ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. Т.Г. Шевченко

Инженерно-технический институт

Кафедра Электроэнергетики и электротехники

Технический колледж им. Ю.А. Гагарина

Кафедра Электротехнологического оборудования

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Учебно- методическое пособие

Тирасполь

2015

УДК 621.313
ББК 31.7

Составители: Т.И. Боровик, зав. каф. ЭТО
В.А. Лелин, ст. преп. Каф. ЭТО
Н.К. Лелина, спец. каф. ЭЭиЭТ

Рецензенты:
В.М. Погорлецкий, к.ф-м.н., доцент
(Приднестровский государственный университет);
Н.Д. Шишкин, главный инженер
(ИДОО «Монтажавтоматика»);

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: Учебно-методическое пособие/
Сост.: Т.И.Боровик, В.А.Лелин, Н.К.Лелина. Тирасполь, 2015. – 76 с.

.

Методические указания предназначены для расчета и выбора оборудования для различных электроустановок промышленных предприятий. Рассмотрены вопросы расчетов нагревателей для различных электропечей и расчетов двигателей к механизмам различных приводов.

Методические указания предназначены для студентов института дневной и заочной форм обучения по направлению 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» и студентов колледжа специальности 140212.51 "Электроснабжение".

Рекомендовано Научно-методическим советом
УДК 621.313 ББК 31.7 ПГУ им. Т.Г.Шевченко

© Т.И.Боровик, В.А.Лелин, Н.К.Лелина, составление, 2015

1. Электрооборудование установок электронагрева

1.1. Общие сведения об электротермических установках

Электронагрев широко применяется на предприятиях электромашиностроения при производстве фасонного литья из металлов и сплавов, нагрева заготовок перед обработкой давлением, термической обработки деталей и узлов электрических машин, сушки изоляционных материалов и т. д.

Электротермической установкой (ЭТУ) называют комплекс, состоящий из электротермического оборудования (электрической печи или электротермического устройства, в которых электрическая энергия преобразуется в тепловую), и электрического, механического и другого оборудования, обеспечивающего осуществление рабочего процесса в установке.

Электротермическое оборудование весьма разнообразно по принципу действия, конструкции и назначению. В наиболее общей форме все электрические печи и электротермические устройства можно разделить по назначению на *плавильные печи* для выплавки или перегрева расплавленных металлов и сплавов и *термические* (нагревательные) *печи и устройства* для термообработки изделий из металла, нагрева материалов под пластическую деформацию, сушки изделий и т. д. По способу преобразования электрической энергии в тепловую различают, в частности, печи и устройства сопротивления, дуговые печи, индукционные печи и устройства.

В электропечах и электротермических устройствах сопротивления используется выделение тепла электрическим током при прохождении его через твердые и жидкие тела. Электропечи этого вида преимущественно выполняются как печи косвенного нагрева. Превращение электроэнергии в тепло в них происходит в твердых нагревательных элементах, от которых тепло путем излучения, конвекции и теплопроводности передается нагреваемому телу, либо в жидком теплоносителе — расплавленной соли, в которую погружается нагрева-

емое тело, и тепло передается ему путем конвекции и теплопроводности. Печи сопротивления — самый распространенный и многообразный вид электропечей.

1.2 Конструктивное исполнение печей сопротивления

На конструкцию печей сопротивления существенно влияют характер работы и особенности загрузки и выгрузки нагреваемых материалов, а также температурные условия, наличие или отсутствие искусственной атмосферы в рабочем пространстве печи.

По способу загрузки и характеру работы во времени различают печи периодического (садочные) и непрерывного (методические) действия. В печи периодического действия после загрузки нагреваемое тело не изменяет своего положения в течение всего времени тепловой обработки, т. е. до момента выгрузки. В печи непрерывного действия нагреваемые изделия загружаются с одного конца печи, постепенно перемещаются по ее длине, прогреваясь до заданной температуры, и выдаются с другого конца печи. Такие печи используются, в частности, в автоматических технологических линиях.

На рис. 1-1 схематично показаны некоторые основные типы конструкций термических печей сопротивления: садочных (рис. 1-1, а - *д)* и методических (рис. 1-1, *е* - *и).*

Камерная печь (рис. 1-1, а) среди печей периодического действия является простейшей и в то же время универсальной. Ее корпус *2* прямоугольной формы выполнен в виде камеры с огнеупорной и теплозащитной футеровкой, помещенной в металлический кожух. Печь загружается и выгружается через отверстие в передней стенке, закрываемое дверцей 1. Малые печи для удобства загрузки устанавливаются на ножках, большие печи — непосредственно на полу. Нагревательные элементы 3 располагаются в поду и на боковых стенках печи, реже на ее своде (у очень крупных печей и на задней стенке печи и на дверце). Подовые нагревательные элементы перекрываются жароупорными плитами, на которых укладываются изделия. Дверцы печей обычно выполняются подъемными,

у малых печей — с ручным или ножным приводом, у более крупных — с электроприводом.

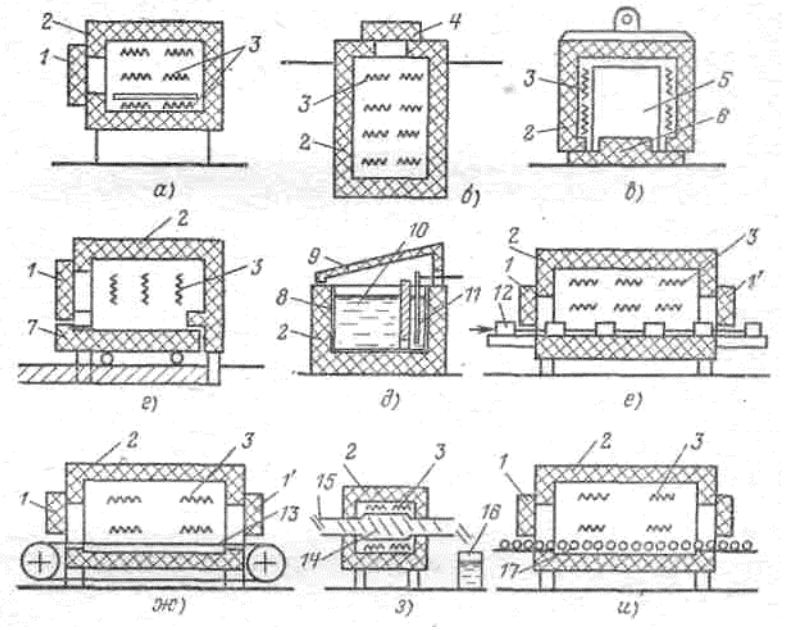


Рис. 1.1 Схемы электропечей сопротивления

Шахтная печь (рис. 1-1,6) представляет собой круглую, квадратную или прямоугольную шахту. Корпус печи 2 заглублен в землю и перекрывается сверху крышкой 4 с затвором и электроприводом. Нагревательные элементы 3 подвешиваются на боковых стенках печи. В таких печах производится термообработка, например, длинных валов. Некоторые шахтные печи имеют две — три тепловые зоны для обеспечения равномерности нагрева изделий большой длины.

В *колпаковой печи* (рис. 1-1, в) съемный корпус 2 (колпак) цилиндрической или прямоугольной формы с нагревательными элементами 3 на боковых стенках и жароупорный муфель,5 устанавливаются краном. Загрузка помещается также при помощи крана на стенд — под *6* печи (при поднятых колпаке и муфеле). Питание нагревательных элементов осу-

ществляется при помощи гибких кабелей и электрических соединителей (штепсельных разъемов). Обычно одним колпаком обслуживаются несколько стендов. По окончании нагрева колпак отключается и краном переносится на соседний стенд, где уже установлена очередная загрузка. Остывание загрузки происходит под муфелем.

Печь с выдвижным подом (рис. 1-1, г) является разновидностью камерной печи. Ее применяют для термообработки и отжига очень крупных изделий. Здесь камера 2 не имеет дна и стоит на колоннах, а выдвижной под 7 смонтирован на тележке с электроприводом катков или с лебедкой. Для загрузки и разгрузки открывается дверца и тележка выезжает из-под камеры. Расположение нагревательных элементов такое же, как и в обычной камерной печи.

Соляная электродная ванна (рис. 1-1, *д*) представляет собой металлическую или керамическую ванну 8, наполненную солью 10, в которую опущены электронагреватели (электроды) 11. Часть ванны, в которой находятся электронагреватели, отделена от рабочей части перегородкой. Ванна помещена в корпус 2 и прикрыта сверху зонтом 9. Для пуска ванны (разогрева соли) используется специальный погружной электронагреватель. Соляные ванны обеспечивают быстрый и равномерный разогрев изделий, помещаемых в расплавленную соль. Они применяются, в частности, для нагрева под закалку и отпуск инструментов.

Печи непрерывного действия характерны наличием транспортирующего механизма, который может быть выполнен различными способами.

В *толкательной печи* (рис. 1-1, *е),* которая имеет длинную прямоугольную камеру 2 с нагревателями 3, изделия на поддонах 12 или без них периодически проталкиваются по направляющим или роликам пода печи с помощью находящегося перед загрузочной дверцей 1 механизма толкателя с электро- или гидроприводом. На время проталкивания загрузочная 1 и разгрузочная 1' дверцы печи открываются. Достоинства толкательной печи в первую очередь определяются

надежностью работы, поскольку механизм толкателя находится вне печи, а также возможностью обработки изделий большой массы.

Конвейерная печь (рис. 1-1, *ж*) представляет собой длинную камеру 2 с нагревателями 3 и дверцами 1 и 1'. Транспортирующий механизм печи — цепной конвейер 13, бесконечное полотно которого состоит из плетеной металлической сетки или ценных звеньев. Конвейерная цепь натянута между ведущим и ведомым барабанами и приводится в движение электроприводом через передаточный механизм и ведущий барабан. Барабаны могут располагаться внутри печи или вне ее. В первом случае меньше потери тепла, во втором повышается надежность работы печи, упрощается ее загрузка и выгрузка.

Барабанная печь (рис. 1-1, з) имеет в камере 2 с нагревателями 3 жароупорный барабан (муфель) 14 с архимедовой спиралью. При вращении барабана с помощью электропривода изделия перекатываются в барабане, постепенно перемещаясь от загрузочного устройства 15 к месту разгрузки. Такие печи применяются, например, для закалки мелких деталей, не имеющих острых кромок. Тогда из разгрузочного конца барабана детали поступают в закалочный бак 16.

Рольганговая печь (рис. 14, *и)* наиболее универсальна. В ее длинной камере 2 с нагревателями *3* и дверцами 1 и 1' можно обрабатывать изделия разнообразных форм и размеров. В зависимости от размеров и конфигурации изделий последние перемещаются по рольгангу 17 печи непосредственно или в поддонах. Привод рольганга — электромеханический регулируемый, весь механизм привода, кроме роликов, вынесен из печи. Рольганговые печи могут работать в непрерывном и в периодическом режиме; они используются не только для разнообразных операций термообработки, но и для нагрева заготовок перед пластической деформацией. Часто рольганговые печи выполняются с несколькими самостоятельными зонами нагрева и охлаждения (несколько температурных зон могут иметь и другие методические печи). По сравнению с толка-

тельными печами таких же типоразмеров и мощности рольганговые имеют лучшие технико-экономические показатели: производительность их выше, а удельный расход электроэнергии меньше. Кроме того, сокращается площадь, занимаемая печью, и уменьшается расход конструкционных жаропрочных материалов при изготовлении печи. Рольганговые печи по сравнению с конвейерными более надежны в работе.

Печи непрерывного действия особенно удобны для работы в поточных технологических линиях с металлообрабатывающими станками и другими агрегатами и устройствами.

Плавильные электропечи сопротивления для легкоплавких металлов (олово, цинк и т. п.) представляют собой стальную литую или сварную ванну либо котелок, помещенные в футеровку. Нагревательные элементы обычно укладываются в футеровке. В некоторых случаях трубчатые нагревательные элементы опускаются непосредственно в ванну. Крупные печи снабжаются механизмом наклона для разлива металла. Для плавления алюминия при фасонном литье применяют также камерные печи емкостью до 250 кг, в которых металл расплавляется непосредственно в футеровке ванны.

В ряде процессов термообработки нагрев металлов в воздушной среде нежелателен или даже недопустим из-за окисления металла или его обезуглероживания (у сталей). Для таких процессов применяют электропечи с защитной атмосферой, создаваемой путем введения в рабочее пространство смеси газов (азота и водорода), промышленных газов, естественного или городского газа и др. В конструкциях печей с защитной атмосферой предусматриваются меры по герметизации печи или уменьшению потерь газа. Иногда применяют пламенную завесу, сжигая газ, вытекающий через щель у порогов загрузочного и разгрузочного окон. Некоторые процессы термохимической обработки поверхности изделий, например цементация или азотирование, требуют специальной атмосферы. Печи в этом случае должны быть герметичными, так же как и печи для плавки металлов в вакууме.

По рабочей температуре печи сопротивления разделяют на низкотемпературные (до 600—700° С), среднетемпературные (от 600—700 до 1200—1250° С) и высокотемпературные (от 1250 до 2500° С). Температурные условия также накладывают отпечаток на конструкцию печи, нагревательных элементов, вспомогательных механизмов и на применяемые для них материалы. В низкотемпературных печах, в которых значительная часть тепла передается конвекцией, для улучшения условий нагрева часто применяется принудительная вентиляция печной атмосферы. Некоторые конструкции термических печей сопротивления показаны на рис. 1.2 - 1.4.

Среднетемпературная - серийная камерная печь (рис. 1.2) имеет камеру, образованную огнеупорной футеровкой 5 и теплоизоляцией в кожухе 4 из листовой и профилированной стали. На своде, боковых стенках и в поду расположены нагревательные элементы 3 в виде зигзагов или спиралей. Подовые нагревательные элементы перекрыты жароупорными плитами 6, на которые укладываются нагреваемые изделия. Дверца 1 печи имеет механизм подъема 2 с электроприводом. Печь снабжена устройством пламенной завесы 7. В камеру печи подается защитный газ.

