МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЛИАЛ «ТОБОЛЬСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к контрольным работам

по дисциплине: «Электрический привод»

Тобольск, 2013

Составители: Рысев П.В., Смирнов С.И.

1. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МКТ

Развитие научно-технического прогресса в области низкотемпературной физики твердого тела предопределило появление новой и специфичной области в криогенике – микрокриогенной техники (МКТ), занимающейся созданием миниатюрных установок глубокого охлаждения. Область применения устройств МКТ охватывает достаточно широкий спектр отраслей народного хозяйства – радиоэлектронику, вакуумную технику, систему связи, вычислительную технику, научное приборостроение, биологию и медицину. Наибольшее распространение имеют устройства с холодопроизводительностью 1 – 5 Вт на температурном уровне 4,5 – 80 К, предназначенные для глубокого охлаждения приемников инфракрасного излучения, криоэлектронных СВЧ – приборов, чувствительных элементов оптико-электронной аппаратуры.

Широкая область применения устройств МКТ и их назначения, охватывающая эксплуатацию в установках стационарного типа и наземных транспортных средств, изделиях авиационной и космической техники, определяет разнообразие типов и конструкций микрокриогенных систем.

Основу машин МКТ составляют электромеханические системы (ЭМС), посредством которых осуществляются сложные процессы электрогазодинамического преобразования энергии, обеспечивающие как отвод тепла от хладагента, так и электрическое управление протеканием этих процессов (рис. 1). Поэтому эффективность и надежность микрокриогенных машин в значительной степени определяется техническим уровнем применяемых ЭМС, которые состоят из следующих устройств:

- преобразователя электрической энергии;
- электромеханического преобразователя;
- механизма передачи и преобразования движения;
- рабочей машины;
- системы управления и регулирования.

Преобразователь электрической энергии служит для получения энергии источника напряжения в нужной форме. При наличии источника напряжения переменного тока необходимой частоты преобразователь электрической энергии может быть исключен из общей схемы ЭМС. В большинстве случаев для машин МКТ предлагается автономный источник напряжения постоянного тока, поэтому преобразователь электрической энергии в этих случаях является необходимым. Преобразователи электрической энергии выполняются в виде:

- щеточно-коллекторного узла, совмещенного с электромеханическим преобразователем энергии (двигатели постоянного тока со щетками);
- статического преобразователя напряжения постоянного тока с частотой, зависящей от скорости вращения вала электродвигателя (бесконтактные двигатели постоянного тока);
- статического преобразователя напряжения постоянного тока в переменное с частотой не зависящей от скорости вращения вала электродвигателя (асинхронные двигатели со статическим преобразователем);

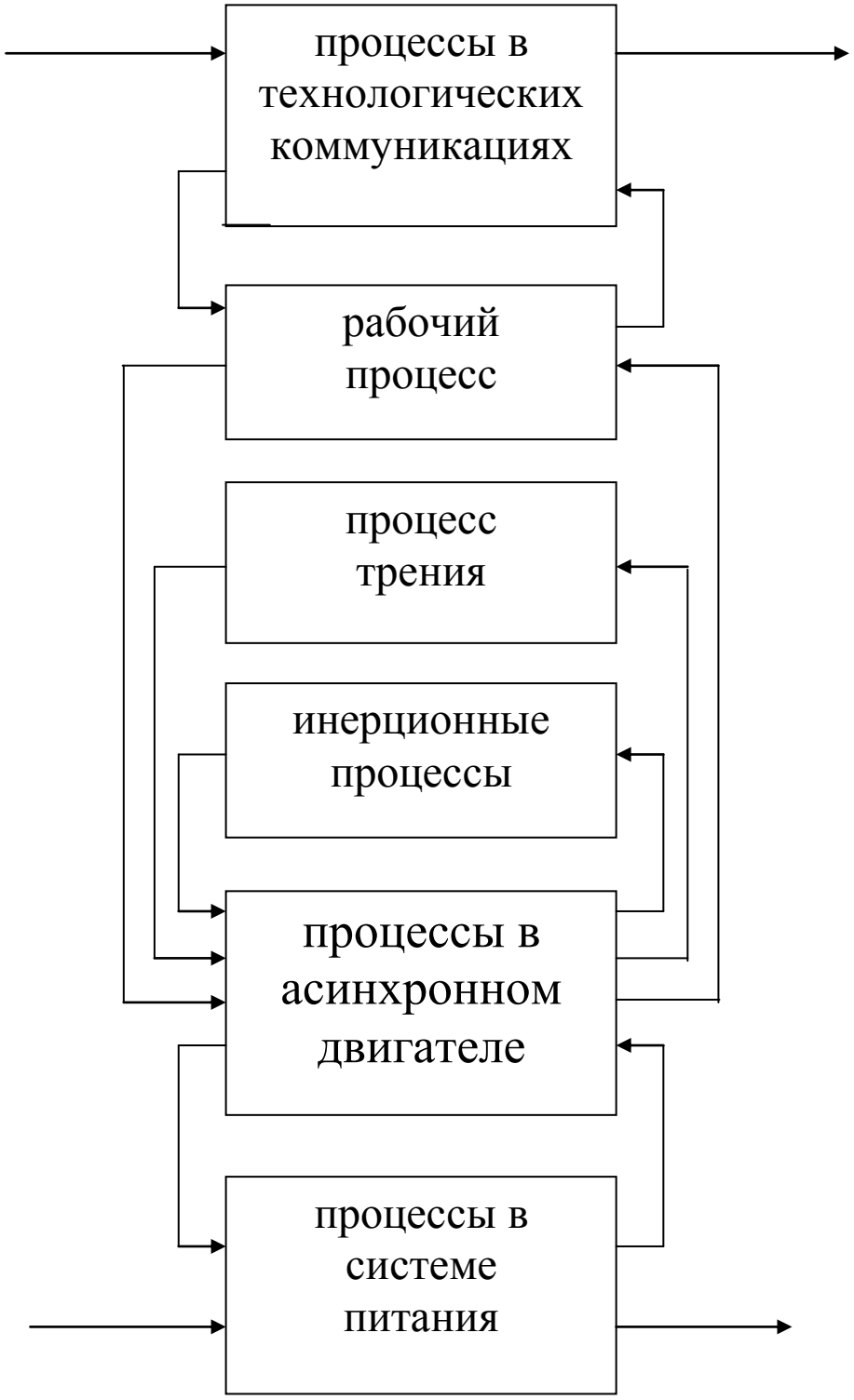

Рис.1. Динамическая схема ЭМС компрессор - двигатель в составе микрокриогенной установки

- силового преобразователя напряжения питания, предназначенного для формирования из постоянного напряжения сети импульсов определенной формы, длительности и частоты (колебательные электродвигатели).

В качестве электромеханических преобразователей энергии в приводе машин МКТ широко применяются электродвигатели вращательного движения различного конструктивного исполнения (герметичные, встраевыемые, защищенные) и электродвигатели с линейным перемещением рабочего органа.

Механизм передачи и преобразования движения осуществляет кинематическую связь выходного вала электродвигателя вращательного движения с поршнем, совершающим возвратно- поступательное движение. В приводе машин поршневого типа широко распространены кулисные, кривошипно-шатунные и бескривошипные механизмы с наклонной шайбой.

В устройствах МКТ в качестве рабочей машины наибольшее распространение получили поршневые механизмы с линейным перемещением поршня (компрессоры, газовые криогенные машины, насосы и т. п.).

Функции системы управления и регулирования сводятся к ручному и автоматическому обеспечению заданного режима работы машины в переходных и установившихся режимах.

Большинство изделий микрокриогенной техники предназначено для использования в авиации и космонавтике, поэтому основными требованиями, предъявляемыми к электромеханическим системам являются: предельная экономичность и чистота сжимаемого газа, недопустимость его загрязнения смазками и продуктами износа элементов системы; герметичное или встраиваемое исполнение электродвигателей; работоспособность системы от источника напряжения переменного и постоянного тока; минимальные габаритные размеры и масса; большой пусковой момент; высокие прочность, ударно- и виброустойчивость; длительный ресурс непрерывной работы (не менее 1 000 часов без регламентных работ) в широком диапазоне изменения климатических условий, в различных пространственных положениях и невесомости. Устройства МКТ работают циклами с частыми установками и последующими включениями, отсюда принципиальным требованием является сокращенное время выхода на режим (форсирование пусковых режимов). Сочетание этих требований делает устройства МКТ специфичным видом техники.

2. СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В электромеханической системе можно выделить два основных элемента технологической системы - привод и рабочую машину. Среди различных типов приводов поршневых механизмов наибольшее распространение получил электрический привод. Главными преимуществами привода от электродвигателей являются: возможность работы при частых остановках, малые размеры, высокая надежность, простота устройства и обслуживания. По принципу действия применяемые электродвигатели делятся на двигатели вращения и двигатели с линейным перемещением рабочего органа. По роду тока различают электродвигатели постоянного и переменного токов (трехфазные и однофазные),

которые в свою очередь подразделяются на асинхронные, синхронные и линейные (см. табл.1).

Из электромеханических систем, содержащих асинхронную машину, преимущество получили системы, имеющие более экономичный двигатель с короткозамкнутым ротором. Этот двигатель отличается простотой и удобством конструкции, а отсутствие контактных колец определяет надежность его работы. Существенными недостатками двигателя с короткозамкнутым ротором являются значительный пусковой ток, который в 6 -7 раз превышает номинальный, а также недостаточный момент для пуска двигателя под нагрузкой, определяемый по максимальному моменту сопротивления. Поэтому в ЭМС в режиме автоматической работы применяют электродвигатели с повышенным пусковым моментом. Отношение начального пускового момента к номинальному для этих двигателей находится в пределах 1,7-2,0.

Асинхронные двигатели (АД) с фазным ротором применяют в ЭМС в случае маломощной сети или привода поршневой машины с большим маховиком. Эти двигатели могут обеспечить значительный пусковой момент при сравнительно небольшом пусковом токе. Вращающий момент и ток двигателя зависят от введенного в цепь ротора сопротивления и рассчитываются, исходя из конкретных условий работы системы. Однако эти двигатели имеют следующие недостатки: сложность пускорегулирующих устройств, необходимость ухода за контактными кольцами и щетками. По этим причинам АД с фазным ротором в качестве привода поршневых машин находят ограниченное применение.

