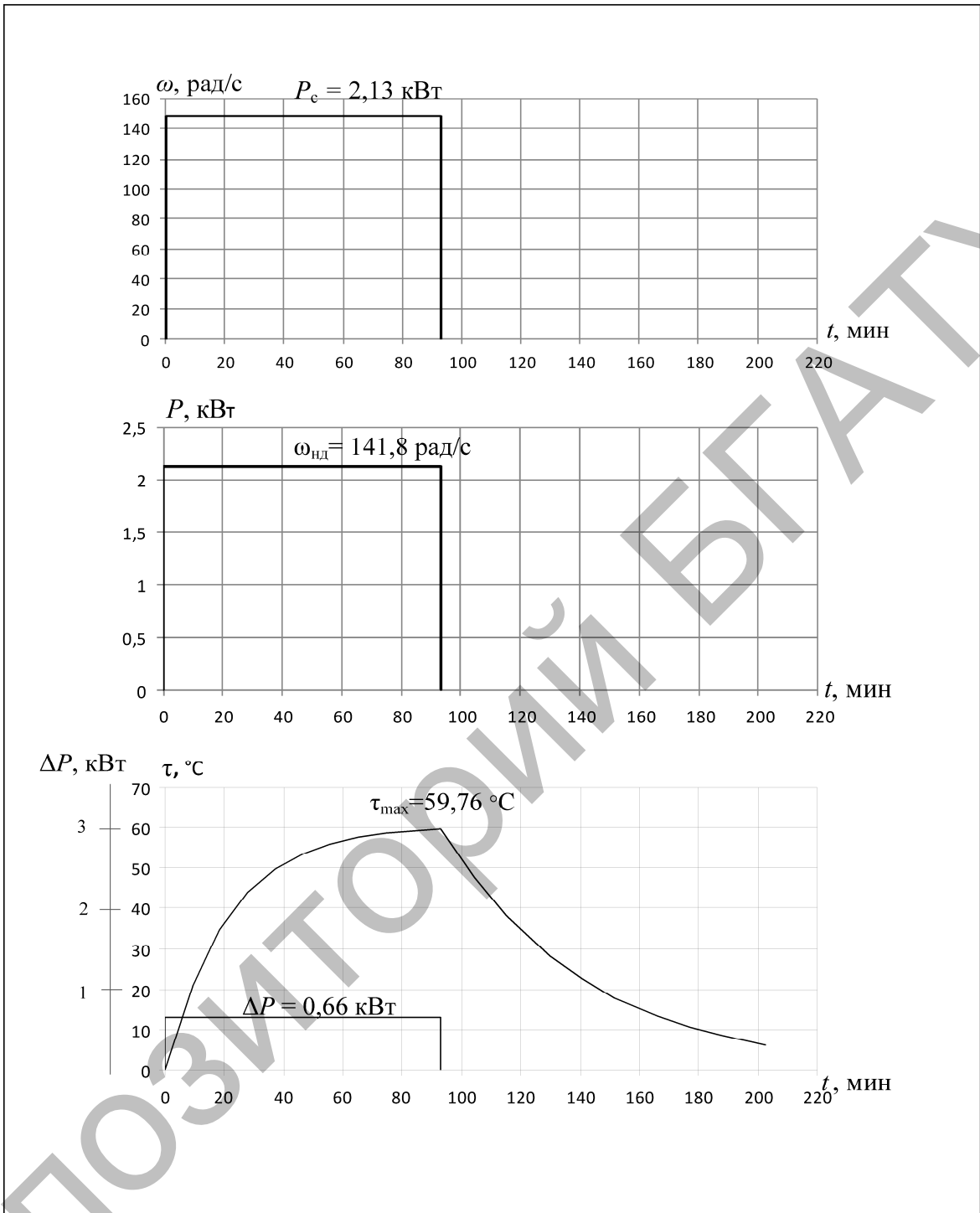


Нагрузочная диаграмма рабочей машины

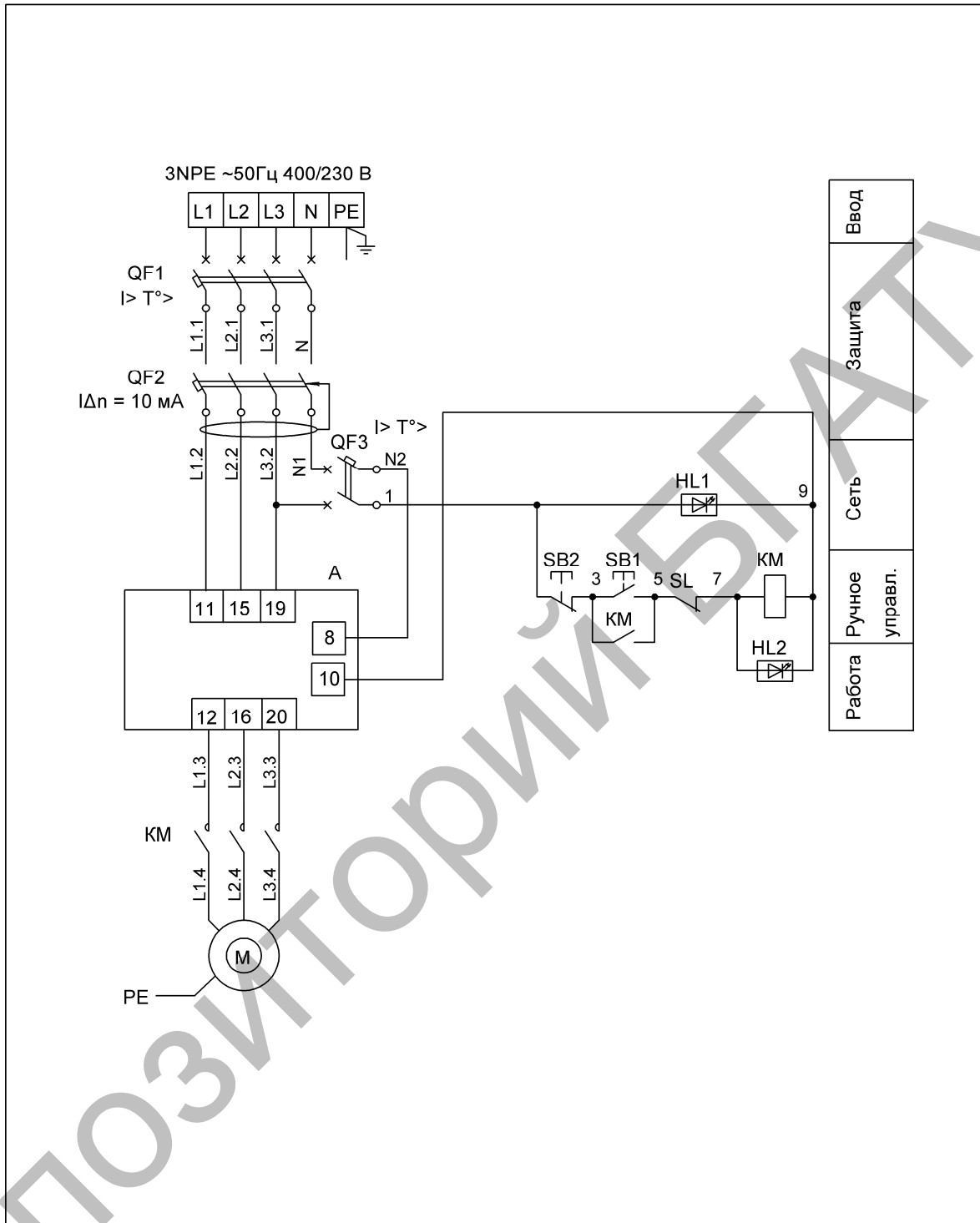
						03.43.028.18 – ЭМ.П1		
						Проектирование электропривода установки НПК-20		
Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подпись	Дата			
Разраб.		Ивашов И.И				Стадия	Лист	Листов
Руковод.						УП	1	9
						Механические характеристики и нагрузочная диаграмма рабочей машины		
						БГАТУ 11111		



						03.43.028.18 – ЭМ.П2		
						Проектирование электропривода установки НПК-20		
Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подпись	Дата			
Разраб.		Ивашов И.И				Стадия	Лист	Листов
Руковод.						УП	2	9
						Зерносушильный комплекс		
						Механические и электромеханическая характеристика двигателя		
						БГАТУ 11111		

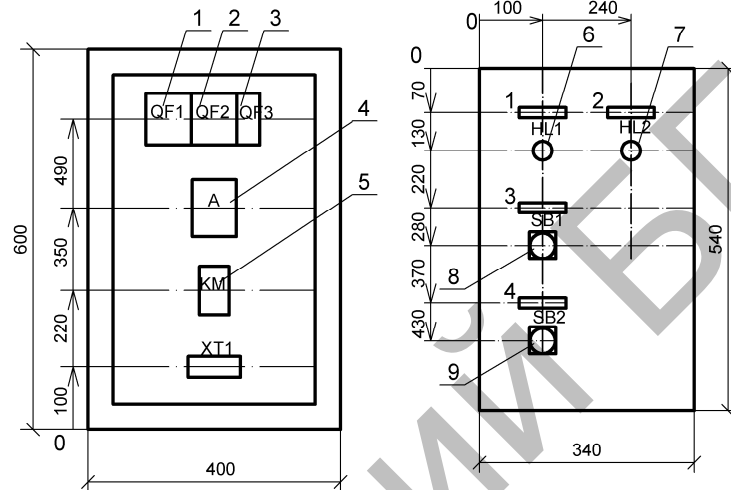


						03.43.028.18 – ЭМ.ПЗ		
						Проектирование электропривода установки НПК-20		
Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подпись	Дата			
Разраб.		Ивашов И.И.				Зерносушильный комплекс		
Руковод.								
						УП	3	9
						Нагрев и охлаждение электродвигателя (за цикл нагрузочной диаграммы)		
						БГАТУ 11111		



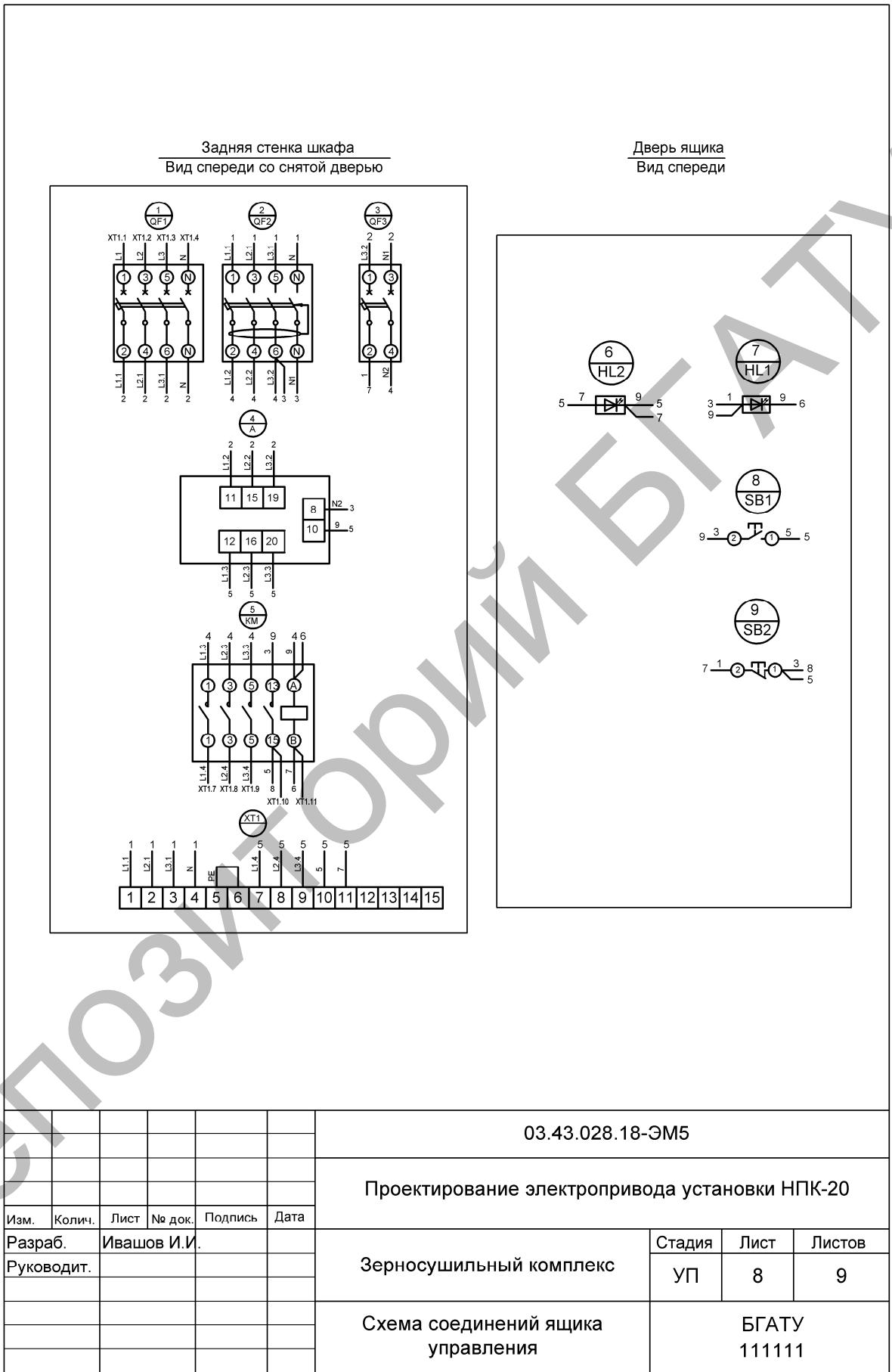
						03.43.028.18-ЭМ1		
						Проектирование электропривода установки НПК-20		
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата			
Разраб.		Ивашов И.И.						
Руководит.								
						Зерносушильный комплекс		
						Стадия	Лист	Листов
						УП	4	9
						Принципиальная электрическая схема управления электроприводом		
						БГАТУ 111111		

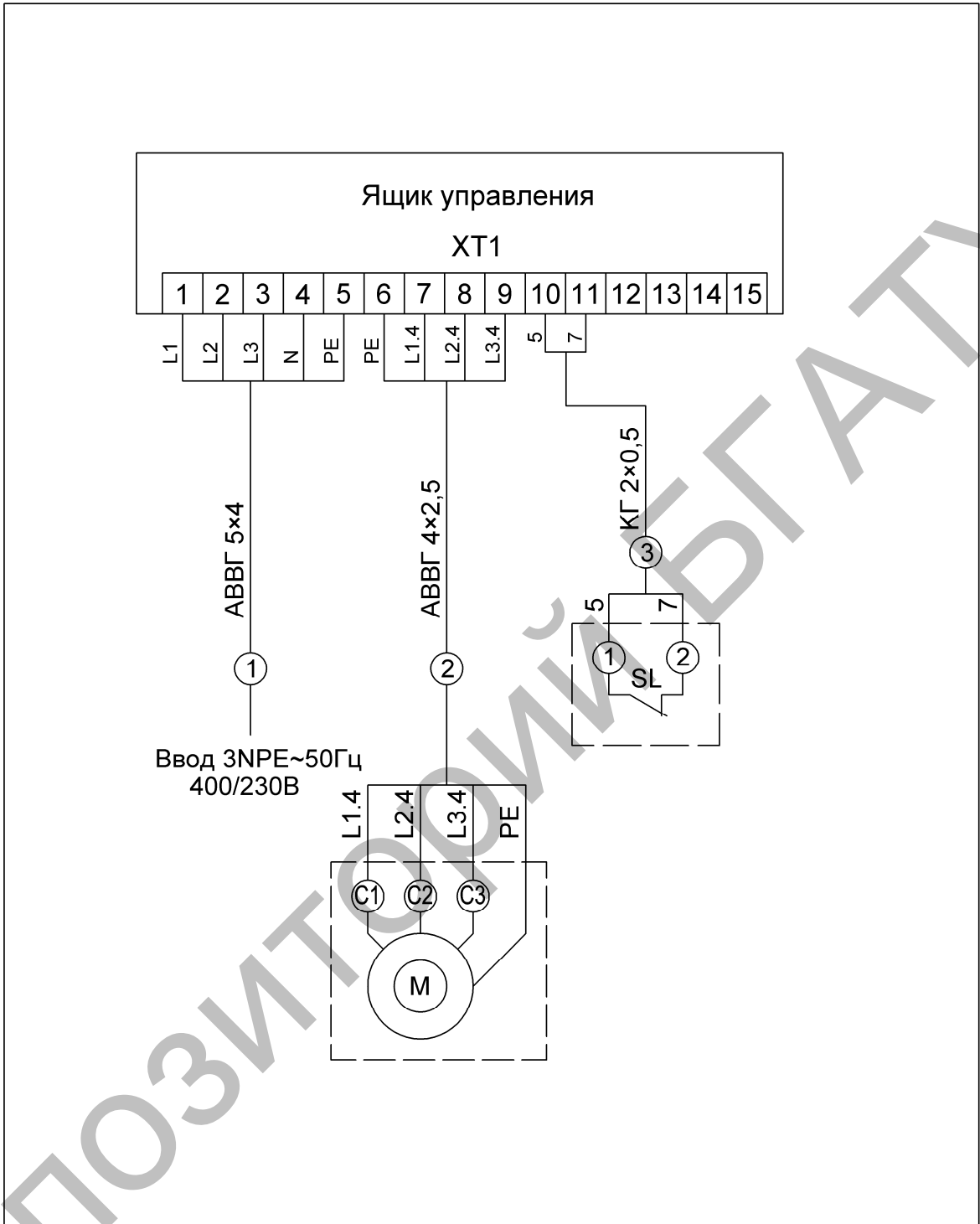
M 1:10



						03.43.028.18-ЭМ2			
						Проектирование электропривода установки НПК-20			
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Зерносушильный комплекс	Стадия	Лист	Листов
Разраб.		Ивашов И.И.					УП	5	9
Руководит.						Схема расположения аппаратов в ящике управления			
						БГАТУ 111111			

Формат	Зона	Поз	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A4			03.43.028.18-ЭМ2	Схема расположения аппаратов в ЯУ	1	
A4			03.43.028.18-ЭМ3	Технические данные аппаратов ЯУ	1	
A4			03.43.028.18-ЭМ4	Перечень надписей ящика управления	1	
A4			03.43.028.18-ЭМ5	Схема соединений ящика управления	1	
				<u>Сборочные единицы</u>		
				<u>Н1 (задняя панель)</u>		
		1		Автоматический выключатель ВА47-29-4D10УХЛ3	1	QF1
		2		Устройство защитного отключения ВД1-63 / 4 / 16 / 10	1	QF2
		3		Автоматический выключатель ВА47-29-2В2УХЛ3	1	QF3
		4		Устройство защиты СиЭЗ-4А	1	А
		5		Электромагнитный пускатель ПМЛ-110004 Зажим наборный ЗН27-2,5М10-25 Д/Д У3	1 1	КМ ХТ1
				<u>Н2 (дверь)</u>		
		6,7		Светодиодная арматура СКЛ-12-А23-230	2	НЛ1, НЛ2
		8,9		Кнопки управления КЕ-011	2	SB1, SB2
				03.43.028.18 – ЭМ3		
				Проектирование электропривода установки НПК-20		
Изм.	Кол.	Лист	№ док	Подпись	Дата	
Разраб.		Ивашов И.И				Стадия
Руковод.						Лист
						Листов
						УП
						6
						9
						Технические данные аппаратов ящика управления
						БГАТУ 111111





						03.43.028.18-ЭМ6		
						Проектирование электропривода установки НПК-20		
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата			
Разраб.	Ивашов И.И.					Стадия	Лист	Листов
Руководит.						УП	9	9
						Зерносушильный комплекс		
						Схема внешних соединений элементов электропривода		
						БГАТУ 111111		

Репозиторій БГАТУ

Приложения

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Таблица А.1 – Основные степени защиты асинхронных электродвигателей серии АИР

Обозначение исполнения	Характеристика	Высота оси вращения, мм
IP44	<p>Оболочка электродвигателя защищает от попадания внутрь твердых тел размером более 1 мм и от прикосновения токоведущих или движущихся частей с твердыми телами размером более 1 мм. Вода в виде брызг, попадающая на двигатель в любом направлении, не может вредно повлиять на его работу.</p> <p>Вводное устройство степени защиты IP54</p>	45...355
IP54	<p>Полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями; пыль, попадая внутрь машины, не нарушает ее номинальную работу.</p> <p>Вода в виде брызг, попадая на двигатель в любом направлении, не может вредно повлиять на его работу.</p> <p>Вводное устройство степени защиты IP54</p>	45...355
IP23	<p>Оболочка электродвигателя защищает от попадания внутрь твердых тел с диаметром более 12,5 мм или от случайного прикосновения к токоведущим (или движущимся) частям пальцев или предметов длиной не более 80 мм.</p> <p>Вода в виде брызг, попадая под углом не более 60° к вертикали, не оказывает вредного влияния на работу электродвигателя.</p> <p>Вводное устройство степени защиты IP54 и IP44</p>	200...355

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Таблица Б.1 – Категории помещений, их характеристика и рекомендуемые для этих помещений исполнения электродвигателей серий АИР или 4А

Категория помещения по ПУЭ	Параметры среды		Виды помещений	Исполнения электродвигателя
	Температура, °С	Относительная влажность при 20 °С, %		
Сухие	10...25	до 60	Ремонтные мастерские, инкубаторы, отапливаемые склады, гаражи, котельные и другие помещения.	IP44 АИР...У3, 4А...У3
Влажные	10...25	60...75	Подсобные помещения, склады. Помещения, примыкающие к коровникам, помещения для холодильного оборудования, для ремонта оборудования и т. п.	IP44 АИР...У5, 4А...У5
Сырые	5...25	>75, но <100; кратковременно возможна конденсация влаги	Цеха по переработке продуктов животноводства, плодов и овощей; периодически не отапливаемые помещения, вакуум-насосные, кормовозные проходы, помещения для теплогенераторов и т. п.	IP44 АИР...У5, АИР...У2, 4А...У5, 4А...У2
Особо сырые	40...+40	75...100; потолок, стены и предметы покрыты влагой	Кормоприготовительные цеха для влажных кормов, овощехранилища, фруктохранилища, парники, теплицы, молочные отделения цехов, доильные залы, молочные блоки и отделения, силосные и сенажные блоки, наружные установки под навесом, сараи и подсобные неотапливаемые помещения с температурой и влажностью, не отличающимися от наружных условий, и т. п.	IP44 АИР...У2, АИР...ХЛ2, 4А...У2, 4А...ХЛ2
Особо сырые с химически активной средой	5...20	То же, но дополнительно в воздухе пары аммиака, сероводорода или других газов	Помещения для содержания крупного рогатого скота, свиней, птицы и др. животных при отсутствии в них установок по созданию микроклимата. Склады минеральных удобрений, помещения для протравливания семян и т. п.	IP44 АИР...СУ1, АИР...ХУ3, 4А...СУ1, 4А...ХУ3
Пыльные (запыленность 60...250 мг/м ³); пыль оседает на оборудование	5...25	До 60	Мельницы, цеха по приготовлению сухих концентрированных кормов, склады сыпучих материалов, послеуборочной обработки зерна и технических культур, элеваторы и т. п.	IP54 АИР...УПУ3, 4А...УПУ3

