

**Библиотека  
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА**

УДК 621.3.011  
1-33



**Я.И. Лейбзон, М.Б. Милич**

**РЕГУЛИРУЕМЫЕ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ  
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА  
С ИНДУКТОРНЫМИ МУФТАМИ  
СКОЛЬЖЕНИЯ**



621311  
Л-33

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

1968

Выпуск 160

Я. И. ЛЕЙБЗОН, М. Б. МИЛИЧ

РЕГУЛИРУЕМЫЕ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ  
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА  
С ИНДУКТОРНЫМИ МУФТАМИ  
СКОЛЬЖЕНИЯ

18621



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА

1965

ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В.,  
Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Синьчугов Ф. Н., Смирнов А. Д.,  
Устинов П. И.

---

УДК 62-523.2

Л33

*В брошюре рассмотрены конструкции, принцип действия и технические данные электроприводов с индукторными муфтами скольжения, источники питания для возбуждения индукторных муфт скольжения и схемы управления ими. Указаны области применения приводов с индукторными муфтами скольжения.*

*Брошюра рассчитана на электромонтеров, работающих на монтаже и эксплуатации электроустановок.*

---

*Лейбзон Яков Израилевич, Милич Михаил Борисович. Регулируемые электроприводы переменного тока с индукторными муфтами скольжения.*

М.—Л., издательство „Энергия“, 1965. 56 с. с черт. (Б-ка электромонтера,

Вып. 160)

Тематический план 1965, № 168.

\* \* \*

Редактор Р. А. Иогансон

Техн. редактор Г. Е. Ларионов

Сдано в набор 27/II 1965 г.

Подписано к печати 21/IV 1965 г.

Т-03598

Бумага 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>

Печ. л. 2,87

Уч.-изд. л. 2,79

Тираж 11 500 экз.

Цена 10 коп.

Зак. 144

---

Московская типография № 10 Главполиграфпрома  
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати.  
Шлюзовая наб., 10.

---

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Программой КПСС, принятой XXII съездом, придается первостепенное значение повышению эффективности капитальных вложений, выбору наиболее выгодных и экономичных направлений капитальных работ, обеспечению наибольшего прироста продукции на каждый затраченный рубль капитальных вложений, сокращению сроков окупаемости этих вложений.

Это побудило многие организации пересмотреть издавна известные способы регулирования производительности механизмов с вентиляторным моментом (насосы, вентиляторы и т. п.), заменить регулирование при помощи дросселирования регулированием путем изменения скорости этих механизмов. В качестве простейшего способа регулирования скорости и наиболее экономичного для механизмов с вентиляторным моментом получили распространение приводы с электромагнитными и, в частности, с индукторными муфтами скольжения. Простота и сравнительно невысокая стоимость этих приводов обеспечили им широкое применение и для других механизмов.

В связи с этим возникла необходимость в кратком изложении практических материалов, необходимых монтажному и эксплуатационному персоналу, где устанавливаются индукторные муфты скольжения.

Введение, § 1, 2 и 3 написаны Я. И. Лейбзоном, § 4, 5 и 6 написаны М. Б. Миличем.

---

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
1. Конструкция и принцип действия индукторных муфт скольжения . . . . .	10
2. Основные показатели электропривода с индукторной муфтой скольжения . . . . .	15
3. Основные технические данные серийных индукторных муфт скольжения . . . . .	23
4. Управление приводами с индукторными муфтами скольжения . . . . .	31
5. Сравнение технико-экономических показателей приводов с индукторными муфтами скольжения и других типов регулируемых электроприводов . . . . .	43
6. Области применения индукторных муфт скольжения . . . . .	48

---

## ВВЕДЕНИЕ

Простейшим, издавна существовавшим способом соединения валов двигателя с приводной машиной или механизма с механизмом, служили жесткие фланцевые муфты. В процессе развития техники к муфтам, кроме задачи непосредственного соединения валов, стали предъявлять дополнительные требования:

1. Быстрое сцепление и расцепление входного и выходного валов до и во время работы двигателя.

2. Дистанционное управление сцеплением и расцеплением.

3. Сглаживание ударов от двигателя к механизму при пуске и от механизма к двигателю во время работы.

4. Ограничение передаваемого вращающего момента.

5. Регулирование скорости выходного вала при постоянной скорости входного.

6. Стабилизация скорости выходного вала при переменной скорости входного.

Попытки удовлетворить эти требования механическими способами привели к созданию многочисленных конструкций от муфт с кожаными и резиновыми прокладками до весьма сложных, в которых связь между двумя полумуфтами выполнялась гибкими стальными кольцами, рессорами, специальными зигзагообразными пружинами и т. п., в большей или меньшей степени обеспечивавших только отдельные из перечисленных функций.