При работе в составе ЭМС с поршневыми машинами большой мощности (свыше 100 кВт) предпочитают синхронные двигатели (СД). Они обладают постоянной частотой вращения при любых нагрузках и высоким коэффициентом мощности $(\cos\varphi = 1)$. При некотором перевозбуждении СД могут работать с опережающим током, при котором имеет место эффект компенсации реактивной мощности в сеть. Несмотря на это, СД сложнее и дороже АД и нуждаются в возбудителе или выпрямителе для питания обмотки постоянным током. Пуск СД осуществляется асинхронным способом с помощью короткозамкнутой обмотки на роторе, поэтому недостатки АД с короткозамкнутым ротором присущи и СД при пуске.

Искрение, возникающее при работе щеточно-коллекторного узла, ограничивает область применения двигателей постоянного тока (ДПТ) по условиям взрывобезопасности, что заставляет применять двигатели закрытого исполнения. Для привода турбомашин необходимы электродвигатели с частотой вращения до 144 000 об/мин. Такой привод может быть реализован на базе бесконтактных ДПТ.

Высокими показателями характеризуются системы с линейным электроприводом колебательного движения. По принципу действия электродвигатели этих систем разделяются на электромагнитные, электродинамические, магнитоэлектрические и индукционные.

Главной особенностью колебательных электродвигателей (КЭД) возвратно-поступательного движения (ВПД) по сравнению с электродвигателями вращательного движения является существенная неравномерность движения.

Таблица 1

Основные показатели приводных электродвигателей поршневых машин МКТ

Род тока	Исполнение	Тип двигателя	Мощность Вт	К.П.Д	Гаран-тийный ресурс	Удель-ная мощ-ность Вт/кг	Примечание
Перемен-ный трех-фазный 400 Гц 220 В	Герметич-ное	АГ/4-041-6 АГ/4-051-6 АГ/4-053-6 АГ/4-062-6 АГ/4-071-6	120 250 550 750 1100	0,79 0,84 0,87 0,88 0,89	1000 1000 1000 1000 1000	80 108 120 121 132	Асинхронные двигатели
Перемен-ный трех-фазный 50 Гц, 380 В	Защищен-ное	УАД-72 ДАТ-400-8А	50 400	0,6 0,75	3000 1000	25 105	
	Встраивае-мое	4АВ112А4ПН 4АВ132В4ПН	4000 7500	0,85 0,88	10000 10000	160 167	
	Герметич-ное	ТСЭР-70	18	0,28	10000	3	Синхронный двигатель
	Защищен-ное	ДВ-200 Д-250-8	200 250	0,67 0,68	200 200	67 69	двигатели постоянного тока со щет-ками
	Защищен-ное с герме тичн. муфт.	ГЭА-62А	120	0,62	300	27	
Постоян-ный 27В	Защищен-ное	Б-426	9	0,5	5000	20	Бесконтакт. двигат. Пост. тока.
	Герметич-ное	АГ/4-041-6 с преобразо-вателем	120	0,5	1000	9	Асинхронный двиг. с преоб разователем ПТС 50АТ-1
	Встраивае-мое	фирма "Шоссон"	100	0,74		51	Электромаг-нитный двиг. колебательн. движения.

За один цикл работы поршневой машины скорость перемещения подвижной части КЭД дважды меняется от нуля до некоторого максимума, изменяя при этом свой знак. Подвижная часть электродвигателя с точки зрения теории колебаний представляет собой некоторую массу, совершающую колебания на упругом звене – механической или газовой пружине.

В основе работы электромагнитных двигателей лежит принцип взаимодействия магнитного поля соленоида с ферромагнитным сердечником (якорем). Колебательное движение якоря обусловлено питанием соленоида импульсным током определенной частоты, а также действием потенциальных сил сопротивления возвратной пружины. Основной принцип работы электромагнитных двигателей допускает широкое разнообразие их конструкций и режимов работы, что предопределяет широкие возможности оптимизации по выбранной целевой функции (к.п.д., массогабаритные показатели, максимальная мощность, закон перемещения якоря и т.п.). Простота конструкций электромагнитных двигателей определяет высокую технологичность их изготовления и сборки, а также надежность в эксплуатации. К недостаткам электромагнитных двигателей относятся потери энергии в стали от взаимной индукции соленоидов, если их более двух. Потери энергии в стали можно значительно снизить конструктивными мерами, например, применяя шихтованный магнитопровод статора и якоря. Потери от взаимной индукции исключаются в односоленоидном электромагнитном двигателе.

В основе работы электродинамических и магнитоэлектрических КЭД лежит принцип взаимодействия импульсного рабочего поля с постоянным полем возбуждения. Магнитный поток возбуждения может создаваться как отдельной обмоткой возбуждения при питании ее постоянным током, так и постоянным магнитом. Магнитный поток импульсного характера создается в том и другом случаях рабочей обмоткой. Обмотка возбуждения в электродинамических двигателях, как правило, размещена на статорной части. Для размещения рабочей обмотки существует два варианта. В первом случае рабочая обмотка размещается на подвижной части и совершает возвратно-поступательное движение в рабочем зазоре системы возбуждения. Во втором случае она размещается на статорной части. Взаимодействие полей осуществляется с помощью магнитопровода, размещенного на якоре.

Для размещения магнитной системы возбуждения в конструкциях магнитоэлектрических двигателей существует два варианта. В первом случае постоянный магнит возбуждения размещен на статорной части. Конструкция и размещение рабочей обмотки аналогично электродинамическому двигателю. Во втором случае постоянный магнит возбуждения входит в состав подвижной части как магнитный якорь. Рабочая обмотка при этом располагается в статорной части двигателя. Магнитоэлектрические двигатели в сравнении с электродинамическими обладают более простой конструкцией, так как отсутствует обмотка возбуждения. Соответственно, в схеме питания такого двигателя отсутствует источник тока возбуждения. Однако, при изготовлении постоянного магнита приходится искать компромисс между оптимальной, с точки зрения геометрических размеров, конфигурацией якоря и технологическими возможностями его намагничивания. В этом случае, если система возбуждения размещена в статорной части, а рабочая обмотка – на якоре, проблематичным становится решение задачи максимального заполнения рабочего зазора системы возбуждения медью рабочей обмотки при одновременном обеспечении достаточной прочности каркаса, посредством которого она связана со штоком двигателя. Сложной остается задача надежного токоподвода к подвижным элементам рабочей обмотки.

Индукционные двигатели, несмотря на простоту конструкции, не нашли широкого применения. Из-за потерь на вихревые токи они значительно уступают по своим энергетическим показателям всем перечисленным выше типам КЭД.

В целом ЭМС с линейным электроприводом, несмотря на относительно низкий электрический к.п.д., эффективны вследствие отсутствия механизма преобразования движения и соответствующих потерь на трение. Возможность регулирования хода и частоты циклов позволяет повысить быстродействие устройств МКТ без увеличения массы и габаритных размеров. Высокие показатели ЭМС с линейными двигателями обеспечены только в случае резонанса колебаний результирующего магнитного поля и собственных колебаний демпфирующих органов, т. е. для определенного режима работы, который необходимо поддерживать.

Основной частью рабочей машины с колебательным движением рабочего органа, применяемой в устройствах МКТ, является компрессор. Эти компрессоры имеют комплекс отличий по сравнению с холодильными компрессорами умеренного холода и компрессорами общепромышленного назначения. Общий специфический признак микрокомпрессоров – сочетание весьма малой производительности (55 – 420 см^3) с относительно высоким давлением нагнетания (10 – 25 МПа) [1]. В связи с этим в отечественной и зарубежной практике наибольшее применение в настоящее время получили мембранные и поршневые компрессоры. Мембранные компрессоры, обладая бесспорным преимуществом по чистоте сжимаемого газа и герметичности, имеют ряд серьезных недостатков, ограничивающих область применения. Устройства МКТ с мембранными компрессорами имеют сравнительно большие массогабаритные показатели и энергопотребление, а также ограниченный ресурс, который определяется работоспособностью мембраны.

Более высокие удельные показатели имеют поршневые компрессоры, которые могут выполняться как со смазкой, так и без смазки цилиндров. Каждый из этих типов компрессоров имеет свои преимущества и недостатки, что в конечном итоге и определяет целесообразность их применения для конкретных устройств.

Поршневые машины, работающие от двигателя вращения, имеют общий недостаток, обусловленный необходимостью преобразования вращательного движения вала двигателя в возвратно-поступательное движение рабочего органа. Механизм преобразования движения и передачи мощности от вала двигателя к поршню компрессора (рис.2) может быть выполнен в виде кривошипно-шатунного, кулисного, аксиального и т. п. Кроме этого, при использовании электродвигателей с частотой вращения свыше 3 000 об/мин необходима установка понижающего редуктора. Промежуточные передающие и преобразующие звенья с жесткой кинематической связью усложняют и утяжеляют конструкцию за счет увеличения числа нагруженных пар трения. В простейших схемах приводов количество пар трения не менее 2-3, а в реально работающих машинах их значительно больше. Наличие нагруженных пар трения приводит к увеличению потерь до 50% от потребляемой мощности [1] и снижению надежности.

В связи с этим перспективной считается задача создания надежных и эффективных микрокомпрессоров с непосредственной передачей энергии от электропривода к рабочим органам компрессора без промежуточных преобразующих звеньев. Отсутствие преобразующих и передающих звеньев, находящихся в кинематическом зацеплении, позволяет довести число пар трения до одной и, что особенно важно, эта пара трения в правильно спроектированном механизме может быть разгружена от действия нормальной составляющей поршневой силы, прижимающей поршень к стенкам цилиндра, в то время как в любом другом приводе с двигателем вращения обязательно наличие этой силы.

В кривошипно-шатунном, кулисном и аксиальном приводах компрессоров (рис.2) передача нагрузки осуществляется через сочленяющиеся пары и нормальные составляющие силы в парах трения, которые в предельном случае равны результирующей поршневой силе. С учетом этой силы выбираются соответствующие подшипники, ресурс которых определяется диапазоном изменения нагрузки. В линейном приводе поршневая сила действует вдоль оси штока, поэтому единственная пара трения поршень-цилиндр в идеальном случае полностью разгружена от действия поршневых сил. Сила трения в таких машинах может возникнуть лишь от действия собственной силы тяжести движущихся частей и перекосов, причем величина ее может быть снижена за счет высоких требований к точности обработки сопрягаемых поверхностей. Конструкция поршневой машины с линейным приводом без существенного усложнения позволяет обеспечить высокую динамическую уравновешенность и уменьшить вредные вибрации, что имеет важное значение для микрокриогенных систем.