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Таблица В.1 – Приближенное значение постоянной времени нагрева асинхронных электродвигателей с нормальным КЗ ротором мощностью до 90 кВт серии АИР

Тип электродвигателя серии АИР	Номинальная мощность, кВт	Постоянная времени нагрева T_H , мин	Тип электродвигателя серии АИР	Номинальная мощность, кВт	Постоянная времени нагрева T_H , мин
$w_0 = 314$ рад/с			...160S6	11	33,51
...50A2	0,09	20,21	$w_0 = 157$ рад/с		
...50B2	0,12	18,54	...50A4	0,06	22,8
...56A2	0,18	18,73	...50B4	0,09	13,76
...56B2	0,25	14,09	...56A4	0,12	22,16
...63A2	0,37	15,34	...56B4	0,18	17,98
...63B2	0,55	13,07	...63A4	0,25	19,09
...71A2	0,75	18,98	...63B4	0,37	15,01
...71B2	1,1	18,05	...71A4	0,55	20,30
...80A2	1,5	16,70	...71B4	0,75	19,03
...80B2	2,2	17,56	...80A4	1,1	16,20
...90L2	3	18,20	...80B4	1,5	17,15
...100S2	4	21,63	...90L4	2,2	19,77
...100L2	5,5	21,90	...100S4	3	19,66
...112M2	7,5	22,95	...100L4	4	23,20
...132M2	11	25,60	...112M4	5,5	28,65
...160S2	15	30,78	...132S4	7,5	32,48
...160M2	18,5	28,85	...132M4	11	26,71
...180S2	22	47,10	...160S4	15	16,00
...180M2	30	43,66	...160M4	18,5	14,80
...200M2	37	46,08	...180S4	22	56,60
...220L2	45	44,15	...180M4	30	49,08
...225M2	55	51,65	...200M4	37	58,80
...250S2	75	54,20	...200L4	45	53,30
...250M2	90	48,35	...225M4	55	58,25
$w_0 = 104,5$ рад/с			...250S4	75	67,66
...63A6	0,19	14,56	...250M4	90	60,15
...63B6	0,25	15,05	$w_0 = 104,5$ рад/с		
...71A6	0,37	23,48	...160M6	15	32,11
...71B6	0,55	20,41	...180S4	18,5	59,70
...80A6	0,75	21,56	...200M6	22	66,26
...80B6	1,1	20,80	...200L6	30	54,00
...90L6	1,5	21,40	...225M6	37	60,00
...100L6	2,2	26,50	...250S6	45	76,95
...112MA6	3	29,83	...250M6	55	69,41
...112MB6	4	27,60	...280S6	75	75,41
...132M6	7,5	32,06	...280M6	90	74,60

ПРИЛОЖЕНИЕ Г (справочное)

Технические данные электродвигателей серий АИР и 4А

Таблица Г.1 – Технические данные электродвигателей серии АИР основного исполнения до 90 кВт

Типо размер электро двигателя	Номинал. мощ ность P_n , кВт	Номинальные значения			Кратности моментов, о. е.			Крат- ность пуск. тока K_i , о.е.	Момент инерции $J_{р.д.}$ кг·м ²	Масса m , кг
		КПД η , %	$\cos \varphi_n$, о. е.	сколь жение s_n , %	пуско вого $\mu_{пуск}$	критиче- ского μ_{max}	мин. при пуске μ_{min}			
Синхронная частота вращения 3000 мин ⁻¹										
АИР50А2	0,09	60	0,75	11,5	2,2	2,2	1,8	4,5	0,000025	2,5
АИР50В2	0,12	63	0,75	11,5	2,2	2,2	1,8	4,5	0,000028	2,8
АИР56А2	0,18	68	0,78	9	2,2	2,2	1,8	5	0,00042	3,4
АИР56В2	0,25	69	0,79	9	2,2	2,2	1,8	5	0,00047	3,9
АИР63А2	0,37	72	0,86	9	2,2	2,2	1,8	5	0,00076	4,7
АИР63В2	0,55	75	0,85	9	2,2	2,2	1,8	5	0,0009	5,45
АИР71А2	0,75	78,5	0,83	6	2,1	2,2	1,6	6	0,00097	6,5
АИР71В2	1,1	79	0,83	6,5	2,1	2,2	1,6	6	0,0011	8,8
АИР80А2	1,5	81	0,85	5	2,1	2,2	1,6	7	0,0018	9,8
АИР80В2	2,2	83	0,87	5	2	2,2	1,6	7	0,0021	13,2
АИР90L2	3	84,5	0,88	5	2	2,2	1,6	7	0,0035	16,7
АИР100S2	4	87	0,88	5	2	2,2	1,6	7,5	0,0059	21,6
АИР100L2	5,5	88	0,89	5	2	2,2	1,6	7,5	0,0075	27,4
АИР112M2	7,5	87,5	0,88	3,5	2	2,2	1,6	7,5	0,01	41
АИР132M2	11	88	0,9	3	1,6	2,2	1,2	7,5	0,023	64
АИР160S2	15	90	0,89	3	1,8	2,7	1,7	7	0,039	100
АИР160M2	18,5	90,5	0,9	3	2	2,7	1,8	7	0,043	110
АИР180S2	22	90,5	0,89	2,7	2	2,7	1,9	7	0,057	160
АИР180M2	30	91,5	0,9	2,5	2,2	3	1,9	7,5	0,07	180
АИР200M2	37	91,5	0,87	2	1,6	2,8	1,5	7	0,13	220
АИР200S2	45	92	0,88	2	1,8	2,8	1,5	7,5	0,14	240
АИР225M2	55	92,5	0,91	2	1,8	2,6	1,5	7,5	0,22	320
АИР250S2	75	93	0,9	2	1,8	3	1,6	7,5	0,41	425
АИР250M2	90	93	0,92	2	1,8	3	1,6	7,5	0,46	455
Синхронная частота вращения 1500 мин ⁻¹										
АИР50А4	0,06	53	0,63	11	2,3	2,2	1,8	4,5	0,000029	2,6
АИР50В4	0,09	57	0,65	11	2,3	2,2	1,8	4,5	0,000033	2,9
АИР56А4	0,12	63	0,66	10	2,3	2,2	1,8	5	0,0007	3,35
АИР56В4	0,18	64	0,68	10	2,3	2,2	1,8	5	0,00079	3,9
АИР63А4	0,25	68	0,67	12	2,3	2,2	1,8	5	0,0012	4,7
АИР63В4	0,37	68	0,7	12	2,3	2,2	1,8	5	0,0014	5,6
АИР71А4	0,55	70,5	0,7	9,5	2,3	2,2	1,8	5	0,0013	7,8
АИР71В4	0,75	73	0,76	10	2,2	2,2	1,6	5	0,0014	8,8
АИР80А4	1,1	75	0,81	7	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0032	9,9
АИР80В4	1,5	78	0,83	7	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0033	12,1
АИР90L4	2,2	81	0,83	7	2,1	2,2	1,6	6,5	0,0056	17

Типо-размер	Номинальная мощность P_n , кВт	Номинальные значения			Кратности моментов, о. е.			Кратность пуска K_i , о. е.	Момент инерции $J_{р. д^2}$, кг·м ²	Масса m , кг
		КПД η , %	$\cos \varphi_n$, о. е.	скольжение s_n , %	пускового $M_{пуск}$	притягательного μ_{max}	мин. при пуске μ_{min}			
АИР100S4	3	82	0,83	6	2	2,2	1,6	7	0,0087	21,6
АИР100L4	4	85	0,84	6	2	2,2	1,6	7	0,011	27,3
АИР112M4	5,5	85,5	0,86	4,5	2	2,5	1,6	7	0,017	41
АИР132S4	7,5	87,5	0,86	4	2	2,5	1,6	7,5	0,028	58
АИР132M4	11	87,5	0,87	3,5	2	2,7	1,6	7,5	0,04	70
АИР160S4	15	90	0,89	3	1,9	2,9	1,8	7	0,078	100
АИР160M4	18,5	90,5	0,89	3	1,9	2,9	1,8	7	0,1	110
АИР180S4	22	90,5	0,87	2,5	1,7	2,4	1,5	7	0,15	170
АИР180M4	30	92	0,87	2	1,7	2,7	1,5	7	0,19	190
АИР200M4	37	92,5	0,89	2	1,7	2,7	1,6	7,5	0,28	245
АИР200L4	45	92,5	0,89	2	1,7	2,7	1,6	7,5	0,34	270
АИР225M4	55	93	0,89	2	1,7	2,6	1,6	7	0,51	335
АИР250L4	75	94	0,88	1,5	1,7	2,5	1,4	7,5	0,89	450
АИР250M4	90	94	0,89	1,5	1,5	2,5	1,3	7,5	1,1	480
Синхронная частота вращения 1000 мин ⁻¹										
АИР63A6	0,18	56	0,62	14	2	2,2	1,6	4	0,0018	4,65
АИР63B6	0,25	59	0,62	14	2	2,2	1,6	4	0,0022	5,6
АИР71A6	0,37	65	0,65	8,5	2	2,2	1,6	4,5	0,0017	7,8
АИР71B6	0,55	68,5	0,7	8,5	2	2,2	1,6	4,5	0,002	8,6
АИР80A6	0,76	70	0,72	8	2	2,2	1,6	4,5	0,0031	11,6
АИР80B6	1,1	74	0,74	8	2	2,2	1,6	4,5	0,0046	13,4
АИР90L6	1,5	76	0,72	7,5	2	2,2	1,6	6	0,0073	16,9
АИР100L6	2,2	81	0,74	5,5	2	2,2	1,6	6	0,013	22,8
АИР112MA6	3	81	0,76	5	2	2,2	1,6	6	0,017	35
АИР112MB6	4	82	0,81	5	2	2,2	1,6	6	0,21	40,4
АИР132S6	5,5	85	0,8	4	2	2,2	1,6	7	0,04	57
АИР132M6	7,5	85,5	0,81	4	2	2,2	1,6	7	0,058	68
АИР160S6	11	88	0,83	3	2	2,7	1,6	6,5	0,12	100
АИР160M6	15	88	0,85	3	2	2,7	1,6	6,5	0,15	120
АИР180M6	18,5	89,5	0,85	2	1,8	2,4	1,6	6,5	0,2	180
АИР200M6	22	90	0,83	2	1,6	2,4	1,4	6,5	0,36	225
АИР200L6	30	90	0,85	2,5	1,6	2,4	1,4	6,5	0,4	250
АИР225M6	37	91	0,85	2	1,5	2,3	1,4	6,5	0,61	305
АИР250S6	45	92,5	0,85	2	1,5	2,3	1,4	6,5	1	390
АИР250M6	55	92,5	0,86	2	1,5	2,3	1,4	6,5	1,1	430
АИР280S6	75	92,5	0,9	2,2	1,3	2,2	1	6,5	2,9	637
АИР280M6	90	93	0,9	2,2	1,4	2,4	1	6,5	3,4	702
Синхронная частота вращения 750 мин ⁻¹										
АИР71B8	0,25	56	0,65	8	1,8	1,9	1,4	4	0,0019	7,8
АИР80A8	0,37	60	0,61	6,5	1,8	1,9	1,4	4	0,0034	13,8
АИР80B8	0,55	64	0,63	6,5	1,8	1,9	1,4	4	0,0041	13,5
АИР90LA8	0,75	70	0,66	7	1,6	1,7	1,2	3,5	0,0067	19,7
АИР90LB8	1,1	72	0,7	7	1,6	1,7	1,2	3,5	0,0086	22,3
АИР100L8	1,5	76	0,73	6	1,6	1,7	1,2	5,5	0,013	31,3
АИР112MA8	2,2	76,5	0,71	5,5	1,8	2,2	1,4	6	0,017	36

Таблица Г.2 – Технические данные электродвигателей серии 4А основного исполнения

Типоразмер электродви- гателя	Номинальный режим						Пусковой режим									Момент инерции ротора J_p , кг·м ²	Масса при IM1081 m , кг	Диаметр вала d , мм
	Мощность P_n , кВт	Частота вращения, n_n , мин ⁻¹	Ток I_n , А	КПД η_n , %	Коэффициент мощности $\cos\phi_n$, о. е.	Плотность тока j , А/мм ²	Кратность моментов			Критическое скольжение $s_{кк}$, %	Кратность пуск. тока i_n , о. е.	Скорость роста температ. V , °C/с	Время пуска вхолостую $t_{по}$, с	Допустимое число пусков вхолостую $n_{по}$, вкл./ч				
							Пускового μ_n , о. е.	Миним. при пуске $\mu_{мин}$, о. е.	Критич. μ_{max} , о. е.									
Двухполюсные электродвигатели, $n_0 = 3000$ мин ⁻¹																		
4AA50A2	0,09	2742	0,32	60	0,70	4,4	2	1,8	2,2	50	3,5	1,2	0,10	4100	0,000025	3,0	9	
4AA50B2	0,12	2709	0,41	63	0,70	4,1	2	1,8	2,2	51	3,5	1,0	0,10	4000	0,000028	3,3	9	
4AA56A2	0,18	2760	0,54	66	0,76	6,8	2	1,5	2,2	46	4,0	3,7	0,09	4000	0,00042	4,0	11	
4AA56B2	0,25	2775	0,73	68	0,77	6,8	2	1,5	2,2	51	4,0	3,7	0,08	4000	0,00047	4,5	11	
4AA63A2	0,37	2751	0,94	70	0,86	7,4	2	1,5	2,2	50,5	4,5	5,5	0,07	3900	0,00076	5,5	14	
4AA63B2	0,55	2745	1,33	73	0,86	8,0	2	1,5	2,2	54,5	4,5	6,5	0,07	3900	0,00090	6,3	14	
4A71A2	0,75	2823	1,7	77	0,87	7,3	2	1,5	2,2	38	5,5	8,1	0,06	3800	0,00097	13,7	19	
4A71B2	1,1	2811	2,48	77,5	0,87	8,5	2	1,5	2,2	39	5,5	10,9	0,06	3800	0,0011	15,1	19	
4A80A2	1,5	2874	3,31	81,0	0,85	6,1	2,1	1,4	2,6	39,5	6,5	7,9	0,07	3600	0,0018	17,4	22	
4A80B2	2,2	2871	4,63	83	0,87	6,5	2,1	1,4	2,6	38,0	6,5	6,5	0,07	3600	0,0021	20,4	22	
4A90L2	3,0	2871	6,14	84,5	0,88	6,4	2,1	1,6	2,5	32,5	6,5	8,7	0,08	3200	0,0035	28,7	24	
4A100S2	4,0	2901	7,90	86,5	0,89	5,2	2	1,6	2,5	28,0	7,5	7,6	0,08	2600	0,0059	36,0	28	
4A100L2	5,5	2898	10,51	87,5	0,91	5,6	2	1,6	2,5	29,0	7,5	8,8	0,09	2600	0,0075	42,0	28	
4A112M2	7,5	2925	14,81	87,5	0,88	5,7	2	1,8	2,8	17,0	7,5	9,1	0,09	2400	0,010	56,0	32	
4A132M2	11,0	2931	21,12	88	0,9	5,9	1,7	1,5	2,8	19,0	7,5	9,8	0,10	1600	0,023	77,0	38	

Типоразмер	P_n , кВт	n_n , мин ⁻¹	I_n , А	η_n , %	$\cos\varphi_n$, о.е.	j , А/мм ²	μ_n , о.е.	μ_{\min} , о.е.	μ_{\max} , о.е.	s_k , %	i_n , о.е.	V , °С/с	$t_{\text{по}}$, с	$h_{\text{по}}$, ВКЛ./ч	J_p , кг·м ²	m , кг	d , мм
4A160S2	15,0	2937	28,49	88	0,91	6,3	1,4	1,0	2,2	12,0	7,5	9,6	0,2	940	0,048	130	42
4A160M2	18,5	2937	34,56	88,5	0,92	6,5	1,4	1,0	2,2	12,5	7,5	10,3	0,22	940	0,053	145	42
4A180S2	22	2943	41,55	88,5	0,91	5,6	1,4	1,1	2,5	12,5	7,0	8,8	0,23	830	0,070	165	48
4A180M2	30	2946	56,02	90,5	0,9	5,2	1,4	1,1	2,5	12,5	7,0	7,6	0,25	830	0,085	185	48
4A200M2	37	2943	70,23	90	0,89	4,8	1,4	1,0	2,5	11,5	7,5	6,5	0,29	750	0,15	255	55
4A200L2	45	2946	83,57	91	0,90	4,9	1,4	1,0	2,5	11,5	7,5	6,8	0,30	730	0,17	280	55
4A225M2	55	2946	102,1	91	0,92	5,0	1,4	1,2	2,5	11,0	7,5	7,0	0,30	590	0,25	355	55
4A250S2	75	2958	140,85	91	0,89	4,4	1,2	1,0	2,5	10,0	7,5	5,4	0,46	520	0,47	470	65
4A250M2	90	2958	165,33	92	0,90	4,6	1,2	1,0	2,5	10,0	7,5	6,0	0,55	420	0,52	510	65
Четырехполюсные электродвигатели, $n_0 = 1500$ мин ⁻¹																	
4AA50A4	0,06	1378	0,30	50	0,60	4,5	2,0	1,7	2,2	58,5	2,5	0,6	0,1	10000	0,000029	3,0	9
4AA50B4	0,09	1371	0,35	55	0,60	4,9	2,0	1,7	2,2	59,0	2,5	0,8	0,08	10000	0,000033	3,3	9
4AA56A4	0,12	1377	0,44	63	0,66	6,2	2,1	1,5	2,2	49,0	3,5	2,4	0,08	8500	0,0007	4,0	11
4AA56B4	0,18	1366	0,67	64	0,64	6,9	2,1	1,5	2,2	50,5	3,5	2,9	0,07	8500	0,00079	4,5	11
4AA63A4	0,25	1380	0,86	68	0,65	6,8	2,0	1,5	2,2	48,0	4,0	3,7	0,07	8500	0,0012	5,5	14
4AA63B4	0,37	1365	1,20	68	0,69	8,4	2,0	1,5	2,2	4,8	4,0	5,6	0,06	8500	0,0014	6,3	14
4A71A4	0,55	1390	1,69	70,5	0,70	6,9	2,0	1,8	2,2	39	4,5	4,8	0,04	8500	0,0013	13,7	19
4A71B4	0,75	1387	2,17	72	0,73	8,5	2,0	1,8	2,2	40	4,5	7,3	0,03	8500	0,0014	15,1	19
4A80A4	1,1	1419	2,75	75	0,81	7,6	2,0	1,6	2,2	34	5,0	7,2	0,04	7800	0,0032	17,4	22
4A80B4	1,5	1413	3,57	77	0,83	8,0	2,0	1,6	2,2	34,5	5,0	8,0	0,04	7800	0,0032	20,4	22
4A90L4	2,2	1423	5,04	80	0,83	7,6	2,1	1,6	2,4	33	6,0	10,4	0,04	7500	0,0056	28,7	24
4A100S4	3,0	1434	6,70	82	0,83	6,6	2,0	1,6	2,4	31	6,0	7,8	0,04	6500	0,0087	36,0	28
4A100L4	4,0	1431	8,62	84	0,84	6,3	2,0	1,6	2,4	31,5	6,0	7,1	0,04	6500	0,011	42	28
4A112M4	5,5	1446	11,51	85,5	0,85	7,1	2,0	1,6	2,2	25	7,0	12,4	0,04	5000	0,017	56	32
4A132S4	7,5	1456	15,16	87,5	0,86	5,9	2,2	1,7	3,0	19,5	7,5	9,8	0,05	4500	0,028	77	38
4A132M4	11,0	1458	21,97	87,5	0,87	6,1	2,2	1,7	3,0	19,5	7,5	10,5	0,07	4100	0,04	93	38
4A160S4	15,0	1465	29,30	88,5	0,88	5,7	1,4	1,0	2,3	16,0	7,0	8,0	0,12	1800	0,1	135	48
4A160M4	18,5	1467	35,73	89,5	0,88	5,5	1,4	1,0	2,3	16,0	7,0	7,4	0,13	1700	0,13	160	48

