

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Блинова Светлана Павловна

Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе

Дата подписания: 15.12.2024 08:17:52

Уникальный программный ключ:

1cafd4e102a27ca13a89a237cab30277fab5c65

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Заполярье государственный университет им. Н.М. Федоровского»
Политехнический колледж

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
для студентов заочной формы обучения по междисциплинарному курсу
«Электрический привод»

для специальности:

13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и
электромеханического оборудования (по отраслям)

Методические указания для студентов заочной формы обучения по междисциплинарному курсу «Электрический привод» разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям).

Организация-разработчик: Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского»

Разработчик:

С. Л. Халивин, преподаватель высшей категории

С.И. Кудрявцев, преподаватель

Рассмотрена на заседании цикловой комиссии автоматизации технологических процессов и электромеханических дисциплин

Председатель комиссии _____



А.В.Петухова

Утверждена методическим советом политехнического колледжа ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского»

Протокол заседания методического совета № 4 от «31» 01 2024 г.

Зам. директора по УР _____



С.П. Блинова

1 ПРОГРАММА МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО КУРСА

В результате освоения дисциплины обучающийся **должен уметь**:

- читать и составлять простейшие схемы электрических приводов, производить расчеты;

- выполнять регулировку простейших систем электропривода;

- измерять параметры электрических машин при эксплуатации.

В результате освоения курса обучающийся **должен знать**:

- принцип работы и регулирования систем электроприводов в целом;

- общие требования безопасности к конструкции и эксплуатации приводов и передач.

Раздел 1. Основы электропривода

Тема 1.1 Общие сведения об электроприводе

Понятие «электропривод»; виды электропривода, их достоинства и недостатки, режимы работы. Механические характеристики производственного механизма и электропривода.

Рекомендуемая литература: [1], § 1-2.

Вопросы для самопроверки

1. Из каких устройств состоит электропривод?
2. По каким признакам классифицируется электропривод?
3. Назовите основные параметры электропривода?
4. Что такое жесткость механической характеристики электропривода?
5. Что такое диапазон регулирования?
6. В чем преимущества и недостатки электропривода переменного и постоянного тока?
7. В каких режимах могут работать электроприводы?
8. Дайте характеристику режимов торможения электродвигателей?
9. Что такое механическая характеристика производственного механизма и какие они бывают?

Тема 1.2 Основные понятия о механике привода

Виды нагрузок и моментов. Основные уравнения привода для поступательного и вращательного движения. Приведение моментов к оси вращения двигателя. Приведение статических усилий к оси вращения двигателя. Приведение маховых масс и моментов инерции к оси вращения двигателя. Экспериментальное определение моментов инерции.

Практическое занятие №1.

Определение махового момента и момента инерции системы привода

Рекомендуемая литература: [1], § 20.

Вопросы для самопроверки

- 1 Куда расходуется мощность, потребляемая электродвигателем?
- 2 Чем определяется характер движения привода?

- 3 Напишите уравнение равновесия сил и моментов?
- 4 Что такое момент инерции и как он определяется?
- 5 Что такое маховый момент и какие свойства электропривода он характеризует?
- 6 Что называется основным уравнением привода?
- 7 Для чего производится приведение статических моментов и моментов инерции к оси вращения двигателя?

Тема 1.3 Механические характеристики электродвигателей

Механические характеристики и тормозные режимы работы двигателей постоянного тока: параллельного, независимого, последовательного и смешанного возбуждения.

Механические характеристики и тормозные режимы работы асинхронного двигателя. Уравнение механической характеристики асинхронного двигателя.

Уравнение пускового, вращающегося и критического моментов. Анализ уравнений.

Механические и угловые характеристики синхронных двигателей. Применение синхронных двигателей в приводе различных механизмов.

Рекомендуемая литература: [1], § 3-7.

Вопросы для самопроверки

- 1 Что называется механической характеристикой?
- 2 Что представляют собой механические характеристики двигателей постоянного тока с независимым и параллельным возбуждением?
- 3 Какие возможны режимы торможения у двигателей постоянного тока с независимым и параллельным возбуждением?
- 4 Что представляют собой механические характеристики двигателей постоянного тока с последовательным и смешанным возбуждением?
- 5 Какие возможны режимы торможения у двигателей постоянного тока с последовательным и смешанным возбуждением?
- 6 Что представляют собой механические характеристики асинхронный двигателей?
- 7 Какие возможны режимы торможения у асинхронных двигателей?
- 8 Что представляют собой механические характеристики синхронный двигателей?
- 9 Что такое угловая характеристика синхронного электродвигателя?
- 10 В чем особенность номинального режима синхронный электродвигателей?
- 11 Какой режим торможения у синхронного электродвигателя является основным?

Тема 1.4 Пуск в ход, регулирование частоты вращения двигателей электропривода

Основные показатели регулирования частоты вращения, пуск в ход двигателей постоянного тока.

Пуск в ход асинхронных двигателей. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей.

Рекомендуемая литература: [1], § 9,11,12,13,16,17.

Вопросы для самопроверки

- 1 Дайте описание процесса пуска электродвигателя?
- 2 Какие существуют режимы пусков электродвигателей?
- 3 Как осуществляется пуск электродвигателей при тяжелом режиме пуска?
- 4 Как производится пуск асинхронного электродвигателя?
- 5 Как регулируется частота вращения асинхронного электродвигателя?
- 6 В чем особенности пуска синхронного электродвигателя?
- 7 Как производится пуск электродвигателя постоянного тока?
- 8 В чем особенности пуска двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением?
- 9 Какие существуют способы регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока?

Тема 1.5 Расчет резисторов электропривода

Методы расчета пусковых резисторов.

Графический способ расчета пусковых и тормозных резисторов для асинхронных электродвигателей с фазным ротором.

Графический способ расчета пусковых и тормозных резисторов для двигателей постоянного тока параллельного возбуждения.

Графический способ расчета пусковых и тормозных резисторов для двигателей постоянного тока последовательного возбуждения.

Рекомендуемая литература: [1], § 10.

Вопросы для самопроверки

- 1 Какие методы расчета пусковых резисторов вы знаете?
- 2 В чем заключается графический способ расчета пусковых и тормозных резисторов двигателей постоянного тока параллельного возбуждения?
- 3 В чем особенности графического способа расчета пусковых и тормозных резисторов двигателей постоянного тока последовательного возбуждения?
- 4 В чем заключается графический способ расчета пусковых резисторов асинхронных двигателей?

Тема 1.6 Основные понятия о переходных процессах в системе электропривода

Понятие «переходные процессы». Причины возникновения переходных процессов.

Влияние переходных процессов на работу электропривода. Время пуска и остановки электропривода.

Потери энергии и способы ее уменьшения при переходных процессах.

Рекомендуемая литература: [1], § 21,22.

Вопросы для самопроверки

- 1 Какой режим работы электропривода называется переходным?
- 2 При каких условиях возникают переходные процессы в электроприводе?
- 3 Каким образом переходные процессы влияют на работу машин и механизмов?
- 4 Что является причиной возникновения переходных процессов?
- 5 Напишите уравнение переходного процесса?
- 6 Что такое электромеханическая постоянная времени переходного процесса?
- 7 По какой формуле определяется время пуска и время торможения?
- 8 Какие существуют потери энергии при переходных процессах в электродвигателях?
- 9 Каким образом можно уменьшить потери при переходных процессах?
- 10 В чем заключается форсировка переходных процессов?

Тема 1.7 Основы теории нагрева и охлаждения электродвигателей

Причины нагрева электродвигателей. Уравнение нагрева и охлаждения. Анализ уравнения нагрева. Классы изоляции электрических машин. Режимы работы электродвигателей. Определение мощности электродвигателя при различных режимах работы.

Рекомендуемая литература: [1], § 23-25.

Вопросы для самопроверки

- 1 Что является причиной нагрева электродвигателей?
- 2 Чем опасен рост температуры выше допустимого значения?
- 3 Что такое перегрев электродвигателя?
- 4 Напишите уравнение процесса нагрева?
- 5 Что такое постоянная времени нагрева электродвигателя?
- 6 От чего зависит постоянная времени нагрева и чему равна у электродвигателей?
- 7 Чему равна постоянная времени охлаждения?
- 8 Какие классы нагревостойкости изоляции установлены ГОСТом?
- 9 Какие номинальные режимы работы электродвигателей установлены ГОСТом?
- 10 Дайте характеристику режимам S1, S2, и S3?
- 11 По каким основным параметрам выбирается электродвигатель и по каким он проверяется?

Раздел 2. Управление электроприводом

Тема 2.1 Основы автоматизации электропривода

Общие сведения о системе автоматического управления электроприводом. Функции, выполняемые системой автоматического управления. Релейно-контакторные схемы управления.

Рекомендуемая литература: [3], гл. 6, гл.10 § 10.1, гл11 § 11.1

Вопросы для самопроверки

- 1 В чем различие между разомкнутыми и замкнутыми системами автоматического управления?
- 2 Какие функции выполняет система автоматического управления?
- 3 В чем преимущества и недостатки автоматических систем оснащенных релейно-контакторной аппаратурой?
- 4 Назовите основные контактные коммутирующие устройства, используемые в системах управления?

Тема 2.2 Автоматизация процессов пуска, торможения и реверсирования электродвигателей переменного тока

Схемы управления пуском асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, с реверсивным пускателем. Схема управления двухскоростным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. Схема управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором в функции времени, скорости и тока. Управление синхронными электродвигателями.

Рекомендуемая литература: [3], гл.10 §10.2, гл.11 §11.3

Вопросы для самопроверки

- 1 Чем блокируется одновременное включение двух контакторов?
- 2 Каково назначение реле времени в схемах управления?
- 3 Объясните назначение реле скорости в схемах?
- 4 Каково назначение реле тока в схемах управления?

Тема 2.3 Автоматизация процессов пуска, торможения и реверсирования электродвигателей постоянного тока

Схемы управления электродвигателями постоянного тока в функции скорости, тока, времени и пройденного пути.

Рекомендуемая литература: [3], гл.10 § 10.3, гл.11 § 11.2

Вопросы для самопроверки

1. В чем необходимость использования схем управления двигателями постоянного тока с различными функциями?

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Изучение дисциплины рекомендуется осуществлять в последовательности, предусмотренной программой, и проверять качество усвоения материала по контрольным вопросам. Рекомендуется составить краткий конспект, раскрывающий вопросы программы. Поскольку процессы в системах приводов происходят по законам электротехники, для понимания принципа действия изучаемых объектов необходимы знания дисциплин «Электротехника» и «Электрические машины и аппараты». В результате изучения дисциплин необходимо освоить их терминологию и условные обозначения элементов электроприводов, научиться читать и составлять принципиальные электрические схемы и решать задачи. Усвоение дисциплины проверяется по результатам выполнения контрольной работы.

Студенты должны выполнить одну контрольную работу, состоящую из трех заданий, состоящих из отдельных задач. Варианты контрольной работы для каждого студента индивидуальные. Номер варианта преподаватель определяет каждому студенту. Для всех студентов три задания контрольной работы имеют одни и те же номера.

Работы, выполненные не по своему варианту, не засчитываются и возвращаются студенту.

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради в клетку. Условия задач переписываются полностью, цифровые данные записываются в конце условия с обязательным указанием единиц измерения в системе СИ. На каждой странице должны быть оставлены поля размером 30-40 мм для замечаний преподавателя. В конце работы ставятся дата, подпись, указываются наименование и год издания учебников, используемых при выполнении работы, и оставляются 2-3 свободные страницы для рецензии. Страницы тетради нумеруются.

Решение задач обязательно ведется в Международной системе единиц СИ.

Формулы и расчеты пишутся ручкой, а чертежи и схемы выполняются карандашом с необходимыми условными обозначениями и размерами в соответствии с ГОСТ.

После получения незначительной работы нужно изучить все поправки и замечания преподавателя и исправить ошибки, выполнив необходимые записи на оставшихся (или вклеенных) листах тетради, озаглавив «Работа над ошибками».

Неаккуратное выполнение контрольной работы, несоблюдение принятой размерности, плохое выполнение чертежей и схем (от руки) могут послужить причиной возвращения ее для доработки.

При возникновении затруднений в выполнении работы студент может обратиться в учебное заведение для получения консультаций у преподавателя.

К сдаче экзамена допускаются студенты, имеющие положительные оценки по контрольной работе и выполнившие все лабораторно-практические работы.

2.1 Характеристика электрического привода

2.1.1 Основные понятия

Электрический привод - это электромеханическая система, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов машины и управления этим движением посредством электроэнергии.

Областью применения электроприводов являются машины и механизмы с управляемыми и регулируемым движениями. Основными техническими характеристиками электропривода являются мощность, угловая скорость, диапазон и плавность регулирования, жесткость механической характеристики, электромеханическая постоянная времени, КПД.

В состав электропривода входит электродвигатель, управляющее и передаточное устройства, при сложном приводе – и преобразовательное устройство.

С одной стороны, электродвигатель и управляющее устройство определяют производительность рабочей машины, а с другой, - механическая часть рабочей машины и особенности ее работы влияют на характеристику электродвигателя (длительность и режим пуска, режим устойчивой работы и др.) Поэтому необходимо рассматривать совместно электрические и механические устройства, объединив их в электромеханическую систему.

Электропривод может быть: одиночным (индивидуальным); групповым и взаимосвязанным.

Одиночный (индивидуальный) привод обеспечивает движение одного исполнительного органа машины. *Групповой* обеспечивает движение исполнительных органов нескольких рабочих машин или нескольких исполнительных органов одной машины. *Взаимосвязанный* – представляет собой два или несколько электрически или механически связанных между собой электродвигателей, при работе которых поддерживается заданное соотношение скоростей, нагрузок, положения исполнительных органов машины. Чаще всего взаимосвязанный электропривод выполняется как многодвигательный, электродвигатели которого работают на один вал.

Положительное качество индивидуального привода – максимальное соответствие характеристик привода и механизма при полной загрузке электродвигателя и простой кинематической схеме. Многодвигательный электропривод обладает высокой надежностью, более рациональной конструкцией всей машины и высокими динамическими свойствами.

Основой электропривода является электродвигатель. Соответствие его конструктивных, механических и энергетических параметров условиям работы механизма обеспечивает заданную производительность, качество продукции, надежность и экономичность.

В качестве приводных электродвигателей используются: асинхронные с короткозамкнутым или фазным ротором; синхронные двигатели; двигатели постоянного тока.

Приводы, в которых используются асинхронные с короткозамкнутым или фазным ротором и синхронные двигатели, называются электроприводами переменного тока. Этот привод применяется наиболее часто, как наиболее простой и требующий меньшего ухода.

Приводы, в которых используются двигатели постоянного тока, называются электроприводами постоянного тока. Этот привод применяется лишь тогда, когда это обусловлено высокими требованиями, предъявляемыми к диапазону и плавности пуска, торможения и регулирования скорости. Электропривод постоянного тока – дорогой и сравнительно сложный в эксплуатации, требует тщательного ухода.

Электрические машины обратимы, т.е. могут работать как в двигательном, так и генераторном режиме. В двигательном режиме электрическая машина создает на валу вращающий момент, обеспечивающий движение (вращение) рабочей машины. В генераторном режиме вал электрической машины вращается за счет запаса кинетической энергии в движущихся частях механизма и самой электрической машины. Запасенная при этом кинетическая энергия превращается в электроэнергию, которая передается в сеть или расходуется на нагревание реостата.

Общими режимами работы для всех типов электродвигателей являются пуск, останов (торможение) и регулирование угловой скорости.

Пуск представляет собой подключение двигателя к сети и разгон до его номинальной частоты вращения. Различают пуск без нагрузки (вхолостую) и под нагрузкой. При пуске под нагрузкой электродвигатель должен развить вращающий момент, превышающий момент нагрузки M_n , связанный с валом электродвигателя рабочей машины (вентилятор, компрессор и т.п.) Как правило, пусковой момент электродвигателя M_p , превышает его номинальный момент $M_{ном}$. Пуск считается легким, если $M_p/M_{ном}=0,3\div 0,4$, нормальным при $0,4 < M_p/M_{ном} < 1,0$ и тяжелым при $M_p/M_{ном} > 1$.

Пусковые токи, как и моменты, иногда достигают таких больших значений, что приводят к необходимости искусственного их ограничения. Ограничение пусковых токов связано с возможностью перегрева электродвигателя (при частых и затяжных пусках), возникновением больших динамических усилий в обмотках, значительной потерей напряжения в питающей сети и, как следствие, снижением уровней напряжений на других электроприемниках этой сети. Ограничение пусковых моментов необходимо для предотвращения больших усилий в редукторах во избежание их поломки, ограничения ускорения рабочих машин при, например, перевозке людей, предотвращения ударов в передачах и рывков в канатах при резком приложении нагрузочного момента.

Останов (торможение) представляет собой перевод электродвигателя в режим торможения для остановки или снижения угловой скорости, а также поддержания постоянной частоты вращения, как например, при спуске груза.

При этом энергия от рабочей машины передается специальному тормозу или электродвигателю, который осуществляет электрическое торможение. В этом случае электродвигатель находится в генераторном режиме работы.

Различают следующие виды электрического торможения: **рекуперативное** – энергия торможения отдается в сеть; **динамическое** – энергия торможения расходуется на нагревание обмоток электродвигателя или специального реостата; **противовключением** – энергия торможения расходуется, как и при динамическом торможении, но осуществляется переключением электродвигателя на вращение в противоположном направлении. Возможно также совместное применение электрического и механического торможения, при котором останов электродвигателя осуществляется путем отключения его от сети.

Регулирование угловой скорости есть изменение частоты вращения электродвигателя согласно требуемому заданию. Различные способы регулирования характеризуются следующими показателями: пределом (диапазоном) и плавностью регулирования; устойчивостью работы при данной угловой скорости; допустимой нагрузкой при различных угловых скоростях, экономичностью.

Пределы регулирования характеризуются максимальной ω_{\max} и минимальной ω_{\min} угловыми скоростями электродвигателя, и представляются в виде диапазона регулирования $D = \omega_{\max}/\omega_{\min}$ и обычно выражаются отношением частот вращения, когда ω_{\min} принимается за единицу, т.е. в виде 2:1, 5:1 и т.п.

Плавность регулирования аналогична пределу регулирования, относится к двум соседним ступеням регулирования (ω_i и ω_{i+1}), и характеризуется коэффициентом плавности $k_{\text{пл}} = \omega_i/\omega_{i+1}$, при этом $\omega_i > \omega_{i+1}$.

Устойчивость работы при данной угловой скорости характеризуется способностью электродвигателя восстанавливать установившееся состояние работы при его ускорении или замедлении, связанное с колебаниями момента нагрузки.

Допустимая нагрузка при различных угловых скоростях ограничивается допустимым нагревом электродвигателя, что определяется током нагрузки. Следовательно, при длительной работе с какой-либо угловой скоростью ток электродвигателя не должен превышать номинальный.

Экономичность регулирования оценивается затратами при регулировании.

Любой производственный механизм и электродвигатель имеет механическую характеристику, по которой понимается зависимость установившейся угловой скорости или частоты вращения от момента на валу, т.е. $\omega = f(M_c)$ или $n = f(M_c)$.

Различают механические характеристики производственных механизмов установок следующих видов: статический момент сопротивления $M_{\text{ст}}$ не зависит от угловой скорости ω (шахтные подъемные установки с уравновешивающим хвостовым канатом, конвейрные линии с постоянным грузом); статический момент сопротивления есть функция угловой скорости

(вентиляторы, насосы, компрессоры); статический момент сопротивления зависит от пути (шахтные подъемные установки без уравнивающего хвостового каната, рудничные вагоноопрокидыватели).

Механические характеристики электродвигателей различают в зависимости от степени изменения момента с изменением угловой скорости: **абсолютно жесткие** – угловая скорость ω остается постоянной при различных моментах на валу M_c ; **жесткие** – угловая скорость изменяется в пределах 3-5 % при изменении момента от нуля до номинального значения; **мягкие** – угловая скорость изменяется значительно с изменением момента.

При номинальных параметрах электродвигателя и сети (напряжение и частота сети, магнитный поток, сопротивление двигателя) механические характеристики электродвигателя называются **естественными**, а при изменении одного или нескольких параметров – **искусственными**.

При вращении электродвигателя ему необходимо развивать электромагнитный момент M для преодоления статического момента сопротивления $M_{ст}$, создаваемого производственным стмеханизмом на валу электродвигателя. Уравнение вращения электродвигателя и соединенным с ним производственным механизмом, имеет следующий вид:

$$M - M_{ст} = M_{дин}$$

где $M_{дин}$ – динамический момент, обуславливающий изменение частоты вращения производственного механизма и электродвигателя (электромеханической системы).

При $M_{дин}=0$ будет иметь место установившийся режим работы системы, при $M_{дин}>0$ – ускорение вращения системы, при $M_{дин}<0$ – торможение системы.

Для рассмотрения процесса работы электродвигателя совместно с производственным механизмом их механические характеристики совмещают, при этом общая точка характеристик ($M=M_{ст}$) соответствует установившемуся режиму работы.

Различают устойчивую и неустойчивую работу электропривода. Если электропривод самостоятельно возвращается в установившийся режим, то он статически устойчив, в противном случае – неустойчив.

2.1.2 Механические характеристики и режимы работы электродвигателей

Электродвигатели постоянного тока

Принцип действия электродвигателя постоянного тока основан на взаимодействии постоянного магнитного поля и тока двигателя. Исходя из схемы подключения обмотки возбуждения и якоря различают электродвигатели постоянного тока независимого, параллельного, последовательного и смешанного возбуждения.

В приводах шахтных стационарных установок нашли широкое применение электродвигатели постоянного тока с независимым или параллельным возбуждением.

Механическая характеристика таких двигателей $\omega=f(M)$ имеет следующую зависимость:

$$\omega = \frac{U}{c \cdot \Phi} - \frac{R_{я} + R_{р}}{c^2 \cdot \Phi^2} \cdot M$$

где U – приложенное к двигателю напряжение, В;
 $R_{я}$ – сопротивление обмотки якоря, Ом;
 $R_{р}$ – сопротивление реостата в цепи якоря, Ом;
 M – электромагнитный момент двигателя, Н·м;
 c – постоянный коэффициент, характеризующий конструкцию двигателя;

Φ – магнитный поток возбуждения двигателя, Вб;

Электромеханическая характеристика таких двигателей $\omega=f(I_{я})$ имеет следующую зависимость:

$$\omega = \frac{U - I_{я}(R_{я} + R_{р})}{c \cdot \Phi}$$

где $I_{я}$ – ток в цепи якоря, А.

Механические характеристики электродвигателей параллельного и независимого возбуждения прямолинейны и относятся к жестким характеристикам. Характеристики при $R=R_{я}$ называются естественными, остальные – искусственными (реостатными).

Для электродвигателей с параллельным и независимым возбуждением возможны два способа регулирования угловой скорости: изменением напряжения цепи якоря и тока возбуждения; и три режима торможения: рекуперативное, противовключением и динамическое.

В приводах рудничных электровозов нашли широкое применение электродвигатели постоянного тока с последовательным возбуждением.