Анализ существующих, практически реализованных и предложенных на уровне изобретений конструкций линейных двигателей позволяет сделать вывод о многообразии вариантов их сопряжения с поршневыми машинами. В качестве примера приведем основные принципиальные конструкционные схемы электромагнитных двигателей в сопряжении с приводимыми микрокомпрессорами:

-электромагнитный двухобмоточный двигатель с поршневым микрокомпрессором одностороннего действия (рис. 3а). Питание обмоток двигателя осуществляется импульсным напряжением поочередно, при этом энергия правой обмотки используется на сжатие и нагнетание газа, а энергия левой обмотки – на всасывание газа и сжатие возвратной пружины;

-электромагнитный двухобмоточный двигатель с оппозитным микрокомпрессором (рис. 3б). Питание обмоток осуществляется импульсным напряжением поочередно. В одном из микрокомпрессоров за половину цикла происходит разряжение – всасывание, в другом – сжатие – нагнетание. За вторую часть цикла в первом микрокомпрессоре происходит сжатие – нагнетание, во втором - разряжение – всасывание;

-электромагнитный однообмоточный двигатель с микрокомпрессором одностороннего действия (рис. 3в). Питание обмоток осуществляется

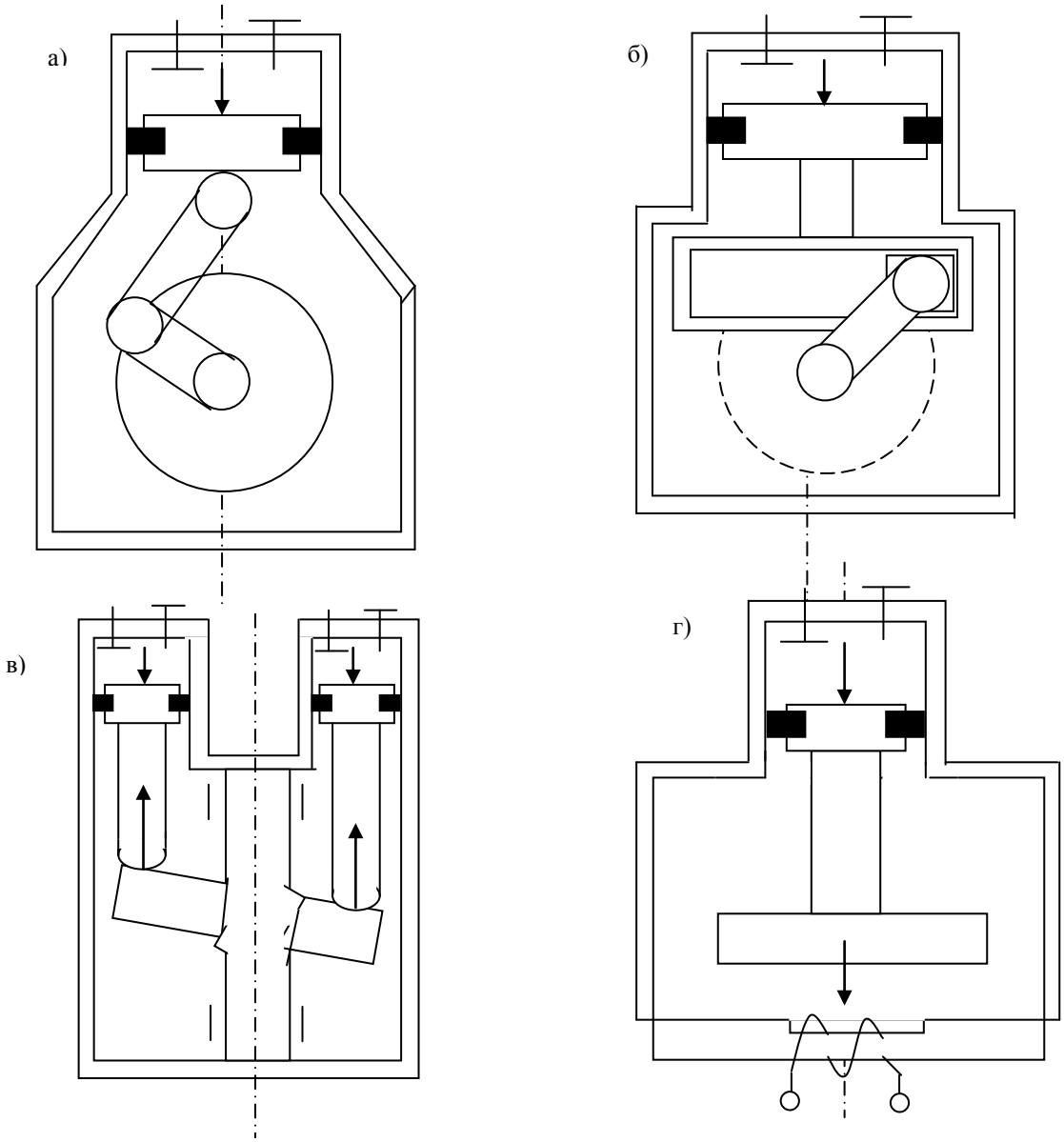

Рис.2. Принципиальные схемы механизмов преобразования движения
а-кривошипно-шатунный; б-кулисный; в-аксиальный; г-электромагнитный

импульсным напряжением. При протекании тока в катушке якорь и поршень движутся влево – происходит всасывание газа и сжатие возвратной пружины. При отсутствии тока под действием пружины происходит возврат якоря и поршня в исходное состояние;

- электромагнитный однообмоточный двигатель с оппозитным микрокомпрессором двухстороннего действия (рис. 3г). Импульсное питание обмотки двигателя разнополярным напряжением;
- электромагнитный однообмоточный двигатель с микрокомпрессором (рис. 3д) обладает повышенной чувствительностью к изменению параметров напряжения питания, т. к. питание обмотки осуществляется во время рабочего хода.

Каждая из приведенных схем (рис. 3) имеет свои преимущества и недостатки. Поэтому выбор той или иной схемы для конкретного устройства определяется комплексом требований, вытекающих из поставленных задач.

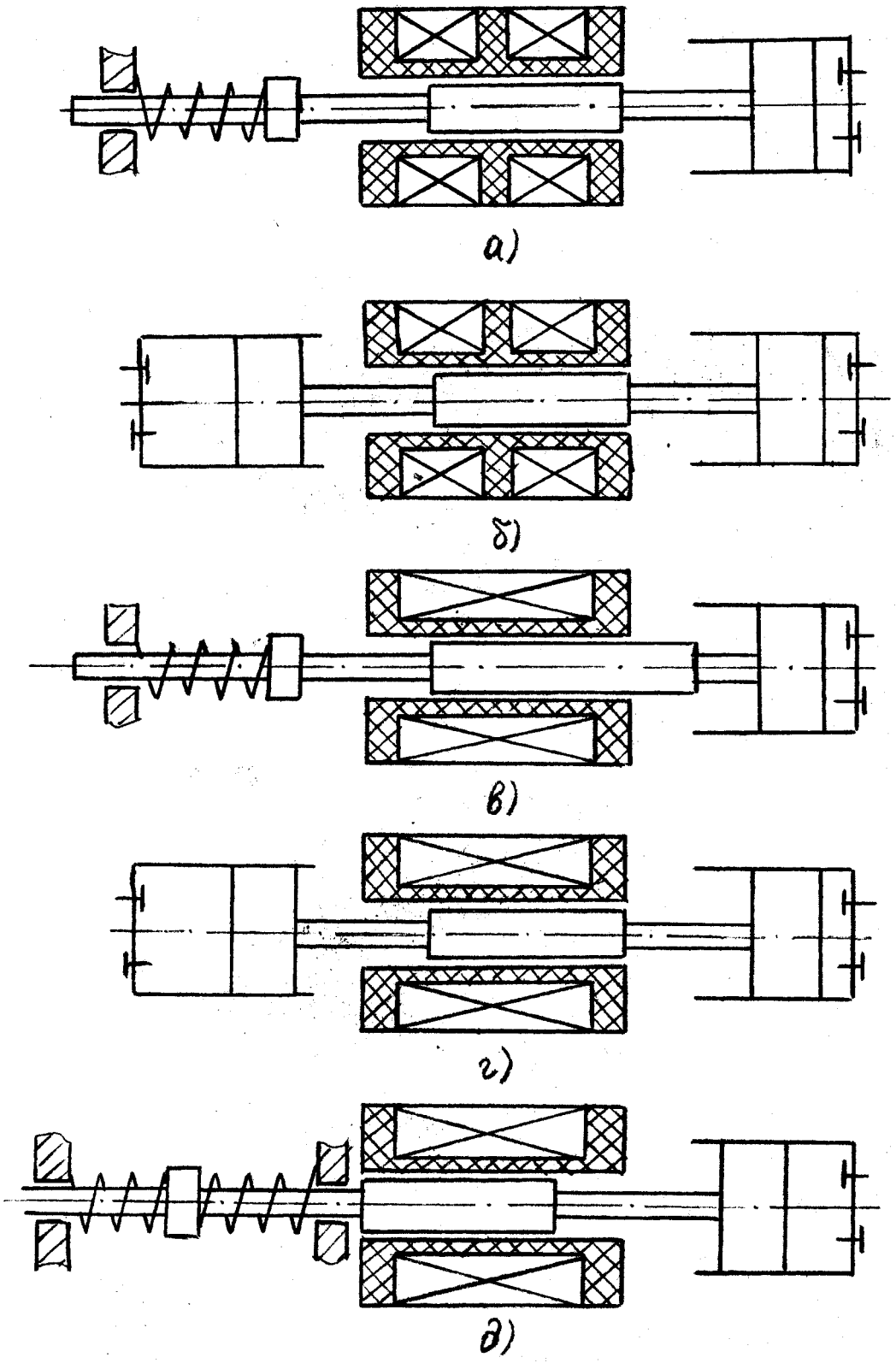

Рис. 3. Основные варианты конструкционных схем электромагнитных компрессоров

3. ЦЕЛЬ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Достоинства асинхронных двигателей могут быть в полной мере реализованы лишь при условии правильного выбора и применения. От правильного выбора электродвигателя по мощности зависят надежность его работы в составе электромеханической системы и энергетические характеристики в процессе эксплуатации. При установке двигателя с излишней мощностью неоправданно возрастают габариты системы, ее масса, стоимость и ухудшаются энергетические показатели. Установка двигателя заниженной мощности приводит к: а) увеличению токов и нагреву обмоток, а значит снижению его ресурса; б) уменьшению полезной холодопроизводительности; в) увеличению времени выхода на рабочий режим. Поэтому мощность электродвигателя должна выбираться в строгом соответствии с режимом работы и нагрузкой. С этой целью для машин, работающих в циклическом режиме, обычно строится нагрузочная диаграмма, представляющая собой зависимость нагрузки на валу от времени или, как часто принято в компрессоростроении, от угла поворота.