Для быстрого сцепления и расцепления требовалось введение холостых шкивов и шестерен. Для регулирования скорости возникали сложные устройства и приспособления, наиболее совершенными из которых являются всевозможные вариаторы и гидравлические муфты.

Однако все известные механические способы не давали полного решения задачи, одновременно удовлетворяющего всем поставленным требованиям и к тому

же часто оказывались неудовлетворительными из-за сложности изготовления, дороговизны, недостаточной надежности и быстрого износа.

С развитием электротехники появилась возможность разрешить эти задачи более простым способом при помощи электромагнитных муфт различных типов.

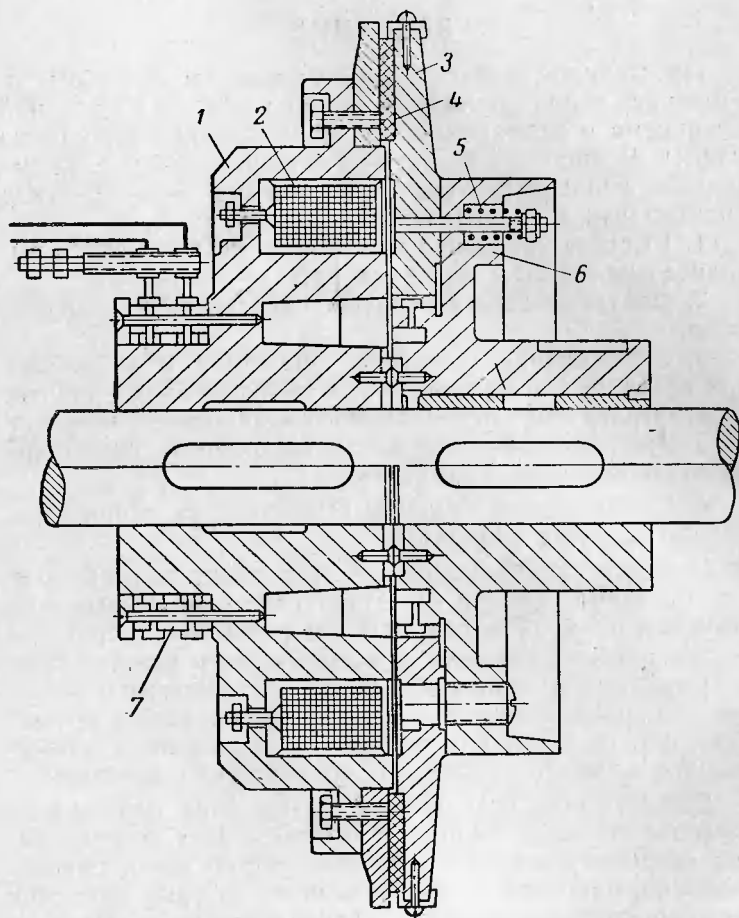


Рис. 1. Электромагнитная сцепная муфта трения.

1 — корпус муфты; 2 — обмотка возбуждения; 3 — подвижной диск; 4 — сегмент трения; 5 — пружина, оттягивающая подвижной диск; 6 — якорь муфты; 7 — щетки и контактные кольца

Простейшим наиболее давно известным типом электромагнитной муфты является электромагнитная сцепная муфта трения (рис. 1), применяемая в станкостроении. Электромагнитная муфта трения (фрикционная муфта) состоит из двух частей: корпуса и якоря. Корпус муфты с расположенной на нем обмоткой возбуждения закрепляется на ведущем валу. На ведомом валу закрепляется якорь. На якоре укрепляется подвижной диск с сегментом из материала, обладающим большим коэффициентом трения. При включении тока возбуждения катушки подвижной диск якоря притягивается к корпусу, между трущимися поверхностями корпуса и якоря возникает сила трения, увлекающая ведомый вал.

Этот вид муфты обеспечивает путем дистанционного управления быстрое и практически сколь угодно частое сцепление и расцепление валов для присоединения и отсоединения двигателя от механизма до и во время работы двигателя. Эти муфты удобны:

- а) для пуска двигателя вхолостую и подключения нагрузки к двигателю после достижения двигателем полной скорости в приводах с низкими пусковыми моментами;
- б) в качестве приспособления безопасности;
- в) в устройствах, где требуется автоматическое управление сцеплением или расцеплением.