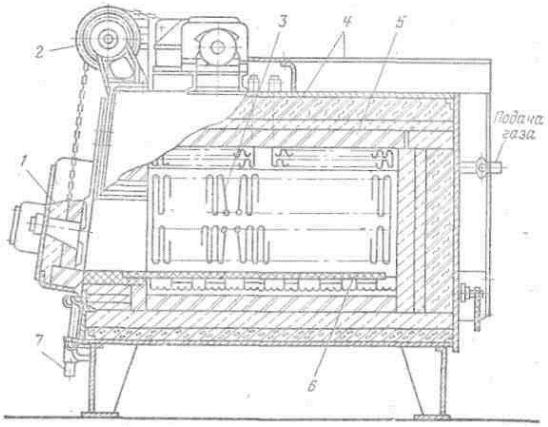


Рис. 1.2. Среднетемпературная камерная печь

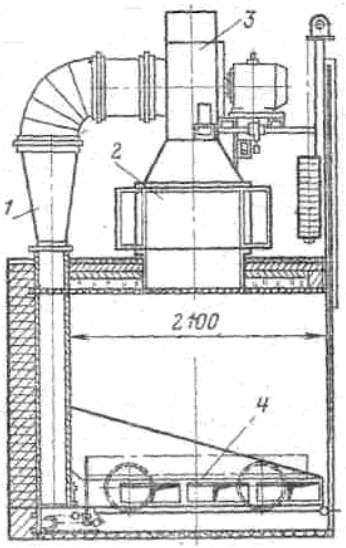


Рис. 1.3 Сушильная камерная печь

На рис. 1.3 показана низкотемпературная конвекционная сушильная печь, широко применяемая для сушки роторов, статоров и якорей электрических машин до и после пропитки кремнийорганическим лаком. В ней может производиться также сушка изделий после окраски. Печь обогревается воздухом, проходящим, через электрокалорифер 2, в котором помещены нагревательные элементы, и рассчитана на температуру 200° С. Воздух прогоняется через калорифер вентилятором 3, нагревается и, омывая изделия, находящиеся в камере печи на тележке 4, отдает им свое тепло. Охлажденный воздух засасываетсятем же вентилятором в циркуляционный воздухопровод 1 через окна, расположенные по нижнему периметру камеры, и вновь поступает в калорифер. Таким образом, печь имеет замкнутый цикл циркуляции воздуха.

На рис. 1.4 изображена рольганговая печь для совмещенного процесса отжига и оксидирования листов магнитопроводов электрических машин. Печь представляет собой крупный аг-

регат, состоящий из ряда камер и узлов. Листы статора и ротора набираются на оправки, установленные в поддонах 1. Поддоны передвигаются по всем камерам при помощи нескольких секций рольгангов 3 со своими электроприводами 8. В камере обжига 2 при 300—320° С производится удаление остатков масла с поверхности листов после штамповки. Камеры нагрева 4 до 900°С (отжиг) и охлаждения 5 до 650—550°С работают с защитной атмосферой. Охлаждение листов магнитопровода осуществляется воздушными охлаждающими трубами и за счет потерь через облегченную футеровку. Одновременно камера 5 оборудована нагревательными элементами.

Камеры нагрева и охлаждения оснащены вентиляторами - мешалками, располагаемыми на секциях свода. В последующей камере охлаждения 6 в воздушной среде до 550-400°С осуществляется оксидирование листов. Камера также имеет нагревательные элементы и вентиляторы. Охлаждение листов происходит за счет потерь через футеровку. В камере ускоренного охлаждения 7 листы при помощи вентиляторов обдуваются воздухом из цеха, а стенки камеры охлаждаются водой.

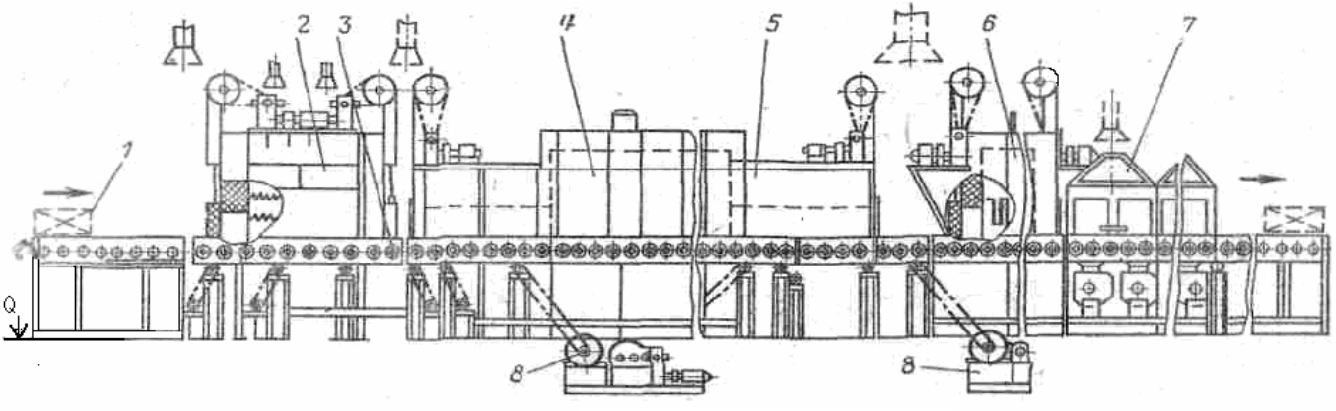


Рис. 1.4 Многокамерная рольганговая печь

1.3. Требования к нагревателям
Основные требования к нагревателям (материалам нагревателей):

1. Нагреватели должны обладать достаточной жаростойкостью (окалиностойкостью) и жаропрочностью. Жаропрочность - механическая прочность при высоких температурах. Жаростойкость - сопротивление металлов и сплавов газовой коррозии при высоких температурах
2. Нагреватель в электропечи должен быть сделан из материала, обладающего высоким удельным электрическим сопротивлением. Говоря простым языком, чем выше электрическое сопротивление материала, тем сильнее он нагревается. Следовательно, если взять материал с меньшим сопротивлением, то потребуется нагреватель большей длины и с меньшей площадью поперечного сечения. Не всегда в печи может быть размещен достаточно длинный нагреватель. Также стоит учитывать, что, чем больше диаметр проволоки, из которой сделан нагреватель, тем дольше срок его службы. Примерами материалов, обладающих высоким электрическим сопротивлением являются хромоникелевый сплав
3. Сплавам с высоким электрическим сопротивлением.
4. Малый температурный коэффициент сопротивления является существенным фактором при выборе материала для нагревателя. Это означает, что при изменении температуры электрическое сопротивление материала нагревателя меняется не сильно. Если температурный коэффициент электросопротивления велик, для включения печи в холодном состоянии приходится использовать трансформаторы, дающие в начальный момент пониженное напряжение.
5. Физические свойства материалов нагревателей должны быть постоянными. Некоторые материалы, например карборунд, который является неметаллическим нагревателем, с течением времени могут изменять свои физические свойства, в частности электрическое сопротивление, что усложняет условия их эксплуатации. Для стабилизации электрического со-

противления используют трансформаторы с большим количеством ступеней и диапазоном напряжений.

6. Металлические материалы должны обладать хорошими технологическими свойствами, а именно: пластичностью и свариваемостью, - чтобы из них можно было изготовить проволоку, ленту, а из ленты - сложные по конфигурации нагревательные элементы. Также нагреватели могут быть изготовлены из неметаллов. Неметаллические нагреватели прессуются или формуются, превращаясь в готовое изделие.

1.4. Материалы для изготовления нагревателей

Наиболее подходящими и самыми используемыми в производстве нагревателей для электропечей являются прецизионные сплавы с высоким электрическим сопротивлением. К ним относятся сплавы на основе хрома и никеля (хромоникелевые), железа, хрома и алюминия (железохромоалюминиевые). Марки и свойства данных сплавов рассмотрены в ГОСТ 10994-74 «Сплавы прецизионные. Марки». Представителями хромоникелевых сплавов является нихром марок Х20Н80, Х20Н80-Н (950-1200 °С), Х15Н60, Х15Н60-Н (900-1125 °С), железохромоалюминиевых – фехраль марок Х23Ю5Т (950-1400 °С), Х27Ю5Т (950-1350 °С), Х23Ю5 (950-1200 °С), Х15Ю5 (750-1000 °С). Также существуют железохромоникелевые сплавы - Х15Н60Ю3, Х27Н70Ю3.

Перечисленные выше сплавы обладают хорошими свойствами жаропрочности и жаростойкости, поэтому они могут работать при высоких температурах. Хорошую жаростойкость обеспечивает защитная пленка из окиси хрома, которая образуется на поверхности материала. Температура плавления пленки выше температуры плавления непосредственно сплава, она не растрескивается при нагреве и охлаждении.

Приведем сравнительную характеристику нихрома и фехрали.

Достоинства нихрома:

1. хорошие механические свойства как при низких, так и при высоких температурах;
2. сплав крипоустойчив;
3. имеет хорошие технологические свойства – пластичность и свариваемость;
4. хорошо обрабатывается;
5. не стареет, немагнитен.

Недостатки нихрома:

1. высокая стоимость никеля - одного из основных компонентов сплава;
2. более низкие рабочие температуры по сравнению с фехралью.

Достоинства фехрали:

1. более дешевый сплав по сравнению с нихромом, т.к. не содержит никель;
2. обладает лучшей по сравнению с нихромом жаростойкостью, напрмер, фехраль Х23Ю5Т может работать при температуре до 1400°С (1400 °С - максимальная рабочая температура для нагревателя из проволоки Ø 6,0 мм и более; Ø 3,0 - 1350 °С; Ø 1,0 - 1225 °С; Ø 0,2 - 950 °С).

Недостатки фехрали:

1. хрупкий и непрочный сплав, данные негативные свойства особенно сильно проявляются после пребывания сплава при температуре большей 1000 °С;
2. т.к. фехраль имеет в своем составе железо, то данный сплав является магнитным и может ржаветь во влажной атмосфере при нормальной температуре;
3. имеет низкое сопротивление ползучести;
4. взаимодействует с шамотной футеровкой и окислами железа;
5. во время эксплуатации нагреватели из фехрали существенно удлиняются.

В последнее время разработаны сплавы типа Х15Н60Ю3 и Х27Н70Ю3, т.е. с добавлением 3% алюминия, что значительно улучшило жаростойкость сплавов, а наличие никеля прак-

тически исключило имеющиеся у железохромоалюминиевых сплавов недостатки. Сплавы Х15Н60ЮЗ, Х27Н60ЮЗ не взаимодействуют с шамотом и окислами железа, достаточно хорошо обрабатываются, механически прочны, нехрупки. Максимальная рабочая температура сплава Х15Н60ЮЗ составляет 1200 °С.

Помимо перечисленных выше сплавов на основе никеля, хрома, железа, алюминия для изготовления нагревателей применяют и другие материалы: тугоплавкие металлы, а также неметаллы.

Среди неметаллов для изготовления нагревателей используют карборунд, дисилицид молибдена, уголь, графит. Нагреватели из карборунда и дисилицида молибдена используют в высокотемпературных печах. В печах с защитной атмосферой применяют угольные и графитовые нагреватели.

Среди тугоплавких материалов в качестве нагревателей могут использоваться вольфрам, молибден, тантал и ниобий. В высокотемпературных вакуумных печах и печах с защитной атмосферой применяются нагреватели из молибдена и вольфрама. Молибденовые нагреватели могут работать до температуры 1700°С в вакууме и до 2200 °С – в защитной атмосфере. Такая разница температур обусловлена испарением молибдена при температурах выше 1700°С в вакууме. Вольфрамовые нагреватели могут работать до 3000°С. В особых случаях применяют нагреватели из тантала и ниобия.

Обычно применяют следующие сплавы для проволочных и ленточных нагревателей: железохромоалюминиевые Х13Ю4 — для низкотемпературных печей, ОХ23Ю5А и ОХ27Ю5А — для печей с температурами до 1000°С; железохромоникелевые (нихромы): Х23Н18, Х25Н20 — для печей с температурами до 1050°С, Х15Н60 и Х15Н80Т — для печей с температурами до 1150°С. В табл. 1.1 приведены рекомендуемые температуры нагревателей из этих сплавов. В области, ограниченной рекомендуемыми температурами, срок службы нагревателей составляет не менее 10000 ч. Под непрерывным режимом в табл. 1.1 подразумевается круглосуточная непре-

рывная работа (методические печи), под прерывистым - работа с включением и отключением печи не сколько раз в сутки с существенным остыванием ее в отключенном состоянии.

Таблица 1.1

Рекомендуемые температуры нагревателей

Материал нагревателя	Рекомендуемая температура, ^{0}С для режима	
	непрерывного	прерывистого
Х20Н80 и Х20Н80Т	1050	1060
Х15Н60	950	900
Х25Н20 и Х23Н18	850	800
Х13Ю4	750	650
ОХ23Ю5А	1050	1000
Х27Ю5А	1150	1100
Карборунд	1350	1300
Дисилицид молибдена	1550	1500

Примечание. Для металлических нагревателей данные относятся к нагревателям с диаметром проволоки d = 4 мм или толщиной ленты а = 2 мм. При d = 7 – 10 мм и а = 3 мм значения температур могут быть увеличены на 50^{0}С.

Наибольшее распространение получили проволочные и ленточные нагреватели из хромоникелевых и хромоалюминиевых сплавов, изготовляемые в виде секций.

Проволочные нагреватели выполняют зигзагообразными (рис.1.4, а) и спиральными (рис. 1.4, *в* - *д*), ленточные - зигзагообразными (рис. 1.4, 6). Проволочные зигзагообразные нагреватели навешивают на стенках и своде печи на жаропрочных крючках, подовые нагреватели укладывают свободно на фасонные кирпичи.

Спиральные нагреватели в низкотемпературных печах подвешивают на фасонных керамических втулках 1 (рис. 1.4, в), на керамических трубках *2* (рис. 1.4, г) или на полочках футеровки. В среднетемпературных печах спиральные нагреватели укладывают также в пазах *3* футеровки (рис. 1.4 *д*).

Ленточные нагреватели (изготовленные из ленты или литые) крепят на стенках и своде обычно на специальных ке-

рамических крючках; на поду их укладывают на керамических опорах.

В печах с электрокалориферами и соляных ваннах (при температурах до 600°С) часто применяют трубчатые электронагреватели (ТЭН).

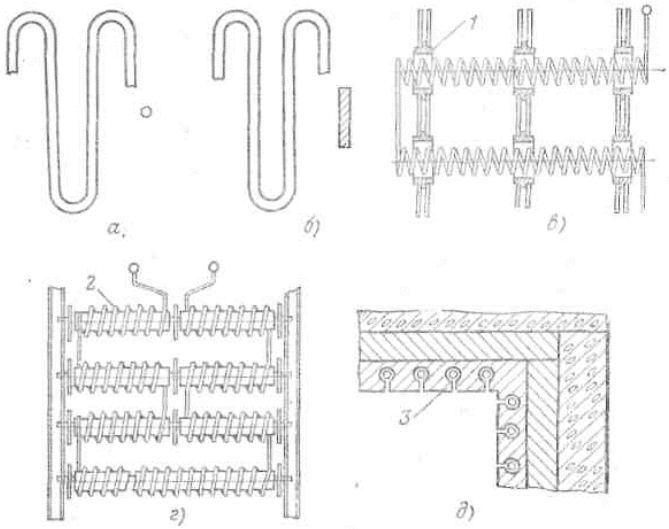


Рис. 1.4. Проволочные и ленточные нагреватели

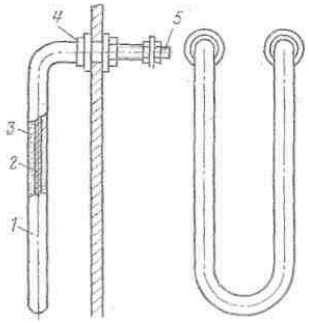


Рис. 1.5. Трубчатый электронагреватель (ТЭН)

Нагреватель (рис, 1.5) состоит из металлической трубки 1, по оси которой расположена нихромовая спираль 2, приваренная к выводным концам 5 нагревателя. Трубка заполнена кристаллической окисью магния (периклазом) 3. В концах трубки закреплены выводные изоляторы 4. Трубка легко изгибается, поэтому ТЭН выпускаются различной формы (в том числе ребристыми — для электрокалориферов).