Итак, целью выбора является, во-первых, определение технической возможности применения двигателя и, во-вторых, нахождение наилучшего варианта из технически возможных по каталогам, учитывая род тока и напряжения, конструктивное исполнение, уровень шума и вибрации, режим работы.

Если двигатель предназначен для работы в нормальных условиях, то при заказе необходимо указать: напряжение сети, частоту сети, типоразмер двигателя, соединение обмоток, монтажное исполнение. Если не известен типоразмер двигателя, то дополнительно указывают: число фаз сети, мощность, частоту вращения, тип ротора или механической характеристики, степень защиты.

4. КАТАЛОЖНЫЕ ДАННЫЕ

Каталоги содержат все необходимые данные для выбора двигателей. В каталогах указываются: типоразмер двигателя, номинальная мощность, частота вращения, ток статора, к.п.д., коэффициент мощности, кратность пускового момента, кратность минимального момента, динамический момент инерции ротора.

4.1 ТИПОРАЗМЕР ДВИГАТЕЛЯ

Серия 4А является массовой серией асинхронных двигателей (АД), рассчитанных на применение в различных областях промышленности. Она захватывает диапазон номинальных мощностей от 0,06 до 400 кВт с высотой оси вращения от 50 до 355 мм. В серии 4А принята следующая система обозначений:

$$\frac{4A}{1}\ \frac{X}{2}\ \frac{X}{3}\ \frac{X}{4}\ \frac{X}{5}\ \frac{X}{6}\ \frac{X}{7}\ \frac{X}{8}\ \frac{X}{9}\ \frac{X}{10},$$

где 1 – название серии (4А);

2 – исполнение АД по поводу защиты: если буква Н – исполнение IP23, отсутствие буквы означает исполнение IP44;

3 – исполнение АД по материалу станины и щитов: если А – станина и щиты алюминиевые; если Х – станина алюминиевая, щиты чугунные или наоборот; отсутствие буквы – станина и щиты чугунные или стальные;

4 – высота оси вращения, мм (две или три цифры);

5 – установочный размер по длине станины: если S – меньший, если М – средний, если L – больший;

6 – длинна сердечника статора: если А – меньшая, если В – большая, отсутствие буквы означает, что при данном установочном размере (S, M или L) выполнятся только одна длина сердечника;

7 – число полюсов АД (одна или две цифры);

8 – модификация по конструкции и условиям окружающей среды: если Н – малошумные, если Б – со встроенной температурной защитой, если Е – с электромагнитным тормозом, если П – повышенной точностью к установочным размерам, если Ш – с подшипниками скольжения, если Ф – фреономаслостойкие, если Х – химостойкие, если СХ – сельскохозяйственные;

9 – климатическое исполнение: если У – для умеренного климата, если ХЛ – для холодного климата, если Т – для тропического, если О – для всех климатических районов на суше, если М – с умеренным холодным морским климатом; если ОМ – для любого района плавания;

10 – категория размещения: если 1 – на открытом воздухе, если 2 – в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха незначительны, если 3 – в закрытых помещениях с естественной вентиляцией, если 4 – в помещениях с искусственно регулируемым климатом, если 5 – в помещениях с повышенной влажностью.

Пример: 4АА56В4СХУ1 – асинхронный двигатель серии 4А со степенью защиты IP44, станина и щиты алюминиевые, высота оси вращения 56 мм, имеет длинный сердечник, четырехполюсный, сельскохозяйственная модификация по условиям окружающей среды для умеренного климата с работой на открытом воздухе.

4.2. НОМИНАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Режим работы, для которого машина предназначена предприятием-изготовителем, называется номинальным. Номинальные данные электрической машины, характеризующие номинальный режим ее работы, относятся к работе машины на высоте до 1 000 м над уровнем моря и при температуре газообразной охлаждающей среды до +40 °С и охлаждающей воды до +30 °С.

Номинальной мощностью двигателя называют полезную механическую мощность на валу. Стандартизированный ряд номинальных мощностей установлен ГОСТ 12139-84. Диапазон мощностей о от 0,00 001 до 10 000 кВт. Фрагмент стандартизированного ряда, имеющий наиболее широкое применение, имеет вид:…0,04; 0,06; 0,09; 0,12; 0,18; 0,25; 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3; 4; 5,5; 7,5; кВт.

Ряд синхронных частот вращения АД установлен ГОСТ 10683-73 и при частоте 50 Гц имеет следующие значения:…250; 300; 375; 500; 600; 750; 1 000; 1 500; 3 000; 4 000; 5 000; 6 000; 8 000; 10 000; 12 000…об/мин.

ГОСТ 23366-78 устанавливает следующие номинальные значения напряжений потребителей:…60; 110; 220; 380; 660…В. АД выполняются на номинальные напряжения и схемы соединения статорных обмоток согласно табл. 2.

Таблица 2

Мощность двигателя, кВт	Номинальное напряжение, В	Схема соединения	Число выводов
от0,06 до 0,37	220, 380	Δ,λ	3
от 0,55 до 11	220, 380, 660	Δ,λ	3

При колебаниях напряжения в пределах ±10% номинального значения двигатели могут нагружаться номинальной нагрузкой, однако необходимо иметь в виду следующее:

– при уменьшении напряжения увеличивается скольжение, уменьшается пусковой и максимальный моменты, пусковой ток;

– увеличивается температура обмоток и ток нагрузки;

– при увеличении напряжения увеличиваются пусковой и максимальный моменты пропорционально квадрату напряжения и уменьшаются скольжение и температура обмоток.

Начальный пусковой ток электродвигателя – это установившийся ток в обмотке электродвигателя при неподвижном роторе, номинально подведенном напряжении и номинальной частоте, при соответствующем соединении обмоток машины и номинальных условиях работы двигателя.

Начальный пусковой момент электродвигателя – вращающий момент электродвигателя, развиваемый при неподвижном роторе, установившемся токе, номинально подведенном напряжении и номинальной частоте.

Максимальный вращающий момент – наибольший момент вращения, развиваемый двигателем в установившемся режиме при номинальных напряжениях и частоте.

Минимальный вращающий момент – это наименьший вращающий момент, развиваемый АД с короткозамкнутым ротором в процессе разгона от неподвижного состояния до частоты вращения , соответствующей максимальному моменту при номинальных напряжении и частоте.

Критическое скольжение – скольжение, при котором асинхронная машина развивает максимальный вращающий момент.

Момент инерции является мерой инертности тела и влияет на динамические характеристики машины. Момент инерции ротора АД равен сумме моментов инерции вала, обмотки, сердечника, шпонки, вентилятора, вращающихся частей подшипников качения.

5. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ И СПОСОБ МОНТАЖА

Согласно ГОСТ 2479-79 электрические машины классифицируются по конструктивному исполнению и способу монтажа. Условное обозначение состоит из двух букв латинского алфавита IM и четырех цифр:

$$\text{IM}\ \frac{X}{1}\ \frac{X}{2}\ \frac{X}{3}\ \frac{X}{4}.$$

Первая цифра – конструктивное исполнение:

1 – на лапах с подшипниковыми щитами (с пристроенным редуктором);

2 – на лапах с фланцем на подшипниковом щите;

3 – без лап с подшипниковыми щитами, с цокольным фланцем;

4 – без лап с подшипниковыми щитами; с фланцем на станине;

5 – машины без подшипников;

6 – на лапах с подшипниковыми щитами и стояковыми подшипниками;

7 – машины со стояковыми подшипниками;

8 – с вертикальным валом, кроме групп от IM1 до IM4;

В каждой из восьми групп машины подразделяются в зависимости от способа монтажа (2-я и 3-я цифры в условном обозначении).

Четвертая цифра обозначает исполнение конца вала электрической машины:

0 – без конца вала;

1 – с одним цилиндрическим концом вала;

2 – с двумя цилиндрическими концами вала;

3 – с одним коническим концом;

4 – с двумя коническими концами;

5 – с одним фланцевым концом;

6 – с двумя фланцевыми концами;

7 – с фланцевым концом на одной стороне и цилиндрическим концом на другой стороне;

8 – прочие исполнения конца вала.

Пример условного обозначения электрической машины с двумя подшипниковыми щитами, на лапах, с горизонтальным валом и одним цилиндрическим концом вала: IM1001.

6. СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ

Под понятием «степень защиты электрических машин» подразумевается защита обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями, находящимися внутри машин, и защита от попадания внутрь твердых, посторонних тел и воды. По ГОСТ 14254-80 буквенно-цифровое обозначение состоит из латинских букв IP и двух цифр. Первая цифра характеризует степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими частями или вращающимися частями, находящимися внутри машины, а также степень защиты самой машины от попадания в нее твердых посторонних тел (табл.3).

Таблица 3

Первая цифра обозначения	Степень защиты
0	Специальная защита отсутствует
1	Защита от проникновения внутрь большого участка поверхности человеческого тела, например, руки, и от проникновения твердых тел размером более 50 мм
2	Защита от проникновения внутрь пальцев или предметов длиной не более 80 мм и от проникновения твердых тел размером свыше 12 мм
3	Защита от проникновения внутрь инструментов, проволоки диаметром или толщиной более 2,5 мм
4	Защита от проникновения внутрь проволоки и твердых тел более 1 мм
5	Проникновение внутрь пыли не предотвращено полностью, однако пыль не может проникать в количестве, достаточном для нарушения работы
6	Проникновение пыли предотвращено полностью

Вторая цифра – степень защиты от проникновения воды внутрь машины (табл.4).

.