Эти электродвигатели обладают весьма мягкими механическими характеристиками и сравнительно плавно преодолевают нагрузку. При малых нагрузках (менее 15%) электродвигатель развивает высокую скорость, которая может достигнуть величины, при которой произойдет авария (разнос двигателя). Поэтому электродвигатели с последовательным возбуждением нельзя запускать вхолостую, т.е. без нагрузки.

Для электродвигателей с последовательным возбуждением возможны два способа регулирования угловой скорости: изменением напряжения цепи якоря и тока возбуждения; и два режима торможения: противовключением и динамическое. Режим рекуперативного торможения у них нет.

В приводах отдельных механизмов нашли применение электродвигатели постоянного тока со смешанным возбуждением. Эти электродвигатели имеют две обмотки возбуждения: последовательную и параллельную. Механические характеристики имеют промежуточную форму между характеристиками двигателей с последовательным и независимым возбуждением.

Электродвигатели со смешанным возбуждением допускают два способа регулирования угловой скорости: изменением напряжения цепи якоря и тока

возбуждения; и три режима торможения: рекуперативное, противовключением и динамическое.

Электродвигатели переменного тока

Принцип действия электродвигателя переменного тока основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора и индукционного тока ротора двигателя.

Угловая скорость вращения (рад/с) магнитного поля ω_1 зависит от частоты переменного тока f (Гц) и числа пар полюсов трехфазной обмотки статора p :

$$\omega_1 = 2\pi \cdot f/p$$

Эта скорость называется *синхронной*.

Конструктивно электродвигатели переменного тока разделяют на двигатели асинхронные и синхронные.

В асинхронных электродвигателях угловая скорость вращения ротора ω_2 несинхронна с вращающимся магнитным полем т. е. она несколько меньше синхронной $\omega_2 < \omega_1$. Относительная разность угловых скоростей вращения магнитного поля и ротора называется **скольжением s** .

$$s = (\omega_1 - \omega_2)/\omega_1$$

Благодаря своей надежности, простоте конструкции и обслуживания, асинхронные электродвигатели чрезвычайно широко применяются на подземных работах и на поверхности рудников (привод горных комбайнов, конвейеров, лебедок, насосов, вентиляторов, буровых станков и установок, толкателей и т.п.). В большинстве случаев применяются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором и значительно реже – электродвигатели с фазным ротором.

Механическая характеристика асинхронных двигателей $\omega=f(M)$ имеет следующую зависимость:

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

где M_k – критический (максимальный) момент, Н·м;

s – скольжение;

s_k – критическое скольжение.

Рабочая ветвь механической характеристики асинхронного электродвигателя изображается линией, близкой к прямой и относится к жесткой характеристике. Эта часть характеристики напоминает характеристику электродвигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

Пуск асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором сопровождается резким повышением величины пускового тока $I_{\text{пуск}}$, который в $5 \div 7$ раз больше номинального тока $I_{\text{ном}}$. Поэтому для ограничения пусковых токов используется пуск при пониженном напряжении, который может быть обеспечен двумя способами: за счет использования реактора (реакторный пуск) и автотрансформатора (автотрансформаторный пуск).

Пуск асинхронных электродвигателей с фазным ротором осуществляется прямым подключением обмотки статора в сеть при полном сопротивлении цепи ротора.

Для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором возможны два способа регулирования угловой скорости: изменением частоты питающей сети и изменением числа пар полюсов; и три режима торможения: рекуперативное, противовключением и динамическое.

Для асинхронных электродвигателей с фазным ротором возможны три способа регулирования угловой скорости: изменением частоты питающей сети, изменением числа пар полюсов и изменением сопротивления цепи ротора; и три режима торможения: рекуперативное, противовключением и динамическое.

В синхронных электродвигателях угловая скорость вращения ротора ω_2 синхронна с вращающимся магнитным полем т. е. $\omega_2 = \omega_1$, а скольжение $s=0$.

Особенностью синхронного электродвигателя является постоянство и независимость угловой скорости от нагрузки т. е. его механическая характеристика представляет собой прямую, параллельную оси абсцисс и относится к абсолютно жесткой характеристике.

По этой причине синхронные электродвигатели применяют для привода машин, не требующих регулирования скорости (насосы, вентиляторы, компрессоры, преобразовательные агрегаты).

Вращающийся электромагнитный момент синхронного электродвигателя характеризуется выражением:

$$M = \frac{m \cdot U \cdot E}{\omega_0 \cdot X_c} \cdot \sin \theta$$

где m – число фаз статорной обмотки;

U – напряжение статора, В;

E – ЭДС, наводимая в обмотке статора полем ротора, В

ω_0 – угловая скорость магнитного поля статора, рад/с;

X_c – синхронное индуктивное сопротивление обмотки статора, Ом;

θ - угол сдвига фаз напряжения сети U и ЭДС двигателя E , эл. град

Это уравнение называется *угловой* характеристикой синхронного электродвигателя $M=f(\theta)$. При работе электродвигателя в пределах изменения угла θ от 0 до 90 эл. градусов он работает на устойчивой части характеристики, а при переходе через угол $\theta=90$ эл. градусов двигатель исчерпывает запас устойчивости и опрокидывается, в результате чего выходит из синхронизма и останавливается. Номинальному моменту электродвигателя $M_{ном}$ соответствует угол $\theta=24 \div 30$ эл. градусов.

Пуск синхронных электродвигателей производят напрямую от сети (асинхронный пуск), либо через реактор (реакторный пуск) или автотрансформатор (автотрансформаторный пуск).

Для синхронных электродвигателей может быть применен один - частотный способ регулирования угловой скорости и один режим торможения - динамическое.

Синхронный электродвигатель позволяет регулировать реактивную мощность, т.е. изменять коэффициент мощности $\cos \varphi$ за счет изменения тока возбуждения. При малых значениях тока возбуждения двигатель потребляет реактивную энергию и $\cos \varphi < 1$. С увеличением тока возбуждения потребляемая от сети реактивная энергия уменьшается и при определенном значении тока $\cos \varphi = 1$. С дальнейшим увеличением тока возбуждения двигатель будет работать с опережающим $\cos \varphi$ и являться источником реактивной энергии.

2.1.3 Системы приводов

Большинство машин в настоящее время работают без регулирования производительности. Этим главным образом объясняется их низкий КПД. Наиболее экономичным является регулирование производительности изменением скорости привода. К тому же такой способ регулирования наилучшим образом поддается автоматизации.

Для стационарных установок шахт находят широкое применение системы приводов, представляющих собой сочетание различных типов электрических машин и преобразовательных агрегатов. Различают следующие виды систем приводов:

- генератор-двигатель (Г-Д);
- тиристорный преобразователь-двигатель (ТП-Д);
- асинхронный вентильный каскад (АВК);
- асинхронный вентильно-машинный каскад (АВМК);
- асинхронный комбинированный вентильно-машинный каскад (АКВМК);
- двигатель двойного питания (ДДП).

Система привода Г-Д обладает жесткими механическими характеристиками при различных угловых скоростях, возможностью регулирования в широких пределах, простотой управления, легкостью автоматизации. Однако требует наличия трех электрических машин мощностью одного порядка и имеет низкий КПД.

Система привода ТП-Д имеет широкий диапазон регулирования за счет изменения угла включения тиристора, обладает высоким быстродействием и КПД. Однако требует наличия устройства компенсации высших гармоник.

Система привода АВК обладает плавностью регулирования в широких пределах и самый высокий КПД регулирования. Однако требует наличия статического преобразователя и системы управления.

Система привода АВМК обеспечивает регулирование в широких пределах. Позволяет получить высокие пусковые моменты и КПД регулирования. Однако требует наличия дополнительной электрической машины соизмеримой мощности.

Система привода АКВМК имеет широкий диапазон регулирования и высокий КПД регулирования. Однако требует наличия дополнительных электрических машин.

Система привода ДДП обеспечивает получение угловой скорости ниже и выше синхронной. Имеет возможность работы с различными значениями $\cos \varphi$. Обладает экономичностью регулирования и быстроедействием. Однако требует наличия тиристорного преобразователя и системы управления.

2.1.4 Динамика электропривода

В большинстве машин механизмы совершают вращательное движение, совершаемое электродвигателями.

Создаваемый на валу электродвигателя вращающий момент M (Н·м) зависит от угловой скорости и мощности

$$M = \frac{P}{0,33 \cdot \omega}$$

где P – мощность электродвигателя, Вт;

ω – угловая скорость, c^{-1} ;

Во время работы механизма силы сопротивления движению создают статический M_c и динамический M_d моменты сопротивления движению

$$M_{\text{сопр}} = M_c + M_d$$

Статический момент сопротивления M_c создается постоянно во время движения механизма силами трения и массы. Статический момент, создаваемый силами сопротивления резанию, например горной породы, относится к полезному. Статический же момент сопротивления, создаваемый силами трения самого механизма, трущимися узлами редуктора и электродвигателя, является вредными.

Таким образом, статический момент сопротивления определяется по формуле

$$M_c = \pm M_{\text{пол}} + M_{\text{тр}}$$

где $M_{\text{пол}}$ – полезный момент сопротивления, Н·м;

$M_{\text{тр}}$ – момент трения, Н·м.

Полезный момент сопротивления может быть положительным или отрицательным, т.е. иметь различные направления. Например, при опускании груза лебедкой $M_{\text{пол}}$ имеет знак минус, так как он не препятствует движению, а помогает ему. При подъеме же груза этот момент сопротивления будет положительным. В этом случае он создает сопротивление движению.

Статический момент сопротивления у одних механизмов не зависит от скорости, например вентиляторов. В скреперной лебедке статический момент зависит от скорости в значительной степени.

Динамический момент сопротивления M_d создается силами **инерции** всех движущихся масс электропривода и механизма. Динамический момент сопротивления возникает только во время изменения скорости движения. Он может быть положительным или отрицательным в зависимости от характера изменения скорости. При увеличении скорости M_d положительный, а при уменьшении – отрицательный.

Если момент инерции электропривода и механизма является постоянной величиной, то динамический момент сопротивления определяется по формуле:

$$M_{\text{д}} = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (1)$$

где J – момент инерции системы, приведенный к валу электродвигателя, $\text{Н} \cdot \text{м}/\text{с}^2$;

$$\frac{d\omega}{dt} \text{ – угловое ускорение, } 1/\text{с}^2;$$

Вращающий момент электродвигателя преодолевает момент сопротивления, поэтому он равен:

$$M = M_{\text{сопр}} = M_{\text{с}} + M_{\text{д}} \quad (2)$$

Подставив выражение (1) в уравнение (2) получим

$$M - M_{\text{с}} = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

Это выражение (3) носит название **основного уравнения движения привода**.

Во время пуска электродвигателя все движущиеся части электропривода и механизма под действием вращающегося момента из состояния покоя переходят в состояние движения, причем скорость движения возрастает ($d\omega/dt > 0$ и $M_{\text{д}} > 0$). Вращающийся момент электродвигателя $M_{\text{п}}$ во время пуска преодолевает и статический $M_{\text{с}}$ и динамический $M_{\text{д}}$ моменты сопротивления

$$M_{\text{п}} = M_{\text{с}} + M_{\text{д}}$$

После того как скорость движения достигает установившейся величины ($d\omega/dt = 0$ и $M_{\text{д}} = 0$), вращающийся момент электродвигателя преодолевает только статический момент сопротивления ($M = M_{\text{с}}$).

При приложении нагрузки на механизм момент сопротивления оказывается больше вращающего момента двигателя

$$M_{\text{сопр}} > M$$

Скорость движения уменьшается ($d\omega/dt < 0$ и $M_{\text{д}} < 0$), а вращающийся момент электродвигателя M возрастает до тех пор, пока не станет равным моменту сопротивления.

При отключении электродвигателя от сети вращающийся момент $M = 0$, но движущиеся части электропривода и механизма еще некоторое время вращаются по инерции за счет энергии, накопленной в маховых массах электродвигателя, редуктора и самого механизма. В этом случае $M_{\text{с}} = M_{\text{д}}$, т.е. статический момент сопротивления $M_{\text{с}}$ преодолевается за счет динамического момента сопротивления $M_{\text{д}}$. Последний в этом случае имеет отрицательное значение.

Уравнение (3) справедливо при условии, что элементы электропривода, редуктора и механизма вращаются с одинаковыми угловыми скоростями. В большинстве случаев это не так. Поэтому для определения расчетного момента и потребной мощности электродвигателя производят приведение величин моментов инерции и маховых моментов к валу электродвигателя.

Приведение статических моментов основано на том условии, что передаваемая мощность без учета потерь на любом валу механизма остается неизменной. Поэтому приведенный статический момент определяется по формуле:

$$M_c = M_m \cdot \frac{1}{k \cdot \eta_{\text{пер}}}$$

где M_m – момент сопротивления механизма, Н·м;

k – передаточные числа промежуточных передач;

$\eta_{\text{пер}}$ – КПД соответствующих передач.

Для приведения моментов инерции к одной оси вращения реальный привод заменяют эквивалентным или приведенным к одной вращающейся массой, расположенной на валу электродвигателя.

$$J = J_d + \frac{J_1}{k_1^2} + \frac{J_m}{k^2}$$

где J_d – момент инерции двигателя, Н·м/с²;

J_1 – момент инерции промежуточной передачи, Н·м/с²;

J_m – момент инерции механизма, Н·м/с²;

k_1 – передаточные числа промежуточных передач;

k – передаточное число механизма.

2.1.5 Переходные процессы в электроприводе

Режим работы электропривода при переходе от одного установившегося состояния к другому, называется **переходным**.

Переходные процессы возникают при пуске, торможении, регулировании скорости, изменении нагрузки электродвигателя, колебаниях напряжения и частоты сети и т.п. Электродвигатели большинства машин работают главным образом в переходных режимах (торможение, реверс, регулирование скорости и т.д.).

Причиной возникновения переходных процессов является инерционность различных элементов системы электропривода. Различают два вида инерции: механическую и электромагнитную. Уравнение переходного процесса имеет следующий вид:

$$M = M_c + (M_{\text{нач}} - M_c) \cdot e^{-\frac{t}{T_m}}$$

где M_c – статический момент, Н·м;

$M_{\text{нач}}$ – момент электродвигателя в начале переходного режима, Н·м;

t – время, прошедшее от начала переходного режима, с;

T_m – электромеханическая постоянная времени, с

Электромеханической постоянной T_m называется время, в течение которого электропривод с приведенным моментом инерции J разгоняется холостую из неподвижного состояния до угловой скорости идеального холостого хода ω_0 при неизменном вращающем моменте, равном начальному пусковому моменту электродвигателя. Она может быть определена по формуле:

$$T_m = \frac{J \cdot \omega_0}{M_k}$$

где M_k – начальный пусковой момент электродвигателя (момент короткого замыкания), Н·м;

Время пуска и торможения электропривода не являются эффективным временем работы механизма, поэтому их длительность необходимо сокращать.

Время пуска из состояния покоя определяется по формуле:

$$t_{\text{п}} = \frac{J \cdot \omega_{\text{ном}}}{\alpha \cdot M_{\text{ном}} - M_{\text{с}}}$$

Время торможения определяется по формуле:

$$t_{\text{т}} = \frac{J \cdot \omega_{\text{ном}}}{\alpha \cdot M_{\text{ном}} + M_{\text{с}}}$$

Переходной процесс практически будет закончен за время

$$t = (3 \div 4) \cdot T_{\text{м}}$$

Переходные процессы в электроприводе сопровождаются тепловыми потерями в электродвигателе и в пусковом реостате, что снижает экономичность работы, и вызывают перегрев двигателя.

На длительность переходных процессов в электроприводах большое значение оказывает электромагнитные процессы в обмотках электрических машин. Характер протекания этих процессов зависит от величины индуктивности обмотки, т.е. определяется ее электромагнитной инерцией, которая характеризуется **электромагнитной постоянной времени $T_{\text{в}}$** . Для мощных электродвигателей $T_{\text{в}}$ составляет до нескольких секунд, что зачастую превышает величину электромеханической постоянной времени $T_{\text{м}}$. В этом случае требуются специальные меры по снижению электромагнитной постоянной времени, т.е. так называемая форсировка возбуждения.

2.1.6 Нагрев электродвигателей

Увеличение нагрузки на валу приводного электродвигателя сопровождается увеличением тока в его обмотках, растут потери мощности, и увеличивается температура электродвигателя. Рост температуры выше допустимой приводит к снижению электрической прочности изоляционных материалов, что связано с опасностью пробоя изоляции обмоток и выхода двигателя из строя.

Превышение температуры электродвигателя над температурой окружающей среды называют **перегревом**:

$$\tau = \theta - \theta_0$$

где θ – температура электродвигателя, $^{\circ}\text{C}$;

θ_0 – температура окружающей среды, принимается равной 40°C .

Уравнение процесса нагрева имеет следующий вид:

$$\tau = \tau_{\text{у}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{\text{н}}}}\right) + \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_{\text{н}}}}$$

где $\tau_{\text{у}}$ – установившийся перегрев, $^{\circ}\text{C}$;

τ_0 – перегрев двигателя в начальный момент, $^{\circ}\text{C}$;

t – время, прошедшее от начала нагрева, с;

$T_{\text{н}}$ – постоянная времени нагрева, с.

Постоянной времени нагрева T_n электродвигателя называется время, в течение которого двигатель достиг бы установившейся температуры, если бы не было отдачи тепла в окружающую среду. Она может быть определена по формуле:

$$T_n = \frac{C}{A}$$

где C – теплоемкость электродвигателя, Дж/ $^{\circ}$ С;
 A – теплоотдача, Дж/с· $^{\circ}$ С.

Процесс нагрева практически будет закончен за время

$$t = (3 \div 4) \cdot T_n$$

Если электродвигатель отключить, он начнет охлаждаться.

Уравнение процесса нагрева имеет следующий вид:

$$\tau = \tau_y (1 - e^{-\frac{t}{T_n}}) + \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_n}}$$

где τ_y – установившийся перегрев, $^{\circ}$ С;

τ_0 – перегрев двигателя в начальный момент, $^{\circ}$ С;

t – время, прошедшее от начала охлаждения, с;

T_n – постоянная времени охлаждения, с.

Равенство постоянных $T_n = T_0$ возможно лишь для электрических машин с независимой вентиляцией. Для машин с самовентиляцией $T_n < T_0$.

Процесс охлаждения практически будет закончен за время

$$t = (3 \div 4) \cdot T_0$$

Допустимая температура нагрева электродвигателя определяется классом нагревостойкости изоляционных материалов. С увеличением нагревостойкости изоляции увеличивается номинальная мощность электродвигателя при данных его габаритах. В электродвигателях машин применяется кремнеорганическая изоляция класса Н, допускающая нагрев до 180° С и обладающая высокой масло- и влагостойкостью, что позволяет увеличить мощность двигателя на 45%.

2.1.7 Номинальные режимы работы электродвигателей

Возможные режимы работы электропривода отличаются многообразием по длительности, характеру изменения нагрузки, ее величине, условиях охлаждения и т.п. На основании анализа реальных режимов выделяется специальный класс - номинальные режимы, для которых изготавливаются серийные электродвигатели. Действующим ГОСТом предусматривается восемь номинальных режимов, которые имеют условные обозначения:

S1 – продолжительный номинальный режим;

S2 – кратковременный номинальный режим;

S3 – повторно-кратковременный номинальный режим;

S4 – повторно-кратковременный номинальный режим с частыми пусками;

S5 – повторно-кратковременный номинальный режим электрическим торможением;

S6 – перемежающийся номинальный режим;

S7 – перемежающий номинальный режим с частыми реверсами;
S8 – перемежающий номинальный режим с двумя или более угловыми скоростями.

3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

3.1 Структура электропривода

Электропривод, как электромеханическая система, предназначенная для приведения в движение машин и механизмов состоит из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств (рис. 3.1). Отдельные устройства (преобразовательное и передаточное) могут отсутствовать.

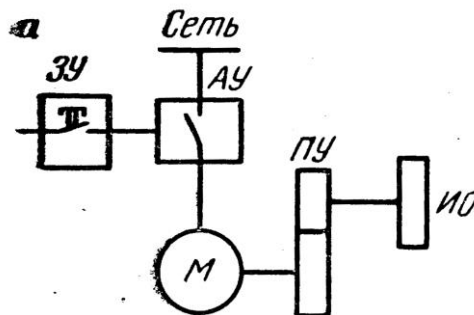


Рис. 3.1 Структура электрического привода

Исполнительный орган **ИО** рабочей машины (например, барабан лебедки или нагребной орган погрузочной машины и т.п.) приводится в движение электродвигателем **М** через передаточное устройство **ПУ** (редуктор, муфту и т.п.). Управление электродвигателем - его пуск, остановка, изменение частоты вращения, реверсирование и т.д. - осуществляется с помощью аппаратуры управления **АУ** (контроллера, контакторов, реле). Управляющий сигнал оператор подает в систему управления с помощью задающего устройства **ЗУ** (кнопки, командоконтроллера и т.п.).

Управляющий сигнал проходит лишь в одном (прямом) направлении - от **ЗУ** к электродвигателю. Сигналы обратного направления в простейших системах электропривода отсутствуют. Такие системы называются **разомкнутыми**. В более ответственных случаях, например, в приводах буровых установок, подъемных машин и т.п., используют сложные системы электропривода, включающие преобразовательные устройства. Такие сложные системы электропривода обязательно содержат отрицательные обратные связи по тем или иным физическим параметрам - угловой скорости, току и т.п.

Структурная схема электропривода с обратными связями показана на рис. 3.2. Электродвигатель **М** получает питание от регулируемого

тиристорного преобразователя **Пр**. Оператор с помощью задающего **ЗУ** устанавливает требуемый режим

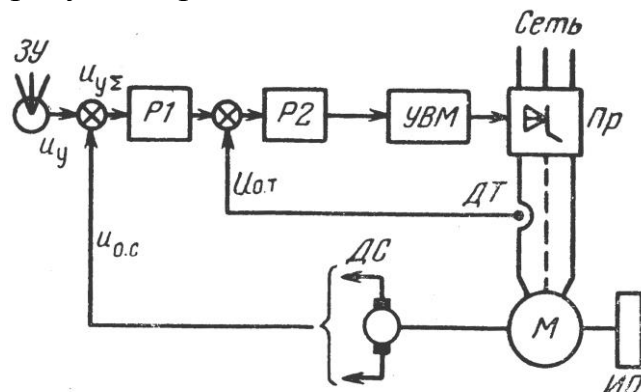


Рис. 3.2 Структурная схема электропривода с обратными связями

работы установки. Система содержит один или несколько регуляторов **Р** или вычислительную машину **УВМ**. Система в данном случае замкнутая, так как имеет обратные связи. Сигнал, пропорциональный регулируемой величине, например, угловой скорости двигателя, передается с выхода датчика скорости **ДС** на ее вход, т.е. в обратном направлении и называется **сигналом обратной связи** по угловой скорости двигателя $u_{o.c}$.

3.2 Расчет электроприводов переменного тока

Основой электропривода является электродвигатель. Соответствие его конструктивных, механических и энергетических параметров условиям работы производственного механизма обеспечивает заданную производительность, надежность и экономичность

Целью предварительного расчета является определение основных параметров электродвигателя: мощности, рода тока, напряжения, угловой скорости, способа защиты от окружающей среды, конструктивного исполнения, а также серии и типоразмера.