В комбинации с несложной зубчатой передачей эти муфты могут обеспечить быстрое реверсирование приводного вала. Серьезным недостатком этого типа муфт является наличие трущихся частей, изнашивающихся в процессе работы и требующих периодической замены.

Следующим этапом в развитии электромагнитных муфт явилась разработанная в СССР проф. А. А. Скормоховым и выпущенная заводом «Электросила» имени С. М. Кирова асинхронная муфта скольжения. Особенностью этой муфты является отсутствие жесткой связи между обеими половинами.

Асинхронная муфта скольжения (рис. 2) состоит из двух электромагнитно связанных и концентрически расположенных частей: якоря и индуктора. Внутренняя часть, называемая якорем, аналогична ротору асинхронного двигателя с шихтованным или массивным сердечником с короткозамкнутой обмоткой. Наружная часть, называемая индуктором, представляет собой магнитную

систему синхронной машины с последовательно чередующимися полюсами. Возбуждение полюсов осуществляется от внешнего источника постоянного тока через контактные кольца. При

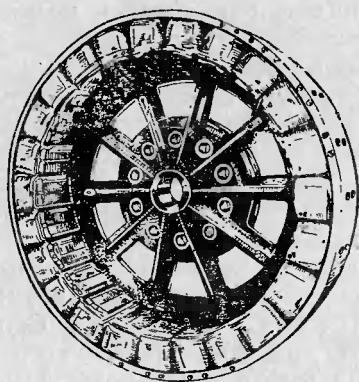
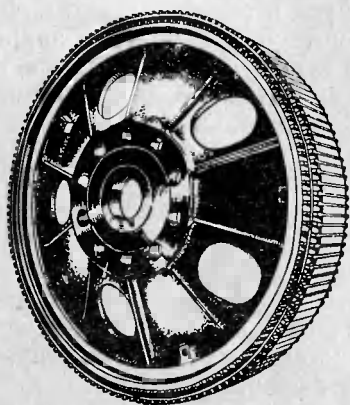


Рис. 2. Асинхронная муфта скольжения.

вращении одной части муфты относительно другой образуется вращающееся магнитное поле, которое, пересекая проводники обмотки якоря, индуцирует в них токи. Взаимодействие этих токов с магнитным полем индуктора создает вращающий момент, в результате которого вторая часть муфты увлекается первой. Скольжение между ведущей и ведомой частями является необходимым для создания вращающего момента муфты.

Происходящие в асинхронной муфте процессы аналогичны процессам в асинхронном двигателе, но отличаются от них тем, что вращающееся магнитное поле в муфте создается не трехфазным переменным током, а механическим перемещением полюсов индуктора.

Асинхронные муфты путем включения и отключения тока возбуждения, так же как и муфты трения, обеспечивают быстрое и дистанционное сцепление и расцепление обеих частей муфты, но осуществляют это плавно без толчков. Благодаря отсутствию жесткой связи между

входным и выходным валами муфта поглощает в себе за счет изменения скольжения удары и вибрации, возникающие в процессе работы механизма. Регулированием тока возбуждения муфты можно точно устанавливать, а следовательно, и ограничивать величину наибольшего момента, передаваемого муфтой.

Благодаря перечисленным качествам асинхронные муфты нашли применение в судовых установках для связи первичного двигателя дизеля с гребным валом. В судовых установках с несколькими первичными двигателями, работающими через редукторы на общий вал, муфты скольжения позволяют плавно без толчков подключить к валу либо отключить от него любой двигатель, непрерывая работы остальных.

Вслед за асинхронными муфтами скольжения с короткозамкнутым якорем были разработаны муфты скольжения с массивным якорем, и, в том числе, индукторные муфты скольжения.

В СССР исследования и разработка индукторных муфт скольжения были начаты в 1946 г. Р. А. Иогансоном и Я. И. Лейбзоном в Московском энергетическом институте под руководством проф. М. Г. Чиликина и проф. Е. В. Нитусова, а затем продолжались в проектных институтах (авторское свидетельство № 83472, 1949 г.).

Этот тип муфт, так же как и вышеописанные муфта трения и асинхронная муфта скольжения с короткозамкнутым якорем, обеспечивает дистанционно-управляемое быстрое сцепление и расцепление валов, сглаживает удары от двигателя к механизму при пуске и от механизма к двигателю во время работы, ограничивает величину передаваемого вращающего момента, но, кроме того, что является самым главным, позволяет получить

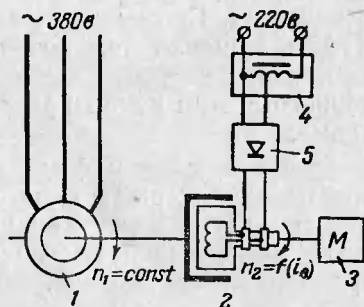


Рис. 3. Принципиальная схема электропривода с индукторной муфтой скольжения.