Таблица 4

Вторая цифра обозначения	Степень защиты
0	Защита отсутствует
1	Защита от капель воды: капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия
2	Защита от капель воды: капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие при его наклоне на 15°
3	Защита от дождя: дождь, падающий на оболочку под углом до 60° от вертикали, не должен оказывать вредного воздействия
4	Защита от брызг: вода, разбрызгиваемая на оболочку, не должна оказывать вредного воздействия
5	Защита от водяных струй: струя воды не должна оказывать вредного воздействия на изделие
6	Защита от волн воды: вода при волне не должна попадать внутрь в количестве, достаточном для повреждения изделия
7	Защита при погружении в воду: вода не должна проникать в оболочку, погруженную в воду, при определенных условиях давления и времени
8	Защита при длительном погружении в воду

Кроме того, выпускаются машины для работы в особых условиях: морозостойкие, влагостойкие, химостойкие, тропические, взрывозащищенные.

Технические данные АД различных исполнений соответствуют техническим данным АД основного исполнения со степенью защиты IP44 или их модификаций.

7. СПОСОБ ОХЛАЖДЕНИЯ

Обозначение способов охлаждения устанавливает ГОСТ 20459-75.Способы охлаждения обозначаются двумя латинскими буквами IC и характеристикой цепи охлаждения. Каждая цепь охлаждения имеет характеристику, обозначаемую латинской буквой, указывающей на хладагент, и двумя цифрами. Первая цифра показывает возможность циркуляции хладагента, вторая – способ подвода энергии к хладагенту. Если хладагентом является воздух, то разрешается опускать букву.

В АД применяются следующие способы охлаждения: IC01 – двигатели со степенями защиты IP20, IP22, IP23 с вентилятором на валу двигателя;

IC05 – двигатели со степенями защиты IP20, IP22, IP23 с вентилятором, имеющим независимый привод;

IC0041 – двигатели со степенями защиты IP43, IP44, IP45 с естественным охлаждением.

IC0141 – двигатели со степенями защиты IP43, IP44, IP54 с наружным вентилятором на валу двигателя;

IC0541 – двигатели со степенями защиты IP43, IP44, IP54 с вентилятором, имеющим независимый привод.

8. НАГРЕВОСТОЙКОСТЬ СИСТЕМЫ ИЗОЛЯЦИИ

Изоляционные материалы, применяемые в электрических машинах, разделяются по нагревостойкости на классы по ГОСТ 8865-70. В зависимости от максимально допустимой температуры изоляционный материал подразделяется на классы (табл. 5).

Таблица 5

Класс нагревостойкости системы изоляции	Y	A	E	B	F	H	C
Температура, °С	90	105	120	130	155	180	>180

В настоящее время разработаны изоляционные материалы с допустимой температурой 220-240 °С, которые применяются в машинах специального назначения.

9. УРОВЕНЬ ШУМА И ВИБРАЦИЙ

В зависимости от требований к уровню шума электрические машины разделяются на четыре класса (ГОСТ 16372-84):

1 – машины без предъявления требований к уровню шума;

2 – машины с малошумными подшипниками и вентиляторами;

3 – машины с пониженным использованием активных материалов, закрытые, с подшипниками скольжения;

4 – машины со специальными звукоизолирующими кожухами.
В качестве иллюстрации уровня шума по классу 1 для электрических машин мощностью от 0,25 до 11 кВт со степенью защиты IP44 составляют 67-90 дБ. В соответствии с рекомендациями ГОСТ 16921-83 для двигателей общего назначения установлены следующие классы вибрации: h≤80 мм-1,1 мм/с, 80≤h≤132 мм - 1,8 мм/с, 132≤h<225-2,8 мм/с, h≥225мм-4,5мм/с. Для специальных и прецизионных приводов с особо жесткими требованиями по вибрации и надежности должны применяться электродвигатели, имеющие уровень вибрации на два класса ниже, чем у двигателей общего назначения.

10. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Для выбора электродвигателя необходимы следующие данные:

а) напряжение питающей сети по ГОСТ 23366-78;

б) частота питающей сети по ГОСТ 6697-83;

в) номинальная частота вращения $\omega_н$, рад/с;

г) передаточное отношение редуктора, I;

д) нагрузочная диаграмма рабочего механизма, заданная графически или в виде таблицы значений момента сопротивления Мск и угла поворота механизма $\alpha_к$ с интервалом не более 15°, т.е.

$$\alpha_k = \frac{360^\circ}{m} \le 15^\circ,$$

где к=1,2,3…,m;

е) момент инерции рабочего механизма, приведенный к коленчатому валу;

ж) условия хранения и эксплуатации ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70;

з) дополнительные требования, оговоренные техническими условиями или техническим заданием на криогенные и компрессорные машины.

Момент сопротивления задается на основании расчетов или экспериментальных данных, полученных при испытании аналогов или макетных образцов проектируемой машины с учетом индикаторной диаграммы, требования и моментов инерции частей, совершающих возвратно-поступательное движение.

10.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ

10.1.1. По заданным значениям момента сопротивления определить эквивалентный момент сопротивления, приведенный к валу двигателя

$$M_{эк} = \sqrt{\frac{1}{m \times i^2} \sum_{k=1}^{m} M^2{}_{ck}}\,. \qquad (1)$$

10.1.2. Определить эквивалентную мощность двигателя

$$P_{эк} = \frac{M_{эк} \times \omega_н}{10^3}\,. \qquad (2)$$

10.1.3. Выбрать из каталога электродвигатель, ближайший по мощности к значению $P_{эк}$, соответствующий требованиям п.п. 10а), 10б), 10в), 10ж), 10з).

10.1.4. Выбранный электродвигатель проверить на развиваемый момент при минимальном напряжении

$$M_{min} = \frac{P_н \times 10^3}{\omega_н} \times \frac{U_{min}^2}{U_н^2} \geq M_{эк}, \quad (3)$$

где M_{min}-минимальный момент, развиваемый электродвигателем при минимальном напряжении питания U_{min}, Н·м;

$U_н$-номинальное напряжение питания, В.

Если двигатель не удовлетворяет условию (3), следует выбрать двигатель ближайшей большей мощности и повторить расчет.

10.2. УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ

10.2.1. Определить электромеханическую постоянную времени:

$$T_м = \frac{\omega_0 (I_д + \frac{I_{мех}}{i^2})}{M_к}, \quad (4)$$

где ω_0-скорость холостого хода двигателя по каталожным данным, рад/с; $M_к$-критический момент двигателя, Н·м; $I_д$ и $I_{мех}$ – моменты инерции двигателя и механизма, кг·м^2.

10.2.2. Определить номинальное и критическое скольжения:

$$S = \frac{\omega_0 - \omega_н}{\omega_0}, \quad (5)$$

$$S_к = S_н(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (6)$$

где $\lambda = M_к/M_н$.

10.2.3. По формуле Клосса построить механическую характеристику двигателя:

$$M_д = \frac{2M_к}{\frac{S}{S_к} + \frac{S_к}{S}}. \quad (7)$$

10.2.4. Рассчитать значения моментов двигателя для углов поворота вала компрессора $\alpha_к = \frac{\omega_н}{i} \times t_к$, заданных в п.10д по формуле:

$$M_{дк} = \left[M_{ск} + \left(M_{ср} - M_{ск} \right) e^{-\frac{t_к}{T_н}} \right] \frac{1}{i}, \quad (8)$$

где $M_{ср}$ – средний момент сопротивления, определяемый как

$$M_{ср} = \frac{1}{m} \sum_{к=1}^{m} M_{ск}.$$

10.2.5. По механической характеристике определить значения $\omega_к$,, соответствующие значениям $M_{дк}$.

10.2.6. Определить значения мощности на валу двигателя:

$$P_{2к} = M_{дк} \cdot \omega_к. \quad (9)$$

10.2.7. Для значений моментов $M_{дк}$ определить токи двигателя по формуле

$$I_{дк} = \frac{P_{2к}}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \eta \cdot \cos\varphi}. \quad (10)$$

10.2.8. По полученным значениям $I_{дк}$ определить эквивалентный ток:

$$I_{эк} = \sqrt{\frac{1}{m} \cdot \sum_{k=1}^{m} I_{дк}^2}\ . \qquad (11)$$

10.2.9. Проверить двигатель по условиям нагрева: $I_{эк} \le I_{н.}$

10.2.10. Проверить двигатель на перегрузку:

$$M_{дmax} \le M_{к,}$$

где $M_{дmax}$ – максимальное значение момента двигателя, рассчитанное по формуле (8) или определенное из графика, $M_к$ – критический момент двигателя.

10.2.11. Если двигатель удовлетворяет условиям пп. 10.2.9 и 10.2.10, то двигатель выбран правильно. Если не удовлетворяет условиям пп. 10.2.9 и 10.2.10, выбрать двигатель большей мощности и повторить расчет по пп. 10.2.1-10.2.10.

10.2.12. . Основные параметры электродвигателей, рекомендуемые для выбора электропривода устройств холодильной техники, и пример выбора электродвигателя для двухступенчатого компрессора приведен в главе 11.

11. КАТАЛОЖНЫЕ ДАННЫЕ И ПРИМЕР ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

11.1 Исходные данные:

- напряжение и частота питающей сети

$$U = 380^{+38}_{-19}\,В, \qquad f = 50 \pm 2,5\,Гц;$$

- номинальная частота вращения двигателя

$n_н$= 910 об/мин;

- передаточное число редуктора

i=1;

- нагрузочная диаграмма двухступенчатого компрессора приведена в табл.10;
- момент инерции компрессора, приведенный к коленчатому валу

$I_{мех}$= $2 \cdot 10^{-4}$ кг·м^2;

- двигатель должен обеспечить длительную работу при давлении во внутренней полости 10 МПа в условиях окружающей среды: капель масла на основе пропиленгликоля относительной влажности до 95 %; воздействия температур от -40 °С до +40 °С при высоте над уровнем моря не более 1 000 м.

11.2. Выбор электродвигателя

11.2.1 Предварительный выбор электродвигателя

11.2.1.1 По заданным в табл.10 значениям момента сопротивления M_{c1}, M_{c2},…$M_{ск}$ определяем по формуле (1) эквивалентный момент, приведенный к валу двигателя:

$M_{эк}$= 3,41 Н·м.