Типоразмер	P_H , кВт	n_H , мин ⁻¹	I_H , А	η_H , %	$\cos\varphi_H$, о.е.	j , А/мм ²	μ_p , о.е.	μ_{\min} , о.е.	μ_{\max} , о.е.	s_K , %	i_p , о.е.	V , °С/с	$t_{\text{по}}$, с	$h_{\text{по}}$, ВКЛ./ч	J_p , кг·м ²	m , кг	d , мм
4A180S4	22,0	1470	41,31	90	0,90	5,4	1,4	1,0	2,3	14,0	6,5	6,2	0,14	1200	0,19	175	55
4A180M4	30,0	1471	56,34	91,0	0,89	5,6	1,4	1,0	2,3	14,0	6,5	6,4	0,15	1100	0,23	195	55
4A200M4	37,0	1474	67,97	92	0,90	5,9	1,4	1,0	2,5	7,0	8,5	8,5	0,18	1000	0,37	270	60
4A200L4	45	1476	82,66	92	0,90	5,6	1,4	1,0	2,5	10,0	7,0	7,7	0,19	970	0,45	310	60
4A225M4	55	1479	100,48	92,5	0,90	5,3	1,3	1,0	2,5	10,0	7,0	6,9	0,22	750	0,64	355	65
4A250S4	75	1482	136,29	93,0	0,90	4,3	1,2	1,0	2,3	9,5	7,0	4,5	0,26	640	1,0	490	75
4A250M4	90	1480	161,75	93,0	0,91	4,4	1,2	1,0	2,3	9,5	7,0	4,7	0,30	610	1,2	535	75
Шестиполюсные электродвигатели, $n_0 = 1000$ мин ⁻¹																	
4AA63A6	0,18	885	0,79	56	0,62	7,6	2,2	1,5	2,2	55,5	3	2,6	0,05	10400	0,0018	5,5	14
4AA63B6	0,25	892	1,04	59	0,62	6,4	2,2	1,5	2,2	62,5	3	1,8	0,04	10400	0,0022	6,3	14
4A71A6	0,37	908	1,26	64,5	0,69	6,9	2,0	1,8	2,2	49	4	3,8	0,03	10500	0,0017	13,7	19
4A71B6	0,55	900	1,74	67,5	0,71	7,5	2,0	1,8	2,2	49	4	4,5	0,03	10500	0,0020	15,1	19
4A80A6	0,75	916	2,23	69	0,74	7,8	2,0	1,6	2,2	37	4	4,9	0,04	8600	0,0031	17,4	22
4A80B6	1,1	920	3,05	74	0,74	7,3	2,0	1,6	2,2	38	4	4,3	0,03	8600	0,0046	20,4	22
4A90L6	1,5	936	4,11	75	0,74	7,1	2,0	1,7	2,2	31,0	4,5	5,1	0,03	8200	0,0073	28,7	24
4A100L6	2,2	949	5,65	81	0,73	6,3	2,0	1,6	2,2	25,5	5,0	5,0	0,04	6900	0,013	42	28
4A112MA6	3,0	953	7,41	81	0,76	6,9	2,0	1,8	2,5	37	6,0	8,6	0,03	7200	0,017	56	32
4A112MB6	4,0	949	9,16	82	0,81	7,1	2,0	1,8	2,5	38	6,0	9,1	0,03	7200	0,021	61	32
4A132S6	5,5	967	12,30	85	0,8	7,0	2,0	1,8	2,5	36	6,0	8,8	0,04	4400	0,040	77	38
4A132M6	7,5	968	16,47	85,5	0,81	6,9	2,0	1,8	2,5	26	6,0	8,6	0,06	4300	0,058	93	38
4A160S6	11,0	973	21,98	86	0,86	6,9	1,2	1,0	2,0	15,0	6,0	8,6	0,11	2200	0,14	135	48
4A160M6	15,0	974	29,97	87,5	0,87	6,9	1,2	1,0	2,0	14,0	6,0	8,6	0,11	2100	0,18	160	48
4A180M6	18,5	976	36,75	88	0,87	6,3	1,2	1,0	2,0	13,5	6,0	7,1	0,10	2000	0,22	195	55
4A200M6	22,0	977	41,31	90	0,90	5,5	1,3	1,0	2,4	13,5	6,5	6,4	0,13	1300	0,40	270	60
4A200L6	30,0	979	56,02	90,5	0,90	6,0	1,3	1,0	2,4	13,5	6,5	7,6	0,12	1200	0,45	310	60
4A225M6	37,0	982	69,49	91	0,89	5,7	1,2	1,0	2,3	11,5	6,5	6,8	0,15	1100	0,74	355	65
4A250S6	45,0	986	84,05	91,5	0,89	5,1	1,2	1,0	2,1	9,0	6,5	5,5	0,20	780	1,2	490	75
4A250M6	55,0	987	102,73	91,5	0,89	5,5	1,2	1,0	2,1	9,5	6,5	6,4	0,20	780	1,3	535	75
4A280S6	75,0	980	139,32	92,0	0,89	4,6	1,2	1,0	2,2	8,3	7,0	5,2	0,25	740	2,9	760	80

Типоразмер	P_n , кВт	n_n , мин ⁻¹	I_n , А	η_n , %	$\cos\varphi_n$, о. е.	j , А/мм ²	μ_n , о. е.	μ_{\min} , о. е.	μ_{\max} , о. е.	s_k , %	i_n , о. е.	V , °С/с	$t_{\text{по}}$, с	$h_{\text{по}}$, вкл./ч	J_p , кг·м ²	m , кг	d , мм
Восьмиполосные электродвигатели, $n_0 = 1000$ мин ⁻¹																	
4A280M6	90,0	982	166,28	92,5	0,89	5,0	1,2	1,0	2,2	8,3	7,0	6,1	0,28	680	3,4	810	80
4A71B8	0,25	654	1,05	56	0,65	7,2	1,6	1,4	1,7	45	3,0	2,3	0,05	15000	0,0019	15,1	19
4A80A8	0,37	683	1,41	61,5	0,65	6,8	1,6	1,2	1,7	33	3,5	2,8	0,04	14100	0,0034	17,4	22
4A80B8	0,55	682	2,01	64	0,65	7,3	1,6	1,2	1,7	34	3,5	3,3	0,04	14100	0,0041	20,4	22
4A90LA8	0,75	705	2,70	68	0,62	7,0	1,6	1,4	1,9	27	3,5	3,0	0,04	10100	0,0067	28,7	24
4A90LB8	1,1	697	3,51	70	0,68	7,3	1,6	1,4	1,9	27	3,5	3,5	0,03	10100	0,0068	36,0	24
4A100L8	1,5	697	4,74	74	0,65	6,4	1,6	1,3	1,9	27	4,0	3,3	0,04	10000	0,013	42,0	28
4A112MA8	2,2	705	6,16	76,5	0,71	6,9	1,9	1,5	2,2	23	5,0	6,0	0,03	9800	0,017	56,0	32
4A112MB8	3,0	706	7,76	79,5	0,74	6,7	1,9	1,5	2,2	35	5,0	5,6	0,03	8800	0,025	61,0	32
4A132S8	4,0	704	10,47	83,0	0,70	6,9	1,9	1,7	2,6	36	5,5	7,2	0,03	6400	0,042	77,0	38
4A132M8	5,5	719	13,62	83,0	0,74	7,1	1,9	1,7	2,6	25	5,5	7,6	0,04	6000	0,057	93,0	38
4A160S8	7,5	731	17,68	86,0	0,75	6,3	1,4	1,0	2,2	14,5	6,0	7,1	0,06	2300	0,14	135	48
4A160M8	11,0	731	25,64	87,0	0,75	6,7	1,4	1,0	2,2	15	6,0	8,1	0,08	2100	0,18	160	48
4A180M8	15,0	730	31,98	87,0	0,82	6,4	1,2	1,0	2,0	13	5,5	6,2	0,10	2200	0,25	195	55
4A200M8	18,5	732	37,85	88,5	0,84	6,1	1,2	1,1	2,2	13	5,5	5,6	0,10	2200	0,40	270	60
Восьмиполосные электродвигатели, $n_0 = 1000$ мин ⁻¹																	
4A200L8	22,0	730	45,01	88,5	0,84	6,7	1,2	1,1	2,2	13	5,5	6,8	0,10	1600	0,45	310	60
4A225M8	30,0	736	62,25	90,5	0,81	5,8	1,3	1,2	2,1	11,5	6,0	6,1	0,11	1500	0,74	355	65
4A250S8	37,0	738	75,34	90,0	0,83	5,9	1,2	1,0	2,0	9	6,0	6,3	0,15	1200	1,2	490	75
4A250M8	45,0	740	89,54	91,0	0,84	5,4	1,2	1,0	2,0	9	6,0	5,2	0,16	1100	1,4	535	75
4A280S8	55,0	733	108,25	92,0	0,84	4,3	1,2	1,0	2,0	8	5,5	4,2	0,25	810	3,2	760	80
4A280M8	75,0	733	145,09	92,5	0,85	4,0	1,2	1,0	2,0	8,5	5,5	4,5	0,27	800	4,1	810	80
4A315S8	90	739	173,17	93,0	0,85	3,8	1,2	0,9	2,3	7,0	7,0	4,5	0,28	750	4,9	875	90

Примечание. Технические данные асинхронных электродвигателей основного исполнения мощностью более 90 кВт приведены в справочнике [10]. Там же приведены данные десятиполосных АД ($n_0 = 600$ мин⁻¹) мощностью от 30 до 110 кВт и двенадцатиполосные АД ($n_0 = 500$ мин⁻¹) мощностью от 45 до 90 кВт.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(справочное)

Таблица Д.1 – Основные технические данные электродвигателей серии 4А с повышенным пусковым моментом

Типоразмер электродвигателя	Номинальный режим						Пусковой режим								Момент инерции ротора J_p , кг·м ²	Масса при IM1081 m , кг	Диаметр вала d , мм
	Мощность P_n , кВт	Частота вращения n_n , мин ⁻¹	Ток I_n , А	КПД η_n , %	Коэффициент мощности $\cos\varphi_n$, о. е.	Плотность тока j , А/мм ²	Кратность моментов			Критическое скольжение s_k , %	Кратность пуск. тока i_n , о. е.	Скорость роста температуры V , °С/с	Время пуска в холостую $t_{по}$, с	Допустимое число пусков в холостую $n_{по}$, вкл./ч			
							Пускового μ_n , о. е.	Миним. при пуске $\mu_{мин}$, о. е.	Критич. $M_{пmax}$, о. е.								
Синхронная частота вращения 1500 мин ⁻¹																	
4AP160S4	15,0	1465	29,6	87,5	0,87	5,6	2,0	1,6	2,2	17,0	7,5	8,8	0,09	2100	0,1	135	42
4AP160M4	18,5	1465	36,1	88,5	0,87	5,5	2,0	1,6	2,2	16,0	7,5	8,5	0,1	2000	0,13	160	42
4AP180S4	22,0	1460	42,2	90,0	0,87	5,2	2,0	1,6	2,2	16,0	7,5	7,6	0,12	1500	0,19	145	48
4AP180M4	30,0	1460	57,5	90,0	0,87	5,3	2,0	1,6	2,2	16,0	7,5	7,9	0,12	1400	0,23	195	48
4AP200M4	37,0	1470	69,5	91,0	0,86	5,6	2,0	1,6	2,2	12,5	7,5	8,8	0,14	1200	0,37	270	55
4AP200L4	45,0	1470	83,5	92,0	0,88	5,4	2,0	1,6	2,2	12,5	7,5	8,2	0,14	1100	0,45	310	55
4AP225M4	55,0	1475	101	92,5	0,88	5,1	2,0	1,6	2,2	9,5	7,0	6,4	0,16	1000	0,64	355	60
4AP250S4	75,0	1475	139	93,0	0,87	4,1	2,0	1,6	2,2	9,5	7,5	4,7	0,19	840	1,0	490	70
4AP250M4	90,0	1475	165	93,0	0,88	4,2	2,0	1,6	2,2	9,5	7,5	5,0	0,19	800	1,2	535	70
Синхронная частота вращения 1000 мин ⁻¹																	
4AP160S6	11,0	975	23,5	85,5	0,83	6,1	2,0	1,6	2,2	18,0	7,0	9,1	0,08	2800	0,14	135	42
4AP160M6	15,0	975	31,4	87,5	0,83	6,1	2,0	1,6	2,2	17,0	7,0	9,1	0,08	2600	0,18	160	42
4AP180M6	18,52	970	40,4	87,0	0,80	5,9	2,0	1,6	2,2	14,5	6,0	6,3	0,08	2500	0,22	195	48
4AP200M6	2,0	975	43,4	90,5	0,85	5,0	2,0	1,6	2,2	14,0	6,5	5,3	0,11	1400	0,40	270	55

Типоразмер	$P_{\text{н}},$ кВт	$n_{\text{н}},$ мин ⁻¹	$I_{\text{н}},$ А	$\eta_{\text{н}},$ %	$\cos\varphi_{\text{н}},$ о. е.	$j,$ А/мм ²	$\mu_{\text{п}},$ о. е.	$\mu_{\text{min}},$ о. е.	$\mu_{\text{max}},$ о. е.	$s_{\text{к}},$ %	$i_{\text{п}},$ о. е.	$V,$ °С/с	$t_{\text{по}},$ с	$h_{\text{по}},$ вкл./ч	$J_{\text{р}},$ кг·м ²	$m,$ кг	$d,$ мм
4AP200L6	30,0	975	58,5	90,5	0,86	5,8	2,0	1,6	2,2	14,0	6,5	7,1	0,11	1300	0,45	310	55
4AP225M6	37,0	980	73,8	90,5	0,84	5,3	2,0	1,6	2,2	12,0	7,0	6,9	0,12	1200	0,74	355	60
4AP250S6	45,05	980	91,0	91,5	0,82	5,0	2,0	1,6	2,2	9,5	6,5	5,3	0,16	910	1,16	490	70
4AP250M6	5,0	980	110	91,5	0,83	5,3	2,0	1,6	2,2	9,5	6,5	5,9	0,16	900	1,26	535	70
Синхронная частота вращения 750 мин ⁻¹																	
4AP160S8	7,5	730	17,6	86,0	0,75	6,5	1,8	1,5	2,0	15,5	6,0	7,7	0,07	2800	0,14	135	42
4AP160M8	11,0	730	25,6	87,0	0,75	6,9	1,8	1,5	2,0	16,0	6,0	8,6	0,08	2600	0,18	160	42
4AP180M8	15,0	730	34,2	86,5	0,77	6,2	1,8	1,5	2,0	14,0	5,5	5,8	0,08	2500	0,25	195	48
4AP200M8	18,5	730	41	88,0	0,78	6,1	1,8	1,5	2,0	13,5	5,5	5,6	0,08	2400	0,40	270	55
4AP200L8	22,0	730	47,3	88,5	0,80	6,1	1,8	1,5	2,0	13,5	5,5	5,6	0,08	2300	0,45	310	55
4AP225M8	30,0	735	63,4	90,0	0,80	6,0	1,8	1,5	2,0	12,0	5,5	5,4	0,09	1900	0,74	355	60
4AP250S8	37,0	735	87,0	90,0	0,72	5,6	1,8	1,5	2,0	9,5	5,5	4,7	0,12	1400	1,16	490	70
4AP250M8	45,0	735	101,0	90,5	0,75	5,6	1,8	1,5	2,0	9,5	5,5	4,7	0,12	1400	1,36	535	70

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
(справочное)

Таблица Е.1 – Технические данные электродвигателей серии 4А повышенного скольжения

Типоразмер электродвигателя	Ном. режим						Пусковой режим								Момент инерции ротора J_p , кг·м ²	Масса при IM081 m , кг	Диаметр вала d , мм
	Мощность P_n , кВт	Частота вращения, n_n , мин ⁻¹	Ток I_n , А	КПД η_n , %	Коэффициент мощности $\cos\varphi_n$, о. е.	Плотность тока j , А/мм ²	Кратность моментов			Критическое скольжение $s_{кр}$, %	Кратность пуск. тока I_p , о. е.	Скорость роста температур. V , °С/с	Время пуска в холостую $t_{по}$, с	Допустимое число пусков вхолостую $h_{по}$, вкл./ч			
							Пускового μ_p , о. е.	Миним. при пуске $\mu_{мин}$, о. е.	Критич. $\mu_{мин}$, о. е.								
Двухполюсные электродвигатели, $n_0 = 3000$ мин ⁻¹																	
4AC71A2	1,0	2823	2,47	72	0,87	8,6	2,0	1,6	2,2	38,4	5,5	11,2	0,07	5800	0,00097	15,1	19
4AC71B2	1,2	2850	3,11	72	0,83	8,4	2,0	1,6	2,2	39,2	5,5	10,7	0,07	5800	0,0011	15,1	19
4AC80A2	1,9	2853	4,51	75	0,87	7,0	2,0	1,6	2,2	35,8	6,5	10,4	0,07	5600	0,0018	17,4	22
4AC80B2	2,5	2865	5,85	76	0,87	7,2	2,0	1,6	2,2	37,0	6,5	11,0	0,07	5600	0,0021	20,4	22
4AC90L2	3,5	2868	7,87	80	0,86	7,0	2,0	1,6	2,2	33,6	6,5	10,4	0,07	4100	0,0035	28,7	24
4AC100S2	4,8	2892	10,54	82	0,86	6,4	2,0	1,6	2,2	28,5	7,5	11,5	0,08	3400	0,0059	36	28
4AC100L2	6,3	2907	13,83	82	0,86	6,1	2,0	1,6	2,2	30,2	7,5	10,5	0,08	3400	0,0075	42	28
4AC112M2	8,0	2889	17,55	84	0,84	5,5	2,0	1,6	2,4	31,4	7,5	8,5	0,08	3200	0,010	56	32
4AC132M2	11,0	2856	22,78	84	0,89	6,1	2,0	1,6	2,4	47,9	7,5	10,5	0,12	3200	0,023	93	38
Четырехполюсный электродвигатель, $n_0 = 1000$ мин ⁻¹																	
4AC71A4	0,60	1377	1,87	68	0,73	7,5	2,0	1,6	2,2	39,6	4,5	5,7	0,04	5600	0,0013	15,1	19
4AC71B4	0,80	1370	2,41	68,5	0,75	8,8	2,0	1,6	2,2	40,1	4,5	7,8	0,04	6900	0,0014	15,1	19
4AC80A4	1,3	1416	3,58	68,5	0,82	8,0	2,0	1,6	2,2	33,8	5,0	8,0	0,04	7800	0,0032	17,4	22
4AC80B4	1,7	1418	4,58	70,0	0,82	8,3	2,0	1,6	2,2	35,0	5,0	8,6	0,04	7800	0,0033	20,4	22

Типоразмер	P_H , кВт	$n_{\text{н}}$, мин ⁻¹	I_H , А	η_H , %	$\cos\varphi_{\text{н}}$, о. е.	$\frac{A}{M^2}$	$\mu_{\text{п}}$, о. е.	μ_{min} , о. е.	μ_{max} , о. е.	S_K , %	$i_{\text{п}}$, о. е.	V , °C/с	$t_{\text{по}}$, с	$h_{\text{по}}$, ВКЛ./ч	J_p , кг·м ²	m , кг	d , мм
4AC90L4	2,4	1413	5,96	76,0	0,82	8,3	2,0	1,6	2,2	33,1	6,0	12,4	0,04	7900	0,0056	28,7	24
4AC100S4	3,2	1437	7,90	76,5	0,82	6,8	2,0	1,6	2,2	32,7	6,0	8,3	0,04	7800	0,0087	36	28
4AC100L4	4,25	1439	10,29	78,0	0,82	6,7	2,0	1,6	2,2	32,0	6,0	8,1	0,04	7800	0,011	42	28
4AC112M4	5,6	1416	13,22	79,0	0,83	7,8	2,0	1,6	2,2	45,3	7,0	14,9	0,05	7300	0,017	56	32
4AC132S4	8,5	1397	18,76	82,5	0,85	6,5	2,6	1,6	2,8	49,4	7,0	10,4	0,05	6800	0,028	77	38
4AC132M4	11,8	1409	25,58	84,0	0,85	6,6	2,0	1,6	2,2	50,3	7,0	10,7	0,05	6500	0,040	93	38
4AC160S4	17,0	1409	36,2	84,5	0,86	6,2	2,0	1,6	2,2	45,0	7,0	9,4	0,09	3600	0,10	135	42
4AC160M4	20,0	1421	40,9	87,0	0,87	5,7	2,0	1,6	2,2	41,7	7,0	8,0	0,09	3000	0,13	160	42
4AC180S4	21,0	1415	41,09	86,0	0,92	5,4	2,0	1,6	2,2	37,9	7,0	7,1	0,12	2400	0,19	175	48
4AC180M4	26,5	1434	50,94	88,5	0,91	5,0	2,0	1,6	2,2	39,8	7,0	6,1	0,13	2000	0,23	195	48
4AC200M4	31,5	1415	60,57	87,5	0,92	5,0	2,0	1,6	2,2	46,6	7,0	6,1	0,17	1700	0,37	270	55
4AC200L4	40,0	1413	74,81	89,0	0,93	5,1	2,0	1,6	2,2	47,5	7,0	6,4	0,18	1700	0,45	310	55
4AC225M4	50,0	1413	96,15	87,5	0,92	5,0	2,0	1,6	2,2	47,2	7,0	6,1	0,20	1600	0,64	355	60
4AC250S4	56,0	1406	107,7	87,5	0,92	3,4	2,0	1,6	2,2	62,2	7,0	2,8	0,30	1200	1,0	490	70
4AC250M4	63,0	1404	120,5	87,0	0,93	3,3	2,0	1,6	2,2	64,9	7,0	2,7	0,32	1200	1,2	535	70
Шестиполусные электродвигатели, $n_0 = 750$ мин ⁻¹																	
4AC71A6Y3	0,4	896	1,42	62,5	0,70	7,3	2,0	1,6	2,1	48,6	4,0	4,3	0,02	14000	0,0017	15,1	19
4AC71B6Y3	0,63	898	2,14	65,0	0,70	8,1	2,0	1,6	2,1	49,6	4,0	5,2	0,020,	14000	0,0020	15,1	19
4AC80A6Y3	0,8	930	2,99	61,0	0,68	8,5	2,0	1,6	2,1	38,3	4,0	5,8	03	10200	0,0025	17,4	22
4AC80B6Y3	1,2	922	3,83	66,5	0,73	7,7	2,0	1,6	2,1	38,4	4,0	4,7	0,04	10200	0,0035	20,4	22
4AC90L6Y3	1,7	938	5,15	71,0	0,72	7,8	1,9	1,6	2,1	32,9	6,0	11,0	0,04	9300	0,0073	28,7	24
4AC100L6Y3	2,6	947	7,06	75,0	0,76	7,0	1,9	1,6	2,1	32,0	6,0	8,8	0,04	7800	0,013	42	28
4AC112MA6Y3	3,2	927	9,30	72,0	0,74	7,0	1,9	1,6	2,1	68,2	6,5	10,4	0,04	8800	0,017	56	32
4AC112MA6Y3	4,2	915	10,97	75,0	0,79	7,8	1,9	1,6	2,1	66,3	6,5	12,9	0,04	8800	0,021	56	32
4AC132S6Y3	6,3	936	15,43	79,0	0,80	7,4	1,9	1,5	2,1	47,0	6,5	14,9	0,05	7100	0,04	77	38
4AC132M6Y3	8,5	942	20,56	80,0	0,80	7,5	1,9	1,5	2,1	48,0	6,5	11,9	0,05	7100	0,58	93	38
4AC160S6Y3	12,0	923	26,49	82,5	0,85	6,9	1,9	1,5	2,1	59,2	6,5	10,1	0,08	4700	0,14	135	42
4AC160M6Y3	16,0	922	34,69	84,0	0,85	6,6	1,9	1,5	2,1	54,6	6,5	9,2	0,08	4300	0,18	160	42
4AC180M6Y3	19,0	924	38,67	84,5	0,90	6,6	1,9	1,5	2,1	44,4	6,5	9,2	0,08	4300	0,22	195	48
4AC200M6Y3	22,0	927	44,33	83,5	0,92	5,8	1,9	1,5	2,1	43,9	6,5	7,1	0,13	3100	0,40	270	55
AC200L6Y3	28,0	938	55,71	85,5	0,91	5,8	1,9	1,5	2,1	45,0	6,5	7,1	0,15	3000	0,45	310	55