Для печей с рабочими температурами выше 1100-1150° С применяют неметаллические нагреватели в виде стержней: карборундовые, основу которых составляет карбид кремния (до 1300 - 1400°С), и из дисилицида молибдена (до 1400 - 1500°С). Рекомендуемые температуры таких нагревателей указаны в табл. 1. Применяют также графитовые и угольные нагреватели (до 2000 - 2500°С). Наиболее распространены в высокотемпературных печах нагреватели из молибдена (до 2000°С в защитной среде) и вольфрама (до 2500°С в защитной среде).

Электрическая мощность, потребляемая нагревателями, составляет для небольших мощностей единицы киловатт, а для крупных печей может достигать тысячи киловатт и более. Для ориентировки укажем установленные (номинальные) мощности некоторых видов печей сопротивления: от 8 до 160 кВт - камерные печи общего назначения; от 25 до 160 кВт - шахтные печи; от 20 до 1000 кВт - камерные печи для сушки электротехнических изделий; от 10 до 150 кВт - барабанные печи; от 90 до 270 кВт - толкательные печи (от 750 до1100 кВт - с камерами охлаждения); от 6 до 800 кВт - конвейерные печи (до 1400 кВт - с камерами охлаждения).

1.5 Расчет проволочных и ленточных нагревателей

Цель расчета - определить сечение проволоки или ленты, ее суммарную длину и разместить нагревательные элементы (секции) в рабочей камере печи. Рассмотрим упрощенный метод расчета нагревателей для печей, в которых теплопередача

осуществляется в основном излучением, т. е. при температуре печи не менее 600—700°С. При расчете исходят из заданной номинальной электрической мощности печи (или мощности зоны — для многозонных печей) $P_{ном}$ (кВт), конечной температуры нагрева изделий t_{mA} (°С) и площади футеровки печи, на которой разместятся нагреватели.

Сначала выбирают схему включения нагревателей для каждой зоны печи. При питании нагревателей от цеховой трехфазной сети 380 В нагреватели можно соединять в звезду или в треугольник с последовательным или параллельным соединением нагревательных элементов (секций), т. е. с одной или несколькими фазоветвями в каждой фазе. Возможно и однофазное включение нагревателей на фазное напряжение 220 В. В ряде случаев нагреватели питаются от специальных понизительных печных трансформаторов или автотрансформаторов.

После выбора схемы включения известны: мощность на фазоветвь $P_ф$ (кВт); фазное напряжение $U_ф$ (В). Исходя из максимальной температуры изделия $t_{изд}$ (°С), выбирают по табл. 1.1 материал нагревателя и его рекомендуемую температуру $t_{наг}$ (°С). Затем с учетом принятой конструкции нагревательных элементов определяют значение допустимой удельной поверхностной мощности нагревателя $W_{доп}$ которой отвечает срок службы нагревателя не меньший, чем 10000 ч. Удельная поверхностная мощность — есть мощность, выделяемая с единицы поверхности нагревателя (Вт/м^2), На рис. 1.6 приведены зависимости допустимой удельной поверхностной мощности идеального нагревателя $W_{ид}$ от температуры изделия $t_{изд}$ при различных температурах нагревателя $t_{наг}$ Под идеальным подразумевается сплошной нагреватель, окружающий изделие со всех сторон, при допущении, что тепловые потери через футеровку печи отсутствуют.

Реальная допустимая удельная поверхностная мощность нагревателя $W_{доп}$ связана с идеальной мощностью $W_{ид}$ зависимостью

$$W_{доп} = \alpha W_{ид} \qquad (1.1)$$

где *а* — поправочный коэффициент, учитывающий тепловые потери мощности в печи.

Рекомендуемые усредненные значения *а:* для проволочных спиралей на полочках или на трубках 0,2 - 0,3; для проволочных зигзагов 0,6; для ленточных зигзагов 0,4; для ленточных литых зигзагов 0,6.

Определив по формуле (1.1) значения $W_{доп}$, можно найти расчетные конструктивные размеры нагревателей.

Для проволочного нагревателя диаметр проволоки *d* м, и ее длину на фазоветвь $L_ф$, м, рассчитывают по формулам:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4P_ф^{\ 2}\rho 10^6}{\pi^2 U_ф^{\ 2} W_{доп}}}, \qquad (1.2)$$

$$L_ф = \frac{\pi U_ф^{\ 2} d^2}{4P_ф \rho 10^3}, \qquad (1.3)$$

где р — удельное электрическое сопротивление материала нагревателя в горячем состоянии, Ом·м.

Для ленточного нагревателя толщину ленты *а,* м, и ее длину на фазоветвь $L_ф$, м, находят по формулам:

$$a = \sqrt[3]{\frac{P_ф^{\ 2}\rho 10^6}{2m(m+1)U_ф^{\ 2} W_{доп}}}, \qquad (1.4)$$

$$L_ф = \frac{U_ф^{\ 2} ma}{P_ф \rho 10^3}, \qquad (1.5)$$

где *m = в/а,* где *в* - ширина ленты, м.

Обычно для ленточных нагревателей m = 5÷15 в соответствии с сортаментом выпускаемой ленты. Наиболее распространена лента с m =10. Остальные конструктивные раз-

меры нагревателей (рис. 1.7) определяют по рекомендуемым соотношениям:

- диаметр спирали проволочного нагревателя:
  D = (4÷6)d - для хромоалюминиевых сплавов,
  D = (7÷10)d — для нихромов;
- шаг витков спирали t = (3÷5) d;
- шаг проволочного зигзага t ≥(5÷9)d,
- шаг ленточного зигзага t ≥(2÷5)d,
- высота зигзага: H = 0,15 ÷ 0,3 м - для хромоалюминиевых сплавов, H = 0,2÷0,4 м - для нихромов;
- радиус закругления зигзага $R \geq d$ или R = (4÷5) a.

Для температур на нагревателе до 1000°С применяют ленту размером не менее 0,001 х 0,01 м, при более высоких температурах - не менее 0,002 х 0,02 м. Для проволочных спиралей минимальный диаметр проволоки 0,003 м, для проволочных зигзагов 0,006 м.

При расчете нагревателей можно исходить также из имеющегося сортамента проволоки или ленты. Тогда, зная расчетное сопротивление фазоветви нагревателя

$$R_ф = U_ф^{\ 2} / P_ф$$

и выбирая по сортаменту проволоку или ленту, находят длину нагревателя на фазоветвь, м:

$$L_ф = \frac{\pi d^2 R_ф}{4\rho}, \qquad (1.6)$$

или

$$L_ф = \frac{abR_ф}{\rho}, \qquad (1.7)$$

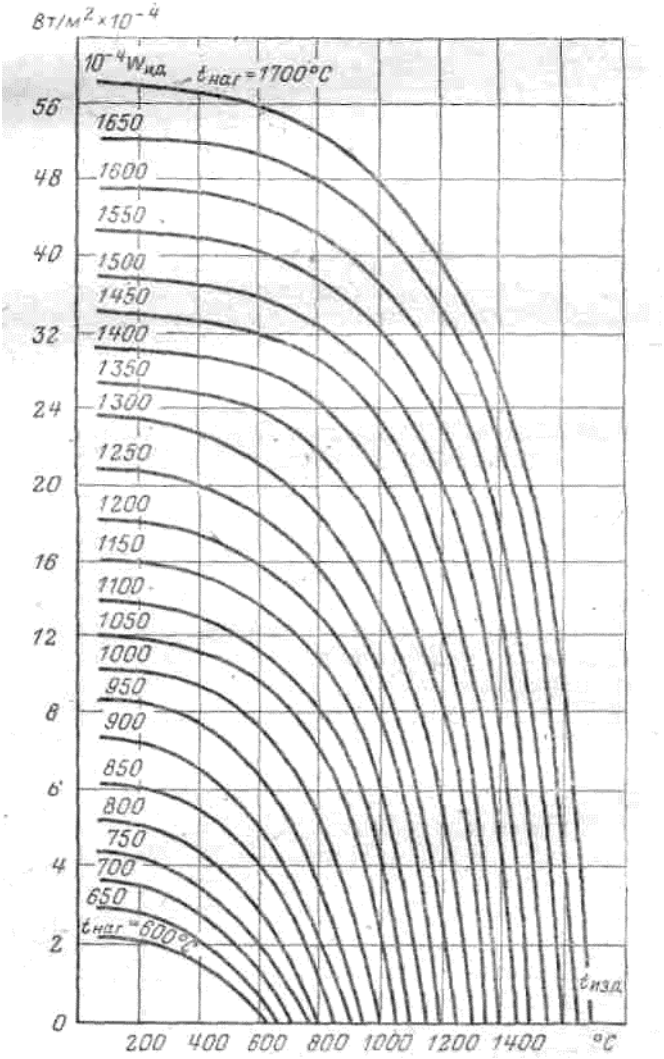


Рис. 1.6. Кривые удельной поверхностной мощности идеального нагревателя

Рассчитанный таким образом нагреватель проверяют на допустимую удельную поверхностную мощность. Определяют фактическую удельную поверхностную мощность нагревателя $W_{наг}$. для проволочного нагревателя

$$W_{наг} = \frac{P_ф 10^3}{\pi d L_ф}, \qquad (1.8)$$

для ленточного нагревателя

$$W_{наг} = \frac{P_ф 10^3}{2(a+b) L_ф}, \qquad (1.9)$$

Если полученное значение $W_{наг} \leq W_{доп}$, то нагреватель выбран правильно. Если $W_{наг} > W_{доп}$, , то размер сечения нагревателя при данной схеме соединения нагревателя не подходит. Нужно либо изменить схему соединения, повышая напряжение на фазоветвь, либо уменьшить мощность фазоветви, чтобы при том же сечении получить большую длину, а значит, и площадь поверхности нагревателя.

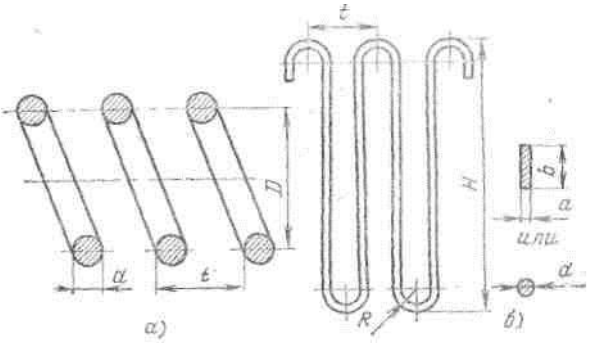


Рис.

1.7. Конструктивные размеры нагревателей:
а — спиральные проволочные нагреватели;
б — зигзагообразные проволочные и ленточные

Пример 1.1.

Рассчитать нагреватель для шахтной печи, предназначенной для отжига стальных изделий и работающей при температуре 800° С. Мощность печи 66 кВт, напряжение сети 380 В; печь трехфазная, режим работы близок к непрерывному. Размеры шахты: диаметр 0,8 м, высота
1,2 м.

Решение.

Принимаем включение нагревателей в звезду с одной ветвью на фазу. Фазная мощность печи, фазное напряжение Uф = 220 В.

$$Рф = 66/3 = 22 \text{ кВт};$$

Выбираем по табл. 1.1 в качестве материала нагревателей нихром Х15Н60 с рекомендуемой температурой 950°С и удельным сопротивлением
$\rho = 1{,}2 \cdot 10^{-6}$ Ом · м. По рис. 1.6 для $t_{изд} = 800°C$ находим для идеального нагревателя $W_{ид} = 3{,}7 \cdot 10^4$ Вт/м^2. Значение коэффициента эффективности для ленточного зигзага а = 0,4. Тогда согласно (1.1) допустимая удельная поверхностная мощность для выбранного типа нагревателя

$$W_{доп} = 0{,}4 \cdot 3{,}7 \cdot 10^4 = 1{,}48 \cdot 10^4 \, Вт / м^2.$$

Далее расчет ведем по формулам (1.4) и (1.5), принимая для ленты значение $m = 10$.
Толщина ленты

$$a = \sqrt[3]{\frac{22^2 \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6}{2 \cdot 10(10+1) \cdot 220^2 \cdot 1{,}48 \cdot 10^4}} = 1{,}5 \cdot 10^{-3} \, м.$$

Выбираем ленту размерами 1,5 х 15 мм.
Длина ленты на фазу:

$$L_ф = \frac{220^2 \cdot 10 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-6}}{22 \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3} = 41{,}25 \, м.$$

Нагреватель фазы выполняем в виде одной секции. Размещаем секции нагревателей трех фаз одну над другой. Принимаем высоту зигзага H = 0,25 м, расстояние между секциями по 0,1 м.

Длина секции нагревателя по окружности шахты печи

$$L\text{ф} = 3{,}14 \cdot 0{,}8 - 0{,}1 = 2{,}4 \text{ м}$$

где 0,8 м — диаметр шахты, 0,1 м — расстояние между выводами.

Длина ленты на шаг зигзага с учетом закруглений:

$l_t = 2(H\text{-}2R)+2\pi R = 2H + 2R\{\pi - 2)$ — см; рис. 1.8(6).

Принимаем $R = 5a = 5 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-3} = 7{,}5 \cdot 10^{-3}$ м,

тогда $l_t = 2 \cdot 0.25 + 2 \cdot 7{,}5 \cdot 10^{-3}(3{,}14\text{-}2) \approx 0{,}52$ м.

Число зигзагов на фазу $n = L\text{ф}/\, l_t, = 41{,}25 : 0{,}52 \approx 79$.

Шаг зигзага $t = L\text{ф}/n = 2{,}4 : 79 = 0{,}03$ м, т. е. $t = 2b$, что приемлемо.

2. Электропривод

2.1 Выбор типа и мощности двигателя

Выбор типа двигателя — один из ответственных этапов проектирования электропривода, так как именно двигатель в значительной степени определяет технические и экономические качества привода. Из многочисленных типов двигателей переменного и постоянного токов для привода той или иной производственной машины должен быть выбран такой, который бы наиболее полно удовлетворял и технико-экономическим требованиям. Это значит, что двигатель должен быть наиболее простым по управлению, надежным в эксплуатации и с наименьшей стоимостью, массой и габаритами, а также высокими энергетическими показателями. В сравнении со всеми сушествующими типами двигателей этим требованиям в наибольшей мере отвечают асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. При выборе двигателя такого типа необходимо выяснить, удовлетворяются ли технические требования: допустимое уменьшение скорости при увеличении нагрузки, допустимая частота повторных включений, возможность быстрого и падежного пуска.