В большинстве случаев электродвигатель выбирают по допустимому нагреву и проверяют на перегрузочную способность в соответствии с условием

$$M_{\text{мах.доп}} \leq k_{\text{дп}} \cdot M_{\text{ном}}$$

где $M_{\text{мах.доп}}$ – максимально допустимый момент нагрузки на валу, Н·м;

$k_{\text{дп}}$ – коэффициент допустимой перегрузки двигателя.

Величину $k_{\text{дп}}$ для асинхронного электродвигателя выбирают с учетом возможного снижения напряжения в электрической сети на 10% :

$$k_{\text{дп}} = (0,8 \div 0,85) \cdot \lambda$$

где $\lambda = M_{\text{мах}} / M_{\text{ном}}$ – перегрузочная способность двигателя;

$M_{\text{мах}}$ – максимальный (критический) момент двигателя, Н·м.

Для электродвигателей постоянного тока допустимая перегрузка ограничивается условиями коммутации. При токе якоря выше номинального на коллекторе возникает сильное искрение, появляется опасность кругового огня. Здесь кратность максимального тока по отношению к номинальному

составляет: $k_{\text{макс}}=I_{\text{макс}}/I_{\text{н}}=2-2,5$ (электродвигатели общепромышленной серии) и $k_{\text{макс}}=3,5-4$ (электродвигатели краново-металлургической серии).

При пуске асинхронных электродвигателей под нагрузкой требуется их проверка по пусковым условиям. Для асинхронных короткозамкнутых электродвигателей общепромышленной серии (например, 4А или 5А) для характеристики пускового процесса в каталогах приводится кратность начального пускового момента $M_{\text{п}}/M_{\text{н}}$. Асинхронные электродвигатели с фазным ротором пускаются в ход с помощью пускового реостата. Наличие в нем пусковых резисторов обеспечивает плавность пуска и позволяет получить пусковой момент, равный максимальному. Поэтому для этих электродвигателей в каталоге не приводятся значения кратности пускового момента.

Для синхронных электродвигателей, пуск которых осуществляется в асинхронном режиме, в каталогах указывается кратность пускового момента $M_{\text{п}}/M_{\text{н}}$.

При пуске электродвигателей постоянного тока пусковой момент, как и максимальный, определяется условиями коммутации и имеет примерно ту же кратность.

При выборе электродвигателя по нагреву необходимо исходить из того, что температура отдельных его частей во время работы не должна превышать предельно допустимых величин, определяемой классом нагревостойкости изоляционных материалов, применяемых в нем. Классы нагревостойкости изоляции определяются по ГОСТ 8865-70 (см. табл.3.1)

Таблица 3.1

Класс изоляции	В	F	Н	С
Температурный индекс материала (предельно допустимая температура нагрева изоляции), °С	130	155	180	Более 180
Предельно допустимая температура нагрева обмоток, °С	120	140	165	Более 165
Предельно допустимые превышения (перегрев) температуры обмоток при $\theta_0=40^\circ\text{C}$, °С	80	110	125	Более 125
Расчетная рабочая температура обмотки при расчете ее сопротивления, °С	75	115	115	Более 115

Стандартная температура окружающей среды (газообразной охлаждающей) по ГОСТ 15150-69 принимается равной $\theta_0 = 40^\circ\text{C}$.

Номинальная мощность электродвигателя, указанная в паспорте, соответствует температуре окружающей среды, равной 40°C . При более низкой температуре электродвигатель может быть нагружен выше номинальной мощности, а при более высокой температуре нагрузку необходимо уменьшить, если не применять дополнительных мер его охлаждения.

Для улучшения охлаждения необходимо применять вентилируемые двигатели, поскольку они позволяют большую нагрузку на валу, чем

невентилируемые. При одних и тех же габаритах мощность вентилируемых электродвигателей больше мощности невентилируемых. Конструктивное исполнение электродвигателя необходимо увязать с условиями окружающей среды.

Ориентировочно величина изменения мощности при отклонении температуры окружающей среды от стандартной может быть определена по формуле:

$$P = P_n \cdot \sqrt{1 + (40 - \theta_0) \cdot (k + 1) / \tau_y}$$

где P_n – номинальная паспортная мощность электродвигателя, кВт;

θ_0 – температура окружающей среды, °С;

k – коэффициент потерь;

τ_y – допустимый предельный перегрев отдельных частей электродвигателя по сравнению с температурой окружающей среды температура электродвигателя, °С;

Для рационального использования асинхронных электродвигателей определяется коэффициент потерь активной мощности k , поскольку режим номинальной нагрузки соблюдается далеко не всегда. Он относится к числу важных величин, характеризующих тепловой режим работы электродвигателя.

Наиболее просто это сделать, если известны мощность и КПД электродвигателя в режиме номинальной нагрузки $S1$ (они указаны в паспорте двигателя). Тогда полные номинальные потери можно определить по формуле:

$$\Delta p_n = P_n \cdot \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right)$$

где P_n – номинальная паспортная мощность двигателя, кВт;

η_n – КПД двигателя при номинальной нагрузке.

При частичной нагрузке полные потери будут равны:

$$\Delta p = k_{нг} \cdot P_n \cdot \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right)$$

где $k_{нг}$ – коэффициент нагрузки двигателя;

η – КПД двигателя, соответствующий данному $k_{нг}$.

Значения коэффициента $k_{нг}$ обычно приводятся в каталогах в виде зависимости $k_{нг} = f(\eta)$.

Потери холостого хода Δp_x составят:

$$\Delta p_x = \frac{\Delta p - k_{нг}^2 \cdot \Delta p_n}{1 - k_{нг}^2}$$

Номинальные нагрузочные потери $\Delta p_{нг.н}$ определяются по формуле:

$$\Delta p_{нг.н} = \Delta p_n - \Delta p_x$$

Тогда коэффициент потерь k :

$$k = \Delta p_x / \Delta p_{нг.н}$$

Электродвигатели эксплуатируются в самых разнообразных режимах. Стандартные режимы работы (S1-S8), определяемые ГОСТ 183-74, на

практике в чистом виде встречаются редко. Поэтому необходимо определить, какой из стандартных режимов работы наиболее близок к действительному режиму.

Выбрав мощность, по каталогу подбирают электродвигатель нужной серии с учетом номинального напряжения, частоты вращения, способа защиты от окружающей среды и конструктивного исполнения.

3.2.1 Выбор мощности электродвигателя при продолжительном режиме работы (S1)

Для механизмов, работающих с неизменной или мало меняющейся нагрузкой без регулирования скорости, например, насосы, компрессоры, вентиляторы, конвейеры, буровые станки и т.п. (режим S1), необходимо знать потребляемую мощность. Если эта мощность неизвестна, то ее определяют по нагрузочным диаграммам, характеризующим зависимость вращающего момента, тока или мощности, развиваемой электродвигателем, от времени. Для этого используются методы средних потерь, эквивалентного тока, эквивалентного момента и др. При известной мощности механизма мощность электродвигателя выбирается по каталогу. Номинальная мощность электродвигателя, принятого по каталогу, должна быть равна или несколько больше расчетной. Проверки двигателя по нагреву или перегрузке здесь не требуется.

В практических расчетах наименьшую мощность двигателя продолжительного режима $P_{\text{мин}}$ выбирают с учетом его перегрузочной способности:

$$P_{\text{мин}} = \frac{P_{\text{к}}}{0,8 \cdot \lambda}, \text{ кВт}$$

где $P_{\text{к}}$ – максимальное (критическое) значение мощности при продолжительной нагрузке (из нагрузочной диаграммы), кВт;

0,8 – коэффициент, учитывающий возможные колебания напряжения сети;

$\lambda = M_{\text{мах}}/M_{\text{ном}}$ – перегрузочная способность электродвигателя.

Полученная минимальная мощность должна удовлетворять условию $P_{\text{мин}} \geq P_{\text{ном}}$.

Многие асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором имеют пусковой момент, значительно меньше максимального (критического). При тяжелых условиях пуска двигатель проверяют на достаточность пускового момента. В расчетах обычно принимают, что пуске статический момент на 30% выше, чем в установившемся режиме, поскольку во время стоянок загустевает смазка в механизме и в электродвигателе.

Предварительная мощность P электродвигателя для привода насоса определяется по формуле:

$$P = k_3 \cdot \frac{g \cdot Q \cdot H \cdot \rho}{\eta_{\text{нас}} \cdot \eta_{\text{пер}}} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

где k_3 – коэффициент запаса, принимаемый 1,1-1,3 в зависимости от мощности электродвигателя;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

Q – подача (производительность) насоса, м³/с;

H – полная расчетная высота напора, м;

ρ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³;

$\eta_{\text{нас}}$ – КПД насоса (для поршневого 0,7-0,9; для центробежного 0,6-0,75);

$\eta_{\text{пер}}$ – КПД передачи, равный 0,9-0,95.

Для центробежного насоса особенно важен правильный выбор частоты вращения электродвигателя, так как производительность насоса Q , расчетная высота напора H , момент M и мощность P на валу электродвигателя зависят от угловой скорости ω_0 . Для одного и того же насоса значения Q_1, H_1, M_1, P_1 , при ω_1 связаны со значениями Q_2, H_2, M_2, P_2 , при скорости ω_2 соотношениями $Q_1/Q_2 = \omega_1/\omega_2$; $H_1/H_2 = M_1/M_2 = \omega_1^2/\omega_2^2$; $P_1/P_2 = \omega_1^3/\omega_2^3$. При завышении угловой скорости электродвигателя потребляемая им мощность резко возрастает, что приводит к перегреву и выходу из строя. При заниженной скорости создаваемый насосом напор может оказаться недостаточным, и насос не будет перекачивать жидкость.

Предварительная мощность P электродвигателя для привода вентилятора определяется по формуле:

$$P = k_3 \cdot \frac{Q \cdot H}{\eta_v \cdot \eta_{\text{пер}}} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

где k_3 – коэффициент запаса, принимаемый 1,1-1,2 при мощности более 5 кВт; 1,5 – при мощности до 2 кВт и 2,0 – при мощности до 1 кВт;

Q – производительность вентилятора, м³/с;

H – давление на выходе вентилятора, Па;

η_v – КПД вентилятора (для осевого 0,5-0,85; для центробежного 0,4-0,7);

$\eta_{\text{пер}}$ – КПД передачи, равный 0,9-0,95.

Предварительная мощность P электродвигателя для привода поршневого компрессора определяется по формуле:

$$P = k_3 \cdot \frac{Q \cdot A}{\eta_k \cdot \eta_{\text{пер}}} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

где k_3 – коэффициент запаса, принимаемый 1,05-1,15;

Q – подача (производительность) компрессора, м³/с;

A – работа изотермического и адиабатического сжатия 1 м³ атмосферного воздуха давлением $p_1 = 1,1 \cdot 10^5$ Па до требуемого давления p_2 , Дж/м³ (см. табл. 3.2);

η_k – индикаторный КПД компрессора, равный 0,6-0,8;

$\eta_{\text{пер}}$ – КПД передачи, равный 0,9-0,95.

Таблица 3.2

Давление p_2 , 10^5 Па	3	4	5	6	7	8	9	10
Работа A , 10^3 Дж/м ³	132	164	190	213	230	245	260	272

Предварительная мощность P электродвигателя для привода ленточного конвейера определяется по формуле:

$$P = \left(\frac{A \cdot L_1 \cdot v}{1,5} + \frac{B \cdot L_2 \cdot v}{300} + \frac{Q \cdot H}{270} + C \right) \cdot \frac{k_3 \cdot 0,736 \cdot k_1}{\eta_k \cdot \eta_{пер}} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

где A и B – коэффициент холостого хода лент и груза (см табл. 3.3);

C – коэффициент на сбрасыватель (см. табл. 3.3);

L_1 -длина конвейера между барабанами, м;

L_2 – длина перемещения груза, м;

v – скорость конвейера, м/с;

Q - производительность конвейера, т/час;

H – высота подъема груза, м;

k_3 – коэффициент запаса, принимаемый 1,25-1,5;

k_1 – коэффициент, учитывающий добавочные потери в зависимости от длины конвейера (при длине до 15 м – 1,2; 30 м – 1,1; 45 м – 1,05; выше 45 м – 1,0);

η_k – КПД конвейера, равный 0,6-0,8;

$\eta_{пер}$ – КПД передачи, равный 0,9-0,95.

Таблица 3.3

Коэффициент	Ширина ленты, мм							
	350-450	500	600	750	900	1050	1200	1500
A	0,026	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,1
B	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,1	0,09
C	1,5	1,5	1,75	2,5	3	4	5	7

3.2.2 Выбор мощности электродвигателя при кратковременном режиме работы (S2)

Для механизмов, в которых период неизменной номинальной нагрузки чередуется с периодом отключения, предусмотрен режим S2 – кратковременный номинальный режим. Для такого режима работы рекомендуется продолжительность рабочего периода t_p : 15, 30, 60, 90 мин. В кратковременном режиме работают электроприводы стрелочных переводов, задвижек, забойных машин, металлорежущих станков и т.п.

Электродвигатели, предназначенные для кратковременного режима работы, должны отличаться повышенной перегрузочной способностью с нормированной длительностью работы 15, 30, 60, 90 мин.

Мощность таких электродвигателей рассчитываются по нагрузочным диаграммам по методу эквивалентных величин с последующим выбором его по каталогу и нормированному времени работы. В этом случае электродвигатель будет полностью использован по нагреву. Выбранный электродвигатель требует проверки по перегрузке и пусковым условиям.

Для этого определяют коэффициент механической перегрузки p_M :

$$p_m = \frac{P_k}{P_{ном}} \geq 1$$

где P_k – максимальное (критическое) значение мощности при кратковременной нагрузке (из нагрузочной диаграммы), кВт;

$P_{ном}$ – номинальная мощность при длительной нагрузке, кВт.

Если же время работы электродвигателя t_p , работающего по заданной диаграмме, отличается от каталожного, то следует определить его новую мощность, при которой он будет полностью использован по нагреву.

При кратковременном режиме могут применяться электродвигатели, рассчитанные на режим длительной нагрузки S1. Это возможно, так как нагрев электродвигателя вследствие относительно малой величины рабочего периода (не более 90 мин) не достигает обычно установившегося значения. В практических расчетах наименьшую мощность двигателя продолжительного режима $P_{мин}$ для работы его в кратковременном режиме с максимальной (критической) нагрузкой P_k выбирают с учетом его перегрузочной способности:

$$P_{мин} = \frac{P_k}{0,75 \cdot \lambda}, \text{ кВт}$$

где P_k – максимальное (критическое) значение мощности при кратковременной нагрузке (из нагрузочной диаграммы), кВт;

0,75 – коэффициент, учитывающий возможные колебания напряжения сети;

$\lambda = M_{max}/M_{ном}$ – перегрузочная способность электродвигателя.

Полученная минимальная мощность должна удовлетворять условию $P_{мин} \geq P_{ном}$.

При кратковременном режиме могут применяться электродвигатели, рассчитанные на режим повторно-кратковременной нагрузки S3. При этом принимают, что 30-минутной работе соответствует продолжительность включения ПВ_{ст}=40%, 60-ми-нутный - ПВ_{ст}=60%.

Предварительная мощность P электродвигателя для привода металлообрабатывающих станков (токарных, токарно-винторезных, карусельных, строгальных) определяется по формуле:

$$P = \frac{F_c \cdot q_c \cdot v_p}{\eta_c} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

где F_c – удельное сопротивление резанию, Н/м;

q_c – сечение стружки, м²;

v_p – скорость резания, м/с;

η_c – КПД станка, равный при полной загрузке 0,6-0,7;

$F_{разр}$ – сопротивление разрыву, Н/м.

Удельное сопротивление резанию принимают:

- для стали $F_c=(2,5 \div 3,5) \cdot F_{разр}$ $F_{разр}=(294 \div 1180) \cdot 10^6$ Н/м²;

- для чугуна $F_c=(4 \div 5,5) \cdot F_{разр}$ $F_{разр}=(147 \div 197) \cdot 10^6$ Н/м².

3.2.3 Выбор мощности электродвигателя при повторно-кратковременном режиме работы (S3)

Для механизмов, в которых периоды неизменной номинальной нагрузки t_p (рабочие периоды) чередуется с периодами отключения машины t_{Π} (паузами), частыми пусками, реверсами и торможениями предусмотрен режим S3 – повторно-кратковременный номинальный режим. При таком режиме продолжительность цикла t_{Σ} не превышает 10 мин. Повторно-кратковременный режим характеризуется относительной продолжительностью включения ПВ(ε):

$$\text{ПВ} = \frac{t_p}{t_{\Sigma}} \cdot 100 \% = \frac{t_p}{t_p + t_{\Pi}} \cdot 100 \% \quad \text{или} \quad \varepsilon = \frac{t_p}{t_{\Sigma}} = \frac{\text{ПВ}}{100}$$

где t_p, t_{Π}, t_{Σ} , – соответственно время работы, паузы и цикла, мин.

Нормируемые значения продолжительности включения составляют 15; 25; 40 и 60% или соответственно $\varepsilon=0,15; 0,25; 0,4; 0,6$.

В повторно-кратковременном режиме работают электроприводы шахтных подъемных машин, экскаваторов, кранов, подъемников и т.п.

При повторно-кратковременном режиме работы могут быть выбраны электродвигатели, рассчитанные на режим длительной нагрузки S1, отличающиеся высокой перегрузочной способностью и повышенным пусковым моментом, усиленную изоляцию.

Выпускаются электродвигатели краново-металлургической серии переменного и постоянного тока с классом нагревостойкости F и H. В крановых электродвигателях переменного тока за номинальный принят режим с ПВ=40%, в в электродвигателях постоянного тока – наряду с режимом ПВ=40% и 60-минутный режим. Крановые асинхронные электродвигатели серии МТФ выполняются с фазным ротором, серии МТКФ – с короткозамкнутым ротором. Класс нагревостойкости изоляции F. Крановые электродвигатели постоянного тока серии Д и 4МТ изготавливаются с классом нагревостойкости H.

Если ПВ=60% и выше, то для повторно-кратковременного режима работы могут быть выбраны электродвигатели, рассчитанные на режим длительной нагрузки S1. Выбирают мощность двигателя в этом случае так же, как и для продолжительного режима работы (см. раздел 3.2.1).

Если ПВ=15-60%, то мощность двигателя определяется по нагрузочной диаграмме по методу эквивалентных величин. Время паузы не включается, поскольку оно учитывается при определении фактической продолжительности включения ПВ_ф.

Фактическая продолжительность включения (по диаграмме):

$$\text{ПВ}_{\text{ф}} = \frac{100 \cdot t_p}{t_{\Sigma}}, \%$$

где t_p – время работы электродвигателя в периоде t_{Σ} цикла, мин.

Если фактическая продолжительность включения ПВ_ф отличается от стандартной ПВ_{ст}, то выполняется перерасчет мощности, полученной из нагрузочной диаграммы, на стандартное значение ПВ_{ст}.

Мощность выбранного двигателя должна быть не менее

$$P = P_{\text{расч}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\phi}}{ПВ_{\text{ст}}}}, \text{ кВт}$$

Причем $ПВ_{\text{ст}}$ принимается наиболее близко к $ПВ_{\phi}$.

Полученная мощность $P_{\text{ном}}$ должна удовлетворять условию

$$P \leq P_{\text{ном}}$$

Выбранный по каталогу электродвигатель нуждается в проверке по перегрузке и пусковым условиям так же, как и в продолжительном режиме.

Если $ПВ < 10\%$, то такой режим считается кратковременным.

Если для режима повторно-кратковременной нагрузки выбирается асинхронный короткозамкнутый электродвигатель, предназначенный для продолжительного режима работы S1, необходимо проверить его на допустимое число пусков в час $h_{\text{д}}$.

Допустимое число пусков в час $h_{\text{д}}$ для асинхронного электродвигателя определяется по формуле:

$$h_{\text{д}} = \frac{36 \cdot (100 - ПВ_{\phi})}{t_{\text{п}} \cdot \left(\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{ном}}} \right)^2}$$

где $t_{\text{п}}$ – продолжительность пуска двигателя, с;

$I_{\text{п}}$ – пусковой ток двигателя, А;

$I_{\text{ном}}$ – номинальный ток двигателя, А.

Расчетное число пусков в час $h_{\text{р}}$ определяется по формуле:

$$h_{\text{р}} = 3600/t_{\text{п}}$$

Если $h_{\text{д}} > h_{\text{р}}$, то этот электродвигатель пригоден для работы по этой нагрузочной диаграмме.

Допускается один пуск с предельным моментом инерции для двигателя, предварительно нагретого до рабочей температуры в одном из номинальных режимов. Двигатель, находящийся в холодном состоянии, допускает два последовательных пуска с предельным моментом инерции.

Предварительная мощность P электродвигателя для привода подъемника определяется по формуле:

$$P = \frac{m \cdot k \cdot g \cdot v}{K_{\text{р}} \cdot \eta} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

где m – масса груза, кг;

k – коэффициент учитывающий массу противовеса, принимается равный 0,5;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

v – скорость подъема, м/с;

$K_{\text{р}}$ – коэффициент увеличения мощности;

η – КПД подъемника, принимается равный 0,8.

3.2.4 Выбор рода тока и напряжения

Так как на большинстве предприятий используется переменный трехфазный ток, а электродвигатели переменного тока наиболее просты, надежны и экономичны, то всех случаях, где только возможно, им следует отдавать предпочтение, особенно асинхронным короткозамкнутым электродвигателям. Если по условиям пуска недопустима установка асинхронных короткозамкнутых электродвигателей, то применяют асинхронные двигатели с фазным ротором.

Синхронные электродвигатели требуют более высоких капитальных затрат по сравнению с асинхронными. Они относятся к нерегулируемым. При мощности свыше 100 кВт применение синхронных электродвигателей целесообразно, поскольку позволяют компенсировать реактивную мощность.

Использование электродвигателей постоянного тока требует дополнительных капитальных затрат и повышенных эксплуатационных расходов для преобразования переменного тока в постоянный. Поэтому они применяются в тех случаях, когда электропривод должен обеспечить повышенные требования к диапазону регулирования скорости, плавности регулирования и т.п.

В последние годы в связи с развитием полупроводниковой техники расширилась область применения регулируемых асинхронных приводов (частотное регулирование, асинхронные вентильные каскады и др.), которые во многих случаях могут заменить электроприводы постоянного тока.

Асинхронные электродвигатели выполняются на номинальные напряжения и схемы соединения обмоток:

220/380 В - Δ/Y	380/660 В - Δ/Y
660/1140 В - Δ/Y	6000/10000 В - Δ/Y

Синхронные электродвигатели выполняются на номинальные напряжения и схемы соединения обмоток:

380 В - Y	6000/10000 В - Δ/Y
-----------	---------------------------

Электродвигатели постоянного тока выполняются на номинальные напряжения: 110 В, 220 В, 440 В и по заказу 600 В и 750 В.

3.3 Примеры расчета электрического привода

Пример решения задачи №1

Рассчитать и выбрать электродвигатель для привода центробежного насоса, обеспечивающий при частоте вращения $n=2900$ об/мин ($\omega_1=304$ рад/с) производительность $Q=100$ м³/час (0,028 м³/с) и расчетную подачу $H=98$ м. Плотность перекачиваемой жидкости $\gamma=1000$ кг/м³. Номинальный режим работы электродвигателя насоса S1.