Типоразмер	P_H , кВт	n_H , мин ⁻¹	I_H , А	η_H , %	$\cos\varphi_H$, о. е.	j , А/мм ²	μ_p , о. е.	μ_{min} , о. е.	μ_{max} , о. е.	s_K , %	i_p , о. е.	V , °С/с	$t_{по}$, с	$h_{по}$, ВКЛ./ч	J_p , кг·м ²	m , кг	d , мм
4AC225M6Y3	33,5	931	70,35	81,0	0,91	5,3	1,9	1,5	2,1	53,1	6,5	5,9	0,20	2900	0,74	355	60
4AC250S6Y3	40,0	946	77,30	89,0	0,90	4,7	1,9	1,5	2,1	46,2	6,5	4,7	0,20	1300	1,16	490	70
4AC250M6Y3	45,0	962	91,51	86,5	0,88	4,3	1,9	1,5	2,1	47,6	6,5	8,6	0,20	1300	1,26	535	70
Восьмиполюсные электродвигатели, $n_0 = 750$ мин ⁻¹																	
4AC71B8Y3	0,3	742,5	1,52	50,0	0,61	8,3	1,9	1,6	2,0	46,3	3,5	4,2	0,03	16200	0,0019	15,1	19
4AC80A8Y3	0,45	694,5	2,13	53,5	0,61	7,7	1,9	1,6	2,0	34,2	3,5	3,6	0,03	15000	0,0034	17,4	22
4AC80B8Y3	0,60	688	2,54	58,0	0,63	7,7	1,9	1,6	2,0	34,6	3,5	3,6	0,04	15000	0,0041	20,4	22
4AC90LA8Y3	0,90	699,75	3,51	61,0	0,65	7,8	1,8	1,6	2,0	32,0	3,5	3,7	0,04	13900	0,0067	28,7	24
4AC90LA8Y3	1,2	701,25	4,47	65,0	0,64	7,6	1,8	1,6	2,0	32,0	3,5	3,5	0,04	10400	0,0086	28,7	24
4AC100LB8Y3	1,6	709,5	5,70	69,0	0,63	6,8	1,8	1,6	2,0	32,0	5,5	7,0	0,04	8600	0,013	42	28
4AC112MA8Y3	2,2	678,75	7,70	68,0	0,65	7,0	1,8	1,6	2,0	62,3	6,0	8,8	0,04	8500	0,018	56	32
4AC112MB8Y3	3,2	667,5	9,83	72,0	0,70	8,0	1,8	1,6	2,0	62,1	6,0	11,5	0,04	8500	0,024	56	32
4AC132S8Y3	4,5	689,25	13,09	76,0	0,70	7,9	1,8	1,6	2,0	46,0	6,0	11,2	0,04	8200	0,042	77	38
4AC132M8Y3	6,0	694,5	17,46	77,0	0,70	7,4	1,8	1,6	2,0	46,5	6,0	9,9	0,04	8200	0,058	93	38
4AC160S8Y3	9,6	678	22,79	81,5	0,80	7,2	1,8	1,5	2,0	42,7	6,0	9,3	0,07	6300	0,14	135	42
4AC160M8Y3	12,5	682,5	29,69	82,5	0,79	6,8	1,8	1,5	2,0	44,3	6,0	8,3	0,07	6300	0,18	160	42
4AC180M8Y3	15,0	691,5	33,50	83,5	0,83	6,4	1,8	1,5	2,0	40,6	6,0	7,4	0,07	6000	0,25	195	48
4AC200M8Y3	20,0	687	43,62	83,5	0,85	6,8	1,8	1,5	2,0	40,6	6,0	8,3	0,09	4600	0,40	270	55
4AC225M8Y3	26,5	696	58,15	83,0	0,85	5,3	1,8	1,5	2,0	51,5	6,0	5,1	0,13	4200	0,74	355	60
4AC250S8Y3	36,0	699,75	77,13	83,0	0,85	5,8	1,8	1,5	2,0	44,4	6,0	6,1	0,14	2400	1,2	490	70

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
(справочное)

Таблица Ж.1 – Значения мощности, кВт, асинхронных двигателей с повышенным скольжением в режиме S3 при различных ПВ

Типоразмер двигателя	Синхронная частота вращения, мин ⁻¹															
	3000				1500				1000				750			
	Продолжительность включения ПВ, %															
	15	25	60	100	15	25	60	100	15	25	60	100	15	25	60	100
4AC71A	1,2	1,06	0,95	0,85	0,8	0,65	0,6	0,6	0,45	0,4	0,4	0,4	–	–	–	–
4AC71B	1,5	1,3	1,1	0,9	1,1	0,9	0,8	0,7	0,8	0,65	0,65	0,5	0,35	0,3	0,3	0,2
4AC80A	2,4	1,9	1,7	1,5	1,6	1,3	1,1	0,93	1	0,9	0,7	0,5	0,55	0,5	0,45	0,35
4AC80B	3,2	2,7	2,2	2	2,1	1,7	1,5	1,3	1,5	1,3	1,1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
4AC90LA	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,1	0,9	0,8	0,7
4AC90LB	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,4	1,2	1	0,8
4AC90L	4,6	4	3,2	2,7	3,1	2,4	2,2	1,9	2,2	1,8	1,3	1,1	–	–	–	–
4AC100S	5,5	5	4,2	3,6	4	3,7	2,8	2,3	–	–	–	–	–	–	–	–
4AC100L	8	7	5,8	5,3	5,5	5	3,8	3,3	3,1	2,9	2,2	1,8	1,8	1,6	1,5	1,2
4AC112MA	–	–	–	–	–	–	–	–	4,5	3,8	2,8	2,5	3	2,6	1,9	1,5
4AC112MB	11	9,5	7,1	6	8	6,7	5	4,2	5,6	5	3,8	3,2	4,2	3,6	2,5	1,9
4AC132S	–	–	–	–	11,8	9,5	7,5	7,1	8,5	7,5	6	4,5	6	5	3,6	2,6
4AC132M	17	14	11	10	16	14	10,5	9	11	10	7,5	6,3	8,5	7,1	5	3,6
4AC160S	–	–	–	–	22	19	15	13	16	14	11	10	11	10	8	7
4AC160M	–	–	–	–	25	23	18,5	17	21	19	15	13	16	14	11	10
4AC180S	–	–	–	–	26,5	24	20	19	–	–	–	–	–	–	–	–
4AC180M	–	–	–	–	32	30	25	24	22	20	17	16	19	17	14	13
4AC200M	–	–	–	–	42	35	28	26	28	25	20	18	26,5	24	19	16
4AC200L	–	–	–	–	50	47,5	37,5	35	40	33	25	23	–	–	–	–
4AC225M	–	–	–	–	63	55	45	40	40	35	28	25	33,5	30	24	22
4AC250S	–	–	–	–	75	63	63	50	56	45	36	33,5	45	45	30	26,5
4AC250M	–	–	–	–	80	71	60	56	60	53	40	36	–	–	–	–

ПРИЛОЖЕНИЕ И

(справочное)

Активное сопротивление обмотки фазы статора электродвигателей серии 4А при 20 °С

Таблица И.1 – Активное сопротивление обмотки фазы статора электродвигателей основного исполнения высотой оси вращения до 200 мм

Тип эл. двигателя	Ном. мощ- ность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1л}$, В)		Тип электро- двигателя	Ном. мощ- ность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1л}$, В)	
		400, Y	$\frac{400}{690}$, $\frac{\Delta}{Y}$			400, Y	$\frac{400}{690}$, $\frac{\Delta}{Y}$
4AA50A2	0,09	82,5	–	4A90LB8	1,1	5,74	–
4AA50B2	0,12	57,8	–	4A100S2	4,0	1,19	–
4AA50A4	0,06	91,1	–	4A100L2	5,5	0,812	–
4AA50B4	0,09	59,1	–	4A100S4	3,0	1,9	–
4AA56A2	0,18	54,9	–	4A100L4	4,0	1,27	–
4AA56B2	0,25	38,7	–	4A100L6	2,2	2,55	–
4AA56A4	0,12	70,6	–	4A100L8	1,5	3,85	–
4AA56B4	0,18	46,6	–	4A112M2	7,5	0,53	–
4AA63A2	0,37	26,2	–	4A112M4	5,5	0,995	–
4AA63B2	0,55	16,6	–	4A112MA6	3,0	2,07	–
4AA63A4	0,25	29,0	–	4A112MB6	4,0	1,52	–
4AA63B4	0,37	21,5	–	4A112MA8	2,2	2,73	–
4AA63A6	0,18	52,0	–	4A112MB8	3,0	1,86	–
4AA63B6	0,25	30,0	–	4A132M2	11,0	0,341	–
4A71A2	0,75	12,1	–	4A132S4	7,5	0,572	–
4A71B2	1,1	8,35	–	4A132M4	11,0	0,346	–
4A71A4	0,55	12,3	–	4A132S6	5,5	0,976	–
4A71B4	0,75	9,41	–	4A132M6	7,5	0,646	–
4A71A6	0,37	21,1	–	4A132S8	4,0	1,18	–
4A71B6	0,55	14,4	–	4A132M8	5,5	0,917	–
4A71B8	0,25	35,6	–	4A160S2	15,0	0,298	0,893
4A80 A2	1,5	4,11	–	4A160M2	18,5	0,226	0,685
4A80B2	2,2	2,59	–	4A160S4	15,0	0,27	0,847
4A80A4	1,1	7,15	–	4A160M4	18,5	0,197	0,637
4A80B4	1,5	5,8	–	4A160S6	11,0	0,503	1,65
4A80A6	0,75	10,8	–	4A160M6	15,0	0,346	1,02
4A80B6	1,1	6,26	–	4A160S8	7,5	0,637	–
4A80A8	0,37	21,3	–	4A160M8	11,0	0,428	–
4A80B8	0,55	13,4	–	4A180S2	22	0,151	0,435
4A90L2	3,0	1,96	–	4A180M2	30	0,0869	0,303
4A90L4	2,2	3,11	–	4A180S4	22,0	0,161	0,522
4A90L6	1,5	4,36	–	4A180M4	30,0	0,0989	0,303
4A90LA8	0,75	8,32	–	4A180M6	18,5	0,249	0,736
				4A180M8	15,0	0,318	0,993

Таблица И.2 – Активное сопротивление обмотки фазы статора электродвигателей с повышенным пусковым моментом

Тип электро- двигателя	Ном. мощ- ность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1л}$, В)	Тип электродви- гателя	Ном. мощ- ность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1л}$, В)
		$\frac{400}{690} \cdot \frac{\Delta}{Y}$			$\frac{400}{690} \cdot \frac{\Delta}{Y}$
4AP160S4	15	0,810	4AP200M6	22	0,430
4AP160M4	18,5	0,561	4AP200L6	30	0,312
4AP160S6	11	1,37	4AP200M8	18,5	0,579
4AP160M6	15	0,825	4AP200L8	22	0,496
4AP160S8	7,5	1,87	4AP225M4	55	0,133
4AP160M8	11	1,15	4AP225M6	37	0,213
4AP180S4	22	0,424	4AP225M8	30	0,336
4AP180M4	30	0,271	4AP250S4	75	0,067
4AP180M6	18,5	0,612	4AP250M4	90	0,0532
4AP180M8	15	0,838	4AP250S6	45	0,161
4AP200M4	37	0,241	4AP250M6	55	0,127
4AP200L4	45	0,169	4AP250S8	37	0,203
			4AP250M8	45	0,174

Таблица И.3 – Активное сопротивление обмотки фазы статора электродвигателей с повышенным скольжением высотой оси вращения до 160 мм

Тип электро- двигателя	Ном. мощ- ность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1л}$, В)	Тип электродви- гателя	Ном. мощ- ность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1л}$, В)
		400, Y			400, Y
4AC71A2	1	9,05	4AC100S2	4,8	1,13
4AC71B2	1,2	6,63	4AC100L2	6,3	0,679
4AC71A4	0,6	12,3	4AC100S4	3,2	1,67
4AC71B4	0,8	9,41	4AC100L4	4,25	1,18
4AC71A6	0,4	21,1	4AC100L6	2,6	2,20
4AC71B6	0,63	12,6	4AC100L8	1,6	3,36
4Ac71B8	0,3	26,1	4AC112M2	8,0	0,452
4AC80A2	1,9	3,63	4AC112M4	5,6	0,916
4AC80B2	2,5	2,49	4AC112MA6	3,2	1,79
4AC80A4	1,3	6,29	4AC112MB6	4,2	1,45
4AC80B4	1,7	4,49	4AC112MA8	2,2	2,4
4AC80A6	0,8	8,82	4AC112MB8	3,2	1,74
4AC80B6	1,2	5,62	4AC132M2	11,0	0,285
4AC80A8	0,45	15,5	4AC132S4	8,5	0,505
4AC80B8	0,6	11,7	4AC132M4	11,8	0,301
4AC90L2	3,5	1,70	4AC132S6	6,3	0,928
4AC90L4	2,4	3,11	4AC132M6	8,5	0,556
4AC90L6	1,7	3,74	4AC132S8	4,5	1,13
4AC90LA8	0,9	7,42	4AC132M8	6,0	0,719
4AC90LB8	1,2	4,95			

ПРИЛОЖЕНИЕ К

(справочное)

Значения коэффициента потерь мощности для асинхронных электродвигателей
основного исполнения серии АИР

Таблица К.1 – Значения коэффициента потерь мощности для асинхронных электродвигателей
основного исполнения серии АИР мощностью до 90 кВт

Тип электродвигателя	P_n , кВт	α_n , о. е.	Тип электродвигателя	P_n , кВт	α_n , о. е.	Тип электродвигателя	P_n , кВт	α_n , о. е.
$n_0 = 3000 \text{ мин}^{-1}$			$n_0 = 1500 \text{ мин}^{-1}$			$n_0 = 1000 \text{ мин}^{-1}$		
АИР50А2	0,09	0,60	АИР50А4	0,06	0,08	АИР63А6	0,18	0,38
АИР50В2	0,12	0,38	АИР50В4	0,09	0,21	АИР63В6	0,25	0,53
АИР56А2	0,18	0,65	АИР56А4	0,12	0,22	АИР71А6	0,37	0,49
АИР56В2	0,25	0,44	АИР56В4	0,18	0,44	АИР71В6	0,55	0,36
АИР63А2	0,37	0,22	АИР63А4	0,25	0,51	АИР80А6	0,75	0,53
АИР63В2	0,55	0,23	АИР63В4	0,37	0,57	АИР80В6	1,1	0,57
АИР71А2	0,75	0,29	АИР71А4	0,55	0,56	АИР90Л6	1,5	0,43
АИР71В2	1,1	0,18	АИР71В4	0,75	0,34	АИР100S6	2,2	0,39
АИР80А2	1,5	0,56	АИР80А4	1,1	0,39	АИР112МА6	3	0,40
АИР80В2	2,2	0,56	АИР80В4	1,5	0,30	АИР112МВ6	4	0,39
АИР90Л2	3	0,38	АИР90Л4	2,2	0,26	АИР132S6	5,5	1,07
АИР100S2	4	0,50	АИР100S4	3	0,36	АИР132М6	7,5	0,82
АИР100Л2	5,5	0,30	АИР100Л4	4	0,35	АИР160S6	11	0,19
АИР112М2	7,5	0,64	АИР112М4	5,5	0,36	АИР160М6	15	0,28
АИР132М2	11	0,27	АИР132S4	7,5	0,69	АИР180М6	18,5	0,31
АИР160S2	15	0,68	АИР132М4	11	0,44	АИР200М6	22	0,23
АИР160М2	18,5	0,69	АИР160S4	15	0,29	АИР200Л6	30	0,47
АИР180S2	22	0,55	АИР160М4	18,5	0,23	АИР225М6	37	0,38
АИР180М2	30	0,44	АИР180S4	22	0,62	АИР250S6	45	0,74
АИР200М2	37	0,46	АИР180М4	30	0,65	АИР250М6	55	0,73
АИР200Л2	45	0,54	АИР200М4	37	0,83	АИР280S6	75	0,36
АИР225М2	55	0,71	АИР200Л4	45	0,39	АИР280М6	90	0,39
АИР250S2	75	0,36	АИР225М4	55	0,72			

Таблица К.2 – Значение коэффициента потерь мощности асинхронных электродвигателей серии АИР с повышенным пусковым моментом

Тип электродвигателя	P_n , кВт	α_n , о. е.	Тип электродвигателя	P_n , кВт	α_n , о. е.	Тип электродвигателя	P_n , кВт	α_n , о. е.
$n_0 = 1500 \text{ мин}^{-1}$			$n_0 = 1000 \text{ мин}^{-1}$			$n_0 = 750 \text{ мин}^{-1}$		
АИРС160S4	15	0,32	АИРС160S6	11	0,20	АИРС160S8	7,5	0,53
АИРС160М4	18,5	0,28	АИРС160М6	15	0,28	АИРС160М8	11	0,50
АИРС180S4	22	0,62	АИРС180М6	18,5	0,34	АИРС180М8	15	0,29
АИРС180М4	30	0,67	АИРС200М6	22	0,22	АИРС200М8	18,5	0,31
АИРС200М4	37	0,88	АИРС200Л6	30	0,47	АИРС200Л8	22	0,40
АИРС200Л4	45	0,39	АИРС225М6	37	0,41	АИРС225М8	30	0,44
АИРС225М4	55	0,72	АИРС250S6	45	0,74	АИРС250S8	37	0,87
АИРС250S4	75	0,68	АИРС250М6	55	0,73	АИРС250М8	45	0,76

ПРИЛОЖЕНИЕ Л (справочное)

Справочные данные по мотор-редукторам и редукторам

Таблица Л.1. – Данные к выбору червячных одноступенчатых мотор-редукторов 7МЧ-М

93 7,1 2,5	Число оборотов выходного вала n_2 (об/мин) жирным шрифтом – Крутящий момент на выходном валу M_2 (Н м) обычным шрифтом – <i>Коэффициент эксплуатации F.S. курсивом –</i>	n_2 M_2 F.S.
93 7,1 2,5	– рекомендованный производителем вариант с $1 < F.S. < 3,0$	25 17,5 0,9
	– не рекомендуемые для выбора варианты	-
		– нет вариантов

Внимание! В предлагаемых таблицах выбора, вращающий момент на выходном валу мотор-редуктора M_2 и коэффициент эксплуатации F.S. рассчитаны для $n_1=1400$ об/мин.

Тип мотор-редуктора	Передачное число i											Параметры	Масса, кг
	7:1	10:1	15:1	20:1	28:1	40:1	49:1	56:1	70:1	80:1	100:1		
$P_1 = 0,09$ кВт /1400 об/мин: двигатель 0,09/4-...													
7МЧ-М-28	200 3,6 >3	140 5,0 >3	93 7,1 2,5	70 9,1 1,8	50 11,1 1,8	35 15,2 1,1	29 17,1 1,0	25 17,5 0,9	20 19,3 0,6	18 22,1 0,5	14 26,4 0,3	n_2 M_2 F.S.	3,9
7МЧ-М-40	-	-	-	-	50 11,7 >3	35 15,0 2,8	29 17,4 2,4	25 19,3 2,0	20 22,3 1,6	18 24,6 1,3	14 28,2 1,0	n_2 M_2 F.S.	5,3

Тип мотор-редуктора	Передачное число i											Параметры	Масса, кг
	7:1	10:1	15:1	20:1	28:1	40:1	49:1	56:1	70:1	80:1	100:1		
$P_1 = 0,12$ кВт /1400 об/мин: двигатель 0,12/4-...													
7МЧ-М-28	200 4,8 >3	140 6,6 2,7	93 9,5 1,9	70 12,1 1,3	50 15,1 1,3	35 20,3 0,8	-	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	5,1
7МЧ-М-40					50 15,6 3,1	35 20,0 2,1	29 23,3 1,7	25 25,7 1,5	20 29,8 1,2	18 32,7 1,0	14 37,7 0,8	n_2 M_2 F.S.	6,5
7МЧ-М-50							29 24,9 3,1	25 27,5 2,6	20 30,4 2,1	18 34,1 1,7	14 38,5 1,1	n_2 M_2 F.S.	7,8
$P_1 = 0,18$ кВт /1400 об/мин: двигатель 0,18/4-...													
7МЧ-М-28	200 7,2 2,5	140 9,9 1,8	93 14,2 1,3	70 18,2 0,9	-	-	-	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	5,6
7МЧ-М-40	-	-	93 14,4 3,1	70 18,4 2,1	50 23,4 2,1	35 30,0 1,4	29 34,9 1,2	25 38,5 1,0	20 44,7 0,8	-	-	n_2 M_2 F.S.	7,0
7МЧ-М-50	-	-	-	-	50 24,4 3,5	35 31,4 2,3	29 37,3 2,0	25 41,3 1,7	20 45,6 1,4	18 51,1 1,1	14 57,7 0,7	n_2 M_2 F.S.	8,3
$P_1 = 0,25$ кВт /1400 об/мин: двигатель 0,25/4-...													
7МЧ-М-40	200 10,1 >3	140 14,2 >3	93 20,0 2,2	70 25,6 1,5	50 32,5 1,5	35 41,6 1,0	29 48,5 0,8	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	8,5
7МЧ-М-50	-	-	93 20,0 >3	70 25,9 2,5	50 33,9 2,5	35 43,7 1,6	29 51,8 1,5	25 57,3 1,2	20 63,3 1,0	18 70,9 0,8	-	n_2 M_2 F.S.	9,8
7МЧ-М-60	-	-	-	-	50 33,9 4,1	35 45,0 3,0	29 51,8 2,5	25 57,3 2,1	20 65,7 1,9	18 72,3 1,5	14 83,6 1,0	n_2 M_2 F.S.	13,0