1 — асинхронный электродвигатель; 2 — индукторная муфта скольжения; 3 — механизм; 4 — вариатор напряжения; 5 — выпрямитель.

регулируемый электропривод при нерегулируемом двигателе (асинхронном, синхронном, двигателе внутреннего сгорания и т. п.).

Индукторные муфты скольжения устанавливаются между двигателем и механизмом. На рис. 3 показана принципиальная схема электропривода с индукторной муфтой скольжения. Скорость на выходном валу двигателя, соединенном с входным валом муфты, сохраняется постоянной, а скорость выходного вала муфты может изменяться. Скорость эта зависит от тока возбуждения муфты. Изменяя ток возбуждения муфты, можно регулировать скорость выходного вала муфты и соединенного с этим валом приводимого во вращение механизма.

Индукторные муфты скольжения конструктивно просты, не содержат трущихся частей, не требуют для своего изготовления специальной электротехнической стали, единственная имеющаяся обмотка возбуждения — простейшая — кольцевая.

#### 1. КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИНДУКТОРНЫХ МУФТ СКОЛЬЖЕНИЯ

**Конструкция муфты.** Индукторная муфта скольжения (рис. 4) состоит из двух вращающихся частей, расположенных концентрично одна относительно другой. Обе части муфты электромагнитно связаны между собой. Наружная часть муфты, называемая якорем 2, выполняется в форме полога цилиндра из стали 20. Внутри якоря 2 расположен индуктор 3. Якорь отделяется от индуктора небольшим воздушным зазором, как у асинхронного двигателя. Индуктор представляет собой двухрядное зубчатое колесо, изготовляемое из стали 10.

В круговом пазу между рядами зубцов индуктора размещается тороидальная обмотка возбуждения постоянного тока 4.

Якорь помещается на входном валу муфты 1, индуктор на выходном валу 6. Как входной, так и выходной валы муфты обоими своими концами лежат в опорных подшипниках. Крайние опорные подшипники укреплены в стойках станины 7. Ток в обмотку возбуждения поступает через контактные кольца и щетки. Контактные кольца 5 размещаются на выходном валу муфты. Так

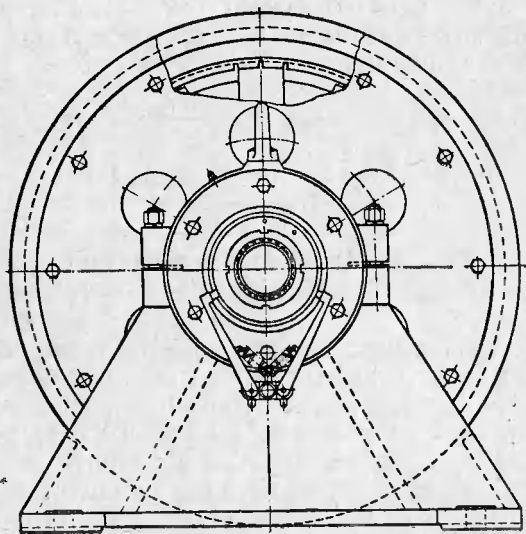
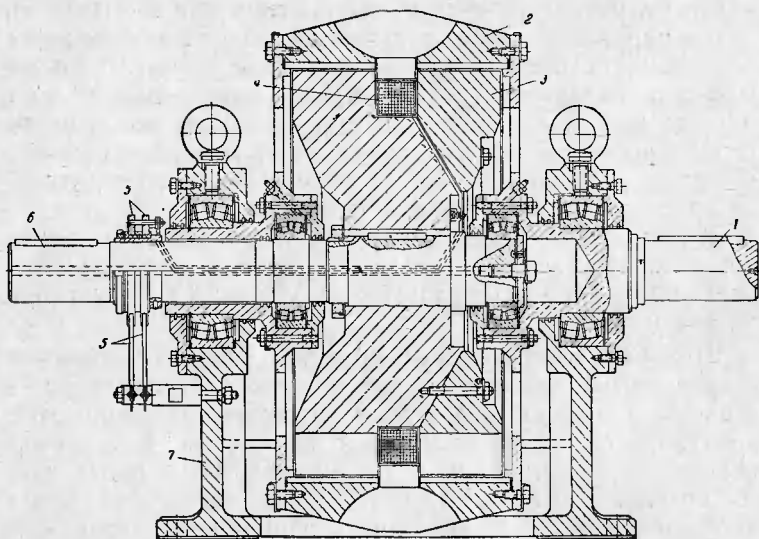


Рис. 4. Индукторная муфта скольжения.