В напряженных режимах работы привода, с большой частотой и включений, где требуется повышенный или ограниченный пусковой момент, а также регулирование частоты вращения в узких пределах, применяют асинхронные двигатели с контактными кольцами. Для нерегулируемых приводов средней и большой мощности, работающих и продолжительном режиме с редкими пусками, рекомендуется применять синхронные двигатели. Они отличаются более высоким к.п.д. и допускают регулирование коэффициента мощности за счет компенсации реактивной мощности. При необходимости плавного и глубокого регулирования скорости, а также при большой частоте включений применяются двигатели постоянного тока.

При выборе мощности двигателя основными исходными данными являются требуемые нагрузочные моменты,

которые должны быть приложены к валу механизма, т. е. необходимо иметь нагрузочные диаграммы электропривода $P = f(t)$ или $M=f(t)$, которые могут быть заданы в виде графика или таблицы.

2.2. Режимы работы и особенности выбора электродвигателей кранов

Нагрузка кранов, как правило, изменяется в широких пределах: для механизмов подъема — от 0,12 до 1,0, а для механизмов передвижения — от 0,5 до 1,0 номинального значения. Характерно для кранов также то, что их механизмы работают в повторно-кратковременном режиме, когда относительно непродолжительные периоды работы, связанные с перемещением грузов, чередуются с небольшими паузами на загрузку или разгрузку и закрепление груза. Поскольку на кранах применяется многодвигательный привод, и двигатели через передачи связаны с механизмами подъема или передвижения, то они, как и другие элементы электрооборудования кранов, работают также в повторно-кратковременном режиме при большом числе включений в час.

Согласно действующим в СНГ стандартам все краны по режимам работы механического и электрического оборудования делятся на четыре категории, определяющие степень их использования, характер нагрузки и условия работы: Л — легкий режим работы, С — средний, Т —тяжелый и ВТ — весьма тяжелый. Основными показателями, по которым судят о режиме работы, являются продолжительность включения двигателя механизма ПВ,

ПВ, %, число включений двигателя в час *h,* коэффициенты использования механизмов по грузоподъемности $к_{гр}$, в течение года $k_г$ и в течение суток $к_с$:

$$ПВ = t_р \cdot 100/(t_р + t_о), \qquad (2.1)$$

$$к_{гр} = m_с/m_{ном},$$

$$k_г = A/365,$$

$$к_с = B/24.$$

где t_P — время работы двигателя за цикл; t_o — суммарное время пауз за цикл; m_c — масса груза, перемещаемого за смену; $m_{ном}$ — номинальная грузоподъемность; A — число дней работы механизма в году; B — число часов работы механизма в сутки.

При вычислении ПВ время цикла $t_ц = t_P + t_o$ не должно превышать 10 мин.

Легкому режиму работы соответствуют ПВ = 10÷15% и h = 60 ÷ 100 (строительно - монтажные краны), среднему ПВ = 15 ÷ 25% и h = 120 ÷ 200 (краны механических и сборочных цехов машиностроительных заводов), тяжелому ПВ = 25 ÷ 40% и h = 300 ÷ 400 (краны производственных цехов и складов на заводах с, крупносерийным производством), весьма тяжелому — ПВ = 40 ÷ 60% и h = 400 ÷ 600 (технологические краны металлургических заводов).

Помимо тяжелых условий работы при большом числе включений в час электрооборудование мостовых кранов обычно находится в условиях тряски, высокой влажности воздуха, резких колебаний температуры и запыленности помещений. В связи с этим на кранах применяется специальное электрооборудование, приспособленное к условиям работы кранов и отличающееся повышенной надежностью.

Основное крановое электрооборудование: электродвигатели, силовые, магнитные и командные контроллеры, пускорегулировочные резисторы, тормозные электромагниты, конечные выключатели и другие — в значительной степени стандартизовано. Поэтому различные по конструкции краны комплектуются обычно таким электрооборудованием по типовым схемам.

Электрооборудование мостовых кранов выполняется и эксплуатируется в соответствии е «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов». Рабочее напряжение сети, питающей краны, не должно превышать 500 В.

В соответствии с этим на кранах применяется электрооборудование на 220 или 380 В переменного тока и 220 или 440 В постоянного тока. Напряжение 440 В используется только в силовых цепях кранов большой грузоподъемности.

Выбор мощности двигателя механизма мостового крана производят, исходя из нагрузочной диаграммы механизма, т. е. графика- $P_c = f(t)$ или $M_c = \varphi(t)$ за цикл работы.

Во многих случаях построение точной нагрузочной диаграммы кранового механизма затруднительно из-за разнообразных и часто меняющихся операций, выполняемых краном. В первую очередь это относится к механизмам цеховых кранов грузоподъемностью до 10 - 20 т. Основой для выбора мощности двигателя в таких случаях может служить расчетный цикл, состоящий для механизма подъема из четырех рабочих операций (подъем и спуск груза Gном, подъем и спуск пустого грузозахватывающего приспособления) и для механизма передвижения моста или тележки — из двух операций (передвижение с грузом $G_{ном}$ в одном направлении и без груза в обратном направлении).

Для расчетного цикла предполагают известным режим работы механизма (легкий, средний и т. д.), т. е. можно задаться значением продолжительности включения $ПВ_{расч}$. Известны также номинальная скорость движения $v_{ном}$ м/с, и наибольшее перемещение L, м, механизма.

Приняв, что для каждой i-й рабочей операции $v_{pi} = v_{ном}$ и $L_{pi} = L$, можно определить продолжительность операций t_{pi}, с:

$$t_{pi} = L / v_{ном}, \qquad (2.2)$$

Тогда суммарное время работы механизма Σt_{pi}, с, за цикл

$$\Sigma t_{pi} = i t_{pi}, \qquad (2.3)$$

Суммарное время пауз Σt_{pi} ,с, находится из соотношения

$$\Sigma t_{oi} = \frac{it_{pi}(100 - ПВ_{расч})}{ПВ_{расч}}, \qquad (2.4)$$

причем это время делится равномерно между операциями.
Время цикла, с,

$$t_ц = \Sigma t_{pi} + \Sigma t_{oi}, \qquad (2.5)$$

Определяют значения статической мощности P_{ci} или момента M_{ci} на валу двигателя для всех рабочих операций, после чего можно построить нагрузочную диаграмму механизма, показанную на рис. 2.1, *а* для механизма подъема. При помощи этой диаграммы находят эквивалентную за суммарное время рабочих операций статическую мощность $P_{С,Э.Р.}$ кВт, приведенную к ближайшей стандартной продолжительности включения ПВном (если ПВрасч ≠ ПВном), по формуле

$$P_{с.э.р.} = \sqrt{\frac{\Sigma P_{c.i,} \cdot t_{p,i,}}{\Sigma t_{p,i,}} \cdot \frac{ПВ_{расч}}{ПВ_{ном}}}, \qquad (2.6)$$

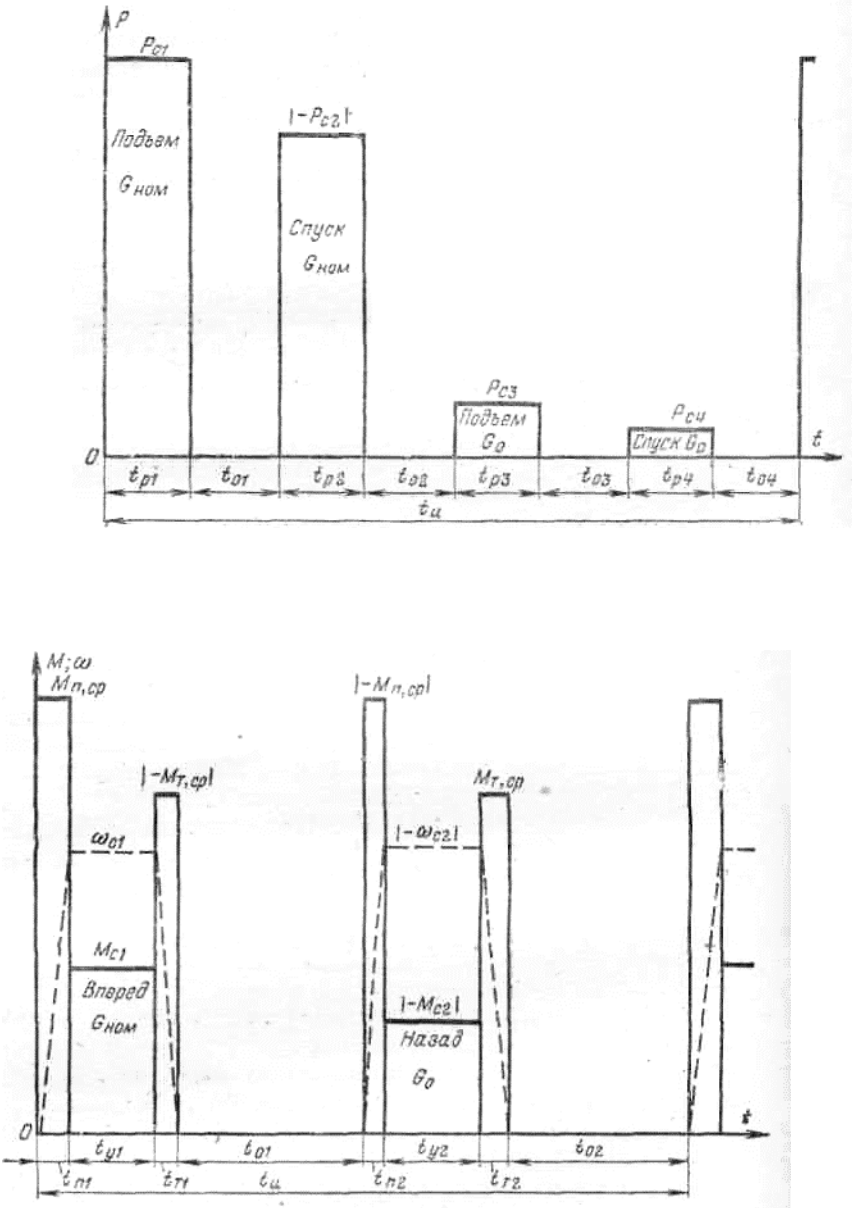
Далее по каталогу предварительно выбираем двигатель на мощность $P_{дв} = P_{ном}$, кВт, при ПВном по условию

$$P_{дв} \geq к_з P_{с.э.р.}, \qquad (2.7)$$

где $к_з$ = 1,1÷1,4- коэффициент запаса, учитывающий дополнительную загрузку двигателя в периоды пуска и электрического торможения.

Номинальная угловая скорость $v_{ном}$ рад/сек, двигателя должна соответствовать заданной номинальной скорости механизма $v_{ном}$ м/с.

$$t_{p.i} = L / v_{ном} \qquad (2.8)$$



ис. 2.1 Расчетные, диаграммы: нагрузочная механизма подъема (а) , пусковая (б) двигателя передвижения моста или тележки

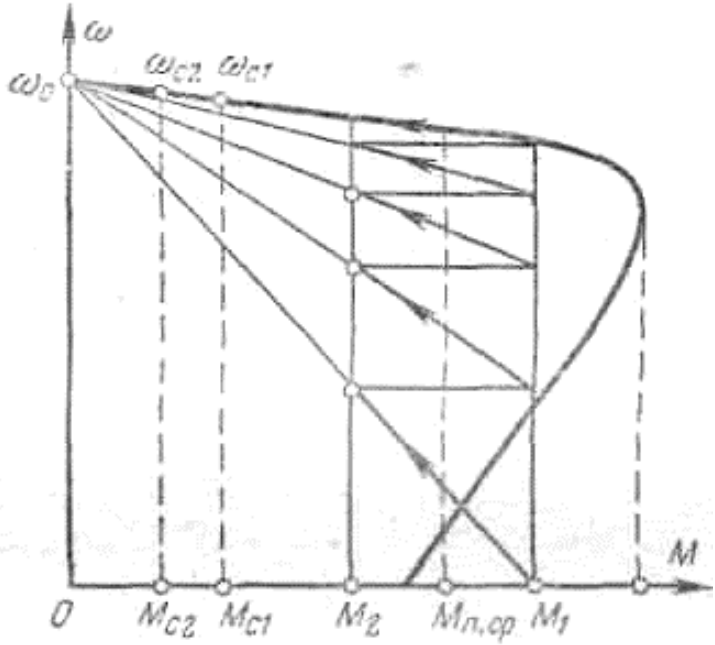


Рис. 2.2. Нагрузочная диаграмма двигателя передвижения моста или тележки

Для выбранного двигателя строят механические характеристики в соответствии с принятой схемой управления и рассчитывают времена пуска t_{n},i и электрического торможения tm,i привода, с:

$$t_{n(m).i} \approx \frac{J_{\Sigma}\omega_{c.i}}{M_{n(m).cp.i} \mp M_{c.i}}, \qquad (2.9)$$

где J_{Σ} - приведенный к валу двигателя момент инерции привода; $\omega_{c.i}$ - угловая скорость двигателя, рад/с, соответствующая установившейся скорости механизма; v_{y},i, м/с, и определяемая по характеристикам $\omega = f(M)$, например, рис. 2.1,6 (для двигателя механизма передвижения); $M_{П}$(т),ср,i - среднее значение момента двигателя при пуске (торможении), Н-м;

$M_{c,i}$ - статический момент на валу двигателя при данном переходном процессе, Н-м; знак перед $M_{c,i}$ учитывает направление действия $M_{c,i}$ по отношению к $M_{П}$(т),ср,i.

Средний путь, м, проходимый механизмом за время пуска или торможения, находят как

$$l_{n(m).cp.i} \approx \frac{v_{y.i} t_{n(m)_.i}}{2} = \frac{\omega_{c.i} R t_{n(m).i}}{2 i_p i_n}, \qquad (2.10)$$

где R — радиус барабана подъемной лебедки или ходового колеса тележки (моста), м; $i_р$ и $i_п$ — передаточные числа редуктора и полиспаста (для механизма подъема).

Тогда время t_{yj}, с, движения механизма с установившейся скоростью $v_{y,i}$ в течение i-й рабочей операции

$$t_{e.i} \approx \frac{L - t_{n.cp.i} - t_{m.cp.i}}{v_{y.i}}. \qquad (2.11)$$

По полученным данным строят нагрузочную диаграмму двигателя $M=f(t)$ за цикл работы с учетом динамических нагрузок (см., например, диаграмму на рис. 2.2 для двигателя механизма передвижения).