Насос непосредственно соединен с электродвигателем ($\eta_n=1$), КПД насоса $\eta_n=0,62$. Пуск электродвигателя осуществляется вхолостую. Регулирование скорости насоса не требуется. Условия окружающей среды требует применения электродвигателя исполнения IP44

1 Рассчитываем давление, развиваемое насосом

$$p = \gamma \cdot H \cdot g = 1000 \cdot 98 \cdot 9,8 = 9,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

2 Мощность электродвигателя

$$P = k_3 \cdot \frac{Q \cdot p}{\eta_{\text{нас}} \cdot \eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3} = 1,1 \cdot \frac{0,028 \cdot 9,6 \cdot 10^5}{0,62 \cdot 1} \cdot 10^{-3} = 47,7 \text{ кВт}$$

3 Учитывая, что регулирования скорости не требуется, выбираем по каталогу (см.табл. П26.1) асинхронный электродвигатель типа 4А225М2У3 со следующими номинальными данными:

$P_{\text{н}} = 55 \text{ кВт}$; $U_{\text{н}} = 380/660 \text{ В}$; $n_{\text{н}} = 2945 \text{ об/мин}$ ($\omega_2 = 308 \text{ рад/с}$); IP44; IC0141; режим работы S1.

4 При частоте вращения насоса $n_{\text{н}} = 2945 \text{ об/мин}$ ($\omega_2 = 308 \text{ рад/с}$) мощность, напор и производительность составят:

$$P_1/P_2 = \omega_1^3/\omega_2^3$$

$$P_2 = P_1 \cdot (\omega_1^3/\omega_2^3) = 47,7 \cdot (304^3/308^3) = 45,9 \text{ кВт};$$

$$H_1/H_2 = \omega_1^2/\omega_2^2;$$

$$H_2 = H_1 \cdot (\omega_1^2/\omega_2^2) = 98 \cdot (304^2/308^2) = 95,5 \text{ м}$$

$$Q_1/Q_2 = \omega_1/\omega_2;$$

$$Q_2 = Q_1 \cdot (\omega_1/\omega_2) = 0,028 \cdot (304/308) = 0,0276 \text{ м}^3/\text{с} = 99,4 \text{ м}^3/\text{час}$$

Выбранный электродвигатель подходит по параметрам

$$P_{\text{н}} > P_2 \quad 55 \text{ кВт} > 45,9 \text{ кВт}$$

$$\omega_2 > \omega_1 \quad 308 \text{ рад/с} > 304 \text{ рад/с}$$

Пример решения задачи №2

Рассчитать и выбрать электродвигатель для привода центробежного вентилятора, обеспечивающего при частоте вращения $n=1000 \text{ об/мин}$ ($\omega_1=105 \text{ рад/с}$) производительность $Q=3 \text{ м}^3/\text{с}$ и напор $H=570 \text{ Па}$. Номинальный режим работы электродвигателя вентилятора S1.

Вентилятор непосредственно соединен с электродвигателем ($\eta_{\text{п}}=1$), КПД вентилятора $\eta_{\text{в}}=0,64$. Пуск электродвигателя осуществляется вхолостую. Регулирование скорости вентилятора не требуется. Условия окружающей среды требует применения электродвигателя исполнения IP23.

1 Мощность электродвигателя

$$P = k_3 \cdot \frac{Q \cdot H}{\eta_{\text{нас}} \cdot \eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3} = 1,1 \cdot \frac{3 \cdot 570}{0,64 \cdot 1} \cdot 10^{-3} = 2,9 \text{ кВт}$$

2 Учитывая, что регулирования скорости не требуется, выбираем по каталогу (см.табл. П26.1) асинхронный электродвигатель типа 4АН112МА6У3 со следующими номинальными данными:

$P_n = 3$ кВт; $U_n = 380/660$ В; $n_n = 955$ об/мин ($\omega_2=100$ рад/с); IP23; IC01; режим работы S1.

3 При частоте вращения вентилятора $n_n = 955$ об/мин ($\omega_2=100$ рад/с) мощность, напор и производительность составят:

$$P_1/P_2 = \omega_1^3/\omega_2^3$$

$$P_2=P_1 \cdot (\omega_1^3/\omega_2^3) = 2,9 \cdot (105^3/100^3) = 3,4 \text{ кВт};$$

$$H_1/H_2 = \omega_1^2/\omega_2^2;$$

$$H_2=H_1 \cdot (\omega_1^2/\omega_2^2) = 570 \cdot (105^2/100^2) = 628 \text{ Па}$$

$$Q_1/Q_2 = \omega_1/\omega_2;$$

$$Q_2=Q_1 \cdot (\omega_1/\omega_2) = 3 \cdot (105/100) = 3,15 \text{ м}^3/\text{с}$$

Электродвигатель вентилятора будет перегружен, поскольку $P_n < P_2$, т.е. 3 кВт < 3,4 кВт. Поэтому выбираем по каталогу (см. табл. П2.1) асинхронный электродвигатель типа 4АН112МВ6У3 со следующими номинальными данными:

$P_n = 4$ кВт; $U_n = 380/660$ В; $n_n = 950$ об/мин ($\omega_2=100$ рад/с); IP23; IC01; режим работы S1.

$$P_n > P_2 \quad 4 \text{ кВт} > 3,4 \text{ кВт}$$

Выбранный электродвигатель подходит по параметрам

Пример решения задачи №3

Рассчитать и выбрать электродвигатель для привода поршневого компрессора, обеспечивающего при частоте вращения $n=1000$ об/мин ($\omega_1=105$ рад/с) производительность $Q=20$ м³/мин (0,33 м³/с) и при конечном давлении $p_2 = 10 \cdot 10^5$ Па. Начальное давление воздуха составляет $p_1 = 1,1 \cdot 10^5$ Па. Номинальный режим работы электродвигателя компрессора S1.

Компрессор непосредственно соединен с электродвигателем ($\eta_n=1$), КПД компрессора $\eta_k=0,78$. Пуск электродвигателя осуществляется вхолостую. Регулирование скорости компрессора не требуется. Условия окружающей среды требует применения электродвигателя исполнения IP23.

1 В соответствии с таблицей 3.2 для $p_2 = 10 \cdot 10^5$ Па определяем значение $A = 273 \cdot 10^3$ Дж/м³.

2 Мощность электродвигателя

$$P = k_s \cdot \frac{Q \cdot A}{\eta_k \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3} = 1,05 \cdot \frac{0,33 \cdot 273 \cdot 10^3}{0,78 \cdot 1} \cdot 10^{-3} = 121 \text{ кВт}$$

3. Учитывая, что регулирования скорости не требуется, выбираем по каталогу (см.табл. П2.1) асинхронный электродвигатель типа 4АН315М6У3 со следующими номинальными данными:

$P_n = 132 \text{ кВт}$; $U_n = 380/660 \text{ В}$; $n_n = 985 \text{ об/мин}$ ($\omega_2 = 103 \text{ рад/с}$); IP23; IC01; режим работы S1.

Выбранный электродвигатель подходит по параметрам

$$P_n > P \quad 132 \text{ кВт} > 121 \text{ кВт}$$

Пример решения задачи №4

Рассчитать и выбрать электродвигатель для привода ленточного конвейера, с шириной ленты 600 мм, обеспечивающего при скорости движения ленты $v=0,5 \text{ м/с}$, производительность $Q=50 \text{ т/час}$. Длина конвейера между барабанами $L_1=6 \text{ м}$, длина перемещения груза $L_2=6,5 \text{ м}$, высота подъема груза $H=2 \text{ м}$. Номинальный режим работы электродвигателя конвейера S1.

Конвейер соединен с электродвигателем через редуктор с КПД $\eta_n=0,85$, КПД конвейера $\eta_k=0,8$. Пуск электродвигателя осуществляется вхолостую. Регулирование скорости конвейера не требуется. Окружающая среда - рудничная взрывоопасная и требует применения электродвигателя исполнения IP54.

1 В соответствии с таблицей 3.3 для ширины конвейерной ленты 600 мм определяем значения коэффициентов: $A = 0,04$; $B=0,12$; $C=1,75$.

2 Мощность электродвигателя конвейера

$$P = \left(\frac{A \cdot L_1 \cdot v}{1,5} + \frac{B \cdot L_2 \cdot v}{300} + \frac{Q \cdot H}{270} + C \right) \cdot \frac{0,736 \cdot k_1 \cdot k_2}{\eta_n \cdot \eta_k} =$$
$$= \left(\frac{0,04 \cdot 6 \cdot 0,5}{1,5} + \frac{0,12 \cdot 6,5 \cdot 0,5}{300} + \frac{50 \cdot 2}{270} + 1,75 \right) \cdot \frac{0,736 \cdot 1,2 \cdot 1,25}{0,85 \cdot 0,8} = 3,6 \text{ кВт}$$

3. Учитывая, что регулирования скорости не требуется, а также условия окружающей среды, выбираем по каталогу (см.табл. П2.2) асинхронный электродвигатель взрывозащищенного исполнения типа ВАО 41-6 со следующими номинальными данными:

$P_n = 4 \text{ кВт}$; $U_n = 380/660 \text{ В}$; $n_n = 960 \text{ об/мин}$; IP54; IC0141; режим работы S1, степень взрывозащищенности 1ExdПВТ4.

Выбранный электродвигатель подходит по параметрам

$$P_n > P \quad 4 \text{ кВт} > 3,6 \text{ кВт}$$

Пример решения задачи №5

Рассчитать и выбрать электродвигатель для электропривода токарного станка, нагрузочная диаграмма которого приведена на рис. 3.3.

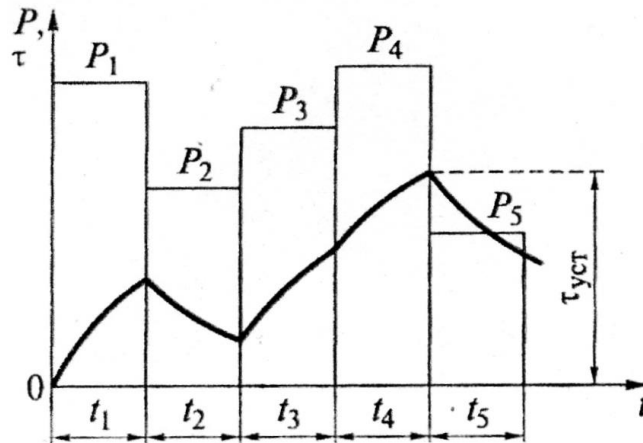


Рис. 3.3 Нагрузочная диаграмма электропривода станка

Значения мощности на участках диаграммы P_x (кВт) и их продолжительность t_x (мин) составляют:

$$P_1 = 14 \text{ кВт} \quad P_2 = 10 \text{ кВт} \quad P_3 = 12 \text{ кВт} \quad P_4 = 17 \text{ кВт} \quad P_5 = 7 \text{ кВт}$$

$$t_1 = 6 \text{ мин} \quad t_2 = 6 \text{ мин} \quad t_3 = 4 \text{ мин} \quad t_4 = 4 \text{ мин} \quad t_5 = 8 \text{ мин}$$

Частота вращения $n_{\text{ном}} = 1460 \pm 5$ об/мин. Пуск двигателя производится без нагрузки. Регулирование скорости не требуется. Условия окружающей среды требует применения электродвигателя исполнения IP23. Номинальный режим работы электродвигателя токарного станка S1.

Расчет выполним методом средних потерь.

1 Определяем среднее значение мощности

$$P_{\text{cp}} = \frac{P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + \dots + P_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} = \frac{14 \cdot 6 + 10 \cdot 6 + 12 \cdot 4 + 17 \cdot 4 + 7 \cdot 8}{6 + 6 + 4 + 4 + 8} = 11,3 \text{ кВт}$$

2 Принимаем предварительно двигатель номинальной мощностью

$$P'_{\text{ном}} = (1,2-1,3)P_{\text{cp}} = 1,25 \cdot 11,3 = 14,1 \text{ кВт}$$

По каталогу принимаем электродвигатель АИР160S4У3 мощностью $P_{\text{ном}}=15$ кВт; частотой вращения $n_{\text{ном}}=1455$ об/мин; КПД $\eta_{\text{ном}}=90\%$; коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{ном}}=0,89$; перегрузочная способность $\lambda_M=2,9$; кратность пускового момента $\lambda_{\text{п}}=1,9$; кратность пускового тока $\lambda_I=7,0$; IP23; IC23; режим работы S1.

$$P_{\text{ном}} > P'_{\text{ном}} \quad 15 \text{ кВт} > 14,1 \text{ кВт}$$

3 Определяем коэффициент нагрузки β^2 для каждого участка нагрузочной диаграммы:

$$\beta^2_1 = P_1/P_{\text{ном}} = 14/15 = 0,93 \quad \beta^2_2 = P_2/P_{\text{ном}} = 10/15 = 0,67$$

$$\beta^2_3 = P_3/P_{\text{ном}} = 12/15 = 0,8 \quad \beta^2_4 = P_4/P_{\text{ном}} = 17/15 = 1,13$$

$$\beta^2_5 = P_5/P_{\text{ном}} = 7/15 = 0,47$$

4 Для трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором общего назначения по таблице 3.4 принимаем отношение постоянных потерь $\Delta P_{\text{пост}}$ к переменным $\Delta P_{\text{пер}}$, т. е. $\gamma=0,5$.

Таблица 3.4

Значения γ для различных типов электродвигателей

Типы электродвигателей	γ
Асинхронные двигатели общего назначения с короткозамкнутым ротором	0,5-0,7
Асинхронные двигатели крановые с короткозамкнутым ротором	0,4-0,5
Асинхронные двигатели крановые с фазным ротором	0,6-0,9
Двигатели постоянного тока с независимым возбуждением	0,5-0,9
Двигатели постоянного тока крановые	1,0-1,5

Примечание. Большие значения γ соответствуют двигателям большой мощности

5 Определяем потери при номинальной нагрузке

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{ном}}} - 1 \right) = 15 \cdot \left(\frac{1}{0,9} - 1 \right) = 1,67 \text{ кВт}$$

6 Определим потери для каждого участка нагрузочной диаграммы:

$$\Delta P_1 = \Delta P_{\text{ном}} \cdot \frac{\gamma + \beta^2_1}{\gamma + 1} = 1,67 \cdot \frac{0,5 + 0,93}{0,5 + 1} = 1,59 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_2 = \Delta P_{\text{ном}} \cdot \frac{\gamma + \beta^2_2}{\gamma + 1} = 1,67 \cdot \frac{0,5 + 0,67}{0,5 + 1} = 1,30 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_3 = \Delta P_{\text{ном}} \cdot \frac{\gamma + \beta^2_3}{\gamma + 1} = 1,67 \cdot \frac{0,5 + 0,8}{0,5 + 1} = 1,45 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_4 = \Delta P_{\text{ном}} \cdot \frac{\gamma + \beta_4^2}{\gamma + 1} = 1,67 \cdot \frac{0,5 + 1,13}{0,5 + 1} = 1,81 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_5 = \Delta P_{\text{ном}} \cdot \frac{\gamma + \beta_5^2}{\gamma + 1} = 1,67 \cdot \frac{0,5 + 0,47}{0,5 + 1} = 1,08 \text{ кВт}$$

7 Средние потери двигателя:

$$\Sigma \Delta P_x \cdot t_x = 1,59 \cdot 6 + 1,30 \cdot 6 + 1,45 \cdot 4 + 1,81 \cdot 4 + 1,08 \cdot 8 = 39,02$$

$$\Delta P_{\text{ср}} = \Sigma \Delta P_x \cdot t_x / \Sigma t_x = 39,02 / 28 = 1,39 \text{ кВт}$$

В связи с тем, средние потери $\Delta P_{\text{ср}}$ меньше номинальных потерь $\Delta P_{\text{ном}}$ т.е. $1,39 \text{ кВт} < 1,67 \text{ кВт}$, пересчета мощности двигателя **не требуется**.

8 Наибольшая мощность по нагрузочной диаграмме равна $P_4 = 17 \text{ кВт}$, что превышает номинальную мощность выбранного двигателя $P_{\text{ном}} = 15 \text{ кВт}$. Поэтому требуется проверка двигателя на перегрузочную способность.

Определяем момент нагрузки двигателя на четвертом участке при $P_4 = 17 \text{ кВт}$:

$$M_4 = 9,55 \cdot P_4 / n_4 = 9,55 \cdot 17000 / 1449 = 112 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где n_4 - частота вращения на четвертом участке диаграммы, об/мин;

$$n_4 = n_1 - \frac{P_4}{P_{\text{ном}}} \cdot (n_1 - n_{\text{ном}}) = 1500 - \frac{17}{15} \cdot (1500 - 1455) = 1449 \text{ об / мин}$$

Определяем момент двигателя при номинальной нагрузке:

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}} = 9,55 \cdot 15000 / 1455 = 98,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Таким образом, превышение момента на четвертом участке диаграмм составляет $112 / 98,5 = 1,14$. Перегрузочная способность выбранного двигателя при номинальной нагрузке составляет $\lambda_M = 2,9$. Следовательно, на четвертом участке диаграммы перегрузочная способность двигателя составит $2,9 / 1,14 = 2,54$, т.е. **устойчивая работа двигателя будет обеспечена**.

Окончательно принимаем двигатель АИР160S4У3.

Пример решения задачи №6

Рассчитать и выбрать электродвигатель для электропривода токарного станка, нагрузочная диаграмма которого приведена на рис. 3.3.

Значения мощности на участках диаграммы P_x (кВт) и их продолжительность t_x (мин) составляют:

$$P_1 = 14 \text{ кВт} \quad P_2 = 10 \text{ кВт} \quad P_3 = 12 \text{ кВт} \quad P_4 = 17 \text{ кВт} \quad P_5 = 7 \text{ кВт}$$

$$t_1 = 6 \text{ мин} \quad t_2 = 6 \text{ мин} \quad t_3 = 4 \text{ мин} \quad t_4 = 4 \text{ мин} \quad t_5 = 8 \text{ мин}$$

Частота вращения $n_{\text{ном}} = 1460 \pm 5$ об/мин. Пуск двигателя производится без нагрузки. Регулирование скорости не требуется. Условия окружающей среды требует применения электродвигателя исполнения IP23. Номинальный режим работы электродвигателя токарного станка S1.

Расчет выполним методом эквивалентных потерь.

1 Определим эквивалентную мощность

$$P_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{\sum P_x^2 \cdot t_x}{\sum t_x}} = \sqrt{\frac{14^2 \cdot 6 + 10^2 \cdot 6 + 12^2 \cdot 4 + 17^2 \cdot 4 + 7^2 \cdot 8}{6 + 6 + 4 + 4 + 8}} = 11,8 \text{ кВт}$$

По каталогу принимаем электродвигатель АИР160S4У3 ближайшей большей номинальной мощностью $P_{\text{ном}}=15$ кВт; частотой вращения $n_{\text{ном}}=1455$ об/мин; КПД $\eta_{\text{ном}}=90\%$; коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{ном}}=0,89$; перегрузочная способность $\lambda_m=2,9$; кратность пускового момента $\lambda_{\text{п}}=1,9$; кратность пускового тока $\lambda_t=7,0$; IP23; IC23; режим работы S1.

$$P_{\text{ном}} > P_{\text{эк}} \quad 15 \text{ кВт} > 11,8 \text{ кВт}$$

2 Проверим выбранный электродвигатель по перегрузочной способности, учитывая, что наибольшая мощность по нагрузочной диаграмме равна $P_4 = 17$ кВт, что превышает номинальную мощность выбранного двигателя $P_{\text{ном}}=15$ кВт.

Определяем момент нагрузки двигателя при $P_4 = 17$ кВт:

$$M_4 = 9,55 \cdot P_4 / n_4 = 9,55 \cdot 17000 / 1449 = 112 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где n_4 - частота вращения на четвертом участке диаграммы, об/мин;

$$n_4 = n_1 - \frac{P_4}{P_{\text{ном}}} \cdot (n_1 - n_{\text{ном}}) = 1500 - \frac{17}{15} \cdot (1500 - 1455) = 1449 \text{ об / мин}$$

Определяем момент двигателя при номинальной нагрузке:

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}} = 9,55 \cdot 15000 / 1455 = 98,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Таким образом, превышение момента на четвертом участке диаграммы составляет $112/98,5=1,14$. Перегрузочная способность выбранного двигателя при номинальной нагрузке составляет $\lambda_m=2,9$. Следовательно, на четвертом участке диаграммы перегрузочная способность двигателя составит $2,9/1,14=2,54$, т.е. **устойчивая** работа двигателя будет **обеспечена**.

Окончательно принимаем двигатель АИР160S4У3.

Пример решения задачи №7

Расчитать и выбрать электродвигатель для электропривода заслонки трубопровода, нагрузочная диаграмма которого двухступенчатая (см. рис. 3.4). Режим работы кратковременный S2 с продолжительностью $t_p = 15$ мин и

статическим моментом сопротивления $M_c = 70$ Н·м. Частота вращения заслонки $n = 940 \pm 10$ об/мин. Пуск производится под нагрузкой. Регулирование скорости не требуется. Условия окружающей среды требуют применения электродвигателя исполнения IP23.

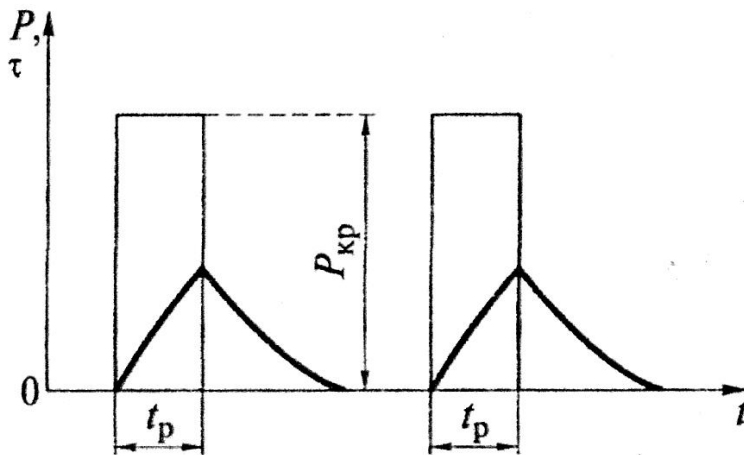


Рис. 3.4 Нагрузочная диаграмма электропривода заслонки

1 Требуемая мощность двигателя

$$P_{кр} = 0,105 \cdot 10^{-3} \cdot M_c \cdot n = 0,105 \cdot 10^{-3} \cdot 70 \cdot 930 = 6,84 \text{ кВт}$$

2 Выбираем двигатель серии АИР (основное исполнение) с IP54; IC0141; режим работы S1; постоянная времени нагревания $T_H = 30$ мин.

3 Определяем относительное значение времени рабочего цикла

$$t^* = t_p / T_H = 15 / 30 = 0,5$$

4 По значению $t^* = 0,5$ на графике рис. 3.5 определяем коэффициент механической перегрузки $p_M = 2,1$.