1 — входной вал; 2 — ярмо; 3 — индуктор; 4 — обмотка возбуждения; 5 — щетки и контактные кольца; 6 — выходной вал; 7 — станина.

как в индукторных муфтах скольжения как внутренняя, так и наружная части вращаются, то для обеспечения безопасности обслуживания установок с индукторными муфтами скольжения якорь муфты, контактные кольца и щеточный узел должны быть закрыты защитными ограждениями. Защитное ограждение выполняется либо из сетки, либо из листовой стали с жалюзи с тем, чтобы не затруднять вентиляцию муфты.

Якорь и индуктор изготавливаются из стальных поковок или из стального литья обычных поделочных неэлектротехнических сортов стали. Станина муфты отличается из чугуна.

**Принцип действия.** Как правило, якорь соединяется с приводным нерегулируемым двигателем, а индуктор — с рабочим механизмом. При отсутствии тока в обмотке возбуждения якорь вращается вхолостую, а индуктор неподвижен. Если же в обмотку подать постоянный ток, то возникает магнитный поток, замыкающийся через якорь и индуктор. Вследствие неодинаковых магнитных сопротивлений воздушного зазора над зубцами и над впадинами индуктора распределение магнитного поля в зазоре будет неравномерным (рис. 5). Плотность потока достигает максимума над зубцами  $B_{\max}$  и минимума  $B_{\min}$  над впадинами.

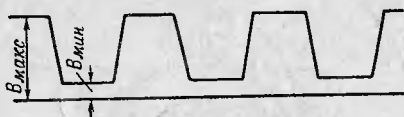


Рис. 5. Распределение магнитного поля в воздушном зазоре.

При перемещении якоря относительно индуктора в активной части первого происходит пульсация магнитного потока, вызывающая появление вихревых токов в поверхностном активном слое массивного якоря. Взаимодействие этих вихревых токов с магнитным потоком создает крутящий момент, который приводит во вращение индуктор в том же направлении, в каком вращается якорь.

Величина крутящего момента будет тем больше, чем больше магнитный поток, т. е. чем больше ток возбужде-

ния муфты. Регулируя последний, можно плавно изменять величину вращающего момента, а следовательно, и скорость вращения выходного вала.

В электрических машинах, как правило, с глубиной регулирования ухудшаются условия охлаждения, так как со снижением скорости вращения ротора одновременно ухудшается вентиляция машины. В связи с этим машины, предназначенные для регулирования скорости, приходится выбирать больших размеров.

В отличие от других электрических машин в муфтах скольжения с увеличением глубины регулирования условия охлаждения не ухудшаются потому, что якорь муфты, в котором выделяется основная часть потерь, расположен снаружи и, будучи соединенным с приводным двигателем, продолжает вращаться с постоянной скоростью приводного двигателя.

Условия охлаждения индукторных муфт скольжения существенно ухудшаются, если по каким-либо соображениям с приводным электродвигателем связан не якорь, а индуктор. В отдельных случаях, при вентиляторном моменте нагрузки, это все же допустимо.

Описанная выше конструкция индукторных муфт скольжения, разработанная Государственным проектным институтом Тяжпромэлектропроект, выпускается для муфт средней мощности с номинальным моментом от 7 до 160 кг·м.

Наряду с индукторными муфтами скольжения, выпускаемыми Киргизским совнархозом, Харьковский завод «Электростанок» по разработке ЭНИМС выпускает малые индукторные муфты скольжения от 0,17 до 2,0 кг·м. Муфты эти входят в комплект бесступенчатого электропривода серии ПМС.

Принцип действия и устройства основных частей этих муфт такой же, как и у вышеописанных муфт Киргизского совнархоза. Конструктивно они существенно отличаются друг от друга.