Далее по нагрузочной диаграмме двигателя определяют фактическую продолжительность включения $ПВ_{факт}$ и затем находят приведенный к стандартному значению $ПВ_{ном}$ эквивалентный момент, Н-м, двигателя за суммарное время работы:

$$M_{э.р.} = \sqrt{\frac{\Sigma M^2{}_{c.i} + \Sigma M^2{}_{n(m).cp.i} t_{n(m).i}}{\Sigma t_{y.i} + 0.75 \Sigma t_{n(m).i}} \cdot \frac{ПВ_{факт}}{ПВ_{ном}}}, \qquad (2.12)$$

где коэффициент 0,75 учитывает ухудшение условий охлаждения двигателя с самовентиляцией, - для двигателя с независимой вентиляцией этот коэффициент равен единице.

Окончательную проверку выбранного двигателя по нагреву выполняют по условию

$$M_{ном} \geq M_{э.р}, \qquad (2.13)$$

где $М_{ном}$ — номинальный момент двигателя при $ПВ_{ном}$.

Практика расчетов показывает, что если отношение

$$\Sigma t_{y.i} /(\Sigma t_{n.i} + \Sigma t_{m.i}) \rangle 10, \qquad (2.14)$$

то влиянием динамических нагрузок на нагрев двигателя можно пренебречь, т. е. по условиям нагрева предварительный выбор двигателя в этих случаях будет и окончательным. Обычно это имеет место для двигателей механизмов подъема и передвижения тележек. Напротив, для двигателей механизмов передвижения мостов динамические нагрузки существенно влияют на нагрев двигателя.

Выбранный по условиям нагрева двигатель проверяют по условиям допустимой кратковременной перегрузки и надежности пуска.

Двигатель удовлетворяет требованиям в отношении допустимой перегрузки, если выполняется условие

$$0{,}8\lambda M_{ном} \geq M_{с.мах}, \qquad (2.15)$$

где $M_{с.мах}$ - максимальное значение статического момента на валу двигателя, возможное при эксплуатации и испытаниях крана; λ - перегрузочная способность двигателя; 0,8 - коэффициент, учитывающий для асинхронных двигателей снижение напряжения сети на 10%.

Правильно выбранный двигатель должен обеспечивать надежный разгон привода, для чего требуется выполнение условия

$$M_{п.ср} = (M_1 + M_2)/2 \geq 1{,}5 M_{с.мах}, \qquad (2.16)$$

где $M_{п.ср}$ - средний пусковой момент двигателя, определяемый по каталожным данным для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором или по пусковой диаграмме для двигателей постоянного тока и асинхронных с фазным ротором (см. рис. 2.1, *б)*; M_1 и M_2 - максимальный и минимальный моменты двигателя при пуске, причем необходимо, чтобы было выполнено условие

$$M_2 \geq 1{,}2 M_{с.мах}. \qquad (2.17)$$

Заключительным этапом проверки выбранного двигателя является оценка ускорений и замедлений механизма при пуске и торможении привода.

Максимальное значение среднего за период пуска (торможения) линейного ускорения (замедления) механизма $a_{ср,мах}$, м/с^2, определяется по формуле

$$a_{ср.мах} = v_y / t_{n(m),\min}, \qquad (2.18)$$

где $t_{n(m),min}$ - наименьшее возможное в цикле работы время пуска (торможения) механизма при выбранном двигателе, с; величину $t_{n(m),min}$ можно определить по формуле (2.11); v_y - значение установившейся скорости, до которой разгоняется или с которой тормозится механизм, м/с.

Двигатель удовлетворяет требованиям, если соблюдается соотношение

$$a_{ср,мах} \leq a_{доп}, \qquad (2,19)$$

где $a_{доп}$ - максимально допустимое ускорение (замедление), механизма, м/с^2. Для механизмов подъема мостовых кранов $a_{доп}$ = (0,2÷0,3) м/с^2, для механизмов передвижения $a_{доп}$ = (0,6÷0,8) м/с^2.

При невыполнении условия (2,19) привод механизма крана будет работать с чрезмерно большими динамическими

моментами, что вызовет удары в механических передачах, раскачивание грузов и повышенный износ оборудования. С другой стороны, ускорения (замедления) механизмов не должны быть меньшими определенных значений, чтобы процессы пуска и торможения не затягивались. Здесь ориентиром может служить максимально допустимое время пуска, которое для механизмов подъема лежит в пределах 3 - 5 с, для механизмов передвижения 10 -15 с.

2.3. Типы электропривода и условие выбора электродвигателей лифтов

Для привода лифтов применяют двигатели, с жесткими механическими характеристиками — трехфазные асинхронные и постоянного тока с независимым возбуждением, специально рассчитанные на повторно-кратковременный режим работы (серий АС, АСШ, МПЛ, а также крановых серий), либо двигатели продолжительного режима работы (серий А02, 4А, П, 2П).

Для упрощения конструкции лифтовых установок и возможности эксплуатации их персоналом средней квалификации целесообразно применять наиболее простой электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. Однако такие двигатели могут быть использованы только в тихоходных пассажирских и грузовых лифтах.

Быстроходные лифты для повышения точности остановки оборудуются асинхронными двухскоростными двигателями, обеспечивающими пониженную скорость перед ротором устанавливаются в тихоходных и в редких случаях в быстроходных лифтах, обычно при ограниченной мощности сети, питающей подъемную установку.

2.4. Особенности электропривода и выбор мощности двигателей конвейеров

При значительном конструктивном разнообразии конвейеров большинству из них присущи следующие характерные особенности, обусловленные режимом эксплуатации:

а) продолжительный режим работы, как правило, в течение значительных промежутков времени (смены или нескольких смен) без пауз за время включения;

6} относительно редкие пуски, продолжительность которых не влияет на производительность конвейера, и практически неизменное направление вращения двигателя;

в) возможность возникновения значительных статических моментов при трогании, превосходящих иногда номинальные нагрузки ($M_{с,тр}>M_{с,ном}$), например при пуске нагруженных конвейеров после внезапной (аварийной) остановки;

г) работа двигателей конвейеров при самых различных условиях окружающей среды: на открытом воздухе, в запыленных и влажных помещениях, при высокой и низкой температурах, в цехах с агрессивной средой.

В связи с указанными особенностями к электроприводу конвейеров. предъявляются требования обеспечения повышенного значения пускового момента

$$(M_п/M_{ном} \leq 1,6 \div 1,8)$$

высокой надежности и простоты обслуживания. В некоторых случаях необходимо обеспечить плавный пуск и торможение ленточных и подвесных конвейеров для предотвращения пробуксовывания ленты или раскачивания груза, небольшое регулирование скорости в диапазоне 1:2 для изменения темпа работы (на конвейерах поточных линий), согласованное вращение электроприводов нескольких конвейеров.

Перечисленным требованиям в достаточной степени удовлетворяет электропривод с трехфазными асинхронными двигателями продолжительного режима работы - с короткозамкнутым и с фазным ротором. Недостатком двигателей с короткозамкнутым ротором является большой пусковой ток. Но применение двигателей с короткозамкнутым ротором удешевляет автоматизацию конвейеров. При этом предпочтительнее выбирать двигатели с повышенным пусковым моментом. Для однодвигательного привода конвейеров, скорость которых должна регулироваться, используют многоскоростные двигатели с переключением числа пар полюсов, либо применяют дополнительные механические вариаторы или регулируемые электрические и гидравлические муфты. Двигатели с фазным ротором устанавливают на конвейерах, требующих повышенного пускового момента, при многодвигательном приводе конвейеров с целью выравнивания нагрузок отдельных двигателей, а также при необходимости согласованного движения конвейеров ПТС (поточно-транспортной системы).

2.5. Режимы работы и условия выбора электродвигателей станков

Необходимая для работы станка мощность, а следовательно, и мощность, развиваемая приводным двигателем, в общем случае изменяются в процессе обработки детали. При изготовлении однотипных деталей с окончанием обработки одной из них станок останавливается, производится измерение и смена заготовки, причем на это время (t_o) двигатель обычно отключается или отключается посредством фрикционной муфты шпиндель, а двигатель продолжает работу на холостом ходу. Затем начинается обработка новой детали в течение времени t_P и т. д. Для обеспечения нормальной работы станка при подобной переменной нагрузке двигатель должен удовлетворять двум условиям: развивать наибольшую мощность, требуемую в процессе обработки, и не перегреваться свыше нормы при работе с переменной нагрузкой.

В продолжительном режиме с постоянной нагрузкой (S1) работают главные приводы крупных токарных, карусельных, шлифовальных, зубо-фрезерных и других станков. Номинальная мощность двигателя в этом случае должна быть выбрана равной или немного большей номинальной мощности станка, определяемой по наибольшей мощности резания.

Перемежающийся режим работы с частыми реверсами (S7) характерен, например, для главного привода продольно-строгальных станков. Мощность двигателя здесь выбирается по нагрузочной диаграмме методом средних потерь или эквивалентных величин.

В повторно - кратковременном режиме (S3 или S4), работают электроприводы многих металлорежущих станков (например, сверлильных, заточных, автоматов и др.). Мощность двигателя в этом случае определяется также методом средних потерь или эквивалентных величин.

В кратковременном режиме (S2) работают вспомогательные приводы станков (например, приводы быстрых перемещений суппортов и поперечин, приводы зажимных устройств и др.). Время работы вспомогательных приводов обычно незначительно и составляет 5 ÷15 с для небольших станков и 1÷1,5 мин для крупных станков. Номинальная мощность двигателя вспомогательных приводов определяется условиями перегрузки.

Задача 2.1.

Определить необходимую мощность двигателя для привода механизма, режим работы которого задан нагрузочной диаграммой, изображенной на рис. 2.3. По технологическим условиям следует использовать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Двигатель должен иметь частоту вращения n = 980 об/мин, помещение где установлен двигатель – сухое, без пыли и грязи.

Дано: P1 = 12 кВт, P2 = 8 кВт, P3 = 6 кВт, t_1 = 20 с., t_2 = 30 с., t_3 = 15 с.

Решение:

В данном примере: В данном случае режим работы представляет собой длительную переменную нагрузку. Мощность двигателя подбирают при подобных режимах работы по эквивалентной мощности, которая равна

$$P_{эк} = \sqrt{\sum_{к=1}^{n} (P_k{}^2 \cdot t_k) / t_ц}$$

где $t_ц$ – время цикла работы.

$$t_ц = t_1 + t_2 + t_3 = 20 + 30 + 15 = 65 \text{ с.}$$

$$P_{эк} = \sqrt{\frac{12^2 \cdot 20 + 8^2 \cdot 30 + 6^2 \cdot 15}{65}} = 9{,}05\ кВт$$

По данным каталога в качестве приводного двигателя можно использовать асинхронный короткозамкнутый двигатель, в защищенном исполнении типа А2-61-6; 380/220 В; Рном = 10 кВт, $n_{ном}$ = 965 об/мин; $\eta_{ном}$ = 0,870;

Мпуск/Мном = 1,2;
Ммах/Мном = 1,8.

В ряде случаев момент нагрузки на отдельных участках оказывается больше максимально допустимого момента двигателя, и асинхронный двигатель может остановиться.

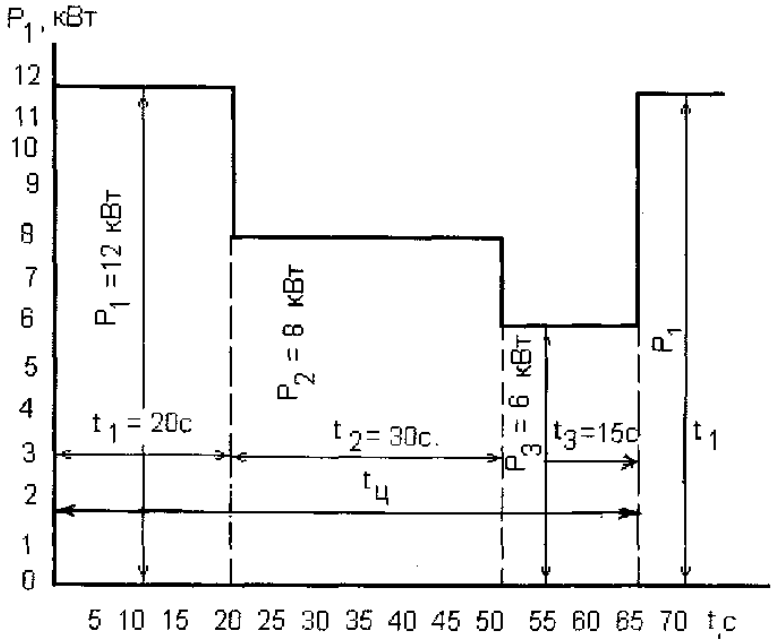


Рис. 2.3 Нагрузочная диаграмма режима работы двигателя, заданного изменением мощности

Поэтому после выбора двигателя его необходимо проверить по перегрузочной способности исходя из условия Ммах ≤ Ммах. доп, где Ммах – максимальный момент на валу двигателя, Ммах.доп – максимально допустимый момент давигателя. Для асинхронного двигателя

$$M_{мах.доп} = 0{,}9\ M_{кр}.$$

Здесь $M_{кр}$. – критический (максимальный) момент двигателя. Номинальный момент двигателя

$$M_{ном} = 9550P_{ном}/\ n_{ном} = 9550 \cdot 10/965 = 99\ Н \cdot м$$

максимальный (критический) момент

$$M_{кр.} = \lambda M_{ном} = 1{,}8 \cdot 99 = 178 \text{ Н·м}$$

максимальный статический момент

$$M_{ст} = 9550P1/n = 9550 \cdot 12/980 = 117 \text{ Н·м}$$

Перегрузочной способности двигатель удовлетворяет, так как выполняется условие

$$0{,}9M_{кр.} = 0{,}9 \cdot 178 = 160 > M_{ст} = 117 \text{ Н·м}$$

В том случае, когда нагрузочные диаграммы заданы моментом M = f(t) или током I = f(t) , мощность двигателей выбирают либо по эквивалентному моменту либо по эквивалентному току.

$$M_{эк} = \sqrt{\frac{\sum_{к=1}^{n}\left(M_k^{\,2} \cdot t_k\right)}{t_ц}} \qquad I_{эк} = \sqrt{\frac{\sum_{к=1}^{n}(I_k^{\,2} \cdot t_k)}{t_ц}}$$

Задача 2.2.

Определить необходимую мощность двигателя для привода механизма, работающего в повторно-кратковременном режиме, который задан нагрузочной диаграммой, изображенной на рис. 2. Двигатель должен развивать частоту вращения n = 720 об/мин.