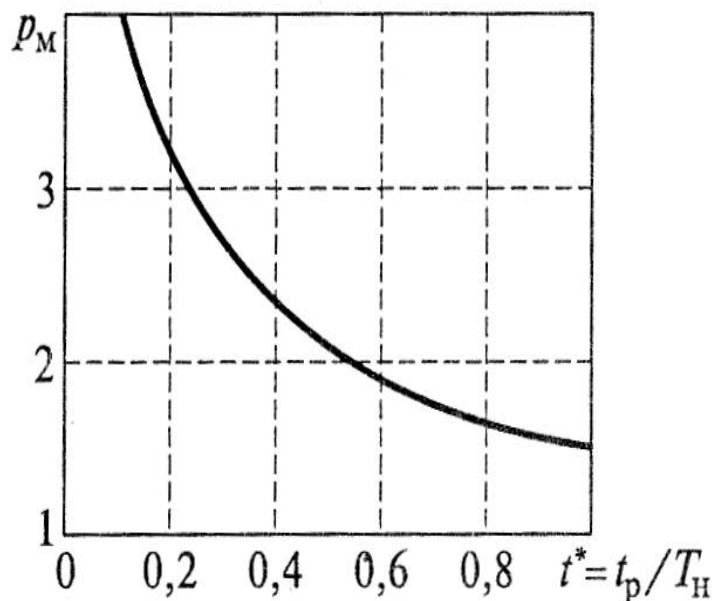


Рис. 3.5 График для определения механической перегрузки электродвигателей p_M

Тогда мощность двигателя продолжительного режима S1, используемого в кратковременном режиме S2 составит:

$$P_{\text{ном.кр}} = P_{\text{кр}}/p_M = 6,84/2,1 = 3,25 \text{ кВт}$$

5 По каталогу двигателей серии АИР принимаем электродвигатель АИР112МВ6У3 ближайшей большей номинальной мощностью $P_{\text{ном}}=4$ кВт; частотой вращения $n_{\text{ном}}=950$ об/мин; КПД $\eta_{\text{ном}}=82\%$; коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{ном}}=0,81$; перегрузочная способность $\lambda_M=2,2$; кратность пускового момента $\lambda_{\text{п}}=2,0$; кратность пускового тока $\lambda_i=6,0$; IP54; IC0141; режим работы S1.

$$P_{\text{ном}} > P_{\text{ном.кр}} \quad 4 \text{ кВт} > 3,25 \text{ кВт}$$

6 Учитывая перегрузку двигателя, определяем частоту вращения при кратковременной нагрузке $P_{\text{кр}}=6,84$ кВт.

$$n_{\text{кр}} = n_1 - \frac{P_{\text{кр}}}{P_{\text{ном}}} \cdot (n_1 - n_{\text{ном}}) = 1000 - \frac{6,84}{4,0} \cdot (1000 - 950) = 915 \text{ об / мин}$$

7 Момент на валу двигателя, соответствующий кратковременной нагрузке $P_{\text{кр}} = 6,84$ кВт и частоте вращения $n_{\text{кр}} = 915$ об/мин

$$M_{\text{кр}} = 9,55 \cdot P_{\text{кр}}/n_{\text{кр}} = 9,55 \cdot 6840/915 = 71,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{кр}} > M_c \quad 71,4 \text{ Н} \cdot \text{м} > 70 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

8 Номинальный вращающий момент двигателя в продолжительном режиме S1

$$M_{\text{НОМ}} = 9,55 \cdot P_{\text{НОМ}} / n_{\text{НОМ}} = 9,55 \cdot 4000 / 950 = 40,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

9 Максимальный момент

$$M_{\text{МАХ}} = M_{\text{НОМ}} \cdot \lambda_{\text{М}} = 40,2 \cdot 2,2 = 88,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

10 Действительная перегрузочная способность двигателя

$$M_{\text{МАХ}} / M_{\text{С}} = 88,4 / 70 = 1,26$$

11 Пусковой момент двигателя

$$M_{\text{П}} = M_{\text{НОМ}} \cdot \lambda_{\text{П}} = 40,2 \cdot 2,0 = 80,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} > M_{\text{С}} \quad 80,4 \text{ Н} \cdot \text{м} > 70 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Выбранный двигатель удовлетворяет требованиям электропривода по пусковому моменту и перегрузочной способности.

Пример решения задачи №8

Рассчитать и выбрать электродвигатель для электропривода подъемного механизма, нагрузочная диаграмма которого трехступенчатая (см. рис. 3.6). Режим работы повторно-кратковременный S3.

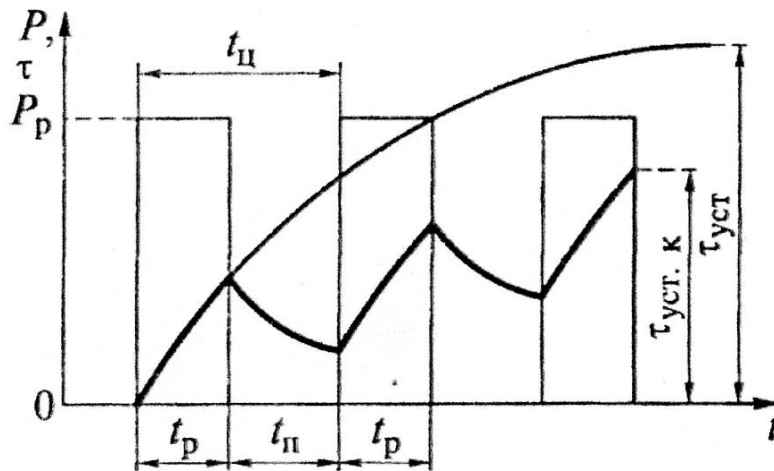


Рис. 3.6 Нагрузочная диаграмма электропривода подъемного механизма

Значения момента на участках диаграммы M_x (Н·м) и их продолжительность t_x (с) составляют:

$$M_1 = 327 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad M_2 = 130 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad M_3 = 164 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$t_1 = 4 \text{ с} \quad t_2 = 20 \text{ с} \quad t_3 = 15 \text{ с}$$

Время паузы $t_{\text{п}} = 120 \text{ с}$. Частота вращения $n_{\text{НОМ}} = 700 \pm 10 \text{ об/мин}$. Пуск двигателя производится с нагрузкой. Регулирование скорости не требуется. Условия окружающей среды требует применения электродвигателя исполнения IP23.

Расчет выполним методом эквивалентных потерь.

1 Определим эквивалентный момент

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{\sum M_x^2 \cdot t_x}{\sum t_x}} = \sqrt{\frac{327^2 \cdot 4 + 130^2 \cdot 20 + 164^2 \cdot 15}{4 + 20 + 15}} = 173 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2 Определим эквивалентную мощность двигателя

$$P_{\text{эк}} = 0,105 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\text{эк}} \cdot n_{\text{ном}} = 0,105 \cdot 10^{-3} \cdot 173 \cdot 700 = 12,7 \text{ кВт}$$

3 Определим продолжительность цикла с учетом, что будет использоваться двигатель с исполнением закрытым с самовентиляцией (IC0141), у которого в соответствии с таблицей 4.4 $\beta=0,5$.

$$t_{\text{ц}} = t_p + \beta \cdot t_{\text{п}} = (4+20+15) + 0,5 \cdot 120 = 99 \text{ с}$$

4 Определим расчетное значение ПВ

$$PВ_{\text{расч}} = (t_p / t_{\text{ц}}) \cdot 100 = (39 / 99) \cdot 100 = 39 \%$$

5. Поскольку $PВ_{\text{расч}} = 39\%$, т.е. $10\% \leq PВ_{\text{расч}} \leq 60\%$, то эквивалентную мощность $P_{\text{эк}}$ пересчитываем на номинальную мощность **повторно-кратковременного** режима $P_{\text{пкр}}$, соответствующую ближайшему стандартному значению $PВ=40 \%$.

$$P_{\text{пкр}} = P_{\text{эк}} \cdot \sqrt{\frac{PВ_{\text{расч}}}{PВ}} = 12,7 \cdot \sqrt{\frac{39}{40}} = 12,5 \text{ кВт}$$

6 По каталогу принимаем асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором краново-металлургической серии МТКН411-8 ближайшей большей номинальной мощностью $P_{\text{ном}}=15 \text{ кВт}$ при $PВ=40\%$; частотой вращения $n_{\text{ном}}=695 \text{ об/мин}$; КПД $\eta_{\text{ном}}=80\%$; коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{ном}}=0,71$; максимальный момент $M_{\text{мах}}=657 \text{ Н} \cdot \text{м}$; пусковой момент $M_{\text{пуск}}=638 \text{ Н} \cdot \text{м}$; IP44; IC0141; режим работы S3.

$$P_{\text{ном}} > P_{\text{пкр}} \quad 15 \text{ кВт} > 12,5 \text{ кВт}$$

7 Номинальный вращающий момент двигателя в режиме S3

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}} = 9,55 \cdot 15000 / 695 = 206 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

8 Определим частоту вращения на первой ступени диаграммы при $M_1 = 327 \text{ Н} \cdot \text{м}$

$$n_{\text{пкр}} = n_1 - \frac{M_1}{M_{\text{ном}}} \cdot (n_1 - n_{\text{ном}}) = 750 - \frac{327}{206} \cdot (750 - 695) = 663 \text{ об / мин}$$

9 Проверим двигатель по условию пуска

$$M_{\text{пуск}} > M_1 \quad 638 \text{ Н}\cdot\text{м} > 327 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

10 Фактическая перегрузочная способность двигателя

$$\lambda_m = M_{\text{max}}/M_1 = 657/327 = 2,0$$

11 Определим число включений в час

$$h = 3600/t_{\text{ц}} = 3600/99 = 37 \text{ вкл/час}$$

Допустимое число пусков для краново-металлургической серии МТКН составляет $h_{\text{доп}} = 120$ вкл/час т.е.

$$h_{\text{доп}} > h \quad 120 \text{ вкл/час} > 37 \text{ вкл/час}$$

Таким образом, выбранный двигатель по величинам пускового момента, перегрузочной способности и числу пусков удовлетворяет заданным условиям.

12 Проверим возможность применения для этого режима S3 двигателей общепромышленного назначения для режима S1.

Для этого примем двигатель с короткозамкнутым ротором общепромышленного назначения серии АИР по эквивалентной мощности $P_{\text{эк}} = 12,7$ кВт и частоте вращения $n_{\text{ном}} = 700 \pm 10$ об/мин. Предварительно примем двигатель АИР180М8У3 мощностью $P_{\text{ном}} = 15$ кВт и $n_{\text{ном}} = 730$ об/мин.

13 Приведем этот двигатель к повторно-кратковременному режиму работы S3 при ПВ=40%

$$P_{\text{пкр}} = P_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{100}{\text{ПВ}}} = 15 \cdot \sqrt{\frac{100}{40}} = 23,7 \text{ кВт}$$

14 По каталогу принимаем асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИР200L8У3 ближайшей номинальной мощностью $P_{\text{ном}} = 22$ кВт; частотой вращения $n_{\text{ном}} = 730$ об/мин; КПД $\eta_{\text{ном}} = 89\%$; коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,81$; перегрузочная способность $\lambda_m = 2,3$; кратность пускового момента $\lambda_{\text{ц}} = 1,6$; кратность пускового тока $\lambda_i = 6,0$; IP54; IC0141; режим работы S1.

15 Номинальный вращающий момент двигателя в продолжительном режиме S1

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot P_{\text{ном}}/n_{\text{ном}} = 9,55 \cdot 22000/730 = 288 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

16 Определим частоту вращения на первой ступени диаграммы при $M_1 = 327 \text{ Н}\cdot\text{м}$

$$n_{\text{пкр}} = n_1 - \frac{M_1}{M_{\text{ном}}} \cdot (n_1 - n_{\text{ном}}) = 750 - \frac{327}{288} \cdot (750 - 730) = 727 \text{ об / мин}$$

17 Определим пусковой момент

$$M_{\text{пуск}} = M_{\text{ном}} \cdot \lambda_{\text{п}} = 288 \cdot 1,6 = 461 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

18 Проверим двигатель по условию пуска

$$M_{\text{пуск}} > M_1 \quad 461 \text{ Н}\cdot\text{м} > 327 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

19 Максимальный момент

$$M_{\text{мах}} = M_{\text{ном}} \cdot \lambda_{\text{м}} = 288 \cdot 2,3 = 662 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

20 Действительная перегрузочная способность двигателя
 $M_{\text{мах}}/M_1 = 662/327 = 2,02$

Расчеты показывают, что мощность двигателя, предназначенного для режима работы S1, в $22/15=1,5$ оказалась выше, чем мощность специально предназначенного двигателя для режима.

Пример решения задачи №9

Асинхронный двигатель с фазным ротором с номинальной мощностью $P_{\text{ном}}=90$ кВт, номинальной частотой вращения ротора $n_{2\text{ном}}=985$ об/мин, ЭДС роторной обмотки $E_{2\text{н}}=500$ В, номинальным током роторной обмотки $I_{2\text{ном}}=108$ А, с перегрузочной спо-собностью $\lambda=M_{\text{мах}}/M_{\text{ном}}=3,5$ подключен к сети с линейным напряжением $U_{\text{н}}=380$ В. Требуется построить пусковую диаграмму и рассчитать сопротивления резисторов регулировочного реостата РР в цепи ротора.

1 Определяем номинальное скольжение

$$s_{\text{н}} = \frac{n_1 - n_{2\text{нн}}}{n_1} = \frac{1000 - 985}{1000} = 0,015$$

2 Критическое скольжение на естественной характеристике

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{н}} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,015 \cdot (3,5 + \sqrt{3,5^2 - 1}) = 0,1$$

2 Определяем номинальный момент двигателя

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot P_{\text{ном}} / n_{2\text{ном}} = 9,55 \cdot 90 \cdot 10^3 / 985 = 870 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

3 Критический момент

$$M_{\text{кр}} = \lambda \cdot M_{\text{ном}} = 3,5 \cdot 870 = 3060 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

4 Рассчитываем параметры естественной механической характеристики по упрощенной формуле

$$M = \frac{2 \cdot M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}} = \frac{2 \cdot 3060}{0,1 + \frac{s}{s_{кр}}}$$

Задаваясь различными значениями s , определяем соответствующие им значения моментов. Данные сводим в таблицу 3.5 и по ней строим естественную механическую характеристику (рис. 3.7).

Таблица 3.5

s	0,03	0,05	0,08	0,10	0,20	0,30	0,40	0,60	0,80	1,0
$M, Н \cdot м$	1700	2460	3010	3060	2460	1670	1450	1000	760	610

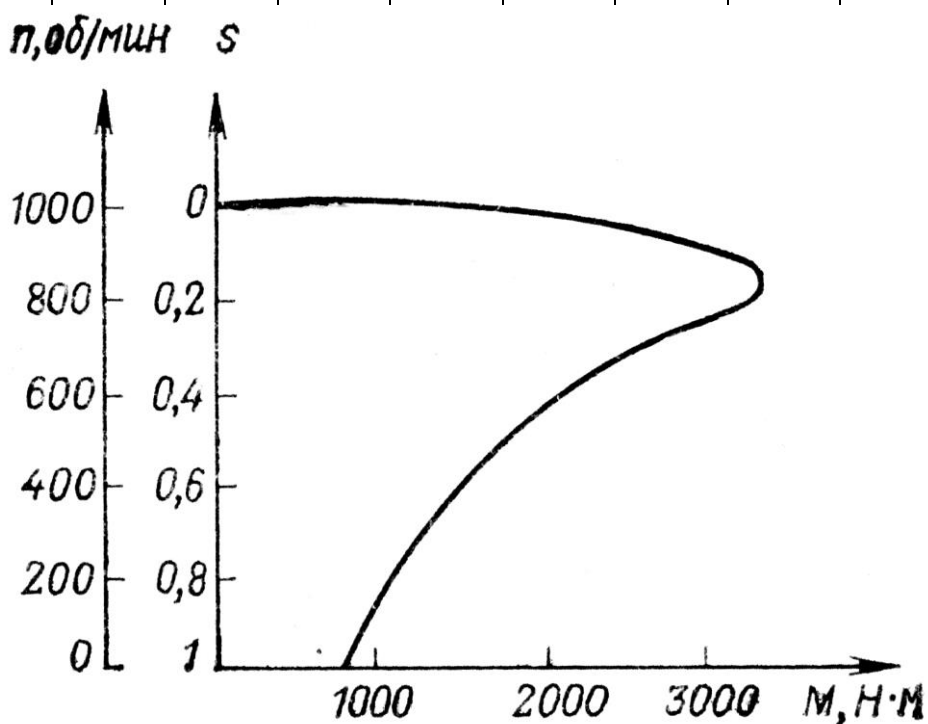


Рис. 3.7 Естественная механическая характеристика

5 Максимальный пусковой момент

$$M_{\max} = 0,85 \cdot M_{кр} = 0,85 \cdot 3060 = 2600 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

6 Момент переключения

$$M_{\text{пер}} = 1,2 \cdot M_{\text{ном}} = 1,2 \cdot 870 = 1004 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

7 Определяем **максимальное** число ступеней РР

$$Z = \frac{\lg\left(\frac{1}{s_{\text{ном}} \cdot M_{\text{мах}}}\right)}{\lg\left(\frac{M_{\text{мах}}}{M_{\text{пер}}}\right)} = \frac{\lg\left(\frac{1}{0,015 \cdot 2600}\right)}{\lg\left(\frac{2600}{1004}\right)} = \frac{\lg 0,02564}{\lg 2,5896} = 3,85$$

Построим пусковую диаграмму на две ступени РР т.е. построим **две** искусственные механические характеристики при разных значениях активного сопротивления регулировочного реостата R_1 и R_2 , а третьей характеристикой (ступенью) будет естественная механическая характеристика.

Для этого из точек $M_{\text{мах}}=2600$ Н·м и $M_{\text{пер}}=1004$ Н·м проводим вертикальные прямые до пересечения с естественной характеристикой в точках **f** и **q** (рис. 3.8). Проводим прямую через точки **f** и **q**, получаем точку **o**. Из точки **o** проводим прямую **Ob** (точка **b** соответствует $M_{\text{мах}}$) и получаем точку **c**.

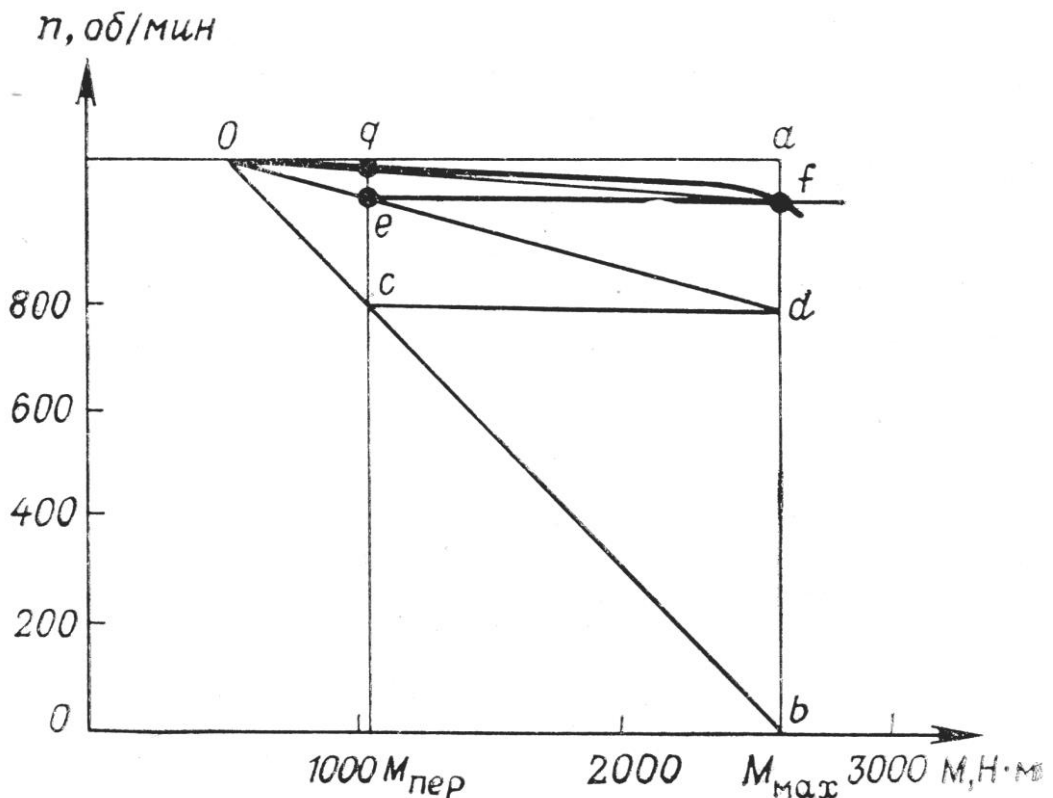


Рис. 3.8 Построение пусковой диаграммы

Далее проводят горизонтальную линию **cd**. Проводят прямую **Od** и горизонтальную линию **ef**, которая должна попасть в точку, где естественная характеристика пересекается с вертикальной линией **ba**. Если такого

попадания нет, то все построение следует выполнить сначала, несколько изменив величину $M_{пер}$.

8. Активное сопротивление фазы обмотки ротора

$$r_2 = \frac{s_{ном} \cdot E_2}{1,73 \cdot I_{2ном}} = \frac{0,015 \cdot 500}{1,73 \cdot 108} = 0,04 \text{ Ом}$$

9. Сопротивление пусковых ступеней:

$$R_1 = \frac{ab}{af} \cdot r_2 = \frac{45}{3} \cdot 0,04 = 0,6 \text{ Ом} \quad R_2 = \frac{ad}{af} \cdot r_2 = \frac{9}{3} \cdot 0,04 = 0,12 \text{ Ом}$$

10. Для построения первой искусственной характеристики при сопротивлении реостата $R_1=0,6$ Ом скольжение определяем по следующей формуле:

$$s' = \frac{r_2 + R_1}{r_2} \cdot s_e = \frac{0,04 + 0,6}{0,04} = 16 s_e$$

Рассчитываем параметры первой искусственной механической характеристики по упрощенной формуле

$$M = \frac{2 \cdot M_{кр}}{\frac{s'}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s'}} = \frac{2 \cdot 3060}{\frac{s'}{0,1} + \frac{0,1}{s'}}$$

Задаваясь различными значениями s' , определяем соответствующие им значения моментов. Данные сводим в таблицу 3.6 и по ней строим первую искусственную механическую характеристику.

Таблица 3.6

s'	0,08	0,14	0,16	0,32	0,48	0,64	0,8	0,96	1,12
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	2985	2900	2751	1742	1222	933	753	631	542

11. Для построения второй искусственной характеристики при сопротивлении реостата $R_2=0,12$ Ом скольжение определяем по следующей формуле:

$$s'' = \frac{r_2 + R_2}{r_2} \cdot s_e = \frac{0,04 + 0,12}{0,04} = 4 s_e$$

Рассчитываем параметры второй искусственной механической характеристики по упрощенной формуле

$$M = \frac{2 \cdot M_{кр}}{\frac{s''}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s''}} = \frac{2 \cdot 3060}{\frac{s''}{0,1} + \frac{0,1}{s''}}$$

Задаваясь различными значениями s'' , определяем соответствующие им значения моментов. Данные сводим в таблицу 3.7 и по ней строим вторую искусственную механическую характеристику.