Первые выполняются в виде отдельных машин, устанавливаемых между электродвигателем и приводимым во вращение механизмом; вторые представляют собой единое конструктивное целое с электродвигателем. Эти муфты сочетаются с электродвигателями фланцевого типа, которые крепятся непосредственно к корпусу

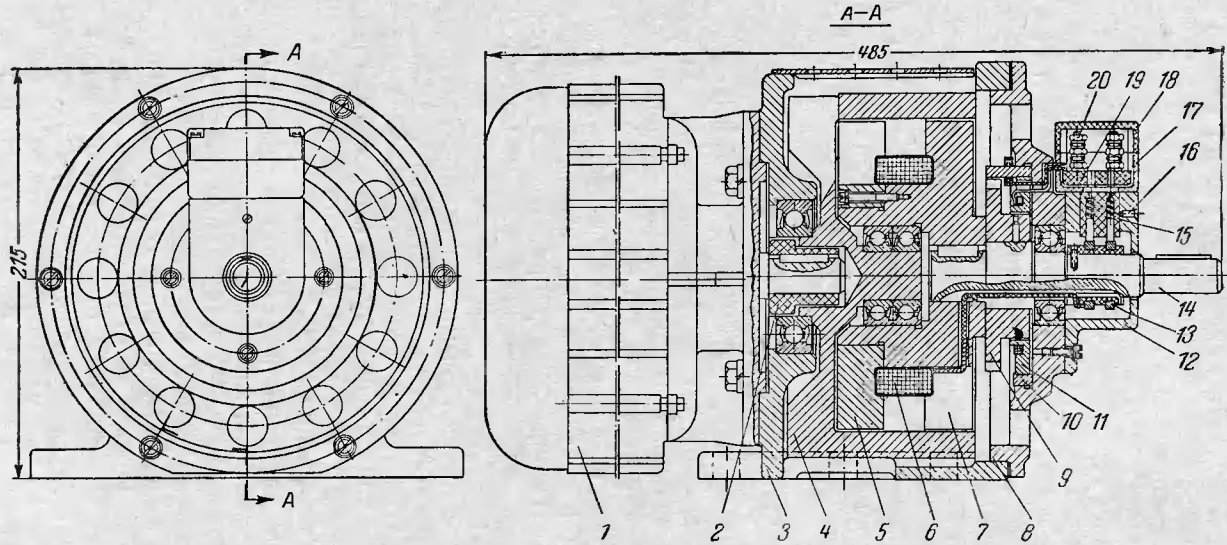


Рис. 6. Конструкция привода ПМС.

муфты. В корпус муфты встраивается также тахогенератор, необходимый для получения жестких механических характеристик с помощью обратной связи (см. § 4).

На рис. 6 показана конструкция модернизированного привода серии ПМС-М. Двигатель 1 крепится к корпусу муфты 3. Якорь муфты 4 жестко связан с валом электродвигателя при помощи втулки 2, два кулачка которой входят в пазы якоря. Опорами для якоря муфты служат, с одной стороны, внутреннее кольцо подшипника, закрепленного в корпусе муфты, а с другой — два подшипника, закрепленные своими внешними кольцами на внутренней выточке индуктора. Индуктор состоит из основания 7, катушки возбуждения 6 и съемной части (диска) 5. Основание индуктора закреплено на выходном валу муфты 14.

Второй опорой выходного вала является подшипник, внешнее кольцо которого закреплено во фланце 8. На выходном валу закреплен ротор тахогенератора 9. Статор тахогенератора, состоящий из диска 11 и ободка 10, запрессован в проточку фланца.

Для подачи тока к катушке возбуждения в пластмассовую втулку запрессованы два контактных кольца 13, от которых в пазу вала 14 проложены провода. Щеткодержатель 15 размещен в отверстии фланца 12. Стопором щеткодержателя служит винт 16.

Корпус коробки выводов 17 и пластмассовая колодка 19 с токоведущими зажимами 20 крепятся к фланцу и прикрываются пластмассовой крышкой 18. В муфту встроены индукторный тахогенератор (см. стр. 37).

Описанная конструкция муфты серии ПМС-М в настоящее время совершенствуется.

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИНДУКТОРНОЙ МУФТОЙ СКОЛЬЖЕНИЯ

Основными показателями электропривода с индукторной муфтой скольжения являются:

- 1) диапазон регулирования скорости выходного вала;
- 2) плавность регулирования;
- 3) устойчивость работы на регулировочных скоростях;
- 4) потери в приводе;

5) допустимые нагрузки на регулировочных скоростях.