Продолжение таблицы Л.1

Тип мотор-редуктора	Передаточное число i											Параметры	Масса, кг
	7:1	10:1	15:1	20:1	28:1	40:1	49:1	56:1	70:1	80:1	100:1		
$P_1 = 0,37$ кВт /1400 об/мин: двигатель 0,37/4-...													
7МЧ-М-40	200 15,0 3,0	140 20,9 2,2	93 29,5 1,5	70 37,9 1,0	50 48,1 1,0	35 61,6 0,7	-	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	9,0
7МЧ-М-50	-	140 21,2 >3	93 29,5 2,5	70 38,4 1,7	50 50,2 1,7	35 64,6 1,1	29 76,7 1,0	25 84,8 0,8	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	11,0
7МЧ-М-60	-	-	-	70 38,9 3,1	50 50,2 2,8	35 66,6 2,0	29 76,7 1,7	25 84,8 1,5	20 97,2 1,3	18 107,0 1,0	14 123,7 0,7	n_2 M_2 F.S.	13,0
7МЧ-М-70	-	-	-	-	-	35 71,7 >3	29 82,9 2,3	25 90,5 2,0	20 104 1,6	18 113,1 1,4	14 131,2 1,0	n_2 M_2 F.S.	15,0
$P_1 = 0,55$ кВт /1400 об/мин: двигатель 0,55/4-...													
7МЧ-М-50	200 22,6 >3	140 31,5 2,4	93 43,9 1,7	70 57,0 1,1	50 74,6 1,1	35 96,0 0,7	29 114 0,7	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	13,0
7МЧ-М-60	-	140 31,5 >3	93 45,6 2,9	70 57,8 2,1	50 74,6 1,9	35 99,0 1,4	29 114 1,1	25 126,1 1,0	20 144,4 0,8	-	-	n_2 M_2 F.S.	15,0
7МЧ-М-70	-	-	-	70 60,8 3,2	50 78,8 2,7	35 106,5 2,2	29 123,2 1,5	25 134,5 1,3	20 154,9 1,1	18 168,1 0,9	-	n_2 M_2 F.S.	17,0
7МЧ-М-85	-	-	-	-	-	35 108,0 >3	29 125,0 2,5	25 142,9 2,1	20 165,4 1,8	18 180,1 1,6	14 210,1 1,0	n_2 M_2 F.S.	21,0
$P_1 = 0,75$ кВт /1400 об/мин: двигатель 0,75/4-...													
7МЧ-М-50	200 30,8 2,4	140 43,0 1,7	93 59,9 1,2	70 77,8 0,8	50 101,7 0,8	-	-	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	14,0

Тип мотор- редуктора	Передаточное число i											Пара- метры	Масса, кг
	7:1	10:1	15:1	20:1	28:1	40:1	49:1	56:1	70:1	80:1	100:1		
7МЧ-М-60	-	140 43,0 3,1	93 62,2 2,1	70 78,8 1,5	50 101,7 1,4	35 135 1,0	29 155 0,8	-	-	-	-	n_2 M_2 $F.S.$	17,0
7МЧ-М-70	-	140 44 4,1	93 63,7 3,0	70 82,9 2,3	50 107,4 2,0	35 145,3 1,6	29 168 1,1	25 183,3 1,0	20 211,3 0,8	-	-	n_2 M_2 $F.S.$	18,0
7МЧ-М-85	-	-	-	70 83,9 >3	50 108,9 2,9	35 147,3 2,7	29 170,5 1,9	25 194,8 1,6	20 225,6 1,3	18 245,6 1,1	14 286,5 0,7	n_2 M_2 $F.S.$	22,0
$P_1 = 1,1$ кВт /1400 об/мин: 1,1/4-...													
7МЧ-М-60	200 45,2 2,5	140 63 2,1	93 91,2 1,4	70 115,5 1,1	50 149,2 0,9	-	-	-	-	-	-	n_2 M_2 $F.S.$	19,0
7МЧ-М-70	200 46,2 >3	140 64,5 2,8	93 93,4 2,0	70 121,6 1,6	50 157,6 1,4	35 213,1 1,1	29 246,3 0,8	-	-	-	-	n_2 M_2 $F.S.$	21,0
7МЧ-М-85	-	-	93 93,4 3,1	70 123,1 2,6	50 159,7 2,0	35 216,1 1,9	29 250 1,3	25 285,7 1,1	20 330,9 0,9	-	-	n_2 M_2 $F.S.$	24,0
7МЧ-М-110	-	-	-	-	-	35 219,1 3,2	29 257,4 2,5	25 294,1 2,0	20 351,9 1,8	18 396,2 1,6	14 457,7 1,0	n_2 M_2 $F.S.$	52,0
$P_1 = 1,5$ кВт /1400 об/мин: 1,5/4-...													
7МЧ-М-60	200 61,6 1,8	140 85,9 1,5	93 124,3 1,0	70 157,6 0,8	-	-	-	-	-	-	-	n_2 M_2 $F.S.$	21,0
7МЧ-М-70	200 63 2,6	140 88 2,0	93 127,4 1,5	70 165,8 1,2	50 214,9 1,0	35 290,6 0,8	-	-	-	-	-	n_2 M_2 $F.S.$	22,0

Продолжение таблицы Л.1

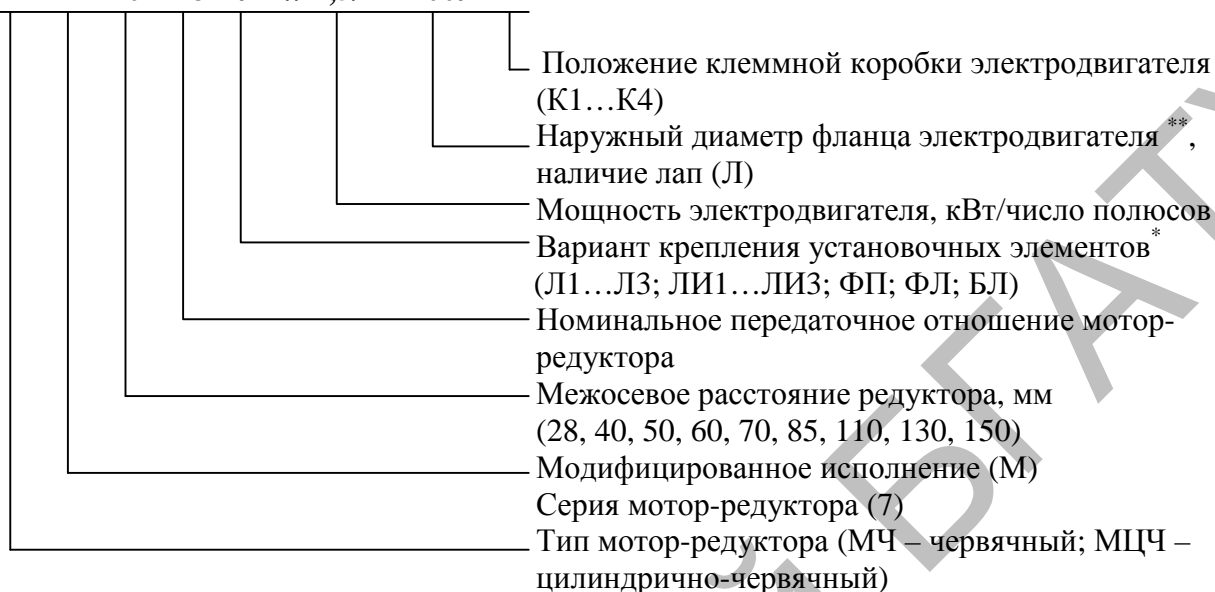
Тип мотор-редуктора	Передающее число i											Параметры	Масса, кг
	7:1	10:1	15:1	20:1	28:1	40:1	49:1	56:1	70:1	80:1	100:1		
7МЧ-М-85	200 63 >3	140 88 3,0	93 127,4 2,3	70 167,8 1,9	50 217,7 1,5	35 294,7 1,4	29 340,9 0,9	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	26,0
7МЧ-М-110	-	-	-	70 169,8 >3	50 217,7 2,9	35 298,8 2,3	29 350,9 1,8	25 401,1 1,5	20 479,9 1,3	18 540,2 1,2	14 624,1 0,8	n_2 M_2 F.S.	55,0
7МЧ-М-130	-	-	-	-	-	35 311 3,7	29 361 2,6	25 406,8 2,5	20 479,9 1,8	18 515,7 1,6	14 624,1 1,2	n_2 M_2 F.S.	78,0
$P_1 = 2,2$ кВт /1400 об/мин: 2,2/4-...													
7МЧ-М-70	200 92,4 1,8	140 129,1 1,4	93 186,8 1,0	70 243,1 0,8	-	-	-	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	28,0
7МЧ-М-85	200 92,4 2,8	140 129,1 2,1	93 186,8 1,5	70 246,1 1,3	50 319,3 1,0	35 432,2 0,9	-	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	32,0
7МЧ-М-110	-	140 130,6 >3	93 189,1 3,0	70 249,1 2,6	50 319,3 2,0	35 438,2 1,6	29 514,7 1,2	25 588,2 1,0	20 703,8 0,9	-	-	n_2 M_2 F.S.	57,0
7МЧ-М-130	-	-	-	-	50 323,5 3,4	35 456,2 2,5	29 529,4 1,8	25 596,6 1,7	20 703,8 1,2	18 756,3 1,1	14 915,4 0,8	n_2 M_2 F.S.	69,0
7МЧ-М-150	-	-	-	-	-	35 462,2 3,6	29 536,8 2,7	25 613,5 2,3	20 714,3 1,7	18 780,3 1,5	14 945,4 1,2	n_2 M_2 F.S.	99,0
$P_1 = 3,0$ кВт /1400 об/мин: 3,0/4-...													
7МЧ-М-70	200 126,1 1,3	140 176 1,0	93 254,8 0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	34,0

Тип мотор- редуктора	Передаточное число i											Пара- метры	Масса, кг
	7:1	10:1	15:1	20:1	28:1	40:1	49:1	56:1	70:1	80:1	100:1		
7МЧ-М-85	200 126,1 2,1	140 176 1,5	93 254,8 1,1	70 335,6 1,0	50 435,5 0,7	35 589,3 0,7	-	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	38,0
7МЧ-М-110	200 126,1 4,2	140 178 3,0	93 257,8 2,2	70 339,7 1,9	50 435,5 1,5	35 597,5 1,2	29 701,9 0,9	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	60,0
7МЧ-М-130	-	-	93 260,9 3,7	70 343,8 2,8	50 441,2 2,5	35 622,1 1,8	29 721,9 1,3	25 813,6 1,2	20 959,7 0,9	-	-	n_2 M_2 F.S.	73,0
7МЧ-М-150	-	-	-	-	50 452,6 3,2	35 630,3 2,7	29 732,0 2,0	25 836,5 1,7	20 974,0 1,3	18 1064 1,1	14 1289 0,9	n_2 M_2 F.S.	103
$P_1 = 4,0$ кВт /1400 об/мин: 4,0/4-...													
7МЧ-М-70	200 168,1 1,0	140 234,6 0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	38,0
7МЧ-М-85	200 168,1 1,5	140 234,6 1,1	93 339,7 0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	42,0
7МЧ-М-110	200 168,1 3,1	140 237,4 2,2	93 343,8 1,6	70 452,9 1,4	50 580,6 1,1	35 796,7 0,9	-	-	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	70,0
7МЧ-М-130	-	140 234,7 3,7	93 347,9 2,8	70 458,4 2,1	50 588,2 1,9	35 829,4 1,4	29 962,6 1,0	25 1085 0,9	-	-	-	n_2 M_2 F.S.	81,0
7МЧ-М-150	-	-	-	70 458,4 3,1	50 603,5 2,4	35 840,3 2,0	29 975,9 1,5	25 1115 1,3	20 1299 0,9	-	-	n_2 M_2 F.S.	101

Тип мотор-редуктора	Передаточное число i										Параметры	Масса, кг	
	$P_1 = 5,5 \text{ кВт} / 1400 \text{ об/мин: } 5,5/4-...$												
7МЧ-М-110	200	140	93	70	50							n_2	80,0
	231,1 2,3	326,4 1,6	472,7 1,2	622,8 1,0	798,3 0,8	-	-	-	-	-	-	M_2 $F.S.$	
7МЧ-М-130	200	140	93	70	50	35	29					n_2	83,0
	233,7 3,5	326,4 2,7	478,3 2,0	630,3 1,5	808,8 1,4	1141 1,0	1324 0,7	-	-	-	-	M_2 $F.S.$	
7МЧ-М-150	-	140	93	70	50	35	29	25				n_2	113
		330,1 3,8	483,9 2,9	630,3 2,3	829,8 1,7	1156 1,5	1342 1,1	1534 0,9	-	-	-	M_2 $F.S.$	
$P_1 = 7,5 \text{ кВт} / 1400 \text{ об/мин: } 7,5/4-...$													
7МЧ-М-110	200	140	93	70	50							n_2	90,2
	231,1 2,3	326,4 1,6	472,7 1,2	622,8 1,0	798,3 0,8	-	-	-	-	-	-	M_2 $F.S.$	
7МЧ-М-130	200	140	93	70	50	35						n_2	101
	318,7 2,5	445,1 2,0	652,3 1,5	859,4 1,1	1103 1,0	1555 0,7	-	-	-	-	-	M_2 $F.S.$	
7МЧ-М-150	200	140	93	70	50	35	29					n_2	131
	318,7 3,3	450,2 2,8	659,9 2,1	859,4 1,7	1132 1,3	1576 1,1	1830 0,8	-	-	-	-	M_2 $F.S.$	
$P_1 = 11 \text{ кВт} / 1400 \text{ об/мин: } 11,0/4-...$													
7МЧ-М-150	200	140	93	70	50							n_2	143
	467,4 2,3	660,3 1,9	967,9 1,5	1261 1,1	1660 0,9	-	-	-	-	-	-	M_2 $F.S.$	
$P_1 = 15 \text{ кВт} / 1400 \text{ об/мин: } 15,0/4-...$													
7МЧ-М-150	200	140	93	70								n_2	173
	634,7 1,7	900,4 1,4	1320 1,1	1719 0,8	-	-	-	-	-	-	-	M_2 $F.S.$	

Система обозначений червячных одноступенчатых мотор-редукторов 7МЧ-М

7МЧ-М – 40 – 28 – Л1 // 1,5/4 – 200Л –К1



Примечания.

*Л1, Л2, Л3 – вариант установки пристяжных лап;

ЛИ1, ЛИ2, ЛИ3 – вариант установки лап, интегрированных в корпус (по спецзаказу);

**ФП, ФЛ – вариант установки выходного фланца;

БЛ – исполнение без установочных элементов.

Таблица Л.2 Данные к выбору мотор-редукторов цилиндрических типа 7МЦ

Внимание! В предлагаемых таблицах выбора вращающий момент на выходном валу мотор-редуктора M_2 и коэффициент эксплуатации $F.S.$ рассчитаны для $n_1 = 1400 \text{ мин}^{-1}$.

Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i	Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i
$P_1 = 0,09 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 0,09/4-...					$P_1 = 0,12 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 0,12/4-...				
7МЦ3-45	9,5	85	0,9	147*	7МЦ3-45	12	90	0,8	119*
7МЦ3-45	10,5	75	1,0	133	7МЦ3-45	13,5	80	0,9	103*
7МЦ3-45	12	65	1,1	119*	7МЦ3-45	16	65	1,1	87*
7МЦ3-45	13,5	60	1,2	103*	7МЦ3-45	19	55	1,3	73*
7МЦ3-45	16	50	1,5	87*	7МЦ3-45	23	45	1,6	61*
7МЦ3-37	19	42	0,9	73*	7МЦ2-45	27	40	1,9	52*
7МЦ3-37	23	35	1,1	61*	7МЦ2-45	31	35	2,1	46*
7МЦ2-37	27	30	1,2	52*	7МЦ2-37	37	30	1,2	38*
7МЦ2-37	31	26	1,4	46	7МЦ2-37	42	26	1,4	34
7МЦ2-37	37	22	1,6	38*	7МЦ2-37	47	23	1,6	30*
7МЦ2-37	42	20	1,8	34	7МЦ2-37	57	19	1,9	25*
7МЦ2-37	47	17	2,0	30*	7МЦ2-37	69	16	2,3	20*
7МЦ2-37	57	14	2,5	25*	7МЦ2-37	82	13	2,8	18
7МЦ2-37	69	12	3,0	20*	7МЦ2-37	90	12	3,0	16*
7МЦ2-37	82	10	>3	18	7МЦ2-37	101	11	>3	14

Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i	Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i
7МЦ2-37	90	9,2	>3	16*	7МЦ2-37	113	10	>3	13*
7МЦ2-37	101	8,2	>3	14*	7МЦ2-37	138	8	>3	10*
7МЦ2-37	113	7,3	>3	13*	7МЦ2-37	166	6,6	>3	8,7*
7МЦ2-37	138	6,0	>3	10*	7МЦ-37	175	6,4	1,5	8,3*
7МЦ2-37	166	5,0	>3	8,7*	7МЦ2-37	196	5,6	>3	7,3*
7МЦ-37	175	4,7	2,1	8,3*	7МЦ2-37	210	5,2	>3	6,8
7МЦ2-37	196	4,2	>3	7,3*	7МЦ2-37	230	4,8	>3	6,3*
7МЦ2-37	210	3,9	>3	6,8	7МЦ2-37	240	4,6	>3	6,0
7МЦ2-37	230	3,6	>3	6,3*	7МЦ2-37	268	4,1	>3	5,4*
7МЦ2-37	240	3,4	>3	6,0	7МЦ2-37	324	3,4	>3	4,5*
7МЦ2-37	268	3,1	>3	5,4*	7МЦ2-37	388	2,8	>3	3,7*
7МЦ2-37	324	2,5	>3	4,5*	7МЦ-37	415	2,7	>3	3,5
7МЦ2-37	388	2,1	>3	3,7*	7МЦ2-37	460	2,4	>3	3,1*
7МЦ-37	415	2,0	>3	3,5	7МЦ2-37	540	2,0	>3	2,7*
7МЦ2-37	460	1,8	>3	3,1*	7МЦ2-37	630	1,7	>3	2,3*
7МЦ2-37	540	1,5	>3	2,7*	7МЦ-37	965	1,2	>3	1,5*
7МЦ2-37	630	1,3	>3	2,3*	$P_1 = 0,18$ кВт/1400 мин ⁻¹ : двиг. 0,18/4-...				
7МЦ-37	965	0,9	>3	1,5*	7МЦ3-75	4,5	360	0,8	320*
$P_1 = 0,12$ кВт/1400 мин ⁻¹ : двиг. 0,12/4-...					7МЦ3-75	2	320	1,0	284
7МЦ3-75	3	360	0,8	432	7МЦ3-75	5,5	295	1,0	254*
7МЦ3-75	3,5	310	1,0	388*	7МЦ3-75	6,5	250	1,2	208*
7МЦ3-75	4,5	240	1,3	320*	7МЦ3-75	8	200	1,5	174*
7МЦ3-75	5	215	1,4	284	7МЦ3-75	9,5	170	1,7	147*
7МЦ3-75	5,5	195	1,5	254*	7МЦ3-75	10,5	155	1,9	133
7МЦ3-60	6,5	165	0,9	208*	7МЦ3-60	12	135	1,1	119*
7МЦ3-60	8	135	1,1	174*	7МЦ3-60	13,5	120	1,3	103*
7МЦ3-60	9,5	115	1,3	147*	7МЦ3-60	16	100	1,5	87*
7МЦ3-60	10,5	105	1,4	133	7МЦ3-45	19	85	0,9	73*
$P_1 = 0,18$ кВт/1400 мин ⁻¹ : двиг. 0,18/4-...					$P_1 = 0,25$ кВт/1400 мин ⁻¹ : двиг. 0,25/4-...				
7МЦ3-45	23	70	1,1	61*	7МЦ2-45	42	55	1,4	34
7МЦ2-45	27	60	1,2	52*	7МЦ2-45	47	49	1,5	30*
7МЦ2-45	31	55	1,4	46	7МЦ2-45	57	40	1,8	25*
7МЦ2-45	37	45	1,6	38*	7МЦ2-45	69	33	2,2	20*
7МЦ2-45	42	39	1,9	34	7МЦ2-45	82	28	2,6	18
7МЦ2-37	47	35	1,0	30*	7МЦ2-37	90	25	1,4	16*
7МЦ2-37	57	29	1,2	25*	7МЦ2-37	101	23	1,6	14
7МЦ2-37	69	24	1,5	20*	7МЦ2-37	113	20	1,8	13*
7МЦ2-37	82	20	1,8	18	7МЦ2-37	138	17	2,2	10*
7МЦ2-37	90	18	2,0	16*	7МЦ2-37	166	14	2,6	8,7*
7МЦ2-37	101	16	2,3	14	7МЦ-45	175	13	1,5	8,3*
7МЦ2-37	113	15	2,5	13*	7МЦ2-37	196	12	>3	7,3*
7МЦ2-37	138	12	3,0	10*	7МЦ2-37	210	11	>3	6,8
7МЦ2-37	166	10	>3	8,7*	7МЦ2-37	230	10	>3	6,3*
7МЦ-37	175	10	1,0	8,3*	7МЦ2-37	240	9,5	>3	6,0
7МЦ2-37	196	8,4	2,0	7,3*	7МЦ2-37	268	8,5	>3	5,4*
7МЦ2-37	210	7,8	>3	6,8	7МЦ2-37	324	7,1	>3	4,5*
7МЦ2-37	230	7,2	>3	6,3*	7МЦ2-37	388	5,9	>3	3,7*

Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i	Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i
7МЦ2-37	240	6,9	>3	6,0	7МЦ-37	415	5,6	1,8	3,5
7МЦ2-37	268	6,2	>3	5,4*	7МЦ2-37	460	5	>3	3,1*
7МЦ2-37	324	5,1	>3	4,5*	7МЦ2-37	540	4,2	>3	2,7*
7МЦ2-37	288	4,3	>3	3,7*	7МЦ2-37	630	3,6	>3	2,3*
7МЦ-37	415	4,1	2,5	3,5	7МЦ-37	965	2,4	>3	1,5*
7МЦ2-37	460	3,6	>3	3,1*	$P_1 = 0,37 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 0,37/4-...				
7МЦ2-37	540	3,1	>3	2,7*	7МЦ3-120	3	1110	1,1	432
7МЦ2-37	630	2,6	>3	2,3*	7МЦ3-120	3,5	950	1,3	388*
7МЦ2-37	965	1,7	>3	1,5*	7МЦ3-120	4,5	740	1,7	320*
$P_1 = 0,25 \text{ Вт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 0,25/4-...					7МЦ3-120	5	665	1,9	284
7МЦ3-120	3	800	1,6	432	7МЦ3-120	5,5	505	2,0	254*
7МЦ3-120	3,5	640	2,0	388*	7МЦ3-90	6,5	510	1,2	208*
7МЦ3-90	4,5	500	1,2	320*	7МЦ3-90	8	415	1,4	174*
7МЦ3-90	5,0	450	1,3	284	7МЦ3-75	9,5	350	0,9	147*
7МЦ3-90	5,5	410	1,5	254*	7МЦ3-75	10,5	315	1,0	133
7МЦ3-75	6,5	340	0,9	208*	7МЦ3-75	12	275	1,1	119*
7МЦ3-75	8,0	280	1,1	174*	7МЦ3-75	13,5	245	1,2	103*
7МЦ3-75	9,5	235	1,3	147*	7МЦ3-75	16	210	1,4	87*
7МЦ3-75	10,5	215	1,4	133	7МЦ3-75	19	175	1,7	73*
7МЦ3-75	12,0	190	1,6	119*	7МЦ3-75	23	145	2,1	61*
7МЦ3-75	13,5	165	1,8	103*	7МЦ2-60	27	125	1,2	52*
7МЦ3-75	16	140	2,0	87*	7МЦ2-60	31	110	1,4	46
7МЦ3-60	19	120	1,2	73*	7МЦ2-60	37	90	1,6	38*
7МЦ3-60	23	100	1,5	61*	7МЦ2-60	42	80	1,9	34
7МЦ2-60	27	85	1,7	52*	7МЦ2-45	47	75	1,0	30*
7МЦ2-60	31	75	2,0	46	7МЦ2-45	57	60	1,2	25*
7МЦ2-45	37	65	1,2	38*	7МЦ2-45	69	50	1,5	20*
$P_1 = 0,37 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 0,37/4-...					$P_1 = 0,55 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 0,55/4-...				
7МЦ2-45	82	41	1,8	18	7МЦ2-45	138	36	2,1	10*
7МЦ2-45	90	38	2,0	16*	7МЦ2-45	166	30	2,5	8,7*
7МЦ2-45	101	34	2,2	14	7МЦ-60	175	29	1,4	8,3*
7МЦ2-45	113	30	2,5	13*	7МЦ2-45	196	26	2,9	7,3*
7МЦ2-45	138	25	3,0	10*	7МЦ2-45	210	24	>3	6,8
7МЦ2-37	166	20	1,8	8,7*	7МЦ2-45	230	22	>3	6,3*
7МЦ-45	175	20	1,0	8,3*	7МЦ2-45	240	21	>3	6,0
7МЦ2-37	196	17	2,1	7,3*	7МЦ2-45	268	19	>3	5,4*
7МЦ2-37	210	16	2,3	6,8	7МЦ2-45	324	16	>3	4,5*
7МЦ2-37	230	15	2,5	6,3*	7МЦ2-45	388	13	>3	3,7*
7МЦ2-37	240	14	2,6	6,0	7МЦ-45	415	12	1,6	3,5
7МЦ2-37	268	13	2,9	5,4*	7МЦ2-45	460	11	>3	3,1*
7МЦ2-37	324	11	>3	4,5*	7МЦ2-45	540	9,3	>3	2,7*
7МЦ2-37	388	8,7	>3	3,7*	7МЦ2-45	630	8	>3	2,3*
7МЦ-37	415	8,4	1,2	3,5	7МЦ-45	965	5,3	>3	1,5*
7МЦ2-37	460	7,4	>3	3,1*	$P_1 = 0,75 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 0,75/4-...				
7МЦ2-37	540	6,3	>3	2,7*	7МЦ3-150	3	2245	1,0	432
7МЦ2-37	630	5,4	>3	2,3*	7МЦ3-150	3,5	1925	1,2	388*
7МЦ-37	965	3,6	2,8	1,5*	7МЦ3-150	4,5	1500	1,7	320*

Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i	Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i
$P_1 = 0,55$ кВт/1400 мин ⁻¹ : двиг. 0,55/4-...					$P_1 = 1,1$ кВт/1400 мин ⁻¹ : двиг. 1,1/4-...				
7МЦ3-150	3	1650	1,5	432	7МЦ3-150	5,5	1225	2,0	254*
7МЦ3-150	3,5	1410	1,8	388*	7МЦ3-120	6,5	1035	1,2	208*
7МЦ3-120	4,5	1100	1,1	320*	7МЦ3-120	8	840	1,5	174*
7МЦ3-120	5	990	1,3	284	7МЦ3-120	9,5	710	1,8	147*
7МЦ3-120	5,5	900	1,4	254*	7МЦ3-120	10,5	640	1,9	133
7МЦ3-120	6,5	460	1,6	208*	7МЦ3-90	12	560	1,1	119*
7МЦ3-120	8	620	2,0	174*	7МЦ3-90	13,5	500	1,2	103*
7МЦ3-90	9,5	520	1,2	147*	7МЦ3-90	16	420	1,4	87*
7МЦ3-90	10,5	470	1,3	133	7МЦ3-90	19	355	1,7	73*
7МЦ3-90	12	410	1,5	119*	7МЦ3-90	23	295	2,1	61*
7МЦ3-90	13,5	365	1,6	103*	7МЦ2-75	27	255	1,2	52*
7МЦ3-90	16	310	1,9	87*	7МЦ2-75	31	220	1,4	46
7МЦ3-75	19	260	1,2	73*	7МЦ2-75	37	185	1,6	38*
7МЦ3-75	23	215	1,4	61*	7МЦ2-75	42	165	1,8	34
7МЦ2-75	27	190	1,6	52*	7МЦ2-60	47	145	1,0	30*
7МЦ2-75	31	165	1,8	46	7МЦ2-60	57	120	1,2	25*
7МЦ2-60	37	135	1,1	38*	7МЦ2-60	69	100	1,5	20*
7МЦ2-60	42	120	1,2	34	7МЦ2-60	82	85	1,8	18
7МЦ2-60	47	110	1,4	30*	7МЦ2-60	90	75	2,0	16*
7МЦ2-60	57	90	1,7	25*	7МЦ2-60	101	70	2,2	14
7МЦ2-60	69	75	2,0	20*	7МЦ2-60	113	60	2,5	13*
7МЦ2-60	82	60	2,5	18	7МЦ2-60	138	50	3,0	10*
7МЦ2-45	90	55	1,3	16*	7МЦ2-45	166	41	1,8	8,7*
7МЦ2-45	101	50	1,5	14	7МЦ-60	175	40	1,0	8,3*
7МЦ2-45	113	45	1,7	13*	7МЦ2-45	196	35	2,1	7,3*
$P_1 = 0,75$ кВт/1400 мин ⁻¹ : двиг. 0,75/4-...					$P_1 = 1,5$ кВт/1400 мин ⁻¹ : двиг. 1,5/4-...				
7МЦ2-45	210	33	2,3	6,8	7МЦ3-150	6,5	2070	1,2	208*
7МЦ2-45	230	30	2,5	6,3*	7МЦ3-150	8	1685	1,5	174*
7МЦ2-45	240	26	2,9	6,0	7МЦ3-150	9,5	1420	1,8	147*
7МЦ2-45	268	26	>3	5,4*	7МЦ3-120	10,5	1285	1,0	133
7МЦ2-45	324	21	>3	4,5*	7МЦ3-120	12	1125	1,1	119*
7МЦ2-45	388	18	>3	3,7*	7МЦ3-120	13,5	1000	1,3	103*
7МЦ-45	415	17	1,2	3,5	7МЦ3-120	16	840	1,5	87*
7МЦ2-45	460	15	>3	3,1*	7МЦ3-120	19	700	1,8	73*
7МЦ2-45	540	13	>3	2,7*	7МЦ3-120	23	585	2,1	61*
7МЦ2-45	630	11	>3	2,3*	7МЦ2-90	27	510	1,2	52*
7МЦ-45	965	7,3	2,7	1,5*	7МЦ2-90	31	445	1,4	46
$P_1 = 1,1$ кВт/1400 мин ⁻¹ : двиг. 1,1/4-...					$P_1 = 1,5$ кВт/1400 мин ⁻¹ : двиг. 1,5/4-...				
7МЦ3-150	4,5	2195	1,1	320*	7МЦ2-90	37	370	1,6	38*
7МЦ3-150	5,0	1975	1,3	284					
7МЦ3-150	5,5	1795	1,4	254*					
7МЦ3-150	6,5	1520	1,6	208*					
7МЦ3-150	8	1235	2,0	174*					
7МЦ3-120	9,5	1040	1,2	147*					
7МЦ3-120	10,5	940	1,3	133					
7МЦ3-120	12	825	1,5	119*					

Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i	Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i
7МЦ3-120	13,5	730	1,7	103*	7МЦ2-90	42	330	1,8	34
7МЦ3-120	16	620	2,0	87*	7МЦ2-75	47	300	1,0	30*
7МЦ3-90	19	520	1,2	73*	7МЦ2-75	57	240	1,2	25*
7МЦ3-90	23	430	1,4	61*	7МЦ2-75	69	200	1,5	20*
7МЦ2-90	27	375	1,6	52*	7МЦ2-75	82	170	1,8	18
7МЦ2-90	31	325	1,8	46	7МЦ2-75	90	155	2,0	16*
7МЦ2-75	37	275	1,1	38*	7МЦ2-75	101	135	2,2	14
7МЦ2-75	42	240	1,2	34	7МЦ2-75	113	120	2,5	13*
7МЦ2-75	47	215	1,4	30*	7МЦ2-75	138	100	3,0	10*
7МЦ2-75	57	180	1,7	25*	7МЦ-60	166	85	1,8	8,7*
7МЦ2-75	69	145	2,0	20*	7МЦ2-75	175	80	1,0	8,3*
7МЦ2-75	82	125	2,4	18	7МЦ2-60	196	70	2,1	7,3*
7МЦ2-60	90	115	1,3	16*	7МЦ2-60	210	65	2,3	6,8
7МЦ2-60	101	100	1,5	14	7МЦ2-60	230	60	2,5	6,3*
7МЦ2-60	113	90	1,7	13*	7МЦ2-60	240	55	2,6	6,0
7МЦ2-60	138	75	2,0	10*	7МЦ2-60	268	50	3,0	5,4*
7МЦ2-60	166	60	2,5	8,7*	7МЦ2-60	324	42	>3	4,5*
7МЦ-75	175	60	1,4	8,3*	7МЦ2-60	388	35	>3	3,7*
7МЦ2-60	196	50	2,9	7,3*	7МЦ-60	415	34	1,2	3,5
7МЦ2-60	210	48	>3	6,8	7МЦ2-60	460	30	>3	3,1*
7МЦ2-60	230	44	>3	6,3*	7МЦ2-60	540	25	>3	2,7*
7МЦ2-60	240	42	>3	6,0	7МЦ2-60	630	22	>3	2,3*
7МЦ2-60	268	38	>3	5,4*	7МЦ-60	965	15	2,9	1,5*
$P_1 = 2,2 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 2,2/4-...					$P_1 = 3,0 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 3,0/4-...				
7МЦ3-150	9,5	2080	1,2	147*	7МЦ2-90	69	400	1,5	20*
7МЦ3-150	10,5	1880	1,3	133	7МЦ2-90	82	335	1,8	18
7МЦ3-150	12	1650	1,5	119*	7МЦ2-90	90	305	2,0	16*
7МЦ3-150	13,5	1465	1,7	103*	7МЦ2-90	101	275	2,2	14
7МЦ3-150	16	1235	2,0	87*	7МЦ2-90	113	245	2,5	13*
7МЦ3-120	19	1040	1,2	73*	7МЦ2-90	138	200	3,0	10*
7МЦ3-120	23	860	1,5	61*	7МЦ2-75	166	165	1,8	8,7*
7МЦ2-120	27	750	1,7	52*	7МЦ-90	175	160	1,4	8,3*
7МЦ2-120	31	650	1,9	46	7МЦ2-75	196	140	2,1	7,3*
7МЦ2-90	37	545	1,1	38*	7МЦ2-75	210	130	2,3	6,8
7МЦ2-90	42	480	1,2	34	7МЦ2-75	230	120	2,5	6,3*
7МЦ2-90	47	430	1,4	30*	7МЦ2-75	240	115	2,6	6,0
7МЦ2-90	57	355	1,7	25*	7МЦ2-75	268	105	2,9	5,4*
7МЦ2-90	69	295	2,0	20*	7МЦ2-75	324	85	>3	4,5*
7МЦ2-90	82	245	2,4	18	7МЦ2-75	388	70	>3	3,7*
7МЦ2-75	90	225	1,3	16*	7МЦ-75	415	70	1,2	3,5
7МЦ2-75	101	200	1,5	14	7МЦ2-75	460	60	>3	3,1*
7МЦ2-75	113	180	1,7	13*	7МЦ2-75	540	50	>3	2,7*
7МЦ2-75	138	150	2,0	10*	7МЦ2-75	630	45	>3	2,3*
7МЦ2-75	166	125	2,5	8,7*	7МЦ-75	965	30	2,9	1,5*
7МЦ-90	175	120	1,9	8,3*	$P_1 = 4,0 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 4,0/4-...				
7МЦ2-75	196	105	2,9	7,3*	7МЦ3-150	19	1890	1,3	73*
7МЦ2-75	210	95	>3	6,8	7МЦ3-150	23	1560	1,6	61*

Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i	Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i
7МЦ2-75	230	90	>3	6,3*	7МЦ3-120	27	1350	0,9	52*
7МЦ2-75	240	85	>3	6,0	7МЦ3-120	31	1185	1,1	46
7МЦ2-75	268	75	>3	5,4*	7МЦ2-120	37	990	1,3	38*
7МЦ2-75	324	65	c	4,5*	7МЦ2-120	42	875	1,4	34
7МЦ2-75	388	55	>3	3,7*	7МЦ2-120	47	780	1,6	30*
7МЦ2-75	415	50	1,7	3,5	7МЦ2-120	57	645	1,9	25*
7МЦ2-75	460	45	>3	3,1*	7МЦ2-90	69	530	1,1	20*
7МЦ2-75	540	40	>3	2,7*	7МЦ2-90	82	450	1,4	18
7МЦ2-75	630	35	>3	2,3*	7МЦ2-90	90	410	1,5	16*
7МЦ2-75	965	25	>3	1,5*	7МЦ2-90	101	365	1,7	14
$P_1 = 3,0 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 3,0/4-...					7МЦ2-90	113	325	1,8	13*
7МЦ3-150	12	2250	1,1	119*	7МЦ2-90	138	265	2,3	10*
7МЦ3-150	13,5	2000	1,3	103*	7МЦ2-90	166	220	2,7	8,7*
7МЦ3-150	16	1685	1,5	87*	7МЦ2-90	175	215	1,1	8,3*
7МЦ3-120	19	1415	0,9	73*	7МЦ2-90	196	190	>3	7,3*
7МЦ3-120	23	1170	1,1	61*	7МЦ2-90	210	175	>3	6,8
7МЦ2-120	27	1020	1,2	52*	7МЦ2-90	230	160	>3	6,3*
7МЦ2-120	31	890	1,4	46	7МЦ2-90	240	155	>3	6,0
7МЦ2-120	37	745	1,7	38*	7МЦ2-75	268	135	>3	5,4*
7МЦ2-120	42	655	1,9	34	7МЦ2-75	324	115	>3	4,5*
7МЦ2-90	47	590	1,0	30*	7МЦ2-75	388	95	>3	3,7*
7МЦ2-90	57	485	1,2	25*	7МЦ2-90	415	90	2,5	3,5
$P_1 = 4,0 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 4,0/4-...					$P_1 = 7,5 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 7,5/4-...				
7МЦ2-75	460	80	>3	3,1*	7МЦ2-120	138	500	2,5	10*
7МЦ2-75	540	70	>3	2,7*	7МЦ2-120	166	415	3,0	8,7*
7МЦ2-75	630	60	>3	2,3*	7МЦ2-120	175	400	1,0	8,3*
7МЦ2-75	965	40	2,1	1,5*	7МЦ2-120	196	350	>3	7,3*
$P_1 = 5,5 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 5,5/4-...					7МЦ2-120	210	330	>3	6,8
7МЦ3-150	19	2500	1,0	73*	7МЦ2-120	230	300	>3	6,3*
7МЦ3-150	23	2145	1,2	61*	7МЦ2-120	240	290	>3	6,0
7МЦ2-150	27	1870	1,3	52*	7МЦ2-90	268	260	2,3	5,4*
7МЦ2-150	31	1630	1,5	46	7МЦ2-90	324	215	2,8	4,5*
7МЦ2-150	37	1365	1,8	38*	7МЦ2-90	388	180	>3	3,7*
7МЦ2-150	42	1200	2,1	34	7МЦ2-120	415	170	2,4	3,5
7МЦ2-120	47	1075	1,2	30*	7МЦ2-90	460	150	>3	3,1*
7МЦ2-120	57	885	1,4	25*	7МЦ2-90	540	130	>3	2,7*
7МЦ2-120	69	730	1,7	20*	7МЦ2-90	630	110	>3	2,3*
7МЦ2-120	82	615	2,0	18	7МЦ2-90	965	75	>3	1,5*
7МЦ2-120	90	560	2,2	16*	$P_1 = 11 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двигатель 11/4-...				
7МЦ2-120	101	500	2,5	14	7МЦ2-150	47	2150	1,2	30*
7МЦ2-120	113	450	2,8	13*	7МЦ2-150	57	1770	1,4	25*
7МЦ2-120	138	365	>3	10*	7МЦ2-150	69	1460	1,7	20*
7МЦ2-90	166	305	1,9	8,7*	7МЦ2-150	82	1230	2,0	18
7МЦ2-120	175	295	1,4	8,3*	7МЦ2-150	90	1120	2,2	16*
7МЦ2-90	196	260	2,3	7,3*	7МЦ2-150	101	1000	2,3	14
7МЦ2-90	210	240	2,5	6,8	7МЦ2-150	113	895	2,8	13*
7МЦ2-90	230	220	2,7	6,3*	7МЦ2-150	138	730	3,0	10*

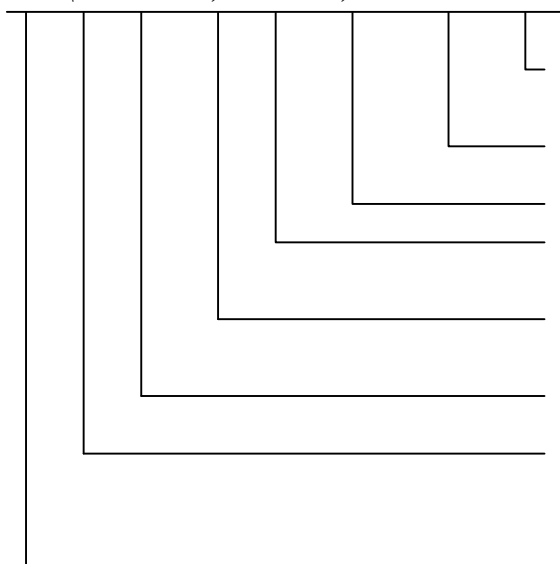
Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i	Тип мотор-редуктора	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	$F.S.$	i
7МЦ2-90	240	210	2,8	6,0	7МЦ2-120	166	610	2,0	8,7*
7МЦ2-90	268	190	>3	5,4*	7МЦ-150	175	580	1,4	8,3*
7МЦ2-90	324	155	>3	4,5*	7МЦ2-120	196	515	2,4	7,3*
7МЦ2-90	388	130	>3	3,7*	7МЦ2-120	210	480	2,6	6,8
7МЦ-120	415	125	>3	3,5	7МЦ2-120	230	440	2,8	6,3*
7МЦ2-90	460	110	>3	3,1*	7МЦ2-120	240	420	3,0	6,0
7МЦ2-90	540	95	>3	2,7*	7МЦ2-120	268	380	>3	5,4*
7МЦ2-90	630	80	>3	2,3*	7МЦ2-120	324	310	>3	4,5*
7МЦ-90	965	55	>3	1,5*	7МЦ2-120	388	260	>3	3,7*
$P_1 = 7,5 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 7,5/4-...					7МЦ-120	415	250	1,6	3,5
7МЦ2-150	27	2500	1,0	52*	7МЦ2-120	460	220	>3	3,1*
7МЦ2-150	31	2220	1,1	46	7МЦ2-120	540	190	>3	2,7*
7МЦ2-150	37	1860	1,3	38*	7МЦ2-120	630	160	>3	2,3*
7МЦ2-150	42	1640	1,5	34	7МЦ-120	965	110	>3	1,5*
7МЦ2-150	47	1465	1,7	30*	$P_1 = 15 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двигатель 15/4-...				
7МЦ2-150	57	1210	2,1	25*	7МЦ2-150	69	2000	1,3	20*
7МЦ2-120	69	1000	1,3	20*	7МЦ2-150	82	1680	1,5	18
7МЦ2-120	82	840	1,5	18	7МЦ2-150	90	1530	1,6	16*
7МЦ2-120	90	765	1,6	16*	7МЦ2-150	101	1360	1,8	14
7МЦ2-120	101	680	1,8	14	7МЦ2-150	113	1220	2,1	13*
7МЦ2-120	113	610	2,1	13*	7МЦ2-150	138	1000	2,5	10*
$P_1 = 15 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 15/4-...					$P_1 = 18,5 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 18,5/4-...				
7МЦ2-150	166	830	3,0	8,7*	7МЦ2-150	230	725	>3	6,3*
7МЦ-150	175	800	1,0	8,3*	7МЦ2-150	240	695	>3	6,0
7МЦ2-150	196	700	>3	7,3*	7МЦ2-150	268	620	>3	5,4*
7МЦ2-150	210	660	>3	6,8	7МЦ2-150	324	515	>3	4,5*
7МЦ2-150	230	600	>3	6,3*	7МЦ2-150	388	430	>3	3,7*
7МЦ2-150	240	575	>3	6,0	7МЦ-150	415	420	2,0	3,5
7МЦ2-120	268	515	>3	5,4*	7МЦ2-150	460	360	>3	3,1*
7МЦ2-120	324	425	>3	4,5*	7МЦ2-150	540	310	>3	2,7*
7МЦ2-120	388	355	>3	3,7*	7МЦ2-150	630	265	>3	2,3*
7МЦ-150	415	340	2,5	3,5	7МЦ-150	965	180	>3	1,5*
7МЦ2-120	460	300	>3	3,1*					
7МЦ2-120	540	255	>3	2,7*	7МЦ2-150	268	755	>3	5,4*
7МЦ2-120	630	220	>3	2,3*	7МЦ2-150	324	625	>3	4,5*
7МЦ-120	965	145	>3	1,5*	7МЦ2-150	388	520	>3	3,7*
$P_1 = 18,5 \text{ кВт}/1400 \text{ мин}^{-1}$: двиг. 18,5/4-...					7МЦ2-150	415	440	>3	3,1*
7МЦ2-150	166	1000	2,5	8,7*	7МЦ2-150	460	375	>3	3,1*
7МЦ2-150	196	850	2,9	8,3*	7МЦ2-150	540	320	>3	2,7*
7МЦ2-150	210	790	>3	6,8	7МЦ-150	630	215	>3	2,3*

* – Выделенные передаточные числа являются ближайшими к Российскому ряду предпочтительных передаточных чисел по ГОСТ 13755

Мотор-редукторы цилиндрические 7МЦ

Система обозначений

7МЦ 2 – 75 – 3,1 – Л // 1,5/4 – 200Л –К1



К1...К4	Положение клеммной коробки электродвигателя (К1...К4)
Л	Наружный диаметр фланца электродвигателя **, наличие лап (Л)
3,1	Мощность электродвигателя, кВт /число полюсов
Л	Вариант крепления установочных элементов* (Л; Ф)
1,5/4	Номинальное передаточное отношение мотор-редуктора
200Л	Межосевое расстояние редуктора, мм (37, 45, 60, 75, 90, 120, 150)
2	Количество ступеней (2,3) (для одноступенчатых не указывается)
7	Серия мотор-редуктора (7)
МЦ	Тип мотор-редуктора (МЦ – червячный одноступенчатый)

Примечания.