11.2.1.2 Определяем угловую частоту вращения

$$\omega_н = \frac{n_н \pi}{30} = \frac{910 \cdot 3,14}{30} = 95 рад/с.$$

11.2.1.3 Определяем эквивалентную мощность двигателя по формуле (2)

$P_{эк}$= 0,32 кВт.

11.2.1.4 Выбираем асинхронный двигатель типа 4А71А6ХЛ5 с параметрами (см. табл. 9):

$P_н$= 0,37 кВт; $n_н$= 910 об/мин; cosφ= 0,69; $M_{min}/M_н$= 1,8;

$M_к/M_н$= 2,0; $I_п/I_н$ = 4,0; $M_п/M_н$= 2,0; η= 64,5 % ; J= $19{,}3 \cdot 10^{-4}$ кг·м^2.

Дополнительные буквы ХЛ после числа полюсов означают, что это двигатель влагоморозостойкого исполнения со специальной изоляцией и защитными покрытиями всех деталей исходя из условий эксплуатации.

11.2.1.5 Проверяем электродвигатель на развиваемый момент при минимальном напряжении:

$$M_{min} = \frac{0,37 \cdot 1000}{95} \cdot \frac{361^2}{380^2} = 3,59 Н \cdot м \quad .$$

$$3,59 > 3,41$$

Выбранный электродвигатель удовлетворяет условию п.10.1.4 и исходным данным, поэтому продолжаем расчет.

11.2.2 Уточненный расчет

11.2.2.1 Определяем минимальный и критический момент двигателя:

$$M = \frac{P_н \cdot 10^3}{\omega_н} = \frac{0,37 \cdot 10^3}{95} = 3,89 Н \cdot м; \qquad \frac{M_к}{M_н} = \lambda = 2,2 .$$

11.2.2.2 По формуле (4) определяем электромеханическую постоянную:

$$T_м = 2{,}5 \cdot 10^{-2} \text{ с}.$$

11.2.2.3 По формулам (5) и (6) определяем номинальное и критическое скольжения:

$$S_н = 0{,}9; \qquad S_к = 0{,}37.$$

11.2.2.4 Задаваясь значениями S (0; 0,05; 0,1; … $S_к$) по формуле Клосса (7), определяем ряд значений $M_д$ и частоты вращения ротора:

$$\omega = \omega_o(1-S).$$

Вычисления сводим в табл. 6. По данным табл.6 строим график рабочего участка механической характеристики $M_д = f(\omega)$ (см. рис.5).

Таблица 6

S	$\frac{S}{S_к}$,	$\frac{S_к}{S}$,	$\frac{S}{S_к}+\frac{S_к}{S}$, .	$M_д$, Н·м	1-S	n, об/мин	ω, $с^{-1}$
0	0	-	-	0	1	1000	104
0,05	0,135	7,400	7,535	2,270	0,95	950	98,8
0,10	0,270	3,703	3,973	4,309	0,90	900	93,6
0,15	0,405	2,466	2,871	5,963	0,85	850	88,4
0,20	0,540	1,852	2,392	7,157	0,80	800	83,2
0,25	0,675	1,481	2,156	7,940	0,75	750	78,0
0,30	0,810	1,234	2,044	8,375	0,70	700	72,8
0,35	0,945	1,058	2,003	8,547	0,65	650	67,6
0,37	1	1	2	8,560	0,63	630	65,5

11.2.2.5. По формуле (8) определяем значения моментов двигателя для углов поворота вала компрессора. Вычисления сводим в табл.7. По результатам вычислений строим график $M_д$= f(α) (рис.4).

Таблица 7

$\alpha_к$, ...°	T, c	$\frac{t}{T_м}$,	$e^{-t/T_м}$,	$M_с$, Н·м	($M_{ср}$-$M_с$), Н·м	$(M_{ср}-M_с)e^{-t/T_м}$ Н·м	$M_{дк}$,Н·м
0	0	0	1	0	2,51	2,51	2,51
15	0,0027	0,108	0,897	-0,54	3,05	2,73	2,19
30	0,0054	0,216	0,805	1,52	0,99	0,80	2,32
45	0,0082	0,328	0,720	2,17	0,34	0,24	2,41
60	0,0110	0,440	0,644	2,68	-0,17	-0,10	2,58
75	0,0130	0,520	0,594	3,26	-0,65	-0,44	2,82
90	0,0160	0,640	0,527	4,20	-1,69	-0,88	3,32
105	0,0190	0,760	0,467	5,90	-3,39	-1,56	4,34
120	0,0220	0,880	0,414	7,10	-4,59	-1,88	5,22
135	0,0240	0,960	0,382	5,80	-3,29	-1,25	4,55
150	0,0270	1,080	0,339	4,09	-1,58	-0,53	3,56
165	0,0300	1,200	0,301	2,17	0,34	0,10	2,27
180	0,0330	1,320	0,267	-0,14	2,65	0,71	0,57
195	0,0350	1,400	0,246	-1,0	3,51	0,86	-0,14
210	0,0380	1,520	0,218	0	2,51	0,54	0,54
225	0,0410	1,640	0,194	0,07	2,44	0,47	0,54
240	0,0440	1,760	0,172	0,14	2,37	0,42	0,56
255	0,0470	1,880	0,152	0,62	1,89	0,28	0,90
270	0,0490	1,960	0,141	1,81	0,70	0,09	1,90
285	0,0520	2,080	0,124	4,20	-1,69	-0,20	4,00
300	0,0550	2,200	0,111	6,02	-3,51	-0,38	5,64
315	0,0580	2,320	0,098	4,85	-2,34	-0,22	4,63
330	0,0610	2,440	0,087	3,33	-0,82	-0,07	3,26
345	0,0630	2,520	0,080	1,74	0,77	0,06	1,80

11.2.2.6. Для определения текущих значений мощности на валу электродвигателя (9) и тока статора (10) по механической характеристике (рис.5) находим значения$\omega_к$, соответствующие $M_{дк}$. Результаты сводим в табл.8.

11.2.2.7. По полученным значениям $I_{дк}$ по формуле (11) определяем эквивалентный ток: $I_{эк}$= 0,96 А.

11.2.2.8 Проверяем двигатель по условиям нагрева:

$$I_{эк} \le I_н \ , \ I_н = \frac{P_н}{\sqrt{3} \cdot U_н \eta \cdot \cos\varphi} \ ; \ I_н = 1{,}26 \text{ А}.$$

Откуда: 0,96 < 1,26.

11.2.2.9 Проверяем двигатель на перегрузку по моменту. Из графика $M_д$= f(α)

$$M_{д_{max}} = 7{,}25 Н \cdot м \ .$$

$M_к$=8,56Н.м.

7,25 < 8,56.

Выбранный двигатель удовлетворяет всем требованиям.

11.3. Полученные характеристики и справочные данные

Таблица 8

$M_{дк}$, Н·м	$\omega_к$, $с^{-1}$	$P_{2к}$, Вт	$I_{дк}$, А
2,51	98,2	246,50	0,84
2,19	99,0	216,81	0,76
2,32	98,5	228,52	0,78
2,41	98,3	236,90	0,80
2,58	97,9	152,58	0,86
2,82	97,7	175,51	0,94
3,32	96,2	319,38	1,09
4,34	93,4	405,35	1,38
5,22	80,9	422,29	1,44
4,55	92,7	421,78	1,43
3,56	95,5	339,98	1,16
2,27	98,8	224,27	0,76
0,57	102,8	58,59	0,20
-0,14	104.0	14,56	0,05
0,54	103,0	55,62	0,18
0,54	103,0	55,62	0,18
0,56	102,9	57,62	0,19
0,90	101,9	91,71	0,31
1,90	99,7	189,43	0,64
4,00	94,3	377,20	1,28
5,64	89,6	505,34	1,72
4,63	92,	428,73	1,46
3,26	96	315,24	1,07
1,80	100.0	180,00	0,61

Таблица 9

Технические данные асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором серии 4А основного исполнения (закрытые обдуваемые)

Тип двигателя	$P_н$, кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_к}{M_н}$	$\frac{M_п}{M_н}$	$\frac{M_{min}}{M_н}$	$\frac{I_п}{I_н}$	J, кг·м^2
		об/мин	η, %	cosφ					
		3000 об/мин (синхр)							
4А100 2У3	0,09	2740	60,0	0,70	2,2	2,0	1,8	4,0	$0,245 \cdot 10^{-4}$
4А112М2У3	0,12	2710	63,0	0,70	2,2	2,0	1,8	4,0	$0,268 \cdot 10^{-4}$
4А132М2У3	0,18	2800	66,0	0,76	2,2	2,0	1,5	4,0	$4,15 \cdot 10^{-4}$