Таблица 3.7

s''	0,28	0,32	0,36	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
М, Н·м	1939	1742	1578	1440	992	857	753	672	606	506

Пример решения задачи №10

Для двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, номинальные данные которого $P_n=75$ кВт; $U_n=220$ В; $I_n=380$ А; $n_n=900$ об/мин (94 рад/с), требуется:

- построить естественную механическую характеристику;
- построить искусственную (реостатную) механическую характеристику при введении в цепь якоря сопротивления $R_p=0,2$ Ом;
- построить механическую характеристику в режиме рекуперативного торможения и определить величину сопротивление реостата, который нужно ввести в цепь якоря при $n_3=1100$ об/мин;
- построить механическую характеристику в режиме динамического торможения и определить величину сопротивление реостата, который нужно ввести в цепь якоря при $n_4=560$ об/мин;
- построить механическую характеристику в тормозном режиме противовключения и определить величину сопротивление реостата, который нужно ввести в цепь якоря при $n_5=560$ об/мин;

1 Номинальный КПД электродвигателя

$$\eta_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{I_n \cdot U_n} = \frac{75 \cdot 10^3}{380 \cdot 220} = 0,9$$

2 Сопротивление якоря двигателя

$$R_{\text{я}} = 0,5 \cdot (1 - \eta_n) \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0,5 \cdot (1 - 0,9) \cdot \frac{220}{380} = 0,029 \text{ Ом}$$

3 Частота вращения холостого хода

$$n_0 = n_n \cdot \frac{U_n}{U_n - I_n \cdot R_{\text{я}}} = 900 \cdot \frac{220}{220 - 380 \cdot 0,029} = 950 \text{ об / мин}$$

$$\text{или } \omega = \frac{n_0}{9,55} = \frac{950}{9,55} = 100 \text{ рад / с}$$

4 Номинальный момент двигателя

$$M_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\omega_n} = \frac{75 \cdot 10^3}{94} = 800 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

5 Определяем координаты для построения естественной механической характеристики **1**(рис. 3.9): первая точка $M=0$ и $n=n_0=950$ об/мин; вторая точка $M=M_H=800$ Н·м и $n=n_H=900$ об/мин

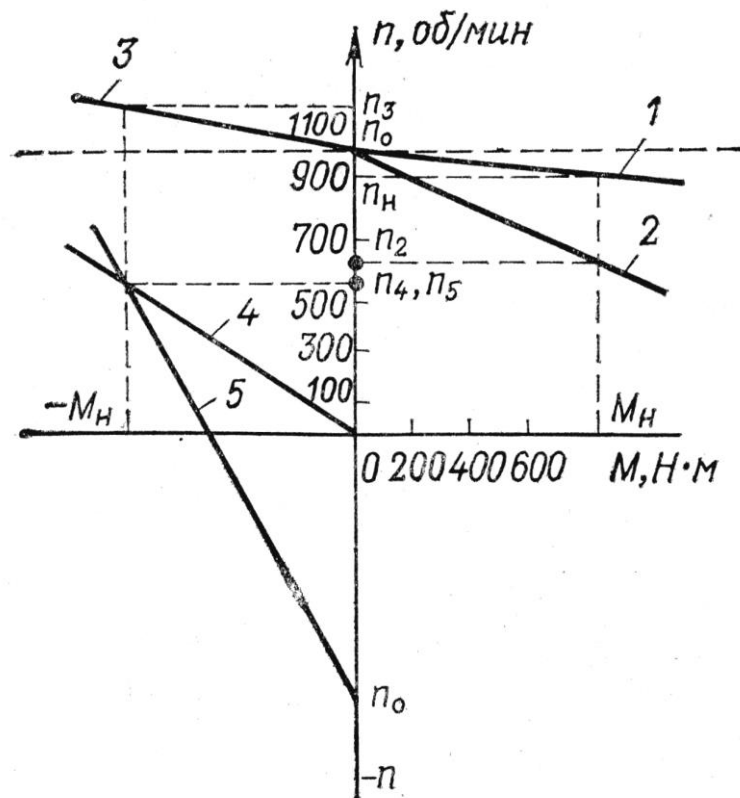


Рис. 3.9 Построение механических характеристик электро-двигателя с параллельным возбуждением

6. Частота вращения при номинальной нагрузке и введении в цепь якоря реостата:

$$n_2 = n_0 \cdot \left[1 - \frac{I_H \cdot (R_{я} + R_p)}{U_H} \right] = 950 \cdot \left[1 - \frac{380 \cdot (0,029 + 0,2)}{220} \right] = 590 \text{ об / мин}$$

Координаты для построения реостатной (искусственной) характеристики **2**: первая точка $M=0$ и $n=n_0=950$ об/мин; вторая точка $M=M_H=800$ Н·м и $n=n_2=590$ об/мин.

7 Определяем величину сопротивления реостата R_3 в режиме рекуперативного торможения. Находим величину ЭДС E_3 :

$$E_3 = \frac{n_3 \cdot (U_H - I_H \cdot R_{я})}{n_H} = \frac{1100 \cdot (220 - 380 \cdot 0,029)}{900} = 258 \text{ В}$$

Величина внешнего сопротивления R_3 :

$$R_3 = \frac{E_3 - U_n}{I_n} - R_{я} = \frac{258 - 220}{380} - 0,029 = 0,07 \text{ Ом}$$

Координаты механической характеристики **3** в режиме рекуперативного торможения: первая точка $M=0$ и $n=n_0=950$ об/мин; вторая точка $M=-M_H = -800$ Н·м и $n=n_3=1100$ об/мин.

8 Определяем величину сопротивления реостата R_4 в режиме динамического торможения. Находим величину ЭДС E_4 :

$$E_4 = \frac{n_4 \cdot (U_n - I_n \cdot R_{я})}{n_n} = \frac{560 \cdot (220 - 380 \cdot 0,029)}{900} = 130 \text{ В}$$

Величина внешнего сопротивления R_4 :

$$R_4 = \frac{E_4}{I_n} - R_{я} = \frac{130}{380} - 0,029 = 0,32 \text{ Ом}$$

Координаты механической характеристики **4** в режиме динамического торможения: первая точка $M=0$ и $n=0$; вторая точка $M=-M_H = -800$ Н·м и $n=n_4=560$ об/мин.

9 Определяем величину сопротивления реостата R_5 в режиме торможения противовключением. Принимаем, что $E_5=E_4$:

$$R_5 = \frac{U_n - E_5}{I_n} - R_{я} = \frac{220 - 130}{380} - 0,029 = 0,89 \text{ Ом}$$

Координаты механической характеристики **5** в режиме торможения противовключением: первая точка $M=0$ и $n=-n_0=-950$ об/мин; вторая точка $M=-M_H = -800$ Н·м и $n=n_5=560$ об/мин.

Пример решения задачи №11

Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, номинальные данные которого $P_n=5,5$ кВт; $U_n=250$ В; $I_n=25$ А; $n_n=730$ об/мин (76,4 рад/с) $R_d=0,25$ Ом, требуется:

- построить естественную механическую характеристику;
- построить искусственную (реостатную) механическую характеристику при введении в цепь якоря сопротивления $R_p=1,5$ Ом;

Универсальная характеристика двигателя приведена на рис. 3.10.

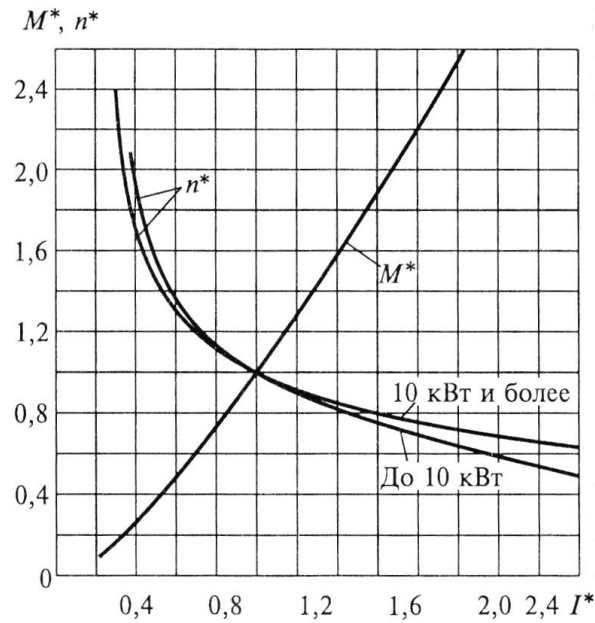


Рис. 3.10 Универсальная характеристика двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

1. Номинальный момент двигателя

$$M_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\omega_n} = \frac{5,5 \cdot 10^3}{76,4} = 72 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2. На универсальной характеристике (рис. 3.10) заменяем относительные значения момента M^* (кривая 2), тока I^* и скорости вращения $n^*(\omega^*)$ (кривые 1) на их абсолютные значения, применительно к данному двигателю, получаем необходимые данные для построения естественной механической характеристики. Данные сведены в таблицу 3.8.

Таблица 3.8

$I^*=I/I_n$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$M^*=M/M_n$	0,2	0,3	0,6	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	2,6
$\omega^*=\omega/\omega_n$	2,1	1,8	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,75	0,6	0,5
$I^*=I/I_n, \text{ А}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$M^*=M/M_n, \text{ Н} \cdot \text{м}$	14,4	21,6	43,2	50,4	72	93,6	115	137	166	187
$\omega^*=\omega/\omega_n, \text{ рад/с}$	160	137,5	91,7	84	76,4	68,8	61,1	57,3	45,8	38,2
$n, \text{ об/мин}$	1528	1313	876	802	730	657	584	547	437	365

По этим данным строим естественную механическую характеристику **1** (рис. 3.11)

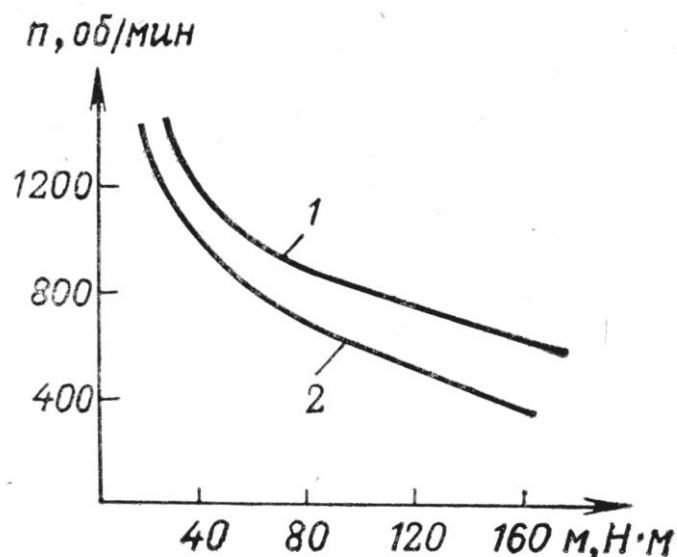


Рис. 3.11 Построение механических характеристик электродвигателя с последовательным возбуждением

3 Определим частоту вращения якоря при номинальном токе $I_H=25$ А и частоте вращения $n_H=n_e=730$ об/мин при введении сопротивления реостата $R_p=1,5$ Ом:

$$n'_я = n_e \cdot \frac{U_H - I_H \cdot (R_d + R_p)}{U_H - I_H \cdot R_d} = 730 \cdot \frac{250 - 25 \cdot (0,25 + 1,5)}{250 - 25 \cdot 0,25} = 618 \text{ об / мин}$$

Аналогично находим частоту вращения при других значениях тока. Данные расчеты сведем в таблицу 3.9.

Таблица 3.9

$I^*=I/I_H$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$M^*=M/M_H$	0,2	0,3	0,6	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	2,6
$\omega^*=\omega/\omega_H$	2,1	1,8	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,75	0,6	0,5
$I^*=I/I_H, \text{ А}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$M^*=M/M_H, \text{ Н}\cdot\text{м}$	14,4	21,6	43,2	50,4	72	93,6	115	137	166	187
$\omega^*=\omega/\omega_H, \text{ рад/с}$	74,1	71,7	69,4	67,1	64,7	62,3	59,8	57,1	54,9	52,4
$n, \text{ об/мин}$	708	685	663	641	618	595	571	545	524	500

По полученным данным строим искусственную механическую характеристику 2 (рис. 3.11).

Пример решения задачи №12

Для двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, номинальные данные которого $P_H=75$ кВт; $U_H=220$ В; $I_H=380$ А; $n_H=900$ об/мин (94 рад/с), требуется:

- рассчитать сопротивление пускового реостата для форсированного пуска в **четыре** ступени;

- определить сопротивление ступени динамического торможения при условии, что $I_{д.т}=2,5 \cdot I_H$ и $E_{д.т}=U_H$.

1 По данным строим естественную механическую характеристику (рис. 3.12).

2 Номинальный момент двигателя

$$M_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\omega_H} = \frac{75 \cdot 10^3}{94} = 800 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3 Принимаем $M_{\max}=2 \cdot M_H = 2 \cdot 800 = 1600$ Н·м

4 Величину момента переключения $M_{\text{пер}}$ подбираем путем графического построения при условии получения четырех ступеней (см. рис. 3.12).

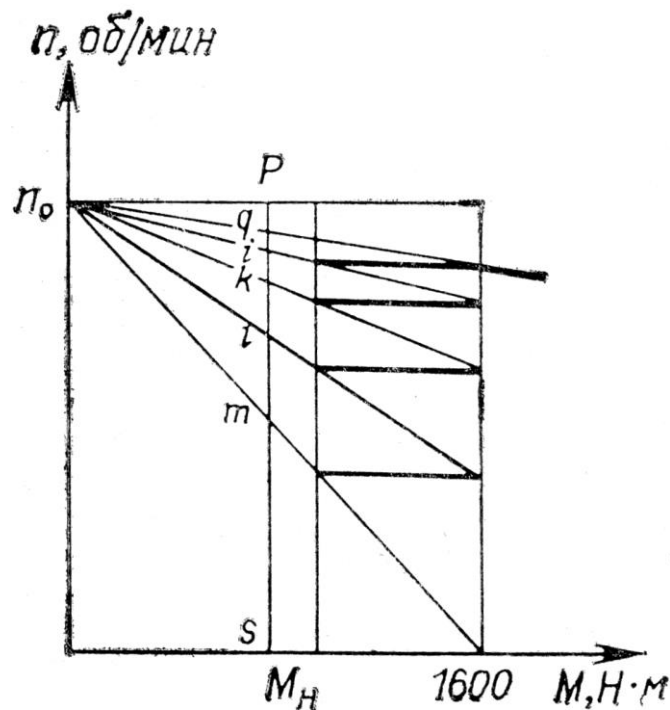


Рис. 3.12 Расчет пускового реостата двигателя с параллельным возбуждением

5 Построив пусковые характеристики и определив масштаб сопротивлений, находим величины сопротивлений каждой ступени.

Номинальное сопротивление двигателя

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = \frac{220}{380} = 0,58 \text{ Ом}$$

Масштаб сопротивления для случая, когда $p_s=44$ мм

$$m_r = R_{\text{д}}/p_s = 0,58/44 = 0,013 \text{ Ом/мм.}$$

Сопротивления:

- 1 ступени $R_1 = p_m \cdot m_r = 22 \cdot 0,013 = 0,29 \text{ Ом};$

- 2 ступени $R_2 = p_l \cdot m_r = 12 \cdot 0,013 = 0,165 \text{ Ом};$

- 3 ступени $R_3 = p_k \cdot m_r = 7 \cdot 0,013 = 0,09 \text{ Ом};$

- 4 ступени $R_4 = p_i \cdot m_r = 4 \cdot 0,013 = 0,05 \text{ Ом.}$

Сопротивления секций:

r_1 определяется отрезком

$$l_m = R_1 - R_2 = 0,29 - 0,165 = 0,125 \text{ Ом}$$

r_2 определяется отрезком

$$k_l = R_2 - R_3 = 0,165 - 0,09 = 0,075 \text{ Ом}$$

r_3 определяется отрезком

$$i_k = R_3 - R_4 = 0,09 - 0,05 = 0,04 \text{ Ом}$$

r_4 определяется отрезком

$$q_i = R_4 - R_{\text{я}} = 0,05 - 0,029 = 0,021 \text{ Ом.}$$

Можно также рассчитать тот же реостат аналитическим методом.

Принимаем пусковой ток $I_1 = 2 \cdot I_{\text{н}}$; ток переключения

$I_2 = 1,1 \cdot I_{\text{н}}$, тогда

$$\lambda = \frac{I_1}{I_2} = \frac{2}{1,1} = 1,84$$

Найдем сопротивления ступеней:

$$R_1 = \frac{U_{\text{н}}}{I_1} = \frac{U_{\text{н}}}{2I_{\text{н}}} = \frac{220}{2 \cdot 380} = 0,29 \text{ Ом}$$

$$R_2 = \frac{R_1}{\lambda} = \frac{0,29}{1,84} = 0,16 \text{ Ом}$$

$$R_3 = \frac{R_2}{\lambda} = \frac{0,16}{1,84} = 0,09 \text{ Ом}$$

$$R_4 = \frac{R_3}{\lambda} = \frac{0,09}{1,84} = 0,05 \text{ Ом}$$

6 Сопротивление секции динамического торможения

$$r_{д.т} = \frac{U_n}{I_{д.т}} - R_{я} = \frac{U_n}{2,5 \cdot I_n} - R_{я} = \frac{220}{2,5 \cdot 380} - 0,029 = 0,203 \text{ Ом}$$

Пример решения задачи №12

Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения номинальные данные которого: $P_n=5,5$ кВт; $U_n=250$ В; $I_n=25$ А; $n_n=730$ об/мин (76 рад/с). Требуется рассчитать пусковой реостат и определить сопротивление ступени противовключения. Пуск осуществляется в две ступени.

1 По данным строим естественную механическую характеристику (рис. 3.13).

2 Пусковой ток двигателя (обычно $(2 \div 2,5) \cdot I_n$)

$$I_1 = 2 \cdot I_n = 2 \cdot 25 = 50 \text{ А}$$

3. Значение тока переключения подбирается путем предварительных проб. Рекомендуются выбирать значение $(1,1 \div 1,2) I_n$. Выберем $I_2=1,2 \cdot 25 = 30$ А.

4 Номинальное сопротивление двигателя

$$R_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{250}{25} = 10 \text{ Ом}$$

5 Номинальный КПД двигателя

$$\eta = \frac{P_n \cdot 10^3}{U_n \cdot I_n} = \frac{5,5 \cdot 10^3}{250 \cdot 25} = 0,88$$

6 Сопротивление обмотки якоря

$$R_{я} = 0,5 \cdot (1 - \eta_n) \cdot R_n = 0,5 \cdot (1 - 0,88) \cdot 10 = 0,6 \text{ Ом}$$

7 Сопротивление обмотки возбуждения

$$R_{в} = 0,5 \cdot R_{я} = 0,5 \cdot 0,6 = 0,3 \text{ Ом}$$

8 Внутреннее сопротивление двигателя

$$R_{д} = R_{я} + R_{в} = 0,6 + 0,3 = 0,9 \text{ Ом}$$

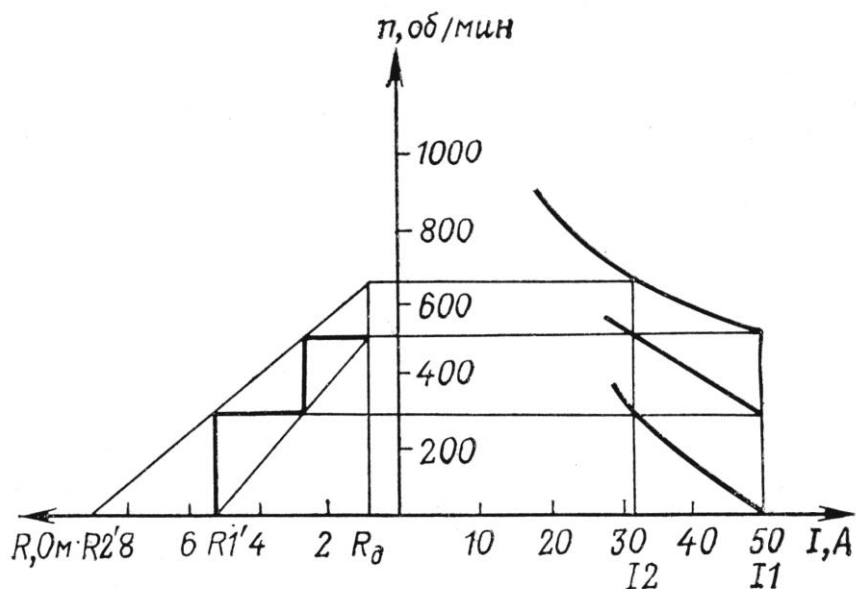


Рис. 3.13 Расчет пускового реостата двигателя с последовательным возбуждением

9 Сопротивления, соответствующие токам I_1 и I_2 :

$$R'_1 = \frac{U_n}{I_1} = \frac{250}{50} = 5 \text{ Ом} \quad R'_2 = \frac{U_n}{I_2} = \frac{250}{30} = 8,3 \text{ Ом}$$

10 Откладываем сопротивления R_d , R'_1 и R'_2 влево от оси ординат. После построения определяем величины сопротивлений ступеней реостата: $R_1 = R'_1 = 5 \text{ Ом}$; $R_2 = 2,7 \text{ Ом}$.

11 Общее сопротивление пускового реостата

$$R_p = R_1 - R_d = 5 - 0,9 = 4,1 \text{ Ом}$$

12 Для определения сопротивления секции противовключения принимаем $n_{т.п} = n_0$, тогда:

$$r_{т.п} = \frac{2 \cdot U_n}{I_1} - R_p - R_d = \frac{2 \cdot 250}{50} - 4,1 - 0,9 = 5 \text{ Ом}$$

13 Сопротивление всей ступени противовключения составит

$$R_{т.п} = R_d + R_p + r_{т.п} = 0,9 + 4,1 + 5 = 10 \text{ Ом}$$

4 КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Задание 1. Рассчитать электроприводы производственных механизмов: центробежного насоса; центробежного вентилятора; поршневого компрессора; ленточного конвейера в соответствии с вариантом. Исходные данные для вариантов приведены в табл. 4.1. - 4.8.

Задача 1.1 Рассчитать и выбрать электродвигатель для привода центробежного насоса, обеспечивающий при частоте вращения n_1 производительность Q и расчетную подачу H . Плотность перекачиваемой жидкости γ . Номинальный режим работы электродвигателя насоса **S1**.

Насос непосредственно соединен с электродвигателем ($\eta_n=1$), КПД насоса η_n . Пуск электродвигателя осуществляется вхолостую. Регулирование скорости насоса не требуется. Условия окружающей среды требует применения электродвигателя исполнения **IP23**. Данные для расчета по вариантам приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Номер варианта	n_1 , об/мин	Q , м ³ /час	H , м	η_n	γ , кг/м ³
1	2	3	4	5	6
1	1475	38	22	0,6	1065
2	1475	38	25	0,61	1020
3	2950	60	33	0,62	1025
4	1450	105	98	0,63	1040
5	1450	180	42,5	0,64	1045
6	1450	180	68	0,65	1030
7	1450	300	60	0,66	1035
8	1450	300	100	0,67	1050
9	1475	500	80	0,68	1055
10	1450	800	125	0,69	1010
11	1450	180	85	0,7	1015
12	1450	180	128	0,71	1020
13	1450	180	170	0,72	1060

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6
14	1450	180	212	0,73	1054
15	1450	300	120	0,74	1052
16	1450	300	240	0,75	1048
17	1450	300	600	0,6	1041
18	1450	300	540	0,61	1038
19	2950	300	1000	0,62	1033
20	2950	300	900	0,63	1029
21	2950	300	800	0,64	1024
22	2950	300	700	0,65	1021
23	1450	800	1000	0,66	1019
24	1450	800	750	0,67	1016
25	1450	800	500	0,68	1012

Задача 1.2. Рассчитать и выбрать электродвигатель для привода центробежного вентилятора, обеспечивающего при частоте вращения n_1 производительность Q и напор H . Номинальный режим работы электродвигателя вентилятора **S1**.