**Диапазон регулирования.** Регулирование скорости при помощи индукторных муфт скольжения по отношению к скорости входного вала муфты возможно только вниз, от номинальной скорости. При наличии нагрузки регу-

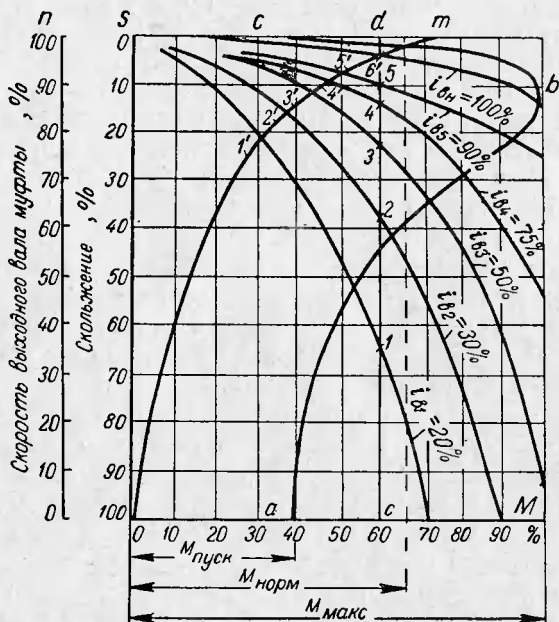


Рис. 7. Механические характеристики индукторной муфты скольжения.

лирование скорости выходного вала муфты возможно практически до нуля.

**Плавность регулирования.** Из принципа действия индукторной муфты скольжения следует, что плавность регулирования определяется исключительно плавностью регулирования тока возбуждения. Приведенные на рис. 7 кривые механических характеристик иллюстрируют возможность плавного регулирования скорости выходного вала муфты изменением тока возбуждения. Так, для приводов с постоянным моментом сопротивления (прямая  $cd$ ) при последовательном увеличении тока воз-

12981

буждения от  $i_{в1}$  до  $i_{вн}$  скорость выходного вала будет возрастать от начальной до номинальной, проходя значения 1, 2, 3, 4, 5 и 6. При изменении тока возбуждения в обратном порядке соответственно будет уменьшаться скорость выходного вала.

Там же показана кривая от механизма с вентиляторным моментом. При увеличении тока возбуждения муфты от 0 до  $i_{вн}$  скорость выходного вала будет изменяться, проходя через точки 1', 2', 3', 4', 5', 6'. Возможность прохождения через все значения тока возбуждения от нуля до номинальной обеспечивает плавность регулирования во всем диапазоне скоростей и устойчивую работу на любой промежуточной скорости.

**Устойчивость работы на регулировочных скоростях.** Под устойчивостью работы муфты понимается способность индукторной муфты скольжения поддерживать постоянную скорость вращения выходного вала при случайных изменениях скорости механизма после самостранения причин, вызвавших это случайное изменение скорости.

На рис. 8,а и б приведены механические характеристики индукторной муфты скольжения и производственных механизмов с постоянным и вентиляторным моментами сопротивления.

Условием устойчивой работы муфты является равенство вращающего момента, развиваемого муфтой, и момента сопротивления, создаваемого механизмом  $M = M_c$ . Рассмотрим, что произойдет при случайном увеличении скорости вращения выходного вала сверх скорости  $n$ , при которой вращающийся момент муфты равен моменту сопротивления механизма, например, до значения  $n_2$ . При скорости  $n_2$  вращающийся момент муфты примет значение  $M_2 < M$ , а момент сопротивления механизма увеличится до значения  $M_{c2} > M_c$ .

Равенство между вращающим моментом муфты и моментом сопротивления нарушится, передаваемый муфтой вращающийся момент становится меньше момента сопротивления  $M_2 < M_{c2}$  и скорость выходного вала снижается до скорости, при которой вновь наступит равновесие между вращающим моментом и моментом сопротивления. При случайном снижении скорости выходного вала до значения  $n$  происходит увеличение передаваемого вращающего момента до значения  $M_1$  и

уменьшение момента сопротивления до значения  $M_c'$ . Под влиянием избыточного момента  $M_1 - M_{c1}$  скорость выходного вала начнет расти до значения  $n$ , при котором устанавливается равновесие между  $M$  и  $M_c$ .

Для поддержания постоянной скорости вращения выходного вала муфты при изменении скорости, вызванном

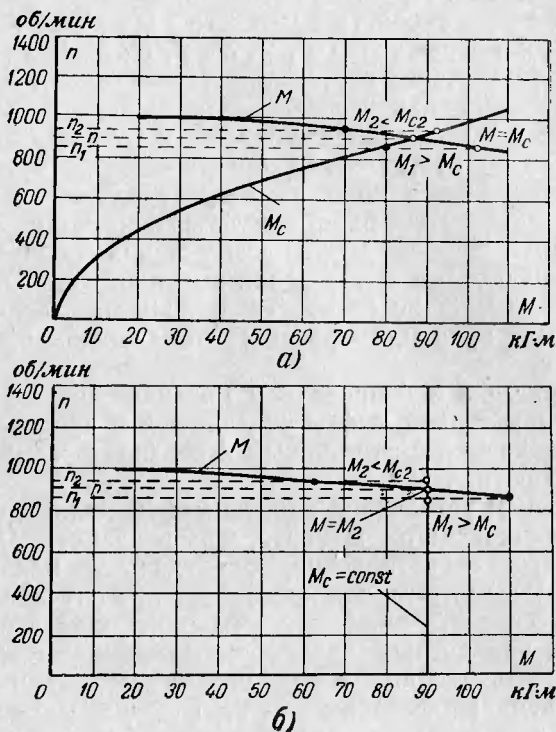


Рис. 8. Устойчивость работы на регулировочных скоростях.