* Л – лапное исполнение; Ф – фланцевое.

** Для МР серии 7МЦ эл/двигатели с ИЕС 56 имеют фланец В14 исполнения; для МР серии 7МЦ эл/двигатели с ИЕС 63-180 имеют фланец В5 исполнения

ПРИЛОЖЕНИЕ М

(справочное)

Номинальные коэффициенты K_i надежности элементов электропривода

Наименование и тип элемента	K_i	Поправочные коэффициенты (по прилож. Н)
Электрические машины.		
Электродвигатели:		
постоянного тока	82,5	Рисунок Н.12
асинхронные закрытые обдуваемые	64	Рисунок Н.12
исполнительных механизмов	29	-
тахогенераторы	100	-
бесконтактные сельсины	12,5	-
Трансформаторы.		
силовые (на 1 обмотку)	2,5	Рисунок Н.11
цепей управления (и токовые)	24,8	Рисунок Н.11
малой мощности для полупроводниковых блоков	14	Рисунок Н.11
автотрансформаторы	25	Рисунок Н.11
дроссель (катушка индуктивности)	2,5	Рисунок Н.11
Коммутационная и защитная аппаратура.		
Реле:		
электромагнитные малой мощности типа:		
• РЭС, РМУ, РПС катушки 1 гр. конт.	10	Рисунок Н.13
• герконовые катушки 1 гр. конт.	19	-
	10	Рисунок Н.13
	2	-
электромагнитные средней мощности типа:		
• РМУ, РКН (общий)	25	-
• МКУ-48С (общий)	125	-
времени:		
пневматические	110	-
электромеханические	46,3	-
электронные	29,9	-
электромагнитные мощные (на ток 4...25 А)		
катушки	10	Рисунок Н.8
1 гр. конт.	28	Рисунок Н.9
контроля скорости РКС	22	-
Электромагнитный пускатель		
катушки	20	Рисунок Н.8
1 гр. конт.	25	Рисунок Н.9
Контактор		
катушки	20	Рисунок Н.8
1 гр. конт	20	Рисунок Н.9
Рубильники, разъединители на 1 полюс	1,25	-
Кнопка (на 1 элемент)	5	Рисунок Н.9
Конечный выключатель (на 1 элемент)	5,4	Рисунок Н.9
Переключатели (на 1 группу контактов):		
галетные	5	-

Наименование и тип элемента	K_i	Поправочные коэффициенты
пакетные	9	-
кнопочные	2,8	-
кулачковые	3	-
Микровыключатель	8	-
Микропереключатель	13	-
Выключатель типа «Тумблер»	1,7	-
Выключатель автоматический с электромагнитным выключателем (на 1 полюс)	4,6	Рисунок Н.9
То же, комбинированный (с тепловым расцепителем) (на 1 полюс)	13,1	Рисунок Н.9
Дифференциальный автоматический выключатель (на 1 полюс)	10,2	-
Электромагнитный (соленоидный)	10	-
Предохранитель с держателем	25	-
Устройства защиты:	300	-
УВТЗ-5	230	-
РЗД-3М	350	-
БСЗД	180	-
СИЭЗ	440	-
Защита-3	15	-
УЗО электронное с усилителем (на 1 полюс)	5,6	Рисунок Н.9
УЗО электромеханическое (на 1 полюс)	47,8	Рисунок Н.9
Реле электротепловое		Рисунок Н.9
Датчики, преобразователи и прочее		
Датчики (на 1 элемент):	83,3	-
уровня	150	-
температуры	166,6	-
давления	5	-
индуктивные		-
Регуляторы электронные:	1400	-
уровня	866,6	-
давления (РД-8)	206,6	-
Блок питания	320	-
Источники постоянного тока	180	-
Усилитель (преобразователь)	25	-
Щитовые приборы		-
Сигнальные лампы:	20	-
накаливания	5	-
неоновые	1	-
светодиодные	16,1	-
Тахометры	1,5	-
Разъемы штепсельные (на 1 конт. пару)	0,156	Рисунок Н.10
Соединение электрическое разборное контактное	0,025	-
Соединение пайкой	600	-
Исполнительный механизм (типа МЭО)		-

Наименование и тип элемента	K_i	Поправочные коэффициенты
Механические передачи		
Передачи:		
ременные, цепные	119	-
клиноременной вариатор	350	-
Редуктор, мотор-редуктор (без учета электродвигателя), с передачами зубчатыми (на 1 ступень):		
понижающие	21,6	-
повышающие	47,4	-
Муфты:		
упругая	7,8	-
предохранительная со штифтом	6,5	-
предохранительная фрикционная	10,1	-
электромагнитная	35,1	-
Резисторы:		Рисунок Н.1
Постоянные металлопленочные мощностью 0,25:		
до 1 кОм	0,75	
от 1 до 10 кОм	1	
от 10 до 100 кОм	2,25	
свыше 100 кОм	22,5	
Постоянные мощные:		Рисунок Н.2
2,5 Вт	3,5	
10 Вт	10	
15 Вт	15,1	
20 Вт	22,5	
25 Вт	45	
30 Вт	135	
50 Вт	325	
свыше 75 Вт	337	
Переменные (типа СП):		Рисунок Н.3
до 1 кОм	10,8	
от 1 до 100 кОм	12	
от 100 до 600 кОм	14,2	
свыше 600 кОм	25,5	
Терморезисторы типа КГМ, ММТ	20	
Реостаты	47,7	
Конденсаторы:		Рисунок Н.4
МБМ	5,5	
МБГИ, МБГ, МБГО, МБГТ, МБГН, до 1 мкФ	5,5	
от 1 до 10 мкФ	11	
свыше 10 мкФ	16,5	
К50-3А (6...50 В)		Рисунок Н.4
от 5 до 20 мкФ	2,5	
от 20 до 100 мкФ	3,75	
свыше 100 мкФ	7,5	
К50-3А (100...250 В)		Рисунок Н.4
от 5 до 20 мк	3,7	

Наименование и тип элемента	K_i	Поправочные коэффициенты
от 20 до 100 мкФ	6,25	
свыше 100 мкФ	12,5	
Полупроводниковые приборы:		
Диоды кремниевые	5,56	Рисунок Н.6
Транзисторы:		
кремниевые	16,3	Рисунок Н.7
полевые	15	-
Тиристоры в выпрямительных схемах	20	-
в инверторах	41	-
Триггеры:		
на транзисторах	1766	-
на интегральных схемах	28,3	-
Логический элемент И-НЕ серии 155	20,2	-
Стабилитроны Д808...Д818	10	-

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

(справочное)

Графические зависимости для определения поправочных коэффициентов $\alpha_1 \dots \alpha_4$ отдельных элементов электропривода в расчетах надежности

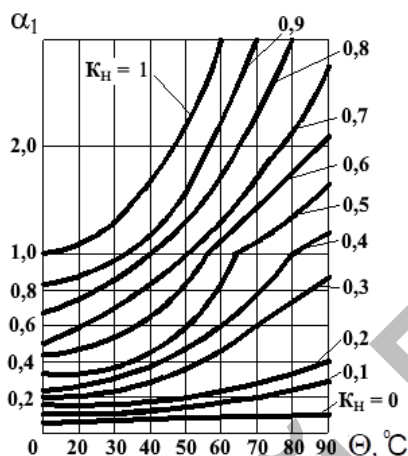


Рисунок Н.1 – Резисторы типов МЛТ, ОМЛТ и подобные

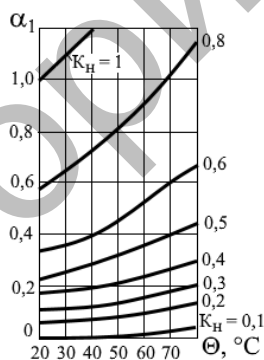


Рисунок Н.2 – Резисторы проволочные постоянные типа ПЭВ и подобные

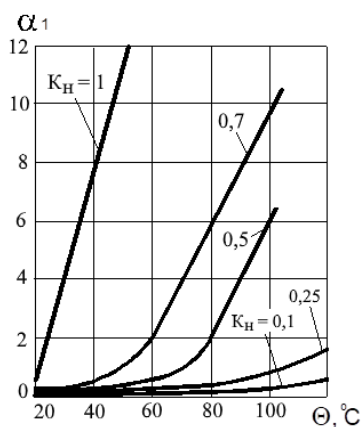


Рисунок Н.3 – Резисторы переменного типа СП

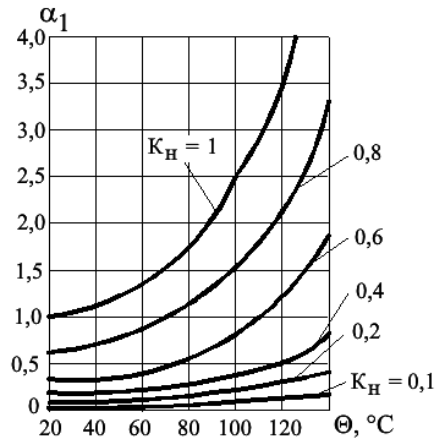


Рисунок Н.4 – Транзисторы кремниевые

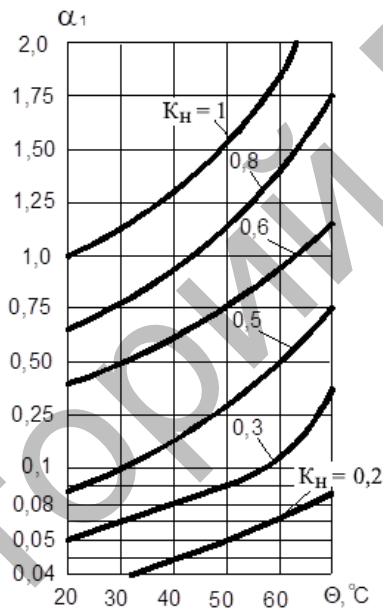


Рисунок Н.5. Конденсаторы электролитические типов ЭМ, ЭГЦ, К50-3А, К50-3Б

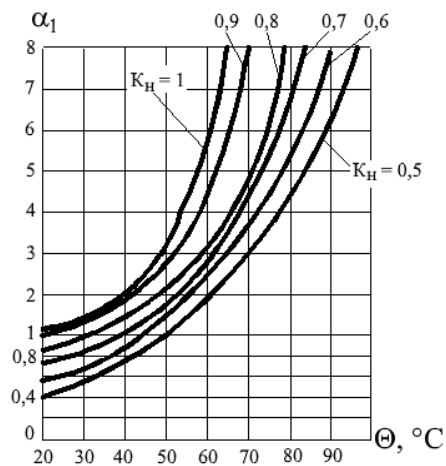


Рисунок Н.6 – Конденсаторы электролитические типов ЭМ, ЭГЦ, К50-3А, К50-3Б

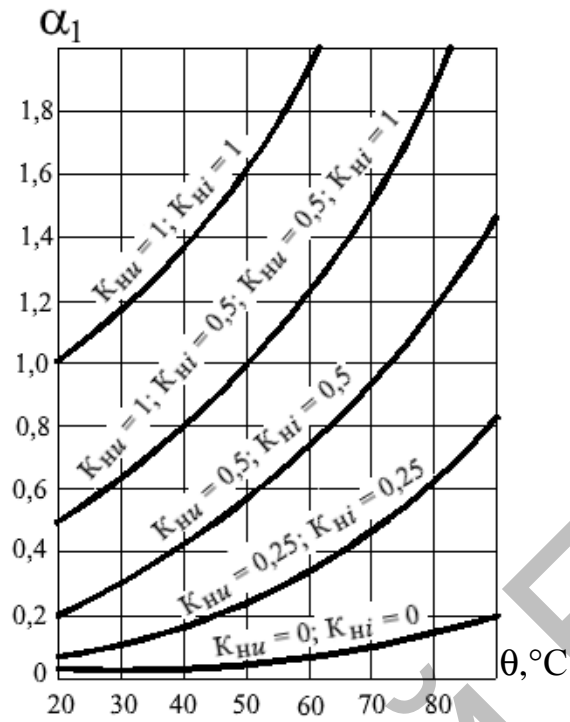
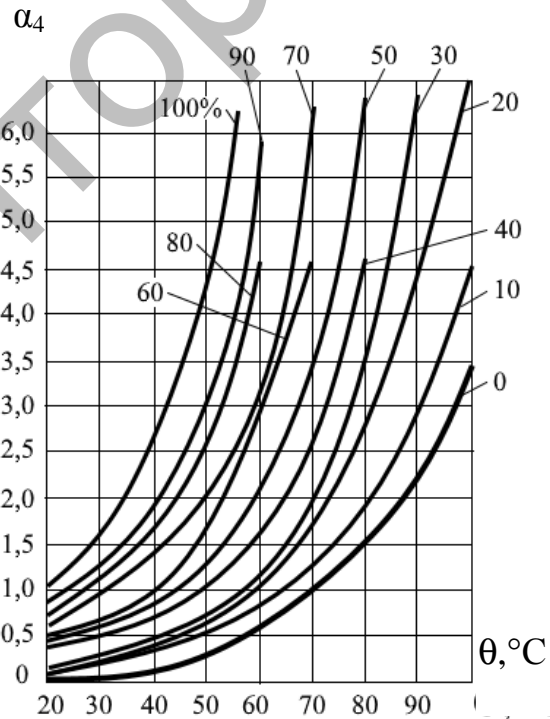


Рисунок Н.7 – Диоды кремниевые плоскостные

Рисунок Н.8 – Реле мощные, контакторы, магнитные пускатели
(K_n задан в процентах)

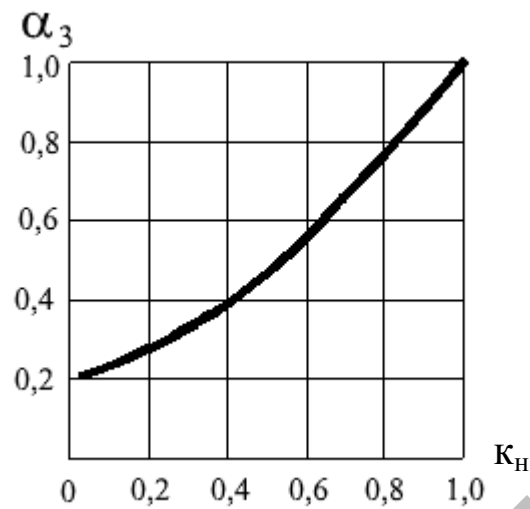


Рисунок Н.9 – Коммутационные элементы (выключатели, переключатели, контакты реле, магнитные пускатели, контакторы и т. п.)

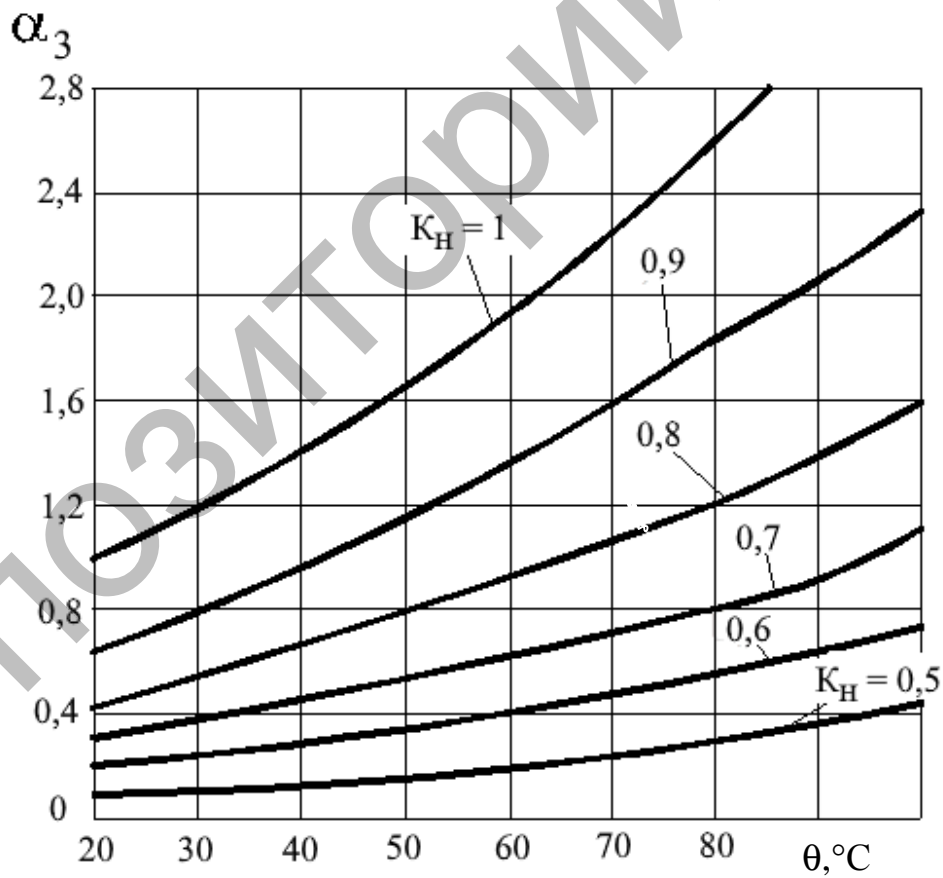


Рисунок Н.10 – Разъемы штепсельные типов Р, ШР, 2РМ и подобные

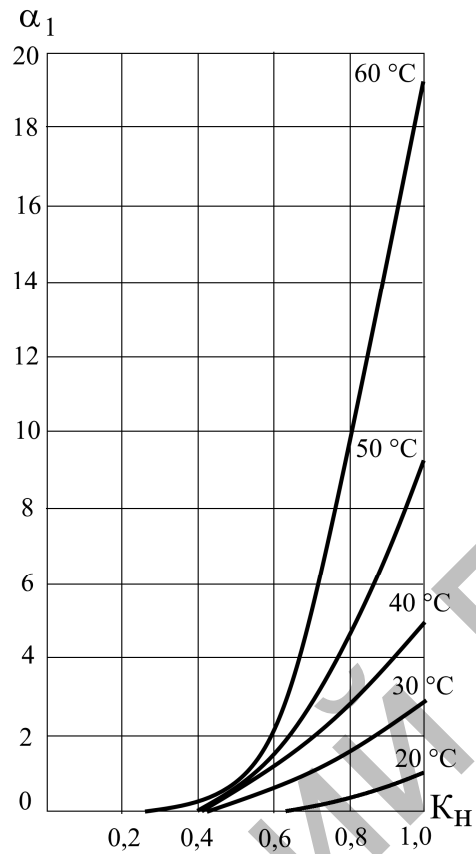


Рисунок Н.11 – Трансформаторы, автотрансформаторы и т. п.

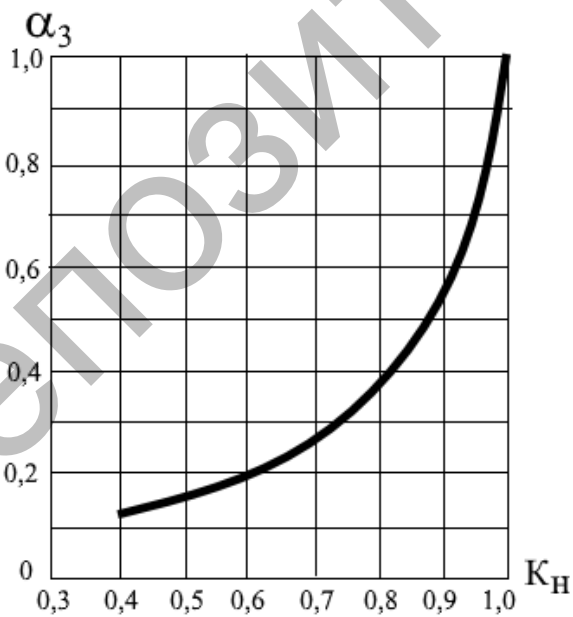
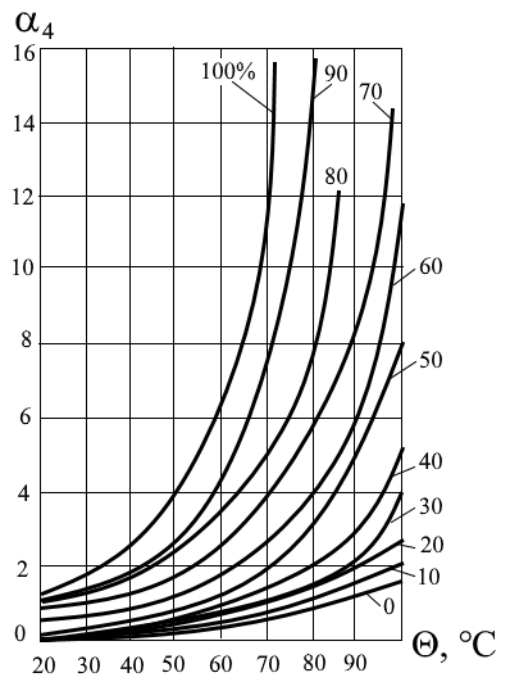


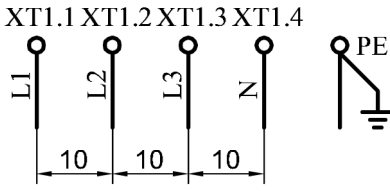
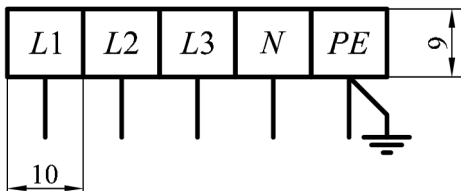
Рисунок Н.12 – Электродвигатели, сельсины и т. п.