Р е ш е н и е:

Определяем эквивалентный момент за рабочее время:

$$M_{раб} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}\left(M_k{}^2 t_k\right)}{t_p}} = \sqrt{\frac{100^2 \cdot 10 + 70^2 \cdot 30 + 60^2 \cdot 20 + 40^2 \cdot 10}{10 + 30 + 20 + 10}} = 69.2\ Н \cdot м$$

Определяем мощность, соответствующую эквивалентному моменту за рабочее время:

$$P_{раб} = M_{раб}\, n / 9550 = 69.2 \cdot 720/9550 = 5.2\ кВт$$

Определяем относительную продолжительность включения:

$$ПВ = t_p / t_n = t_p / (t_p + t_0) = 70/130 = 0.54$$

В каталогах для двигателей повторно-кратковременного режима номинальная мощность указывается для следующих стандартных значений относительной продолжительности включения ПВ: 0,15; 0,25; 0,4 и 0,6. В том случае, когда расчетная ПВ, определенная по нагрузочной диаграмме, отличается от стандартного значения, мощность двигателя пересчитывают по формуле

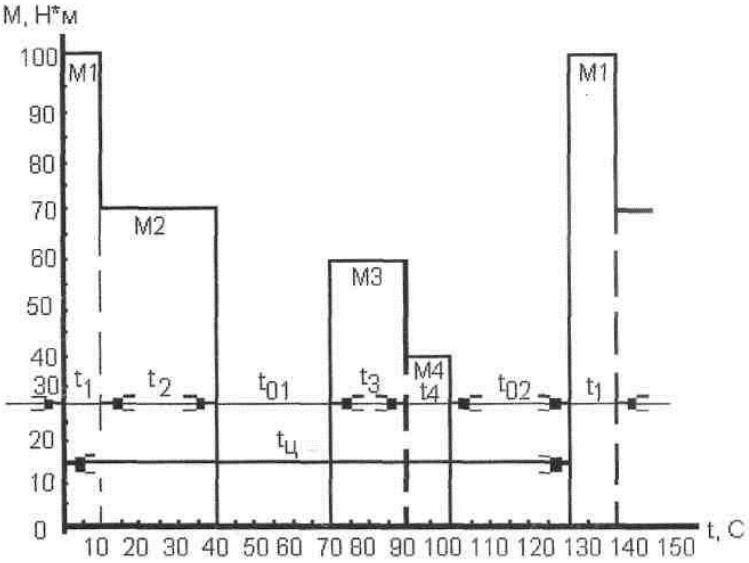


Рис. 2.4 Нагрузочная диаграмма режима работы двигателя, заданного изменением

$$P'_{раб} = P_{раб}\sqrt{ПВ_{раб} / ПВ_{ном}}$$

Для $ПВ_{ном} = 0{,}6$ получаем

$$P'_{ряб} = 5{,}2\sqrt{0{,}54/0{,}6} = 4{,}93 \text{ кВт.}$$

По данным каталога по аналогии с задачей 1 может быть подобран двигатель для расчетной мощности 5,0 кВт и $ПВ_{ном} = 0{,}6$.

3. Задания для студентов

Задача 1

Рассчитать нагрев печи. Печь среднетемпературная косвенного действия. Напряжение питающей сети U_c = 380В. Для выбора материала нагревателей использовать таблицу 1.1 По рис. 1.6 для $t_{изд}$ найти для идеального нагревателя $W_{ид}$.

Таблица 3.1

Данные для расчета нагревателя печи.

№ вар.	P, кВт	t, ^{0}C	D печи, м	Ширина печи, м	Длина печи, м	Высота печи, м	Удельное сопротивление ρ, Ом·м
1	66	850	0,8			1,0	$1{,}0\cdot10^{-6}$
2	66	1200		0,8	1,6	0,5	$1{,}1\cdot10^{-6}$
3	54	1000	0,7			1,6	$1{,}1\cdot10^{-6}$
4	66	750	0,8			1,0	$0{,}88\cdot10^{-6}$
5	66	800	0,9			1,4	$1{,}2\cdot10^{-6}$
6	66	900		0,8	1,6	0,5	$1{,}3\cdot10^{-6}$
7	63	900	0,8			1,1	$1{,}2\cdot10^{-6}$
8	66	900		0,8	1,6	0,5	$1{,}2\cdot10^{-6}$
9	63	1100	0,9			1,2	$1{,}4\cdot10^{-6}$ алюминиевый сплав
10	54	750		0,6	1,6	1,2	$1{,}2\cdot10^{-6}$

Задача 2.

Определить необходимую мощность двигателя для привода механизма, для определения режима работы которого необходимо построить нагрузочную диаграмму. По технологическим условиям следует использовать асинхронный двигатель (при выборе двигателя см. приложение). Двигатель должен иметь частоту вращения n, помещение где установлен двигатель – сухое, без пыли и грязи.

Таблица 3.2

Данные для расчета

№ вар.	n, об/мин	t_1, с	t_2, с	t_3, с	t_4, с	t_5, с	P_1, кВт	P_2, кВт	P_3, кВт	P_4, кВт	P_5, кВт
1	980	60	100	10	45	30	8	4	15	10	25
2	720	15	25	20	35	30	15	4	30	15	10
3	1500	7	3	15	4	12	6	20	3	15	30
4	1000	1,5	4	2,5	3,5	3	20	10	6	8	8
5	980	60	100	10	45	3	8	4	15	10	25
6	720	30	15	60	60	10	6	20	13	15	30
7	1500	10	75	60	50	10	15	4	30	15	10
8	1000	1	4	2,5	3,5	3	8	4	15	10	25
9	980	18	30	10	20	23,5	20	10	6	8	8
10	720	60	100	10	45	30	26	20	13	15	30
11	1500	50	20	40	50	45	15	4	30	15	10
12	1000	10	15	20	40	40	20	10	6	8	8
13	980	50	10	15	20	35	8	4	15	10	25
14	720	15	20	20	30	30	20	10	6	8	8
15	1500	10	20	20	15	15	8	6	10	6	5
16	1000	8	8	10	10	12	8	4	15	10	25
17	980	40	30	30	20	15	20	10	6	8	8
18	720	35	35	20	15	10	15	4	30	15	10
19	1500	20	10	50	10	15	20	10	6	8	8
20	1000	15	15	20	25	15	20	10	6	8	8

Задача 3.

Определить необходимую мощность двигателя для привода механизма, работающего в повторно-кратковременном режиме, для определения режима работы которого необходимо построить нагрузочную диаграмму. Двигатель должен развивать частоту вращения n . При выборе двигателя см. приложение.

Таблица 3.3

Данные для расчета

№ вар.	n, об/мин	t_1, с	t_2, с	t_3, с	t_4, с	t_5, с	M_1, Н·м	M_2, Н·м	M_3, Н·м	M_4, Н·м	M_5, Н·м
1	980	20	10	50	20	15	25	10	0	13,5	8
2	720	18	30	10	20	23,5	8	5	0	25	10
3	1500	30	15	60	60	10	25	10	0	18	30
4	1000	50	20	40	50	45	0	4	8	0	5
5	980	10	75	60	50	10	30	5	0	15	25
6	720	1	1,5	2,5	1,5	1,5	8	6	0	4	3,5
7	1500	18	30	10	20	23,5	8	6	0	4	3,5
8	1000	30	20	40	50	45	30	5	0	15	25
9	980	15	25	10	35	30	8	6	0	4	3,5
10	720	7	3	15	4	20	0	4	8	0	5
11	1500	1	1,5	2,5	1,5	1,5	10	10	0	18	30
12	1000	20	10	50	10	15	8	6	0	4	3,5
13	980	30	15	60	60	10	30	5	0	15	25
14	720	15	25	10	35	30	0	4	8	0	5
15	1500	20	75	60	50	10	30	5	0	15	25
16	1000	7	3	15	4	2	25	10	0	13,5	8
17	980	1	1,5	2,5	1,5	1,5	8	5	0	25	10
18	720	1	4	2,5	3,5	3	0	4	8	0	50
19	1500	30	45	30	15	20	8	5	0	25	10
20	1000	20	10	10	20	30	8	5	0	25	10
21	980	20	10	10	15	20	30	5	0	15	25
22	720	20	15	15	25	25	8	6	0	4	3,5
23	1500	25	5	50	5	10	30	5	0	15	25
24	1000	10	45	50	60	60	0	4	8	0	5

Окончание таблицы 3.3

№ вар.	n, об/мин	t_1, с	t_2, с	t_3, с	t_4, с	t_5, с	M_1, Н·м	M_2, Н·м	M_3, Н·м	M_4, Н·м	M_5, Н·м
25	980	40	30	30	15	10	25	10	0	18	30
26	720	20	15	15	10	5	8	6	0	6	5
27	1500	16	5	3	2	12	15	10	0	10	8
28	1000	20	35	35	25	25	30	0	25	25	10
29	980	10	25	10	15	20	6	0	0	6	5
30	720	15	30	35	40	40	8	6	0	4	3,5
31	1500	20	15	15	10	5	0	4	8	0	5

4. Приложения

Таблица 4.1

Технические характеристики крановых электродвигателей с фазным ротором MTH, MTF, MTФ, ДMTF, 5MTH, 4MTH, AMTF и др.

Тип двигателя	Мощн. при ПВ 40%, кВТ	Частота вращ., об./мин	Масса, кг	Ток статора, А	Ток ротора, А	Ммакс/ Мном	КПД, %	Коэфф. мощн.
DMTF(H) 011-6	1.4	885	56	5.3/9.0	9.1			
DMTF(H) 012-6	2.2	890	63	7.6/ 13.0	11.5			
DMTF(H) 111-6	3.5	900	87	10.8/ 18.8	15			
DMTF(H) 112-6	5	925	105	14.7/ 25.4	15.7			
AMTF(H) 132-M6	5	925	123	13.8/ 23.9	20			
AMTF(H) 132-Л6	7,5	925	140	20,2/ 34,9	21,7			
MTF(H) 211-6	7,5	940	135	-		3,3	78,5	0,8
MTF(H) 311-6	11	945	180	29,3	43	3,0	80	0,71
MTF(H) 311-8	7,5	715	220	23	21	3,0	76	0,65
MTF(H) 312-6	15	955	220	37,5	48	3,0	82	0,74
MTF(H) 312-8	11	705	225	32,7	46	3,0	78,5	0,74
MTF(H) 411-6	22	965	280	51	59	2,8	86	0,76
MTF(H) 411-8	15	710	280	44	46	3,2	83	0,62

Продолжение таблицы 4.1

Тип двига-теля	Мощн. при ПВ 40%, кВТ	Частота вращ., об./мин	Масса, кг	Ток стато-ра, А	Ток ро-тора, А	Ммакс/ Мном	КПД, %	Коэфф. мощн.
MTF(H) 412-6	30	970	345	66	72	28	87	0,79
MTF(H) 412-8	22	720	345	58	58	3,0	83	0,7
4MTM 200 LA6	22.0	960	270	51	59	2.8	86.0	0.76
4MTM200 LA8	15.0	720	275	44	46	3.2	83.0	0.62
4MTM200 LB6	30.0	960	300	66	72	2.8	87.0	0.79
4MTM200 LB8	22.0	720	305	58	58	3.0	83.0	0.7
4MTM225 M6	37.0	955	390	60	80	3.0	87.0	0.8
4MTM225 M8	30.0	715	390	74	70	2.9	85.0	0.72
4MTM225 L6	55.0	955	490	117	122	2.9	88.0	0.81
4MTM225 L8	37.0	720	470	88	76	2.9	86.0	0.74
MTH-511-6	37.0	955		80	80	3.0	87.0	0.81
MTH-511-8	30.0	715		74	70	2.9	85.0	0.72
MTH-512-6	55.0	955		117	122	2.9	88.0	0.81
MTH-512-8	37.0	715		88	76	2.9	86.0	0.74
4MTM280 S6	75.0	955	740	149	180	3.2	89.0	0.86

Окончание таблицы 4.1

Тип двига-теля	Мощн. при ПВ 40%, кВТ	Часто-та вращ., об./мин	Масса, кг	Ток стато-ра, А	Ток ро-тора, А	Ммакс/ Мном	КПД, %	Коэфф. мощн.
4MTM280 L6	110.0	970	970	216	168	3,5	91,0	0,85
4MTM280 M8	55,0	720	720	116	147	3,2	89,0	0,81
4MTM280 L8	75,0	725	970	155	145	3,5	91,0	0,8
4MTM280 S10	45,0	570	715	109	167	3,0	86,0	0,73
4MTM280 M10	60,0	575	825	140	162	3,2	88,0	0,74
4MTM280 L10	75,0	575	975	175	150	3,0	89,0	0,73
MTH611-10	45,0	570	774	109	167	3,0	86,0	0,73
MTH612-10	60,0	575	884	140	162	3,2	88,0	0,74
MTH613-10	75,0	575	1044	175	150	3,0	89,0	0,73
AMTH 400S10	110,0	600	1250	240	251		90,5	0,73
AMTH 400M10	132,0	600	1415	285	249		91,3	0,73
AMTH 400L10	160,0	600	1575	355	242		91,3	0,73

Примеры и технические характеристики электродвигателей с короткозамкнутым ротором

Таблица 4.2

Технические характеристики крановых электродвигателей МТКН 011-6 и ДМТКF 011-6 с к.з. ротором

Мощность, кВт S 3 , ПВ 40%, кВТ	Частота вращения, об/мин.	Номинальный ток А, при U=380 В	$I_п/I_н$	$M_п/M_н$	$M_{мах}/M_н$	КПД, %	Коэфф. мощн.
1,4	920	4,5	4,0	2,8	2,8	70,5	0,67

Таблица 4.3

Технические характеристики крановых электродвигателей МТКН 011-6 и ДМТКF 011-6 с к.з. ротором

Мощность, кВт S 3 , ПВ 40%, кВТ	Частота вращения, об/мин.	Номинальный ток А, при U=380 В	$I_п/I_н$	$M_п/M_н$	$M_{мах}/M_н$	КПД, %	Коэфф. мощн.
2,2	915	6,5	4,0	2,8	2,8	73,5	0,7

Таблица 4.4

Технические характеристики крановых электродвигателей МТКН 111-6

Мощность, кВт S 3 , ПВ 40%, кВТ	Частота вращения, об/мин.	Номинальный ток А, при U=380 В	$I_п/I_н$	$M_п/M_н$	$M_{мах}/M_н$	КПД, %	Коэфф. мощн.
3,5	865	8,9	3,8	2,75	2,75	74,5	0,8

Электродвигатели АИМ-М, АИМ-Л

Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором взрывозащищенные АИМ-М, АИМ-Л предназначены для эксплуатации во взрывозащищенных зонах помещений и наружных установках.

Напряжение питающей сети 220 - 660 В, частота 50 Гц.

Номинальный режим работы: продолжительный S1. Двигатели допускают работу в режимах S2, S3, S4 и S6.

Конструктивное исполнение по способу монтажа:

АИМ-М 63, 71, 80	IM1281,M9881, IM4481, IM1081, IM2081, IM3081;
АИМ-Л 63, 71, 80	IM1081, IM2081, IM3081
АИМ-М 90,100,112,132,	IM1081, IM2081, IM3081

Степень защиты:

корпуса и коробки выводов	IP54
кожуха наружного вентилятора	IP20

Способ охлаждения: ICA 0141.