Вентилятор непосредственно соединен с электродвигателем ($\eta_n=1$), КПД вентилятора η_v . Пуск электродвигателя осуществляется вхолостую. Регулирование скорости вентилятора не требуется. Условия окружающей среды требует применения электродвигателя исполнения **IP44**. Данные для расчета по вариантам приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Номер варианта	n_1 , об/мин	Q , m^3/c	H , м	η_v
1	2	3	4	5
1	2980	14	720	0,75
2	975	20	350	0,76
3	1460	14	276	0,73

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5
4	730	21,5	146	0,85
5	980	29	260	0,73
6	730	37	178	0,76
7	980	50	320	0,86
8	750	62	395	0,76
9	600	50	250	0,76
10	600	108	430	0,74
11	500	90	300	0,84
12	600	105	445	0,78
13	500	83	307	0,84
14	1460	10	330	0,77
15	985	42	330	0,77
16	750	62	260	0,76
17	500	120	240	0,76
18	375	245	290	0,8
19	2800	1	95	0,7
20	2900	2	130	0,72
21	2940	3,2	210	0,75
22	2950	5,7	260	0,76
23	2960	10	280	0,8
24	1470	20	250	0,76
25	2960	7	510	0,75

Задача 1.3. Рассчитать и выбрать электродвигатель для привода поршневого компрессора, обеспечивающего при частоте вращения n_1 производительность Q при конечном давлении p_2 . Начальное давление воздуха составляет $p_1 = 1,1 \cdot 10^5$ Па. Номинальный режим работы электродвигателя компрессора **S1**.

Компрессор непосредственно соединен с электродвигателем ($\eta_n=1$), КПД компрессора η_k . Пуск электродвигателя осуществляется вхолостую. Регулирование скорости компрессора не требуется. Условия окружающей

среды требует применения электродвигателя исполнения **IP44**. Данные для расчета по вариантам приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Номер варианта	n_1 , об/мин	Q , м ³ /мин	p_2 , Па	η_B
1	2	3	4	5
1	1000	40	$2 \cdot 10^5$	0,6
2	1000	38	$3 \cdot 10^5$	0,61
3	1000	36	$4 \cdot 10^5$	0,62
4	1000	34	$5 \cdot 10^5$	0,63
5	1500	30	$6 \cdot 10^5$	0,64
6	1500	28	$7 \cdot 10^5$	0,65
7	1500	25	$8 \cdot 10^5$	0,66
8	1500	22	$9 \cdot 10^5$	0,67
9	750	10	$10 \cdot 10^5$	0,68
10	750	12	$2 \cdot 10^5$	0,69
11	750	14	$3 \cdot 10^5$	0,7
12	750	16	$4 \cdot 10^5$	0,71
13	750	18	$5 \cdot 10^5$	0,72
14	750	20	$6 \cdot 10^5$	0,73
15	1500	22	$7 \cdot 10^5$	0,74
16	1500	24	$8 \cdot 10^5$	0,75
17	1500	29	$9 \cdot 10^5$	0,76
18	1500	6	$10 \cdot 10^5$	0,77
19	2900	7	$2 \cdot 10^5$	0,78
20	2900	8	$3 \cdot 10^5$	0,79
21	2900	9	$4 \cdot 10^5$	0,8
22	2900	11	$5 \cdot 10^5$	0,6
23	1500	13	$6 \cdot 10^5$	0,61
24	1500	15	$7 \cdot 10^5$	0,62
25	1500	17	$8 \cdot 10^5$	0,63

Задача 1.4. Рассчитать и выбрать электродвигатель для привода ленточного конвейера, с шириной? мм, обеспечивающего при скорости движения ленты v , производительность Q . Длина конвейера между барабанами L_1 , длина перемещения груза L_2 , высота подъема груза H . Номинальный режим работы электродвигателя конвейера **S1**.

Конвейер соединен с электродвигателем через редуктор с КПД η_n , КПД конвейера η_k . Пуск электродвигателя осуществляется вхолостую. Регулирование скорости конвейера не требуется. Окружающая среда - рудничная взрывоопасная и требует применения электродвигателя исполнения **IP54**. Данные для расчета по вариантам приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Номер-варианта	Ширина ленты, мм	v , м/с	Q , т/час	L_1 , м	L_2 , м	H , м	η_n	η_k
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	450	0,8	25	25	25,8	2,2	0,8	0,7
2	500	0,6	32	40	41	1,8	0,81	0,71
3	600	0,55	40	12	13	1,5	0,82	0,72
4	750	1,2	56	64	64,8	2,0	0,83	0,73
5	900	1,1	60	80	81	3,0	0,84	0,74
6	1050	0,9	100	90	91,2	4,0	0,85	0,75
7	1200	0,5	120	100	101,6	5,5	0,86	0,76
8	1500	0,75	200	120	122	4,0	0,87	0,77
9	450	0,7	15	18	18,5	1,3	0,88	0,78
10	500	0,5	42	38	39,2	1,0	0,89	0,79
11	600	0,55	48	50	51	1,2	0,9	0,8
12	750	0,65	70	80	81	1,9	0,8	0,81
13	900	1,0	90	55	56	1,4	0,81	0,82
14	1050	0,95	140	85	86	2,1	0,82	0,83
15	1200	1,2	150	210	212	5,0	0,83	0,84
16	1500	1,3	280	200	201,8	4,0	0,84	0,85
17	450	0,7	18	30	30,8	1,5	0,85	0,7

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	500	0,5	22	45	46	2,0	0,86	0,71
19	600	0,4	55	95	96	3,0	0,87	0,72
20	750	1,1	82	60	61	1,5	0,88	0,73
21	900	1,0	110	30	30,9	0,8	0,89	0,74
22	1050	0,95	90	45	46	0,5	0,9	0,75
23	1200	0,8	180	150	152	4,0	0,8	0,76
24	1500	0,95	210	160	162	3,5	0,81	0,77
25	450	1,1	35	12	12,6	0,3	0,82	0,78

Задача 1.5. Рассчитать и выбрать электродвигатель для электропривода токарного станка, нагрузочная диаграмма которого приведена на рис. 3.3. Значения мощности на участках диаграммы P_x (кВт) и их продолжительность t_x (мин) составляют (см. таб. 4.5).

Частота вращения $n_{ном.х} = X \pm 5$ об/мин. Пуск двигателя производится без нагрузки. Регулирование скорости не требуется. Условия окружающей среды требует применения электродвигателя исполнения **IP23**. Номинальный режим работы электродвигателя токарного станка **S1**. Расчет выполнить методом средних потерь.

Данные для расчета по вариантам приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Номер варианта	P_1 , кВт	t_1 , с	P_2 , кВт	t_2 , с	P_3 , кВт	t_3 , с	P_4 , кВт	t_4 , с	$n_{ном.х}$, об/мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	4	1,4	5	1,7	4	2,4	8	2940
2	8	5	5,6	6	6,9	3	9,6	7	2940
3	12	8	8,4	9	10,3	2	14,4	5	2940
4	15	3	10,5	5	12,9	3	18	4	2940
5	3	10	2,1	8	2,6	8	3,6	3	1460
6	5	7	3,5	7	4,3	8	6,0	9	1460

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	6	10	4,2	12	5,2	9	7,2	6	1460
8	10	6	7	4	8,6	5	12	3	1460
9	7	12	4,9	12	6,1	10	8,4	12	1460
10	1	15	0,7	14	0,9	10	1,2	8	965
11	4	11	2,8	8	3,4	5	4,8	9	965
12	9	4	6,3	6	7,7	10	10,8	5	965
13	11	8	7,7	4	9,5	9	13,2	10	965
14	13	3	9,1	3	11,2	5	15,6	5	740
15	14	5	9,8	8	12,0	10	16,8	2	740
16	15	11	10,5	8	12,9	6	18,0	6	740
17	5	5	3,5	4	4,8	12	7,2	7	740
18	4	10	2,5	9	4,4	4	5,8	8	590
19	12	7	9,4	10	12,3	12	16,4	4	590
20	3	15	2,5	9	4,6	10	7,6	15	590
21	9	14	3,3	16	5,7	11	5,9	6	590
22	7	10	5,9	11	5,1	9	14,4	14	490
23	2	14	2,4	3	1,8	9	2,9	18	490
24	11	18	8,7	14	6,5	8	11,2	2	490
25	6	11	3,2	10	8,2	4	9,2	3	490

Задание 1.6. Рассчитать и выбрать электродвигатель для электропривода токарного станка, нагрузочная диаграмма которого приведена на рис. 3.3. Значения мощности на участках диаграммы P_x (кВт) и их продолжительность t_x (мин) составляют (см. таб. 4.6).

Частота вращения $n_{ном,x} = X \pm 5$ об/мин. Пуск двигателя производится без нагрузки. Регулирование скорости не требуется. Условия окружающей среды требует применения электродвигателя исполнения **IP23**. Номинальный режим работы электродвигателя токарного станка **S1**. Расчет выполнить методом эквивалентных потерь.

Данные для расчета по вариантам приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6

Номер варианта	P ₁ , кВт	t ₁ ,с	P ₂ кВт	t ₂ ,с	P ₃ , кВт	t ₃ , с	P ₄ , кВт	t ₄ ,с	n _{ном.х} , об/мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7	10	5,9	11	5,1	9	14,4	14	490
2	2	14	2,4	3	1,8	9	2,9	18	490
3	11	18	8,7	14	6,5	8	11,2	2	490
4	6	11	3,2	10	8,2	4	9,2	3	490
5	1	15	0,7	14	0,9	10	1,2	8	965
6	4	11	2,8	8	3,4	5	4,8	9	965
7	9	4	6,3	6	7,7	10	10,8	5	965
8	11	8	7,7	4	9,5	9	13,2	10	965
9	4	10	2,5	9	4,4	4	5,8	8	590
10	12	7	9,4	10	12,3	12	16,4	4	590
11	3	15	2,5	9	4,6	10	7,6	15	590
12	9	14	3,3	16	5,7	11	5,9	6	590
13	13	3	9,1	3	11,2	5	15,6	5	740
14	14	5	9,8	8	12,0	10	16,8	2	740
15	15	11	10,5	8	12,9	6	18,0	6	740
16	5	5	3,5	4	4,8	12	7,2	7	740
17	3	10	2,1	8	2,6	8	3,6	3	1460
18	5	7	3,5	7	4,3	8	6,0	9	1460
19	6	10	4,2	12	5,2	9	7,2	6	1460
20	10	6	7	4	8,6	5	12	3	1460
21	7	12	4,9	12	6,1	10	8,4	12	1460
22	2	4	1,4	5	1,7	4	2,4	8	2940
23	8	5	5,6	6	6,9	3	9,6	7	2940
24	12	8	8,4	9	10,3	2	14,4	5	2940
25	15	3	10,5	5	12,9	3	18	4	2940

Задание 1.7. Рассчитать и выбрать электродвигатель для электропривода заслонки трубопровода, нагрузочная диаграмма которого **двухступенчатая** (см. рис. 3.4). Режим работы кратковременный **S2** с продолжительностью t_p и статическим моментом сопротивления M_c . Частота вращения заслонки $n=X\pm 10$ **об/мин**. Пуск производится под нагрузкой. Регулирование скорости не требуется. Условия окружающей среды требует применения электродвигателя исполнения **IP23**. Данные для расчета по вариантам приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7

Номер варианта	t_p , мин	M_c , Н·м	T_n , мин	$n_{ном.х}$, об/мин
1	2	3	4	5
1	10	30	30	490
2	14	35	40	490
3	12	40	30	490
4	15	45	40	490
5	13	50	30	965
6	17	55	40	965
7	15	60	30	965
8	23	65	40	965
9	18	70	30	590
10	25	75	40	590
11	20	80	30	590
12	27	85	40	590
13	22	90	30	740
14	30	95	40	740
15	24	97	30	740
16	32	100	40	740
17	26	40	30	1460
18	34	50	40	1460
19	30	60	30	1460
20	36	70	40	1460

1	2	3	4	5
21	29	80	30	1460
22	38	90	40	2940
23	25	100	30	2940
24	39	30	40	2940
25	22	35	30	2940

Задание 1.8. Рассчитать и выбрать электродвигатель для электропривода подъемного механизма, нагрузочная диаграмма которого **трехступенчатая** (см. рис. 3.6). Режим работы повторно-кратковременный **S3**. Значения момента на участках диаграммы M_x (Н·м) и их продолжительность t_x (с) составляют (см. табл. 4.8).

Время паузы t_n (с). Частота вращения $n_{ном.x} = X \pm 10$ об/мин. Пуск двигателя производится с нагрузкой. Регулирование скорости не требуется. Условия окружающей среды требует применения электродвигателя исполнения **IP23**. Расчет выполнить методом эквивалентных потерь. Данные для расчета по вариантам приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8

Номер варианта	M_1 , Н·м	t_1 , с	M_2 , Н·м	t_2 , с	M_3 , Н·м	t_3 , с	t_n , с	$n_{ном.x}$, об/мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	600	5	200	25	300	15	100	780
2	500	10	250	50	375	30	100	785
3	400	15	200	30	290	25	100	860
4	300	20	150	5	225	12	100	865
5	200	7	100	25	175	13	110	845
6	175	12	90	18	120	10	110	880
7	150	8	70	12	110	20	110	900
8	120	9	55	15	80	12	110	905
9	100	21	48	6	72	13	120	910

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	80	16	40	8	60	5	120	660
11	1000	12	500	5	750	18	120	675
12	900	14	450	6	675	20	120	660
13	800	3	400	15	600	18	120	675
14	700	24	350	6	480	10	130	835
15	600	22	300	8	450	8	130	875
16	500	18	250	11	425	11	130	900
17	420	19	210	21	320	4	130	835
18	480	6	240	8	360	15	90	880
19	460	7	230	15	330	12	90	900
20	380	12	300	12	450	16	90	910
21	360	19	280	9	320	13	90	920
22	310	17	240	7	340	17	80	930
23	280	16	320	9	180	15	80	945
24	240	21	140	4	220	20	80	710
25	220	20	110	10	300	10	80	950

Задание 2

Задача 2.1 Асинхронный двигатель с фазным ротором с номинальной мощностью $P_{ном}$, номинальным скольжением $s_{ном}$, ЭДС роторной обмотки $E_{2н}$, номинальным током роторной обмотки $I_{2ном}$, перегрузочной способностью $\lambda = M_{max}/M_{ном}$, подключен к сети с линейным напряжением $U_{1л} = 380$ В. Требуется построить пусковую диаграмму и рассчитать сопротивления резисторов регулировочного реостата РР в цепи ротора. Значения параметров двигателей приведены в таблицах 4.9 и 4.10.

Таблица 4.9

Номер варианта	Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$S_{\text{ном}}$, %	E_2 , В	$I_{2\text{ном}}$, А	$M_{\text{мах}}$, Н·м
1	МТФ311-6	9	960	-	172	34	314
2	МТФ411-6	18	970	-	235	49	638
3	МТФ312-8	8,2	720	-	186	31	422
4	МТФ411-8	13	715	-	206	42	569
5	МТФ412-6	25	975	-	255	61	932
6	МТФ211-6	6	945	-	256	15,5	191
7	МТН713-10	100	590	-	408	148	7308
8	МТН612-10	35	580	-	248	88	3139
9	МТН613-6	70	975	-	473	95	4905
10	МТН611-6	45	970	-	270	108	2315
11	МТН511-8	18	725	-	281	41	1000
12	МТН411-8	10	720	-	206	31,5	569

Таблица 4.10

Номер варианта	Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$S_{\text{ном}}$, %	E_2 , В	$I_{2\text{ном}}$, А	$M_{\text{мах}}/M_{\text{ном}}$
13	4АК180М4У3	18	-	3,5	295	38	4,0
14	4АК200L4У3	30	-	2,5	350	55	4,0
15	4АК225М4У3	37	-	3,5	160	160	3,0
16	4АК250М4У3	71	-	3,5	250	170	3,0
17	4АК160S6У3	7,5	-	5,0	300	18	3,5
18	4АНК280S4У3	132	-	2,9	251	330	2,0
19	4АНК315S4У3	200	-	2,5	312	396	2,0
20	4АНК355М4У3	400	-	2,0	505	485	2,0
21	4АНК180S6У3	13	-	7,0	42	205	3,0
22	4АНК200М4У3	22	-	3,5	37	380	3,0
23	4АНК280SA6У3	45	-	4,0	200	155	2,3
24	4АНК280М8У3	90	-	4,0	267	214	1,9
25	4АНК355S8У3	160	-	2,7	253	285	1,7

Задание 3

Задача 3.1

Для двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, номинальные данные которого P_n , кВт; U_n , В; I_n , А; n_n , об/мин, требуется:

- построить естественную механическую характеристику;
- построить искусственную (реостатную) механическую характеристику при введении в цепь якоря сопротивления R_p , Ом;
- построить механическую характеристику в режиме рекуперативного торможения и определить величину сопротивление реостата, который нужно ввести в цепь якоря при n_3 , об/мин;
- построить механическую характеристику в режиме динамического торможения и определить величину сопротивление реостата, который нужно ввести в цепь якоря при n_4 , об/мин;
- построить механическую характеристику в тормозном режиме противовключения и определить величину сопротивление реостата, который нужно ввести в цепь якоря при n_5 , об/мин.

Построение выполнить на миллиметровой бумаге или с помощью специальных программ (MatCad и др). Данные для расчета приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11

Номер варианта	Тип двигателя	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , об/мин	R_p , Ом	n_3 , об/мин	n_4 , об/мин	n_5 , об/мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2ПН90МУХЛ4	1,0	110	12,7	3000	8,6	3500	2200	2200
2	2ПН100ЛУХЛ4	2,2	110	25,2	3000	3,1	3200	1800	1800
3	2ПН112МУХЛ4	3,6	110	41,7	3150	1,9	3600	1400	1400
4	2ПН132МУХЛ4	4,0	110	46,9	1500	1,8	2100	600	600
5	2ПН132МУХЛ4	7,0	110	78,6	2200	0,9	2600	900	900
6	2ПФ132ЛУХЛ4	5,5	110	62,5	1500	1,3	3600	850	850
7	2ПН160ЛУХЛ4	6,3	110	71,1	1000	1,1	1600	550	550
8	2ПО160МУХЛ4	8,0	110	84,6	2240	0,6	2800	1200	1200
9	4ПФ112S	4,0	220	24,0	900	8,9	3500	220	220

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	4ПФ132S	15,0	220	85,4	1400	2,0	3200	960	960
11	4ПФ132S	7,5	220	43,6	1000	4,2	4000	380	380
12	4ПФ132M	8,5	220	48,6	875	3,8	3800	300	300
13	4ПФ132L	11,0	220	62,8	800	2,9	4200	520	520
14	4ПФ160S	15,0	220	79,6	850	2,4	3300	150	150
15	4ПФ180	17,0	220	99,4	500	2,1	3000	180	180
16	4ПФ180M	20,0	220	114,5	475	1,7	1800	200	200
17	2ПФ160МУХЛ4	4,2	440	11,6	750	35	1100	250	250
18	2ПО180ЛУХЛ4	7,5	440	20	1120	11	1800	300	300
19	2ПО200ЛУХЛ4	11,0	440	29	1000	6,9	2200	400	400
20	2ПО200ЛУХЛ4	17,0	440	43,4	1500	3,9	3100	350	350
21	2ПФ200ЛУХЛ4	15,0	440	42	800	6,1	1500	280	280
22	2ПФ200ЛУХЛ4	20,0	440	53	1000	4,2	2000	420	420
23	2ПФ200ЛУХЛ4	30,0	440	77	1500	2,3	2500	720	720
24	2ПФ200ЛУХЛ4	42,0	440	106	2360	1,4	3100	650	650
25	2ПФ200ЛУХЛ4	55,0	440	137	3150	1,0	3500	1800	1800

Задача 3.2

Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, номинальные данные которого P_n , кВт; U_n , В; I_n , А; n_n , об/мин; R_d , Ом, требуется:

- построить естественную механическую характеристику;
- построить искусственную (реостатную) механическую характеристику при введении в цепь якоря сопротивления R_p , Ом;

Универсальная характеристика двигателя приведена на рис. 3.10.

Построение выполнить на миллиметровой бумаге или с помощью специальных программ (MatCad и др). Данные для расчета приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12

Номер варианта	Тип двигателя	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , об/мин	R_d , Ом	R_p , Ом
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Д816	130,0	220	760	450	0,013	0,08
2	Д818	185,0	220	935	410	0,005	0,03
3	Д21	5,5	220	33	1200	0,33	1,9
4	Д22	8,0	220	46	1200	0,20	1,2
5	Д31	12,0	220	67	1100	0,13	0,8
6	Д32	18,0	220	98	960	0,08	0,5
7	Д41	24,0	220	130	970	0,06	0,4
8	Д806	32,0	220	170	900	0,04	0,3
9	Д808	47,0	220	250	720	0,03	0,2
10	Д12	2,5	220	16,0	1100	0,83	4,8
11	Д810	55,0	220	290	500	0,02	0,12
12	Д812	75,0	220	390	475	0,015	0,09
13	Д814	110,0	220	565	460	0,01	0,06
14	Д21	4,0	440	13	1050	2,12	8,3
15	Д31	6,7	440	19,5	800	1,03	6,2
16	Д41	15,0	440	43	660	0,45	2,7
17	Д808	37,0	440	100	525	0,17	1,0
18	Д810	55,0	440	145	510	0,09	0,5
19	Д812	70,0	440	180	500	0,06	0,4
20	Д814	110,0	440	280	460	0,04	0,3
21	Д816	150,0	440	380	460	0,024	0,15
22	Д818	185,0	440	467	410	0,019	0,11
23	Д22	7,0	440	20,5	1180	0,98	5,9
24	Д32	17,0	440	47	970	0,35	2,1
25	Д806	32,0	440	85	900	0,15	0,9

Задача 3.3

Для двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, номинальные данные которого P_n , кВт; U_n , В; I_n , А; n_n , об/мин (рад/с), требуется:

- рассчитать сопротивление пускового реостата для форсированного пуска в три ступени;

- определить сопротивление ступени динамического торможения при условии, что $I_{д.т.} = 2,5 \cdot I_n$ и $E_{д.т.} = U_n$.

Значение параметров двигателя приведены в таблице 4.13.