Рисунок Н.13 – Реле маломощные (K_H задан в процентах)

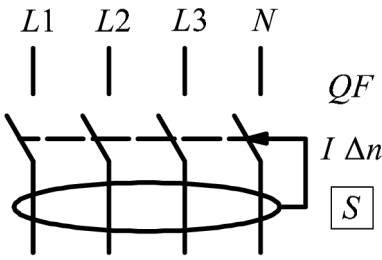
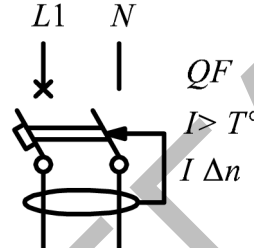
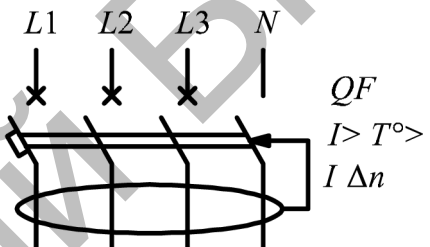
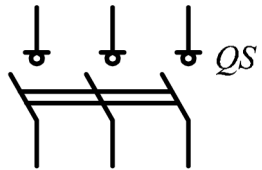
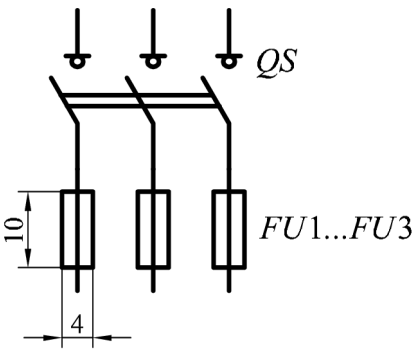
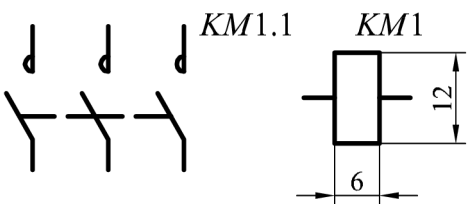
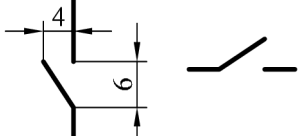
ПРИЛОЖЕНИЕ П

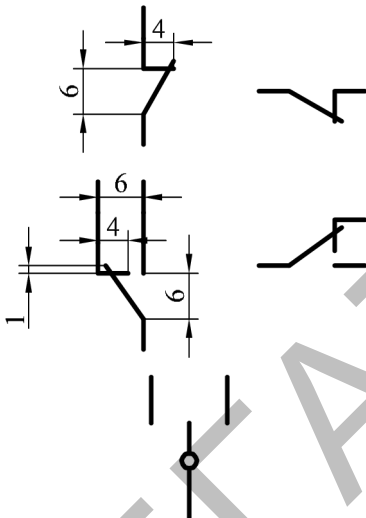
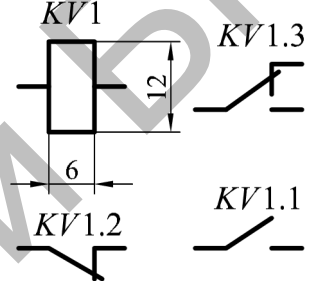
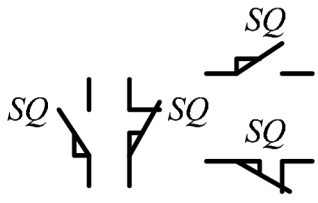
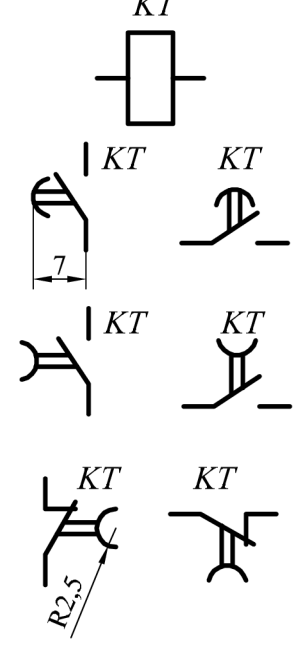
(справочное)

Обозначения условные графические и позиционные в электрических схемах

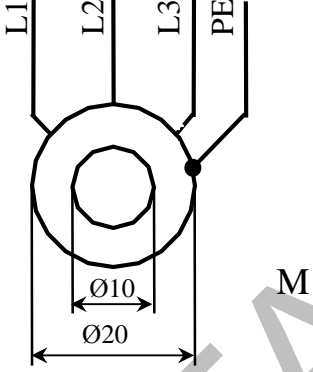
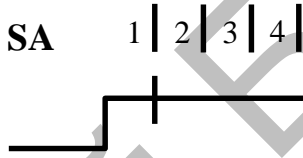
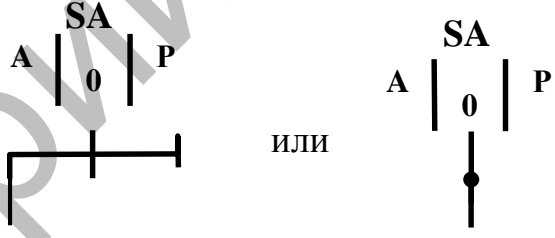
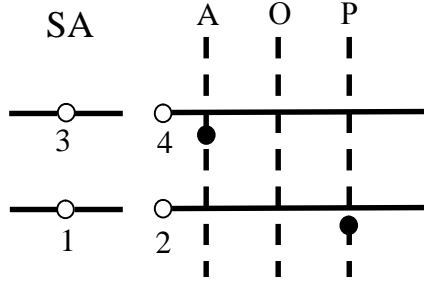
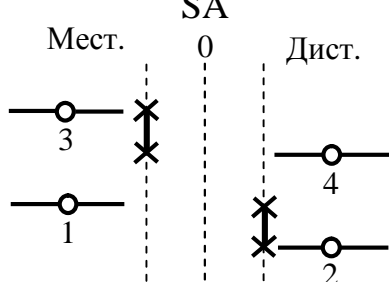
№	Наименование	Обозначение
1	Ввод переменного трехфазного тока, пятипроводная линия (три фазных провода, нейтраль N, один провод защитный с заземлением PE) частотой 50 Гц, напряжением 230/400 В, т. е. сеть TN-S	Ввод 3 NPE ~50 Гц 400/230 В
	То же, четырехпроводная линия (три фазных провода, один защитный провод с заземлением, выполняющий функцию нейтрали, т. е. PEN проводником), сеть TN-C	Ввод 3 PEN ~50 Гц 400/230 В
	В электрических схемах (не на вводах) переменный трехфазный ток частотой 50 Гц, напряжением 400 В	Ввод 3 ~50 Гц 400 В
2	Ввод однофазной электрической сети TN-S напряжением 230 В, частотой тока 50 Гц, с разделенными проводниками PE и N	Ввод 1 NPE ~50 Гц 230 В
	В электрических схемах (не на вводах) переменный ток, однофазный, частотой 50 Гц, напряжением 230 В	1 ~50 Гц 230 В
3	<p>Обозначение на принципиальной электрической схеме ввода трехфазной электрической сети напряжением 220/380 В, частотой тока 50 Гц, с разделенными проводниками PE и N, подключаемой при монтаже к клеммнику XT1 ящика управления: 1 вариант</p> <p style="text-align: center;">2 вариант</p> <p><i>Примечание.</i> <i>Размеры в миллиметрах здесь и далее по тексту даны для справок</i></p>	<p style="text-align: center;">3 NPE~50 Гц 400/230 В</p>  <p style="text-align: center;">3 NPE ~ 50 Гц 400/230 В</p> 

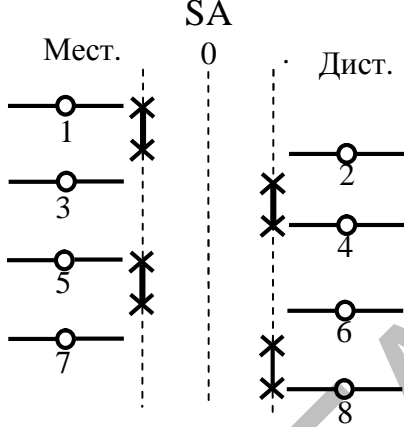
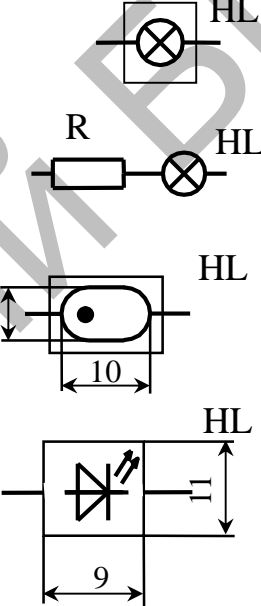
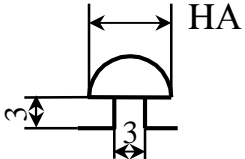
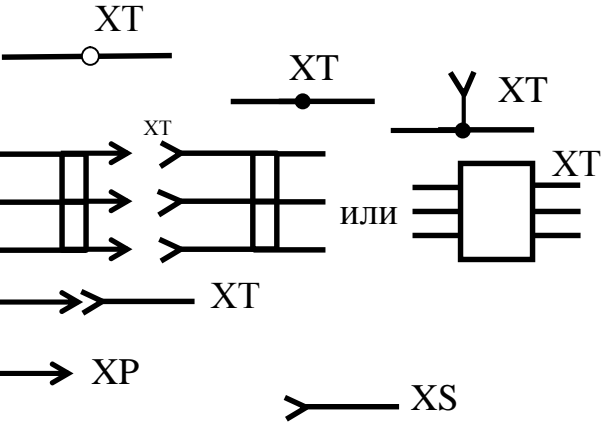
№	Наименование	Обозначение
4	Трехфазный автоматический выключатель с электромагнитным расцепителем	
5	Трехфазный автоматический выключатель с электромагнитным и тепловым расцепителем (комбинированным расцепителем)	
6	Трехфазный автоматический выключатель с комбинированным расцепителем (электромагнитным и тепловым) и дополнительным независимым расцепителем	
7	Трехфазный четырехполюсный автоматический выключатель с комбинированным расцепителем	
8	Однофазный автоматический выключатель с электромагнитным расцепителем и блок-контактом	<p>Примечание. Механическую связь можно не показывать</p>
9	То же, с комбинированным расцепителем, но без блок-контакта	
10	Однофазное двухполюсное устройство защитного отключения (УЗО), реагирующее на дифференциальный ток $I \Delta n$	
11	Трехфазное устройство защитного отключения (УЗО), реагирующее на дифференциальный ток $I \Delta n$	

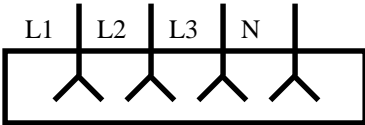



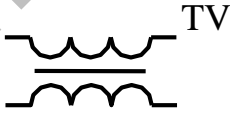
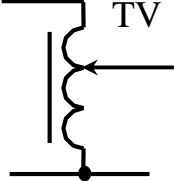
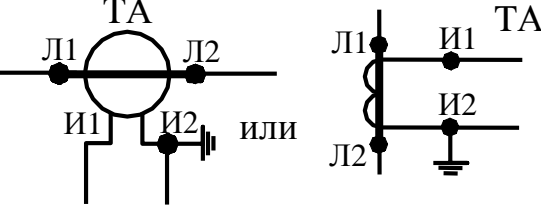
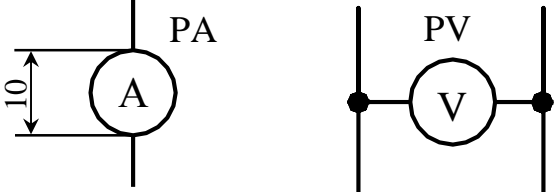
№	Наименование	Обозначение
12	То же, но селективное	
13	Однофазный дифференциальный автоматический выключатель (сочетание автоматического выключателя, имеющего комбинированный расцепитель, с УЗО, реагирующим на дифференциальный ток $I\Delta n$)	
14	Трехфазный четырехполюсный дифференциальный автоматический выключатель	
15	Трехфазный выключатель нагрузки, пакетный выключатель	
16	Рубильник-выключатель, совмещенный с предохранителями	
17	Контакты электромагнитного пускателя и его катушка	
18	Контакт замыкающий (слева направо, сверху вниз)	

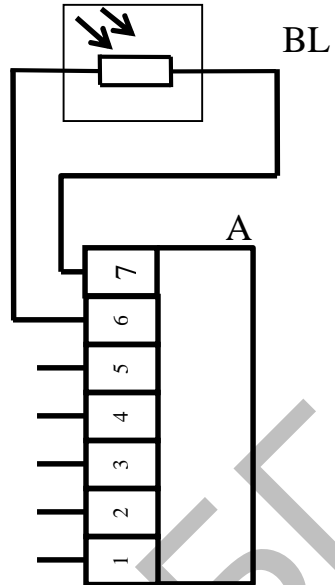
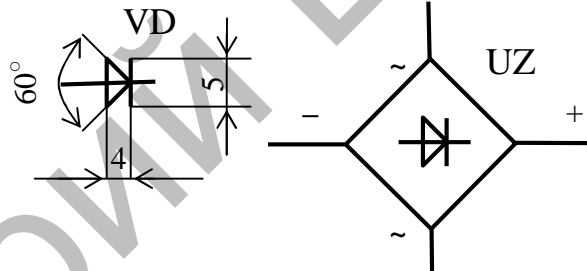

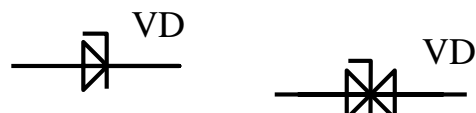


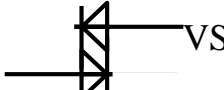
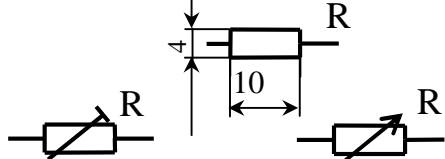
№	Наименование	Обозначение
	<p>Размыкающий (слева направо, сверху вниз)</p> <p>Переключающий (слева направо, сверху вниз)</p> <p>Переключающий, с нейтральным положением (например, тумблер)</p>	
19	Реле электромагнитное промежуточное: катушка и контакты	
20	Контакт концевого выключателя: замыкающий, размыкающий	
21	<p>Катушка и контакты реле времени:</p> <p>1) замыкающий, с выдержкой времени при срабатывании</p> <p>2) замыкающий, с выдержкой времени при возврате</p> <p>3) размыкающий, с выдержкой времени при срабатывании</p>	

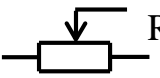
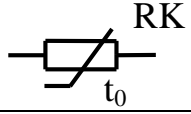

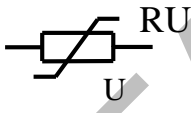

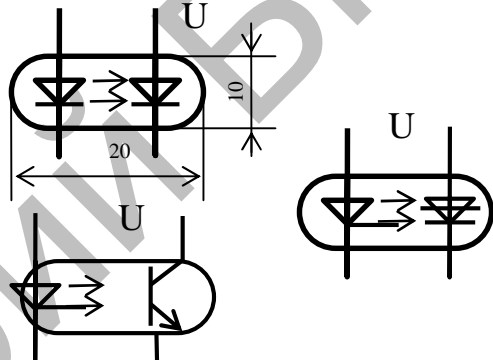
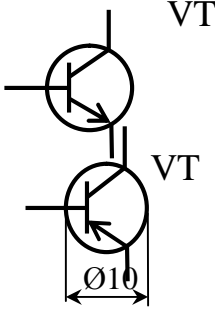
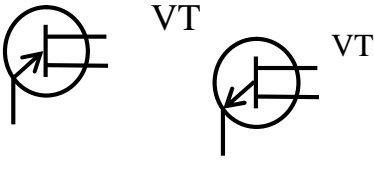
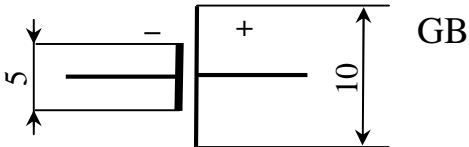
№	Наименование	Обозначение
	4) размыкающий, с выдержкой времени при возврате 5) размыкающий, с выдержкой времени при срабатывании и возврате 6) замыкающий, с выдержкой времени при срабатывании и возврате	
22	Трехфазное тепловое реле: Нагреватели Контакт теплового реле с самовозвратом Контакт теплового реле без самовозврата (с возвратом элемента посредством нажатия кнопки)	
23	Выключатель ручной (кнопка) с самовозвратом: «Пуск» «Стоп» без самовозврата	

№	Наименование	Обозначение
24	Асинхронный трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (с присоединенными проводниками трех фаз и проводом защитного заземления PE)	
25	Переключатель однополюсный многопозиционный (например, на 4 положения)	
26	Переключатель однополюсный двухпозиционный, со средним нейтральным положением	
27	Переключатель двухполюсный на 2 рабочих положения с нейтралью (в положении «А» замыкается цепь 3-4; в положении «Р» – цепь 1-2). (допустимое обозначение)	
28	Переключатель двухполюсный на три положения с нейтралью, со сложной коммутацией (в положении «Мест.» замыкается цепь 3-4, в положении «Дист.» – цепь 1-2). (рекомендуемое обозначение)	

№	Наименование	Обозначение
29	То же, на 4 подключаемые цепи	<p style="text-align: center;">SA</p> <p style="text-align: center;">Мест. 0 Дист.</p> 
30	<p>Арматура светосигнальная:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. С лампой накаливания и встроенным резистором; с лампой накаливания и резистором, отделенным от арматуры) 2. С лампой газоразрядной и встроенным добавочным резистором 3. Со светодиодом (и встроенным резистором для постоянного тока; со встроенным резистором плюс диодом – для переменного тока) 	
31	Звонок электрический	
32	<p>Соединение:</p> <ul style="list-style-type: none"> - разборное - неразборное - гнездо испытательное - разъемное трехштыревое (трехпроводное) - однопроводное - штырь - гнездо 	

№	Наименование	Обозначение
33	Розетка (силовая) с маркировкой присоединяемых проводников, четырехштыревая	
34	Реле уровня мембранное, поплавковое (с выходным микровыключателем, без усилителя)	
35	Реле давления (без усилителя, с выходным микровыключателем)	
36	Реле температуры (без усилителя)	
37	Трансформатор натяжения	
	Автотрансформатор	
38	Трансформатор тока	
39	Амперметр и вольтметр	

№	Наименование	Обозначение
40	Фотореле с фотодатчиком (фотосопротивлением)	
41	Диод, выпрямитель	
42	Конденсатор: неполярный полярный (оксидный)	
43	Стабилитрон односторонний Двухсторонний	
44	Тиристор с управлением по катоду и аноду	
45	Динистор	
46	Симистор	
47	Резистор постоянный Подстроечный, переменный	

№	Наименование	Обозначение
48	Потенциометр	 R
49	Терморезистор	 RK t_0
50	Шунт измерительный	 RS
51	Варистор	 RU U
	Разрядник	 FU
52	Оптопара диодная, тиристорная, транзисторная	
53	Транзистор: <i>n-p-n</i> <i>p-n-p</i>	
55	Однопереходной транзистор (двухбазовый диод) <i>n</i> -типа <i>p</i> -типа	
56	Источник постоянного тока (батарея)	
В данном приложении использованы обозначения по ГОСТ 2.755-87, ГОСТ 2.756-76, ГОСТ 2.727-74, ГОСТ 2.722-68, ГОСТ 2.730-73 и др.		

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

Форма и размеры таблицы для составления перечня элементов схемы

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
20	110	10	45
185			

Репозиторий БГАТУ

ПРИЛОЖЕНИЕ С

(справочное)

Буквенные коды наиболее распространенных элементов электрических схем по ГОСТ 2.710–81

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
А	Устройство (общее обозначение)		
В	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот, аналоговые или многозарядные преобразователи или датчики	Громкоговоритель Магнотриксционный элемент Детектор ионизирующих излучений Сельсин-приемник Телефон (капсюль) Сельсин-датчик Тепловой датчик Фотоэлемент Микрофон Датчик давления Пьезоэлемент Датчик частоты вращения (тахогенератор) Звукосниматель Датчик скорости	ВА ВВ ВД ВЕ ВF ВС ВК ВL ВМ ВР ВQ ВR ВS ВV
С	Конденсаторы		
Д	Схемы интегральные, микросборки	Схема интегральная аналоговая Схема интегральная цифровая, логический элемент Устройство хранения информации Устройство задержки	DA DD DS DT
Е	Элементы разные	Нагревательный элемент Лампа осветительная Пиропатрон	EK EL ET
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия Дискретный элемент по току инерционного действия Предохранитель плавкий Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник	FA FP FU FV

Первая буква кода	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
G	Генераторы, источники питания	Батарея	GB
H	Устройства индикационные и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации Индикатор символьный Прибор световой сигнализации	HA HG HL
K	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое Реле указательное Реле электротепловое Контактор, магнитный пускатель Реле времени Реле напряжения	KA KH KK KM KT KV
L	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссель люминесцентного освещения	LL
M	Двигатели		
P	Приборы, измерительное оборудование. <i>Примечание:</i> Сочетание PE применять не допускается	Амперметр Счетчик импульсов Частотомер Счетчик реактивной энергии Счетчик активной энергии Омметр Регистрирующий прибор Часы, измеритель времени действия Вольтметр Ваттметр	PA PC PF PK PJ PR PS PT PV PW
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т. д.)	Выключатель автоматический Короткозамыкатель Разъединитель	QF QK QS
R	Резисторы	Терморезистор Потенциометр Шунт измерительный Варистор	RK RP RS RU
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных <i>Примечание:</i> Обозначение SF применяют для аппаратов, не имеющих контактов силовых цепей; не применяют для автоматических выключателей защиты от сверхтоков	Выключатель или переключатель Выключатель кнопочный Выключатель автоматический Выключатели, срабатывающие от различных воздействий: от уровня от давления от положения (путевой) от частоты вращения от температуры	SA SB SF SL SP SQ SR SK

Первая буква кода	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока Электромагнитный стабилизатор Трансформатор напряжения	TA TS TV
U	Устройства связи Преобразователи не электрических величин в электрические	Модулятор Демодулятор Дискриминатор Преобразователь частотный, инвертор, генератор частоты, выпрямитель	UB UR UI UZ
V	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	Диод, стабилитрон Прибор электровакуумный Транзистор Тиристор	VD VL VT VS
W	Линии и элементы СВЧ Антенны	Ответвитель Короткозамыкатель Вентиль Трансформатор, неоднородность, фазовращатель Антенна	WE WK WS WT WA
X	Соединения контактные	Токосъемник, контакт скользящий Штырь Гнездо Соединение разборное Соединитель высокочастотный	XA XP XS XT XW
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит Тормоз с электромагнитным приводом Муфта с электромагнитным приводом Электромагнитный патрон или плита	YA YB YC YH
Z	Устройства оконечные, фильтры Ограничители	Ограничитель Фильтр кварцевый	ZL ZQ

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Репозиторий БГАТУ

Учебное издание

**ЭЛЕКТРОПРИВОД.
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Учебно-методическое пособие

Составители:

Дайнеко Владимир Александрович,
Равинский Николай Александрович,
Прищепова Елена Михайловна и др.

Ответственный за выпуск *В. А. Дайнеко*
Корректор *В. А. Гошко*
Компьютерная верстка *Е. А. Хмельницкой*
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 24.01.2019. Формат 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 30,69. Уч.-изд. л. 12,0. Тираж 99 экз. Заказ 49.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.