Продолжение табл. 9

Тип двигателя	$P_н$, кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_к}{M_н}$	$\frac{M_п}{M_н}$	$\frac{M_{min}}{M_н}$	$\frac{I_п}{I_н}$	J, кг·м^2
		об/мин	η, %	cosφ					
4А160 2У3	0,25	2770	68,0	0,77	2,2	2,0	1,5	4,0	$4,65 \cdot 10^{-4}$
4А160М2У3	0,37	2750	70,0	0,86	2,2	2,0	1,5	4,5	$7,63 \cdot 10^{-4}$
4А180 2У3	0,55	2740	73,0	0,86	2,2	2,0	1,5	4,5	$9 \cdot 10^{-4}$
4А180М2У3	0,75	2840	77,0	0,87	2,2	2,0	1,5	5,5	$9,75 \cdot 10^{-4}$
4АА50А2У3	1,1	2810	77,5	0,87	2,2	2,0	1,5	5,5	$10,5 \cdot 10^{-4}$
4АА50В2У3	1,5	2850	81,0	0,85	2,6	2,1	1,4	6,5	$18,3 \cdot 10^{-4}$
4АА56А2У3	2,2	2850	83,0	0,87	2,6	2,1	1,4	6,5	$21,3 \cdot 10^{-4}$
4АА56В2У3	3,0	2840	84,5	0,88	2,5	2,1	1,6	6,5	$35,3 \cdot 10^{-4}$
4АА63А2У3	4,0	2880	86,5	0,89	2,5	2,0	1,6	7,5	$59,3 \cdot 10^{-4}$
4АА63В2У3	5,5	2880	87,5	0,91	2,5	2,0	1,6	7,5	$75 \cdot 10^{-4}$
4А71А2У3	7,5	2900	87,5	0,88	2,8	2,0	1,8	7,5	$1,0 \cdot 10^{-2}$
4А71В2У3	11,0	2990	88,0	0,90	2,8	1,7	1,5	7,5	$2,25 \cdot 10^{-2}$
4А80А2У3	15,0	2940	88,0	0,91	2,2	1,4	1,0	7,0	$4,75 \cdot 10^{-2}$
4А80А2У3	18,5	2940	88,5	0,92	2,2	1,4	1,0	7,0	$5,25 \cdot 10^{-2}$
4А90 2У3	22,0	2940	88,5	0,91	2,5	1,4	1,1	7,5	$7,0 \cdot 10^{-2}$
4А100 2У3	30,0	2945	90,5	0,90	2,5	1,4	1,1	7,5	$8,5 \cdot 10^{-2}$
4А200М2У3	37,0	2945	90,0	0,89	2,5	1,4	1,0	7,5	$14,5 \cdot 10^{-2}$
4А200 2У3	45,0	2945	91,0	0,90	2,5	1,4	1,0	7,5	$16,8 \cdot 10^{-2}$
4А225М2У3	55,0	2945	91,0	0,92	2,5	1,2	1,2	7,5	$25 \cdot 10^{-2}$
4А250 2У3	75,0	2960	91,0	0,89	2,5	1,2	1,0	7,5	$46,5 \cdot 10^{-2}$
4А250М2У3	90,0	2960	92,0	0,90	2,5	1,2	1,0	7,5	$52 \cdot 10^{-2}$
		1500 об/мин (синх.)							
4АА50А4У3	0,06	1380	50,0	0,60	2	2,0	1,7	2,5	$0,29 \cdot 10^{-4}$
4АА50В4У3	0,09	1370	55,0	0,60	2,2	2,0	1,7	2,5	$0,325 \cdot 1^{-4}$
4АА56А4У3	0,12	1375	63,0	0,66	2,2	2,1	1,5	3,5	$7,0 \cdot 10^{-4}$
4АА56В4У3	0,18	1365	64,0	0,64	2,2	2,1	1,5	3,5	$7,88 \cdot 10^{-4}$
4АА63А4У3	0,25	1380	68,0	0,65	2,2	2,0	1,5	4,0	$12,4 \cdot 10^{-4}$
4АА63В4У3	0,37	1365	68,0	0,69	2,2	2,0	1,5	4,0	$13 \cdot 10^{-4}$
4А71А4У3	0,55	1390	70,5	0,70	2,2	2,0	1,8	4,5	$13,8 \cdot 10^{-4}$
4А71В4У3	0,75	1390	72,0	0,73	2,2	2,0	1,8	4,5	$14,3 \cdot 10^{-4}$
4А80А4У3	1,1	1420	75,0	0,81	2,2	2,0	1,6	5,0	$32,3 \cdot 10^{-4}$
4А80В4У3	1,5	1415	77,0	0,83	2,2	2,0	1,6	5,0	$33,3 \cdot 10^{-4}$
4А90 4У3	2,2	1425	80,0	0,83	2,4	2,1	1,6	6,0	$56 \cdot 10^{-4}$
4А100 4У3	3,0	1435	82,0	0,83	2,4	2,0	1,6	6,0	$86,8 \cdot 10^{-4}$
4А100 4У3	4,0	1430	84,0	0,84	2,4	2,0	1,6	6,0	$1,13 \cdot 10^{-2}$
4А112М4У3	5,5	1445	85,5	0,85	2,2	2,0	1,7	7,0	$1,75 \cdot 10^{-2}$
4А132 4У3	7,5	1455	87,5	0,86	3,0	2,2	1,7	7,5	$2,75 \cdot 10^{-2}$
4А132М4У3	11,0	1460	87,5	0,87	3,0	2,2	1,0	7,5	$4 \cdot 10^{-2}$
4А160 4У3	15,0	1465	88,5	0,88	2,3	1,4	1,0	7,0	$10,3 \cdot 10^{-2}$
4А160М4У3	18,5	1465	89,5	0,88	2,3	1,4	1,0	7,0	$12,8 \cdot 10^{-2}$

Продолжение табл. 9

Тип двигателя	$P_н$, кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_к}{M_н}$	$\frac{M_п}{M_н}$	$\frac{M_{min}}{M_н}$	$\frac{I_п}{I_н}$	J, кг·м^2
		об/мин	η, %	cosφ					
4А180 4УЗ	22,0	1470	90,0	0,90	2,3	1,4	1,0	6,5	$19 \cdot 10^{-2}$
4А180М4УЗ	30,0	1470	91,0	0,90	2,3	1,4	1,0	6,5	$23,3 \cdot 10^{-2}$
4А200М4УЗ	37,0	1475	91,0	0,90	2,5	1,4	1,0	7,0	$36,8 \cdot 10^{-2}$
4А200 4УЗ	45,0	1475	92,0	0,90	2,5	1,4	1,0	7,0	$44,5 \cdot 10^{-2}$
4А225М4УЗ	55,0	1480	92,5	0,90	2,5	1,3	1,0	7,0	$64 \cdot 10^{-2}$
4А250 4УЗ	74.0	1480	93,0	0,90	2,3	1,2	1,0	7,0	1,02
4А250М4УЗ	90,0	1480	93,0	0,91	2,3	1,2	1,0	7,0	1,17
		1000 об/мин. (синхр.)							
4АА63А6УЗ	0,18	885	56,0	0,62	2,2	2,2	1,5	3,0	$17,4 \cdot 10^{-4}$
4АА63В6УЗ	0,25	890	59,0	0,62	2,2	2,2	1,5	3,0	$19 \cdot 10^{-4}$
4А71А6УЗ	0,37	910	64,5	0,69	2,0	2,0	1,8	4,0	$19,3 \cdot 10^{-4}$
4А71В6УЗ	0,55	900	67,5	0,71	2,2	2,0	1,8	4,0	$20,3 \cdot 10^{-4}$
4А80А6УЗ	0,75	915	69,0	0,74	2,2	2,0	1,6	4,0	$46 \cdot 10^{-4}$
4А80В6УЗ	1,1	920	74,0	0,74	2,2	2,0	1,6	4,0	$46,3 \cdot 10^{-4}$
4А90 6УЗ	1,5	935	75,0	0,74	2,2	2,0	1,7	4,5	$73,5 \cdot 10^{-4}$
4А100 6УЗ	2,2	950	81,0	0,73	2,2	2,0	1,6	5,0	$1,31 \cdot 10^{-2}$
4А112МА63	3,0	955	81,0	0,76	2,5	2,0	1,8	6,0	$1,75 \cdot 10^{-2}$
4А11МВ6УЗ	4,0	950	82,0	0,81	2,5	2,0	1,8	6,0	$2,0 \cdot 10^{-2}$
4А132 6УЗ	5,5	965	85,0	0,80	2,5	2,0	1,8	6,0	$4,0 \cdot 10^{-2}$
4А132М6УЗ	7,5	970	85,5	0,81	2,5	2,0	1,0	6,5	$5,75 \cdot 10^{-2}$
4А160 6УЗ	11,0	975	86,0	0,86	2,0	1,2	1,0	6,0	$13,8 \cdot 10^{-2}$
4А160М6УЗ	15,0	975	87,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,0	$18,3 \cdot 10^{-2}$
4А180М6УЗ	18,5	975	88,0	0,87	2,0	1,2	1,0	5,0	$22,0 \cdot 10^{-2}$
4А200М6УЗ	22,0	975	90,0	0,90	2,4	1,3	1,0	6,5	$40 \cdot 10^{-2}$
4А200 6УЗ	30,0	980	90,5	0,90	2,4	1,3	1,0	6,5	$45,3 \cdot 10^{-2}$
4А22 М6УЗ	37,0	980	91,0	0,89	2,3	1,2	1,0	6,5	$73,8 \cdot 10^{-2}$
4А250 6УЗ	45,0	985	91,5	0,89	2,1	1,2	1,0	6,5	1,16
4А250М6УЗ	55,0	985	91,5	0,89	2,1	1,2	1,0	6,5	1,26
4А280 6УЗ	75,0	985	92,0	0,89	2,2	1,4	1,0	5,5	2,93
4А280М6УЗ	90,0	985	92,5	0,89	2,2	1,4	1,2	5,5	3,38
		750 об/мин. (синхр.)							
4А71В8УЗ	0,25	680	56,0	0,65	1,7	1,6	1,2	3,0	$18,5 \cdot 10^{-4}$
4А80А8УЗ	0,37	675	61,5	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5	$33,8 \cdot 10^{-4}$
4А80В8УЗ	0,55	700	64,0	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5	$40,5 \cdot 10^{-4}$
4А90 А8УЗ	0,75	700	68,0	0,62	1,9	1,6	1,2	3,5	$67,5 \cdot 10^{-4}$

Окончание табл. 9

Тип двигателя	$P_н$, кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_к}{M_н}$	$\frac{M_п}{M_н}$	$\frac{M_{min}}{M_н}$	$\frac{I_п}{I_н}$	J, кг·м^2
		об/мин	η, %	cosφ					
4А90 В8УЗ	1,1	700	70,0	0,68	1,9	1,6	1,2	3,5	$86,3 \cdot 10^{-4}$
4А100 8УЗ	1,5	700	74,0	0,65	1,9	1,6	1,2	4,0	$1,3 \cdot 10^{-2}$
4А112МА8З	2,2	700	76,5	0,71	2,2	1,9	1,4	5,0	$1,75 \cdot 10^{-2}$
4А11МВ8У	3,0	700	79,0	0,74	2,2	1,9	1,4	5,0	$2,5 \cdot 10^{-2}$
4А132 8УЗ	4,0	720	83,0	0,70	2,6	1,9	1,4	5,5	$4,25 \cdot 10^{-2}$
4А132М8УЗ	5,5	720	83,0	0,74	2,6	1,9	1,4	5,5	$5,75 \cdot 10^{-2}$
4А160 8УЗ	7,5	730	86,0	0,75	2,2	1,4	1,0	6,0	$13,8 \cdot 10^{-2}$
4А160М8УЗ	11,0	730	87,0	0,75	2,2	1,4	1,0	6,0	$18 \cdot 10^{-2}$
4А180М8УЗ	15,0	730	87,0	0,82	2,0	1,2	1,0	6,0	$25 \cdot 10^{-2}$
4А200М8УЗ	18,5	735	88,5	0,84	2,2	1,2	1,0	5,5	$40 \cdot 10^{-2}$
4А200 8УЗ	22,0	730	88,5	0,84	2,0	1,2	1,0	5,5	$45,3 \cdot 10^{-2}$
4А225М8УЗ	30,0	735	90,0	0,81	2,1	1,3	1,0	6,0	$73,8 \cdot 10^{-2}$
4А250 8УЗ	37,0	735	90,0	0,83	2,0	1,2	1,0	6,0	1,16
4А250М8УЗ	45,0	740	91,0	0,84	2,0	1,2	1,0	6,0	1,36
4А280 8УЗ	55,0	735	92,0	0,84	2,0	1,2	1,0	5,5	3,18
4А280М8УЗ	75,0	735	92,5	0,85	2,0	1,2	1,0	5,5	4,13
4А315 8УЗ	90,0	740	93,0	0,85	2,3	1,2	1,0	6,5	4,93