Структура условного обозначения:

АИМ	обозначение типа двигателя
М, Л	Обозначение модификации: М - в чугунном или стальном корпусе, Л – в алюминиевом корпусе
63, 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160	Габарит (высота оси вращения, мм)
A, B, S, L, M, MA, MB	Условное обозначение длины активной части или условного размера по длине машины
2, 4, 6, 8	Число полюсов машины
У1,5; У2,5; УХЛ1,5 УХЛ2,5;Т1,5; Т2,5; ОМ2,5	Вид климатического исполнения

Таблица 4.5

Технические данные электродвигателей АИМ-М, АИМ-Л

Тип двигателя	Мощ-ность, кВт	Частота враще-ния (синхр.) об/мин.	Масса, кг
АИМ-М(Л)63А-2	0,37	3000	14,0 (8,0)
АИМ-М(Л)63В-2	0,55		14,5 (9,0)
АИМ-М(Л)71А-2	0,75		17,5 (14,5)
АИМ-М(Л)71В-2	1,1		18,5 (15,5)
АИМ-М(Л)80А-2	1,5		24,3 (18,0)
АИМ-М(Л)80В-2	2,2		27,0 (20,3)
АИМ-М90L-2	3,0		41,0
АИМ-М100S-2	4,0		47,7
АИМ-М100L-2	5,5		55,0
АИМ-М112М-2	7,5		75,0
АИМ-М132М-2	11,0		96,0
АИМ-М160S-2	15,0		140,0
АИМ-М160М-2	18,5		160,0
АИМ-М(Л)63А-4	0.25	1500	14,0 (8,0)
АИМ-М(Л)63В-4	0.37		14,5 (9,0)
АИМ-М(Л)71А-4	0.55		17,5 (14,5)
АИМ-М(Л)71В-4	0.75		18,5 (15,5)
АИМ-М(Л)80А-4	1.1		24,3 (18,0)
АИМ-М(Л)80В-4	1.5		27,0 (21.0)
АИМ-М90L-4	2.2		41,0
АИМ-М100S-4	3.0		48,7
АИМ-М100L-4	4.0		58,0
АИМ-М112М-4	5.5		75,0
АИМ-М132S-4	7.5		87,0
АИМ-М132М-4	11.0		106.0
АИМ-М160S-4	15.0		140,0
АИМ-М160М-4	18.5		160,0

Окончание таблицы 4.5

Тип двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения (синхр.) об/мин.	Масса, кг
АИМ-М(Л)71А-6	0.37	1000	17,5 (14,5)
АИМ-М(Л)71В-6	0.55		18,5 (15,5)
АИМ-М(Л)80А-6	0.75		24,3 (18,0)
АИМ-М(Л)80В-6	1.0		27,0 (20.3)
АИМ-М90L-6	1.5		41,0
АИМ-М100L-6	2.2		55.0
АИМ-М112МА-6	3.0		75,0
АИМ-М112МВ-6	4.0		
АИМ-М132S-6	5.5		93,0
АИМ-М132М-6	7.5		109,0
АИМ-М160S-6	11.0		140,0
АИМ-М160М-6	15.0		160,0
АИМ-М100L-8	1,5	750	55.0
АИМ-М112МА-8	2,2		75,0
АИМ-М112МВ-8	3,0		
АИМ-М132S-8	4,0		91,0
АИМ-М132М-8	5,5		106,0
АИМ-М160S-8	7,5		140,0
АИМ-М160М-8	11,0		160,0

Основные преимущества электродвигателей АИМ-М перед аналогами:

- снижение массы в пределах 25-40% путем оптимизации конструкции;
- повышенная эксплуатационная надежность за счет высокого уровня технологии обмоточно-изолировочных работ.

Основное преимущество электродвигателей АИМ-Л относительно АИМ-М:

- снижение массы на 25 % за счет использования легких сплавов вместо черных металлов.

Электродвигатели АИМ-МВ

Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором взрывозащищенные АИМ-МВ, предназначены для эксплуатации во взрывозащищенных помещениях и наружных установках.

Напряжение питающей сети 220, 380, 660 В, частота 50 Гц.

Номинальный режим работы: S3 с ПВ – 25%.

Конструктивное исполнение по способу монтажа IM3081.

Степень защиты IP54.

Способ охлаждения: ICA 0141.

Электродвигатели работают в любом направлении вращения.

Структура условного обозначения:

АИМ	обозначение типа двигателя
МВ	Обозначение модификации: М - в чугунном или стальном корпусе, В – вентиляторный
112, 132	Габарит (высота оси вращения, мм)
М, МА, МВ, S,	Условное обозначение длины активной части или условного размера по длине машины
2, 4,	Число полюсов машины
У1,5; У2,5; УХЛ1,5 УХЛ2,5;Т1,5; Т2,5; ОМ2,5	Вид климатического исполнения

Таблица 4.6

Технические данные электродвигателей АИМ-МВ

Типоразмер	Мощность, кВт	Частота вращения (синхр.) об/мин	Масса, кг
АИМ-МВ 112М2	7,5	3000	77,0
АИМ-МВ 132М2	11,0		95,0
АИМ-МВ 112М4	5,5	1500	77,0
АИМ-МВ 132 S4	7,5		110,0
АИМ-МВ 132М4	11,0		

Электродвигатели АИМ-С

Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором взрывозащищенные АИМ-С, предназначены для эксплуатации во взрывозащищенных зонах помещений и наружных установках.

Напряжение питающей сети 220, 380, 660 В, частота 50 Гц.

Номинальный режим работы: S1.

Конструктивное исполнение по способу монтажа:

АИМ-С 71 - 90	IM1281,M9881, IM4481,
АИМ-С 100-160	IM1081, IM2081, IM3081

Степень защиты:

корпуса и коробки выводов	IP54
кожуха наружного вентилятора	IP20

Способ охлаждения: ICA 0141.

Электродвигатели работают в любом направлении вращения.

Структура условного обозначения:

АИМ	обозначение типа двигателя
С	Установочно-присоединительные размеры в системе «Сенелек»
71, 80, 90, 100, 112, 132, 160	Габарит (высота оси вращения, мм)
A, B, S, L, M, SA, SB, MA, MB	Условное обозначение длины активной части или условного размера по длине машины
2, 4, 6, 8 Число	Число полюсов машины У1,5; У2,5;
У1,5; У2,5; УХЛ1,5 УХЛ2,5;Т1,5; Т2,5; ОМ2,5	Вид климатического исполнения

Таблица 4.7

Технические данные электродвигателей АИМ-С

Тип двигателя	Мощ-ность, кВт	Частота враще-ния (синхр.) об/мин.	Масса, кг
АИМ-С71А-2	0.37	3000	14.5
АИМ-С71В-2	0.55		
АИМ-С80А-2	0.75		18.5
АИМ-С80В-2	1.1		
АИМ-С90S-2	1.5		24.3
АИМ-С90L-2	2.2		27.0
АИМ-С100L-2	3.0		41.0
АИМ-С112М-2	4.0		47.7
АИМ-С132SA-2	5.5		55.0
АИМ-С132SB-2	7.5		75.0
АИМ-С160МА-2	11.0		96.0
АИМ-С71А-4	0.25	1500	14.5
АИМ-С71В-4	0.37		
АИМ-С80А-4	0.55		18.5
АИМ-С80В-4	0.75		
АИМ-С90S-4	1.1		24.3
АИМ-С90L-4	1.5		27.0
АИМ-С100LA-4	2.2		41.0
АИМ-С100LB-4	3.0		48.7
АИМ-С1112М-4	4.0		58.0
АИМ-С132S-4	5.5		75.0
АИМ-С132М-4	7.5		87.0
АИМ-С160М-4	11.0		106.0
АИМ-С80А-6	0.37	1000	18.5
АИМ-С80В-6	0.55		
АИМ-С90S-6	0.75		24.3
АИМ-С90L-6	1.0		27.0
АИМ-С100L-6	1.5		41.0
АИМ-С112М-6	2.2		55.0
АИМ-С132S-6	3.0		75.0
АИМ-С132МА-6	4.0		
АИМ-С132МВ-6	5.5		93.0.0
АИМ-С160М-6	7.5		109.0

Окончание таблицы 4.7

Тип двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения (синхр.) об/мин.	Масса, кг
АИМ-С112L-8	1,5	750	55.0
АИМ-С132S-8	2,2		75.0
АИМ-С132М-8	3,0		
АИМ-С132МА-8	4,0		91,0
АИМ-С160МВ-8	5,5		106,0

Масса приведена для исполнения IM1081, IM1281.

Основные преимущества электродвигателей:

- снижение массы в пределах 25-40% путем оптимизации конструкции;
- повышенная эксплуатационная надежность за счет высокого уровня технологии обмоточно-изолировочных работ.

Электродвигатели АИМА-М, АИМА-Л

Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором взрывозащищенные АИМА-М, АИМА-Л, предназначены для эксплуатации во взрывозащищенных зонах помещений и наружных установках.

Напряжение питающей сети 220, 380, 660 В, частота 50 Гц.

Номинальный режим работы: АИМА-М 100LB4 – S3 с ПВ – 20%, остальных S3 с ПВ – 25%.

Конструктивное исполнение по способу монтажа:

АИМА-М 63, 71, 80	IM4481
АИМА-Л 63, 71, 80 и АИМА-М 100, 132	IM3081

Степень защиты IP54.

Способ охлаждения: ICA 0041.

Электродвигатели работают в любом направлении вращения.

Структура условного обозначения:

АИМА	обозначение типа двигателя
М, Л	Обозначение модификации: М - в чугунном или стальном корпусе, Л – в алюминиевом корпусе
63, 71, 80, 100, 132,	Габарит (высота оси вращения, мм)
A, B, S, L, L B,	Условное обозначение длины активной части или условного размера по длине машины
2, 4,	Число полюсов машины
У1,5; УХЛ1 УХЛ1,5; УХЛ2,5; Т1,5;	Вид климатического исполнения

Таблица 4.8

Технические данные электродвигателей АИМА-М, АИМА-Л

Тип двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения (синхр.) об/мин.	Масса, кг
АИМА-М(Л)63А-2	0,37	3000	15,0 (8,0)
АИМА-М(Л)63В-2	0,55		16,0 (9,0)
АИМА-М(Л)71А-2	0,75		20,0 (14,5)
АИМА-М(Л)71В-2	1,1		21,0 (15,5)
АИМА-М(Л)80А-2	1,5		27,0 (18,0)
АИМА-М(Л)80В-2	2,2		30,0 (20,3)
АИМА-М100S-2	4,0		49,5
АИМА-М100L-2	5,5		55,0
АИМА-М132М-2	11,0		95,0
АИМА-М(Л)63А-4	0.25	1500	15,0 (8,0)
АИМА-М(Л)63В-4	0.37		16,0 (9,0)
АИМА-М(Л)71А-4	0.55		20,0 (14,5)
АИМА-М(Л)71В-4	0.75		21,5 (15,5)
АИМА-М(Л)80А-4	1.1		27,5 (18,0)
АИМА-М(Л)80В-4	1.5		30,0 (21.0)
АИМА-М100S-4	3.0		49,0
АИМА-М100L-4	4.0		5.06
АИМА-М100LB-4	5.5		56.0
АИМА-М132S-4	7.5		92.0
АИМА-М132М-4	11.0		105.0

Основные преимущества электродвигателей перед аналогами:

- Электродвигатели являются специализированным исполнением, рассчитанным на применение в электроприводах запорной арматуры и не имеют аналогов;
- Электродвигатели выполнены без наружного вентилятора, что исключает возможное заклинивание электродвигателя и гарантирует срабатывание задвижки электропривода в холодные периоды года;

Основное преимущество электродвигателей АИМА-Л относительно АИМА-М:

- снижение массы на 25 % за счет использования легких сплавов вместо черных металлов;

Электродвигатели АИУ

Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором взрывозащищенные АИУ, предназначены для эксплуатации в подземных выработках угольных сланцевых шахт, а также в помещениях и наружных установках, опасных по метану и угольной пыли.

Напряжение питающей сети 220, 380, 660 В, частота 50 Гц.

Номинальный режим работы: продолжительный – S1,

Электродвигатели допускают работу в режимах: S2,S3,S4,S6.

Конструктивное исполнение по способу монтажа:

АИУ 63, 71, 80	IM1281, IM9881, IM4481
АИУ 100, 112, 132, 160	IM1081, IM2081, IM3081

Степень защиты:

корпуса и коробки выводов	IP54
кожуха наружного вентилятора	IP20

Способ охлаждения: ICA 0141.

Электродвигатели работают в любом направлении вращения.

Структура условного обозначения:

АИУ	обозначение типа двигателя
63, 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160	Габарит (высота оси вращения, мм)
A, B, S, L, M, MA, MB,	Условное обозначение длины активной части или условного размера по длине машины
2, 4, 6, 8	Число полюсов машины
У1,5; У2,5; УХЛ1,5; УХЛ2,5; Т1,5; Т1,5; ОМ2,5	Вид климатического исполнения

Таблица 4.9

Технические данные электродвигателей АИУ

Типоразмер	Мощ-ность, кВт	Частота вращения (синхр.) об/мин	Масса, кг
АИУ63А-2	0.37	3000	16.0
АИУ63В-2	0.55		16.5
АИУ71А-2	0.75		19.5
АИУ71В-2	1.1		20.5
АИУ80А-2	1.5		28.0
АИУ80В-2	2.2		31.0
АИУ90L-2	3.0		41.0
АИУ100S-2	4.0		47.7
АИУ-100L-2	5,5		55,0
АИУ-112М-2	7.5		77.0
АИУ-132М-2	11.0		111.0
АИУ-160S-2	15.0		147.0
АИУ-160М-2	18.5		167.0
АИУ-63А-4	0.25	1500	16.0
АИУ-63В-4	0.37		16.5
АИУ-71А-4	0.55		19.5
АИУ-71В-4	0.75		20.5
АИУ-80А-4	1.1		28.0
АИУ-80В-4	1.5		31.0
АИУ-90L-4	2.2		41.0
АИУ-100S-4	3.0		48.7
АИУ-100L-4	4.0		58.0
АИУ-112М-4	5.5		77.0
АИУ-132S-4	7.5		95.0
АИУ-132М-4	11.0		111.0
АИУ-160S-4	15.0		147.0
АИУ-160М-4	18.5		167.0

Окончание таблицы 4.9

АИУ-71А-6	0.37	1000	19.5
АИУ-71В-6	0.55		20.5
АИУ-80А-6	0.75		28.0
АИУ-80В-6	1.1		31.0
АИУ-90L-6	1.5		41.0
АИУ-100L-6	2.2		55.0
АИУ-112МА-6	3.0		77.0
АИУ-112MS-6	4.0		
АИУ-132S-6	5.5		95.0
АИУ-132М-6	7.5		111.0
АИУ-160S-6	11.0		147.0
АИУ-160М-6	15.0		167.0
АИУ-100L-8	1,5	750	60.0
АИУ-112МА-8	2,2		77.0
АИУ-112МВ-8	3,0		
АИУ-132S-8	4,0		95.0
АИУ-132М-8	5,5		111.0
АИУ-160S-8	7,5		147.0
АИУ-160М-8	11,0		167.0

Масса приведена для исполнения IM1081, IM1281.