Таблица 4.13

Номер варианта	Тип двигателя	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , об/мин
1	2ПН90МУХЛ4	1,0	110	12,7	3000
2	2ПН100ЛУХЛ4	2,2	110	25,2	3000
3	2ПН112МУХЛ4	3,6	110	41,7	3150
4	2ПН132МУХЛ4	4,0	110	46,9	1500
5	2ПН132МУХЛ4	7,0	110	78,6	2200
6	2ПФ132ЛУХЛ4	5,5	110	62,5	1500
7	2ПН160ЛУХЛ4	6,3	110	71,1	1000
8	2ПО160МУХЛ4	8,0	110	84,6	2240
9	4ПФ112S	4,0	220	24,0	900
10	4ПФ132S	15,0	220	85,4	1400
11	4ПФ132S	7,5	220	43,6	1000
12	4ПФ132M	8,5	220	48,6	875
13	4ПФ132L	11,0	220	62,8	800
14	4ПФ160S	15,0	220	79,6	850
15	4ПФ180	17,0	220	99,4	500
16	4ПФ180M	20,0	220	114,5	475
17	2ПФ160МУХЛ4	4,2	440	11,6	750
18	2ПО180ЛУХЛ4	7,5	440	20	1120
19	2ПО200ЛУХЛ4	11,0	440	29	1000
20	2ПО200ЛУХЛ4	17,0	440	43,4	1500
21	2ПФ200ЛУХЛ4	15,0	440	42	800
22	2ПФ200ЛУХЛ4	20,0	440	53	1000
23	2ПФ200ЛУХЛ4	30,0	440	77	1500
24	2ПФ200ЛУХЛ4	42,0	440	106	2360
25	2ПФ200ЛУХЛ4	55,0	440	137	3150

Задача 3.4

Для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения номинальные данные которого: P_n , кВт; U_n , В; I_n , А; n_n , об/мин (рад/с). Требуется рассчитать пусковой реостат и определить сопротивление ступени противовключения. Пуск осуществляется в две ступени.

Значение параметров двигателя приведены в таблице 4.14.

Таблица 4.14

Номер варианта	Тип двигателя	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , об/мин
1	Д816	130,0	220	760	450
2	Д818	185,0	220	935	410
3	Д21	5,5	220	33	1200
4	Д22	8,0	220	46	1200
5	Д31	12,0	220	67	1100
6	Д32	18,0	220	98	960
7	Д41	24,0	220	130	970
8	Д806	32,0	220	170	900
9	Д808	47,0	220	250	720
10	Д12	2,5	220	16,0	1100
11	Д810	55,0	220	290	500
12	Д812	75,0	220	390	475
13	Д814	110,0	220	565	460
14	Д21	4,0	440	13	1050
15	Д31	6,7	440	19,5	800
16	Д41	15,0	440	43	660
17	Д808	37,0	440	100	525
18	Д810	55,0	440	145	510
19	Д812	70,0	440	180	500
20	Д814	110,0	440	280	460
21	Д816	150,0	440	380	460
22	Д818	185,0	440	467	410
23	Д22	7,0	440	20,5	1180
24	Д32	17,0	440	47	970
25	Д806	32,0	440	85	900

5 ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

1 Понятие «электропривод», виды электропривода, достоинство и недостатки, режимы работы.

2 Виды нагрузок и моментов. Основное уравнение привода для поступательного и вращательного движения.

3 Приведение статических моментов к оси вращения двигателя. Приведение маховых масс и моментов инерции к оси вращения двигателя.

4 Механические характеристики двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением

5 Тормозные режимы работы двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением.

6 Механические характеристики двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

7 Тормозные режимы работы двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

8 Механические характеристики двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением.

9 Тормозные режимы работы двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением.

10 Механические характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

11 Тормозные режимы работы двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

12 Механические характеристики асинхронного двигателя.

13 Тормозные режимы работы асинхронного двигателя.

14 Механические и угловые характеристики синхронных двигателей. Тормозные режимы работы

15 Пуск в ход, регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока.

16 Пуск в ход, регулирование частоты вращения асинхронных двигателей.

17 Регулирование частоты вращения синхронных и асинхронных двигателей с помощью тиристорных преобразователей частоты.

18 Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока с помощью тиристорных преобразователей напряжения.

19 Регулирование частоты вращения двигателей постоянного и переменного тока по системе генератор-двигатель (Г-Д).

20 Разомкнутые и замкнутые системы автоматического регулирования скорости вращения приводами.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Справочная информация

Таблица П1.1

Греческий алфавит

Α α - альфа	Ι ι - йота	Ρ ρ - ро
Β β - бета	Κ κ - каппа	Σ σ - сигма
Γ γ - гамма	Λ λ - ламбда	Τ τ - тау
Δ δ - дельта	Μ μ – ми (мю)	Υ υ - ипсилон
Ε ε - эpsilon	Ν ν – ни (ню)	Φ φ - фи
Ζ ζ - дзета	Ξ ξ - кси	Χ χ - хи
Η η - эта	Ο ο - омикрон	Ψ ψ - пси
Θ θ - тхэта	Π π - пи	Ω ω - омега

Таблица П1.2

Соотношения единиц величин, применяемых в гидравлике, с единицами международной системы СИ (SI)

Величина		Единица		Примечание
Название	Обозначение	Название	Обозначение	
Производные единицы, применяемые в гидравлике и пневматике				
Диаметр	d, D	м	метр	
Радиус	r, R			r=0,5D
Площадь	A, f	м ²	квадратный метр	
Объем	V	м ³	кубический метр	
Рабочий объем	V ₀	см ³	кубический сантиметр	
Расход массовый	Q _m	кг/с	килограмм в секунду	
Расход объемный	Q, Q _v	м ³ /с	кубический метр в секунду	Q _v = Q _m /ρ
Расход объемный	Q _н , Q _{вн} , Q	л/мин	литр в минуту	Внесистемная единица
Пропускная способность	K _v	м ³ /ч	кубический метр в час	Внесистемная единица
Плотность	ρ	кг/м ³	килограмм на кубический метр	
Удельный объем	V	м ³ /кг	кубический метр на килограмм	V=1/ρ
Абсолютная влажность	f, f _{абс}	кг/м ³	килограмм на кубический метр	
Относительная влажность	φ	-	-	Измеряется в процентах

Продолжение таблицы П1.2

Величина		Единица		Примечание
Частота импульсов, ударов и т.п. частота вращения	n, f	c ⁻¹	секунда в минус первой степени	1 c ⁻¹ = 1 Гц
		Гц	герц	
		об/с	оборот в секунду	1 об/с=1 c ⁻¹
		об/мин	оборот в минуту	1об/мин=1/60 c ⁻¹
Частота угловая	ω	c ⁻¹	секунда в минус первой степени	
Скорость линейная	v	м/с	метр в секунду	
Скорость угловая	ω	рад/с	радиан в секунду	
		об/с	оборот в секунду	1 об/с=2π рад/с
		об/мин	оборот в минуту	1 об/мин=2π/60 рад/с
Ускорение линейное	a	м/с ²	метр на секунду в квадрате	
Ускорение свободного падения	g			g=9,81 м/с ²
Ускорение угловое	ε	рад/с ²	радиан на секунду в квадрате	
Импульс	p	кг·м/с	килограмм-метр в секунду	
Динамический момент инерции	J, I	кг·м ²	килограмм-метр в квадрате	
Сила (усилие)	F, P	Н	ньютон	Н=кг·м/с ²
Сила тяжести, вес	G, P			
Момент силы	M			
Крутящий момент	M, T	Н·м	Ньютон-метр	
Давление	p	Па	паскаль	Па=Н/м ²
Модуль сжимаемости	E			
Коэффициент объемного сжатия	β _p	Па ⁻¹	Паскаль в минус первой степени	β _p =1/К
Динамическая вязкость	μ	Па·с	паскаль-секунда	
Кинематическая вязкость	ν	м ² /с	квадратный метр на секунду	ν= μ/ρ
Энергия	E, W	Дж	джоуль	
Мощность	P, N	Вт	ватт	
Коэффициент полезного действия	η	-	-	Безразмерная величина
Удельная газовая постоянная	R, R ₀	Дж/(кг·К)	Джоуль на килограмм-кельвин	

Таблица П1.3

Приставки для наименования дольных и кратных единиц

Дольные единицы			Кратные единицы		
Степень	Приставка	Символ	Степень	Приставка	Символ
10^{-1}	деци	д	10^1	дека	да
10^{-2}	санти	с	10^2	гекто	г
10^{-3}	милли	м	10^3	кило	к
10^{-6}	микро	мк	10^6	мега	М
10^{-9}	нано	н	10^9	гига	Г
10^{-12}	пико	п	10^{12}	тера	Т
10^{-15}	фемто	ф	10^{15}	пета	П
10^{-18}	атто	а	10^{18}	экса	Э

Таблица П1.4

Формулы, связывающие различные температурные шкалы

Шкала	Кельвина	Цельсия	Фаренгейта	Реомюра
Кельвина, Т[К]	1	$t^{\circ\text{C}}+273,15$	$(t^{\circ\text{F}}-32)/1,8+273,15$	$1,25 t^{\circ\text{R}} + 273,15$
Цельсия, t °С	$T-273,15$	1	$(t^{\circ\text{F}}-32)/1,8$	$1,25 t^{\circ\text{R}}$
Фаренгейта, t °F	$1,8T-459,67$	$1,8t^{\circ\text{C}}+32$	1	$2,25 t^{\circ\text{R}}+32$
Реомюра, t °R	$0,8T-218,52$	$0,8 t^{\circ\text{C}}$	$0,44(t^{\circ\text{F}}-32)$	1

Приложение 2

Технические данные трехфазных асинхронных двигателей

Таблица П2.1

Технические характеристики трехфазных асинхронных двигателей серии 4А, степени защиты IP44, способ охлаждения IC041, режима работы

S1

Типоразмеры	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$U_{\text{ном}}$, В	Типоразмеры	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$U_{\text{ном}}$, В
1	2	3	4	5	6	7	8
Синхронная частота вращения 3000 об/мин							
4AA50A2Y3	0,09	2740	220/380 380/660	4A160S2Y3	15,0	2940	220/380 380/660
4AA50B2Y3	0,12	2710	220/380 380/660	4A160M2Y3	18,5	2940	220/380 380/660
4AA56A2Y3	0,18	2800	220/380 380/660	4A180S2Y3	22,0	2940	220/380 380/660
4AA56B2Y3	0,25	2770	220/380 380/660	4A180M2Y3	30,0	2945	220/380 380/660

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
4A63A2Y3	0,37	2750	220/380 380/660	4A200M2Y3	37,0	2945	220/380 380/660
4A63B2Y3	0,55	2740	220/380 380/660	4A200L2Y3	45,0	2945	220/380 380/660
4A71A2Y3	0,75	2840	220/380 380/660	4A225M2Y3	55,0	2945	220/380 380/660
4A71B2Y3	1,1	2810	220/380 380/660	4A250S2Y3	75,0	2960	220/380 380/660
4A80A2Y3	1,5	2850	220/380 380/660	4A250M2Y3	90,0	2960	220/380 380/660
4A80B2Y3	2,2	2850	220/380 380/660	4A280S2Y3	110,0	2970	220/380 380/660
4A90L2Y3	3,0	2840	220/380 380/660	4A280M2Y3	132,0	2970	220/380 380/660
4A100S2Y3	4,0	2880	220/380 380/660	4A315S2Y3	160,0	2970	220/380 380/660
4A100L2Y3	5,5	2880	220/380 380/660	4A315M2Y3	200,0	2970	220/380 380/660
4A112M2Y3	7,5	2900	220/380 380/660	4A355S2Y3	250,0	2970	220/380 380/660
4A132M2Y3	11,0	2900	220/380 380/660	4A355M2Y3	315,0	2970	220/380 380/660
Синхронная частота вращения 1500 об/мин							
4AA50A4Y3	0,06	1389	220/380 380/660	4A132M4Y3	11,0	1460	220/380 380/660
4AA50B4Y3	0,09	1370	220/380 380/660	4A160S4Y3	15,0	1465	220/380 380/660
4AA56A4Y3	0,12	1375	220/380 380/660	4A160M4Y3	18,5	1465	220/380 380/660
4AA56B4Y3	0,18	1365	220/380 380/660	4A180S4Y3	22,0	1470	220/380 380/660
4A63A4Y3	0,25	1380	220/380 380/660	4A180M4Y3	30,0	1470	220/380 380/660
4A63B4Y3	0,37	1365	220/380 380/660	4A200M4Y3	37,0	1475	220/380 380/660
4A71A4Y3	0,55	1390	220/380 380/660	4A200L4Y3	45,0	1475	220/380 380/660
4A71B4Y3	0,75	1390	220/380 380/660	4A225M4Y3	55,0	1480	220/380 380/660
4A80A4Y3	1,1	1420	220/380 380/660	4A250S4Y3	75,0	1480	220/380 380/660
4A80B4Y3	1,5	1415	220/380 380/660	4A250M4Y3	90,0	1480	220/380 380/660
4A90L4Y3	2,2	1425	220/380 380/660	4A280S4Y3	110,0	1470	220/380 380/660
4A100S4Y3	3,0	1435	220/380 380/660	4A280M4Y3	132,0	1480	220/380 380/660
4A100L4Y3	4,0	1430	220/380 380/660	4A315S4Y3	160,0	1480	220/380 380/660

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
4A112M4Y3	5,5	1445	220/380 380/660	4A315M4Y3	200,0	1480	220/380 380/660
4A132S4Y3	7,5	1445	220/380 380/660	4A355S4Y3	250,0	1485	220/380 380/660
				4A355M4Y3	315,0	1485	220/380 380/660
Синхронная частота вращения 1000 об/мин							
4A63A6Y3	0,18	885	220/380 380/660	4A160S6Y3	11,0	975	220/380 380/660
4A63B6Y3	0,25	890	220/380 380/660	4A160M6Y3	15,0	975	220/380 380/660
4A71A6Y3	0,37	910	220/380 380/660	4A180M6Y3	18,5	975	220/380 380/660
4A71B6Y3	0,55	900	220/380 380/660	4A200M6Y3	22,0	975	220/380 380/660
4A80A6Y3	0,75	915	220/380 380/660	4A200L6Y3	30,0	980	220/380 380/660
4A80B6Y3	1,1	920	220/380 380/660	4A250S6Y3	45,0	985	220/380 380/660
4A90L6Y3	1,5	935	220/380 380/660	4A250M6Y3	55,0	985	220/380 380/660
4A100L6Y3	2,2	950	220/380 380/660	4A280S6Y3	75,0	985	220/380 380/660
4A112MA6Y3	3,0	955	220/380 380/660	4A280M6Y3	90,0	985	220/380 380/660
4A112MB6Y3	4,0	950	220/380 380/660	4A315S6Y3	110,0	985	220/380 380/660
4A132S6Y3	5,5	965	220/380 380/660	4A315M6Y3	132,0	985	220/380 380/660
4A132M6Y3	7,5	970	220/380 380/660	4A355S6Y3	160,0	985	220/380 380/660
				4A355M6Y3	200,0	985	220/380 380/660
Синхронная частота вращения 750 об/мин							
4A71B8Y3	0,25	680	220/380 380/660	4A180M8Y3	15,0	730	220/380 380/660
4A80A8Y3	0,37	675	220/380 380/660	4A200M8Y3	18,5	735	220/380 380/660
4A80B8Y3	0,55	700	220/380 380/660	4A200L8Y3	22,0	730	220/380 380/660
4A90LA8Y3	0,75	700	220/380 380/660	4A225M8Y3	30,0	735	220/380 380/660
4A90LB8Y3	1,1	700	220/380 380/660	4A250S8Y3	37,0	735	220/380 380/660
4A100L8Y3	1,5	700	220/380 380/660	4A250M8Y3	45,0	740	220/380 380/660
4A112MA8Y3	2,2	700	220/380 380/660	4A280S8Y3	55,0	735	220/380 380/660
4A112MB8Y3	3,0	700	220/380 380/660	4A250M8Y3	75,0	735	220/380 380/660
4A132S8Y3	4,0	720	220/380 380/660	4A315S8Y3	90,0	740	220/380 380/660

1	2	3	4	5	6	7	8
4A132M8Y3	5,5	720	220/380 380/660	4A315M8Y3	110,0	740	220/380 380/660
4A160S8Y3	7,5	730	220/380 380/660	4A355S8Y3	132,0	740	220/380 380/660
4A160M8Y3	11,0	730	220/380 380/660	4A355M8Y3	160,0	740	220/380 380/660
Синхронная частота вращения 600 об/мин							
4A250S10Y3	30,0	590	220/380 380/660	4A315S10Y3	55,0	590	220/380 380/660
4A250M10Y3	37,0	590	220/380 380/660	4A315M10Y3	75,0	590	220/380 380/660
4A280S10Y3	37,0	590	220/380 380/660	4A355S10Y3	90,0	590	220/380 380/660
4A280M10Y3	45,0	590	220/380 380/660	4A355M10Y3	110,0	590	220/380 380/660
Синхронная частота вращения 500 об/мин							
4A315S12Y3	45,0	490	220/380 380/660	4A355S12Y3	75,0	490	220/380 380/660
4A315M12Y3	55,0	490	220/380 380/660	4A355M12Y3	90,0	495	220/380 380/660

Примечание. Технические характеристики двигателей серии 4АН аналогичны 4А и отличаются только тем, что изготавливаются со степенью защиты IP23 и способом охлаждения IC01.

Таблица П2.2

Технические характеристики трехфазных асинхронных двигателей серии ВАО, степени защиты IP54, способа охлаждения IC0141, степени взрывозащищенности 1ExdПВТ4. режима работы S1

Типоразмеры	P _{ном} , кВт	n _{ном} , об/мин	U _{ном} , В	Типоразмеры	P _{ном} , кВт	n _{ном} , об/мин	U _{ном} , В
1	2	3	4	5	6	7	8
Синхронная частота вращения 3000 об/мин							
ВАО 072-2	0,4	2965	380/660	ВАО 52-2	10,0	2965	380/660
ВАО 11-2	0,6	2965	380/660	ВАО 61-2	13,0	2965	380/660
ВАО 12-2	0,8	2965	380/660	ВАО 62-2	17,0	2965	380/660
ВАО 21-2	1,1	2965	380/660	ВАО 71-2	22,0	2965	380/660
ВАО 22-2	1,5	2965	380/660	ВАО 72-2	30,0	2965	380/660
ВАО 31-2	2,2	2965	380/660	ВАО 81-2	40,0	2965	380/660
ВАО 32-2	3,0	2965	380/660	ВАО 82-2	55,0	2965	380/660
ВАО 41-2	4,0	2965	380/660	ВАО 91-2	75,0	2965	380/660
ВАО 42-2	5,5	2965	380/660	ВАО 92-2	100	2965	380/660
ВАО 51-2	7,5	2965	380/660				
Синхронная частота вращения 1500 об/мин							
ВАО 071-4	0,27	1475	380/660	ВАО 51-4	7,5	1475	380/660
ВАО 072-4	0,4	1475	380/660	ВАО 52-4	10,0	1475	380/660

Продолжение таблицы П2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
BAO 11-4	0,6	1475	380/660	BAO 61-4	13,0	1475	380/660
BAO 12-4	0,8	1475	380/660	BAO 62-4	17,0	1475	380/660
BAO 21-4	1,1	1475	380/660	BAO 71-4	22,0	1475	380/660
BAO 22-4	1,5	1475	380/660	BAO 72-4	30,0	1475	380/660
BAO 31-4	2,2	1475	380/660	BAO 81-4	40,0	1475	380/660
BAO 32-4	3,0	1475	380/660	BAO 82-4	55,0	1475	380/660
BAO 41-4	4,0	1475	380/660	BAO 91-4	75,0	1475	380/660
BAO 42-4	5,5	1475	380/660	BAO 92-4	100	1475	380/660
Синхронная частота вращения 1000 об/мин							
BAO 072-6	0,4	990	380/660	BAO 51-6	7,5	990	380/660
BAO 11-6	0,6	990	380/660	BAO 52-6	10,0	990	380/660
BAO 12-6	0,8	990	380/660	BAO 61-6	13,0	990	380/660
BAO 21-6	1,1	990	380/660	BAO 62-6	17,0	990	380/660
BAO 22-6	1,5	990	380/660	BAO 71-6	22,0	990	380/660
BAO 31-6	2,2	990	380/660	BAO 72-6	30,0	990	380/660
BAO 32-6	3,0	990	380/660	BAO 81-6	40,0	990	380/660
BAO 41-6	4,0	990	380/660	BAO 82-6	55,0	990	380/660
BAO 42-6	5,5	990	380/660	BAO 91-6	75,0	990	380/660
Синхронная частота вращения 750 об/мин							
BAO 31-8	2,2	740	380/660	BAO 61-8	13,0	740	380/660
BAO 32-8	3,0	740	380/660	BAO 62-8	17,0	740	380/660
BAO 41-8	4,0	740	380/660	BAO 71-8	22,0	740	380/660
BAO 42-8	5,5	740	380/660	BAO 72-8	30,0	740	380/660
BAO 51-8	7,5	740	380/660	BAO 81-8	40,0	740	380/660
BAO 52-8	10,0	740	380/660	BAO 82-8	55,0	740	380/660
Синхронная частота вращения 600 об/мин							
BAO 62-10	17,0	595	380/660	BAO 72-10	30,0	595	380/660
BAO 71-10	22,0	595	380/660	BAO 81-10	40,0	595	380/660

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Фотиев М.М. Привод рудничных машин: Учебник для техникумов [Текст] / М.М. Фотиев, А.А. Гопак – М.: Недра, 2016.
- 2 Фотиев М.М. Электропривод рудничных машин: Учебн. пособие для техникумов. - 3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 2017.
- 3 Кацман М. М. Электрический привод: Учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования /Марк Михайлович Кацман. - М.: Издательский центр «Академия», 2015.
- 4 Москаленко В.В. Электрический привод: учебник студ. учреждений сред. проф. образования/ В.В. Москаленко, - 6-е изд. стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2018.
- 5 Кацман М.М. Справочник по электрическим машинам: Учебное пособие для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования /М. М. Кацман. - М.: Издательский центр «Академия», 2015.
- 6 Справочник энергетика геологоразведочных организаций /В.В. Алексеев, А.А. Гланц, А.П. Жернаков, С.И. Наугольников. М., Недра, 2017.
- 7 Васин В.М. Электрический привод: Учебное пособие для техникумов. - М.: Высшая школа. - 2017.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1	Программа междисциплинарного курса	3
2	Методические указания к выполнению контрольной работы	8
2.1	Характеристика электрического привода	9
2.1.1	Основные понятия	9
2.1.2	Механические характеристики и режимы работы электродвигателей	12
2.1.3	Системы приводов	16
2.1.4	Динамика приводов	17
2.1.5	Переходные процессы в электроприводе	19
2.1.6	Нагрев электродвигателей	20
2.1.7	Номинальные режимы работы электродвигателей.....	21
3	Расчет электроприводов.....	22
3.1	Структура электропривода	22
3.2	Расчет электроприводов переменного тока	23
3.2.1	Выбор мощности электродвигателя при продолжительном режиме работы (S1)	26
3.2.2	Выбор мощности электродвигателя при кратковременном режиме работы (S2).....	28
3.2.3	Выбор мощности электродвигателя при повторно-кратковременном режиме работы (S3).....	30
3.2.4	Выбор рода тока и напряжения	32
3.3	Примеры расчетов электропривода	32
4	Контрольные задания	58
5	Вопросы для подготовки к экзамену	75
	Приложения	76
	Библиографический список	83