Таблица 10

Нагрузочная диаграмма двухступенчатого компрессора

Значения К	Угол поворота вала механизма $\alpha_к$, …°	Момент сопротивления $M_{ск}$, Н·м
1	0	0
2	15	-0,54
3	30	1,52
4	45	2,17
5	60	2,68
6	75	3,26
7	90	4,20
8	105	5,90
9	120	7,10
10	135	5,80
11	150	4,09
12	165	2,17
13	180	0,14
14	195	-1,0
15	210	0
16	225	0,07
17	240	0,14

Окончание табл. 10

Значения К	Угол поворота вала механизма $\alpha_к$, …°	Момент сопротивления $M_{ск}$, Н·м
18	255	0,62
19	270	1,81
20	285	4,20
21	300	6,02
22	315	4,85
23	330	3,33
24	345	1,74

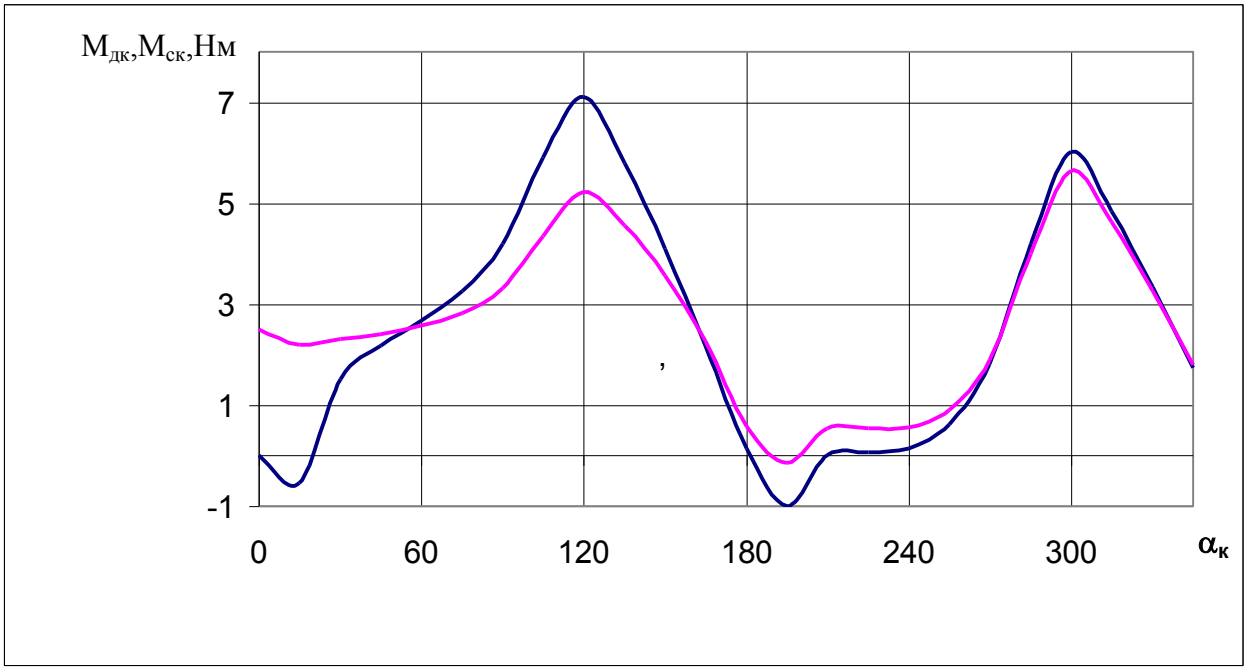

Рис. 4. График изменения момента от угла поворота
1 – момент сопротивления; 2 – момент, развиваемый электродвигателем

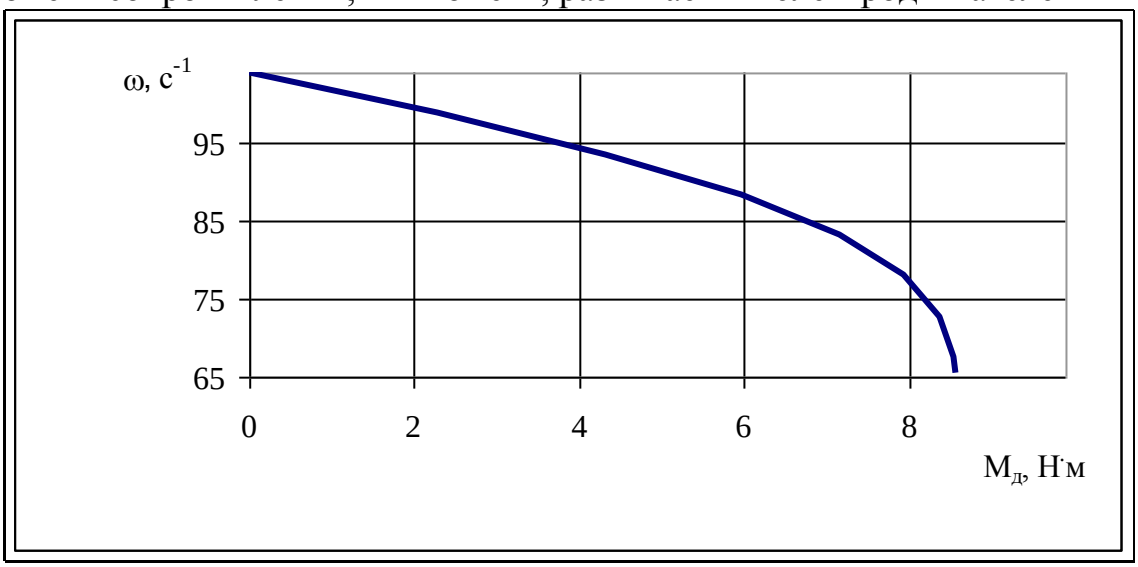

Рис. 5. Рабочий участок механической характеристики электродвигателя 4А71А6ХЛ5

ЗАДАНИЕ

на контрольную работу

Выбрать асинхронный электродвигатель для привода поршневого компрессора.

Условия работы: на открытом воздухе, влажность до 90 %, перепад температур от -20 °С до +20 °С, высота над уровнем моря до 1 000 м. Момент сопротивления, приведенный к валу компрессора показан на рис. 6, остальные исходные данные - в задании.

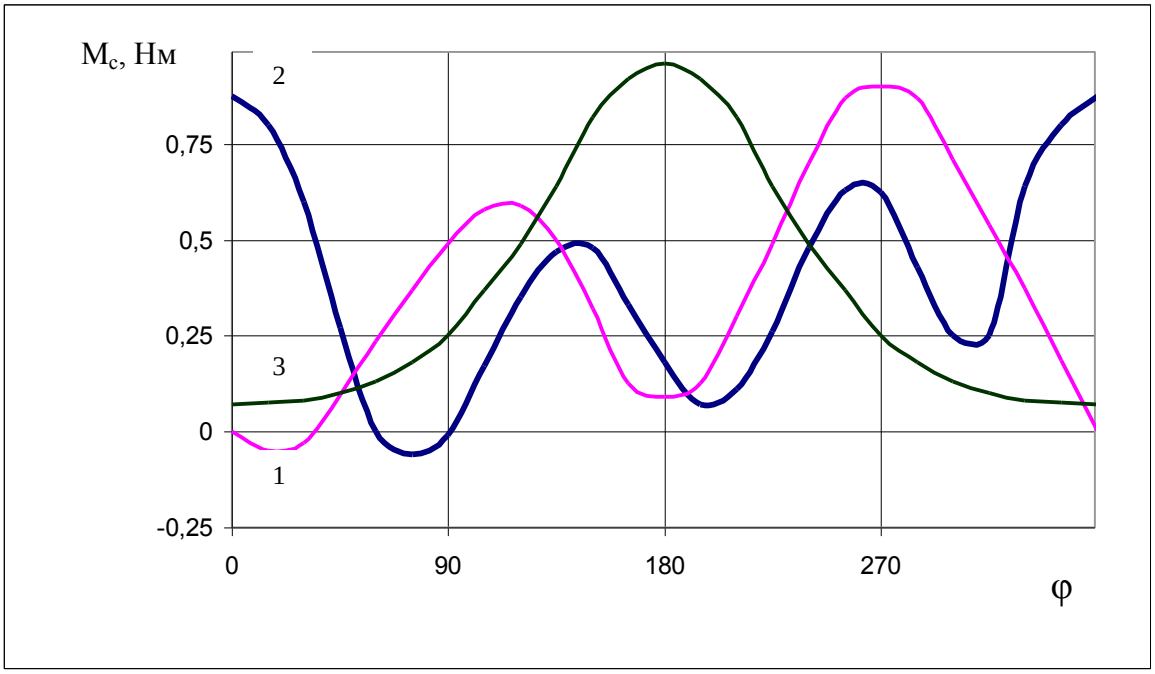

Рис. 6.

Библиографический список

1. Грезин А. К., Зиновьев В. С. Микрокриогенная техника. – М.: Машиностроение, 1977 – 232 с.
2. Кравчик А. Э. Выбор и применение асинхронных двигателей. М.: Энергоатомиздат, 1987. – 96 с.
3. Справочник по электрическим машинам / Под общ. ред. И. П. Копылова, Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. Т.1. – 456 с.
4. Электромеханический справочник / Под. общ. ред. И. Н. Орлова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. Т.2. -712 с.