Основные преимущества электродвигателей перед аналогами:

- снижение массы в пределах 25-40% путем оптимизации конструкции;
- повышенная эксплуатационная надежность за счет высокого уровня технологии обмоточно-изолировочных работ.

Электродвигатели АЗО

Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором взрывозащищенные АЗО, предназначены для привода машин и механизмов общепромышленного назначения.

Напряжение питающей сети 220, 380, 660 В, частота 50 Гц.

Номинальный режим работы: продолжительный – S1,

Электродвигатели допускают работу в режимах S2, S3, S4, S6.

Конструктивное исполнение по способу монтажа:

АЗО 63, 71, 90-160	IM1081, IM2081, IM3081
АЗО 80	IM1281, IM2081, IM3581

Степень защиты:

корпуса и коробки выводов	IP54
кожуха наружного вентилятора	IP20

Способ охлаждения: ICA 0141.

Электродвигатели работают в любом направлении вращения.

Структура условного обозначения:

АЗО	обозначение типа двигателя
63, 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160	Габарит (высота оси вращения, мм)
A, B, S, L, M, MA, MB,	Условное обозначение длины активной части или условного размера по длине машины
2, 4, 6, 8	Число полюсов машины
У2, УХЛ2, Т2	Вид климатического исполнения

Основное преимущество электродвигателей АЗО перед аналогами заключается в их изготовлении по технологии взрывозащищенных электродвигателей, что обеспечивает высокое качество и повышенную эксплуатационную надежность.

Таблица 4.10

Технические данные электродвигателей АЗО

Типоразмер	Мощность, кВт	Частота вращения (синхр.) об/мин	Масса, кг
АЗО 63А-2	0.37	3000	11,0
АЗО 63В-2	0.55		
АЗО 71А-2	0.75		12,0
АЗО 71В-2	1,1,		
АЗО 80А-2	1,5		18,3
АЗО 80В-2	2,2		2,06
АЗО 90L-2	3,0		30,0
АЗО 100S-2	4,0		37,0
АЗО 100L-2	5,5		43,0
АЗО 112М-2	7,5		49,0
АЗО 132М-2	11,0		71,0
АЗО 160S-2	15,0		108,0
АЗО 160М-2	16,5		116,0
АЗО 63А4	0.25	1500	11,0
АЗО 63В4	0.37		
АЗО 71А4	0.55		12.0
АЗО 71В4	0.75		
АЗО 80А4	1.1		19.0
АЗО 80В4	1.5		21.3
АЗО 90L4	2.2		30.0
АЗО 100S4	3.0		36.0
АЗО 100L4	4.0		43.0
АЗО 112М4	5.5		43.5
АЗО 132S4	7.5		54.0
АЗО 132М4	11.0		71.0
АЗО 160S4	15.0		117.0
АЗО 160М4	18.5		134.0

Окончание таблицы 4.10

Типоразмер	Мощность, кВт	Частота вращения (синхр.) об/мин	Масса, кг
АЗО 71А6	0.37	1000	12.0
АЗО 71В6	0.55		
АЗО 80А6	0.75		18.2
АЗО 80В6	1.1		20.9
АЗО 90L6	1.5		30.0
АЗО 100L6	2.2		42.0
АЗО 112МА6	3.0		42.5
АЗО 112МВ6	4.0		
АЗО 132S6	5.5		54.0
АЗО 132М6	7.5		71.0
АЗО 160S6	11.0		130.0
АЗО 160М6	15.0		137.0
АЗО 100L8	1,5	750	43.0
АЗО 112МА8	2,2		37.5
АЗО 112МВ8	3,0		43.0
АЗО 132S8	4,0		54.0
АЗО 132М8	5,5		71.0
АЗО 160S8	7,5		115.0
АЗО 160М8	11,0		137.0

Электродвигатели АЗОС

Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором взрывозащищенные АЗОС, предназначены для привода машин и механизмов общепромышленного применения.

Напряжение питающей сети 220, 380, 660 В, частота 50 Гц.

Номинальный режим работы: продолжительный S1.

Электродвигатели допускают работу в режимах S2, S3, S4, S6.

Конструктивное исполнение по способу монтажа:

АЗОС 71, 80, 100, 112, 132,160	IM1081, IM2081, IM3081
АЗОС 90	IM1281, IM2081, IM3581

Степень защиты:

корпуса и коробки выводов	IP54
кожуха наружного вентилятора	IP20

Способ охлаждения: ICA 0141.

Электродвигатели работают в любом направлении вращения.

Структура условного обозначения:

АЗО	обозначение типа двигателя
С	Установочно-присоединительные размеры в системе «Сенелек»
71, 80, 90, 100, 112, 132, 160	Габарит (высота оси вращения, мм)
A, B, S, L, M, SA, SB, MA, MB	Условное обозначение длины активной части или условного размера по длине машины
2, 4, 6, 8	Число полюсов машины
У2, УХЛ2, Т2	Вид климатического исполнения

Основное преимущество электродвигателей АЗОС перед аналогами - заключается в их изготовлении по технологии взрывозащищенных электродвигателей, что обеспечивает высокое качество и повышенную эксплуатационную надежность.

Таблица 4.11

Технические данные электродвигателей АЗС

Тип двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения (синхр.) об/мин.	Масса, кг
АЗОС 71А-2	0.37	3000	11,0
АЗОС 71В-2	0.55		
АЗОС 80А-2	0.75		12.0
АЗОС 80В-2	1.1		
АЗОС 90S-2	1.5		18,3
АЗОС 90L-2	2.2		20,6

Окончание таблицы 4.11			
Тип двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения (синхр.) об/мин.	Масса, кг
АЗОС 100L-2	3.0	3000	30,0
АЗОС 112М-2	4.0		37,0
АЗОС 132SA-2	5.5		43,0
АЗОС 132SB-2	7.5		49,0
АЗОС 160МА-2	11.0		72,0
АЗОС 71А-4	0.25	1500	11,0
АЗОС 71В-4	0.37		
АЗОС 80А-4	0.55		12.0
АЗОС 80В-4	0.75		
АЗОС 90S-4	1.1		19,0
АЗОС 90L-4	1.5		21,3
АЗОС 100LA-4	2.2		30,0
АЗОС 100LB-4	3.0		36,0
АЗОС 1112М-4	4.0		43,0
АЗОС 132S-4	5.5		43,5
АЗОС 132М-4	7.5		54,0
АЗОС 160М-4	11.0		72,0
АЗОС 80А-6	0.37	1000	12.0
АЗОС 80В-6	0.55		
АЗОС 90S-6	0.75		18,2
АЗОС 90L-6	1.1		20,9
АЗОС 100L-6	1.5		30,0
АЗОС 112М-6	2.2		42,0
АЗОС 132S-6	3.0		42,5
АЗОС 132МА-6	4.0		
АЗОС 132МВ-6	5.5		54,0
АЗОС 112L-8	1,5	750	43.0
АЗОС 132S-8	2,2		37.5
АЗОС 132М-8	3,0		43.0
АЗОС 160S-8	4,0		54.0
АЗОС 160М-8	5,5		72.0

Масса приведена для исполнения IM1081, IM1281.

Электродвигатели АЗОК

Электродвигатели асинхронные трехфазные конденсаторные с короткозамкнутым ротором взрывозащищенные АЗОК, предназначены для привода различных устройств и механизмов машин.

Напряжение питающей сети 220, 380, 660 В, частота 50 Гц.

Номинальный режим работы: продолжительный S1.

Электродвигатели допускают работу в режимах S2, S3, S4, S6.

Конструктивное исполнение по способу монтажа:

АЗОК 71	IM1081, IM2081, IM3081
АЗОК 80	IM1081, IM2081, IM3081 IM1281, IM3581

Степень защиты:

корпуса и коробки выводов	IP54
кожуха наружного вентилятора	IP20

Способ охлаждения: ICA 0141.

Структура условного обозначения:

АЗО	обозначение типа двигателя
К	конденсаторный
71, 80	Габарит (высота оси вращения, мм)
А, В	Условное обозначение длины активной части или условного размера по длине машины
2, 4	Число полюсов машины
У2, УХЛ2, Т2	Вид климатического исполнения

Основное преимущество электродвигателей АЗОК перед аналогами - заключается в их изготовлении по технологии взрывозащищенных электродвигателей, что обеспечивает высокое качество и повышенную эксплуатационную надежность.

Таблица 4.12

Технические данные АД серии 4А основного исполнения

Тип	$P_н$, кВт	$I_н$, А	$n_н$, об/мин	$\cos\varphi_н$	$\eta_н$, %	$I^*_п$	$M^*_п$	$M^*_к$	$M^*_м$	$J_Д$, кг·м^2
4А50А4УЗ	0,06	0,31	1380	0,60	50	2,5	2,0	2,2	1,7	$29\cdot10^{-6}$
4А50А4УЗ	0,09	0,42	1370	0,60	55	2,5	2,0	2,2	1,7	$33\cdot10^{-6}$
4А56А4УЗ	0,12	0,44	1375	0,66	63	3,5	2,1	2,2	1,5	0,0007
4А56В4УЗ	0,18	0,66	1365	0,64	64	3,5	2,1	2,2	1,5	0,0008
4А6ЭА4УЗ	0,95	0,85	1380	0,66	68	4	2,0	2,2	1,5	0,0012
4А6ЭВ4УЗ	0,37	1,2	1365	0,69	68	4	2,0	2,2	1,5	0,0014
4А71А4УЗ	0,55	1,7	1390	0,70	70,5	4,5	2,0	2,2	1,8	0,0013
4А71В4УЗ	0,75	2,17	1390	0,73	72	4,5	2,0	2,2	1,8	0,0014
4А80А4УЗ	11	2,76	1420	0,81	75	5	2,0	2,2	1,6	0,0032
4А80В4УЗ	1,5	3,57	1415	0,83	77	5	2,0	2,2	1,6	0,0033
4А904УЗ	2,2	5,02	1425	0,83	80	6	2,1	2,4	1,6	0,0056
4А1004УЗ	3,0	6,7	1435	0,83	82	6	2,0	2,4	1,6	0,0087
4А1104УЗ	4,0	8,6	1430	0,84	84	6	2,0	2,4	1,6	0,011
4А112М4УЗ	5,5	11,5	1445	0,85	84,5	7	2,0	2,2	1,6	0,017
4А1324УЗ	7,5	15,1	1455	0,86	87,5	7,5	2,2	3,0	1,7	0,028
4А132М4УЗ	11	22	1460	0,87	87,5	7,5	2,3	3,0	1,7	0,04
4А1.604УЗ	15	29,3	1465	0,88	89	7	1,4	2,3	1,0	0,10
4А160М4УЗ	18,5	35,7	1465	0,88	90	7	1,4	2,3	1,0	0,13
4А1804УЗ	22	41,3	1470	0,90	90	6,5	1,4	2,3	1,0	0,18
4А180М4УЗ	30	56	1470	0,89	91	6,5	1,4	2,3	1,0	0,23
4А200М4УЗ	37	68,8	1475	0,90	91	7	1,4	2,5	1,0	0,37
4А2004УЗ	45	82,6	1475	0,90	92	7	1,4	2,5	1,0	0,45
4А225М4УЗ	55	100	1480	0,90	92,5	7	1,3	2,5	1,0	0,64
4А2504УЗ	75	136	1480	0,80	93	7	1,2	2,3	1,0	1,0
4А250М4УЗ	90	162	1480	0,91	93	7	1,2	2,3	1,0	1,2
4А2804УЗ	110	201	1470	0,90	82,5	5,5	1,2	2,0	1,0	2,3
4А280М4УЗ	132	240	1480	0.90	93	5,5	1,3	2,0	1,0	2,5
4А3154УЗ	160	285	1480	0,91	93,5	6	1,3	2,2	1,9	3,1
4А315М4УЗ	200	351	1480	0,92	94	6	1,3	2,2	0,9	3,6
4А3554УЗ	250	438	1485	0,92	94,5	7	1,2	2,0	0,9	6,0
4А355М4УЗ	315	549	1485	0,92	94,5	7	1,2	2,0	0,9	7,0

Литература

1. Зимин Е.Н., Преображенский В.И., Чувашов И.И. Электрооборудование промышленных предприятий. – М.: Энергоиздат, 1981.
2. Жуков Л.Л., Племянникова И.М., Миронова М.Н., и др. Сплавы для нагревателей, М.: Металлургия, 1985.
3. Сокунов Б.А., Гробова Л.С., Электротермические установки (электрические печи сопротивления).-Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2004.
4. Москаленко В.В. Электрический привод. – М.: Академия, 2007.
5. Алексеев В.В., Козярук А.Е.. Электрический привод. – М.: Академия, 2008.
6. Епифанов А.П. Основы электропривода. – СПб.: Лань, 2008.
7. Кабдин Н.Е., Герасенков А.А.. Электропривод и электрооборудование: метод. рекомендации по изучению дисциплины и задания для выполнения контр. работы – М.: Изд-во МГАУ им. В.П. Горячкина, 2002.
8. Домников С.В. и др. «Электротехника, электрические машины и аппараты»: в 3 ч. 2: Трансформаторы, электрические машины и аппараты, электропривод. Методическое пособие к выполнению РГР по дисциплине; под ред. Т.Т. Розум. – Минск: Изд-во БНТУ, 2002.
9. Кузнецов А.Ю., Зонов П.В.. Электропривод и электрооборудование: Учеб.-метод. пособие – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2012.
10. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., по сост. на 13.05.2009. – СПб.: Деан, 2009.
11. ao-electromash.ru
12. nkmehz.com.ua
13. info@magavattspb.ru

Оглавление

1. Электрооборудование установок электронагрева 3
1.1. Общие сведения об электротермических установках 3
1.2 Конструктивное исполнение печей сопротивления. 4
1.3. Требования к нагревателям. Основные требования к нагревателям (материалам нагревателей) 13
1.4. Материалы для изготовления нагревателей 14
1.5 Расчет проволочных и ленточных нагревателей 19
Пример 1.1. 25
2. Электропривод 27
2.1 Выбор типа и мощности двигателя 27
2.2. Режимы работы и особенности выбора электродвигателей кранов 28
2.3. Типы электропривода и условие выбора электродвигателей лифтов 37
2.4. Особенности электропривода и выбор мощности двигателей конвейеров 38
2.5. Режимы работы и условия выбора электродвигателей станков 39
Задача 2.1. 41
Задача 2.2. 44
3. Задания для студентов 46
Задача 1. 46
Задача 2. 47
Задача 3. 48
Приложения 50
Литература 73
Оглавление 74

Учебно-методические указания

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

РИО ПГУ, 3300 Тирасполь, ул. 25 Октября, 128

Издается в авторской редакции
Формат 60x90/16 Объем 3,0 п.л. Тираж 10 экз.
Отпечатано на принтере