а — при вентиляторном моменте сопротивления; б — при постоянном моменте сопротивления.

не случайными самоустраняющимися причинами, и изменением момента сопротивления  $M_c$  необходимы специальные меры, рассматриваемые в § 4.

**Потери в приводах с индукторными муфтами скольжения.** Преобразование энергии и потери в электроприводе, состоящем из асинхронного электродвигателя и индук-

торной муфты скольжения, иллюстрируется энергетической диаграммой рис. 9.

Подводимая из сети к статору асинхронного электродвигателя электрическая мощность  $P$ , за вычетом суммарных потерь в двигателе  $\Delta P_{дв}$  в виде механической мощности  $P_{дв} = P - \Delta P_{дв}$ , поступает на входной вал индукторной муфты скольжения.

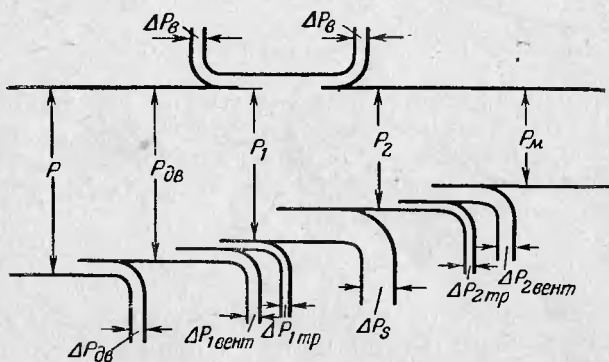


Рис. 9. Энергетическая диаграмма электропривода с ИМС.

Потери в индукторной муфте  $\Delta P_M$  складываются из:

$$\Delta P_M = \Delta P_s + \Delta P_в + \Delta P_г + \Delta P_{1вент} + \Delta P_{2вент} + \Delta P_{1тр} + \Delta P_{2тр},$$

где

$\Delta P_s$  — потери скольжения, выделяющиеся в виде тепла в якоре муфты, создаваемого вихревыми токами, возникающими в его массиве;

$\Delta P_в$  — потери на возбуждение муфты, выделяющиеся в виде тепла в обмотке возбуждения, размещенной на индукторе;

$\Delta P_г$  — потери на гистерезис;

$\Delta P_{1вент}$  и  $\Delta P_{2вент}$  — потери на вентиляцию ведущей и ведомой частей муфты;

$\Delta P_{1тр}$  и  $\Delta P_{2тр}$  — потери на трение в подшипниках ведущей и ведомой частей муфты.

Рассмотрим отдельные составляющие потерь.

Потери скольжения  $\Delta P_s$  составляют основную

часть потерь в индукторной муфте скольжения. Потери эти пропорциональны скольжению

$$\Delta P_s = P_1 s,$$

где  $P_1$  — мощность входного вала муфты за вычетом вентиляционных и механических потерь ведущей части муфты  $\Delta P_{1\text{вент}}$  и  $\Delta P_{1\text{тр}}$ :

$$P_1 = P_{\text{дв}} - (\Delta P_{1\text{вент}} + \Delta P_{1\text{тр}}).$$

Мощность входного вала муфты при регулировании на какой-либо промежуточной скорости зависит от момента сопротивления  $M$ , развиваемого механизмом на рассматриваемой промежуточной скорости и угловой скорости входной части муфты  $\omega_1$ :

$$P = M\omega_1.$$

Как известно, в одних механизмах (механизмы подъема, транспортеры и т. п.) момент сопротивления сохраняется постоянным независимо от скорости его вращения (механизм с постоянным моментом), в других — момент сопротивления обратно пропорционален угловой скорости (механизмы с постоянной мощностью), и, наконец, в третьих (вентиляторы, центробежные насосы) — момент сопротивления механизма изменяется пропорционально второй степени угловой скорости (механизмы с вентиляторным моментом). Соответственно в различных механизмах в зависимости от характера момента сопротивления на регулировочных скоростях будут разные потери скольжения.

На рис. 10 приведены энергетические показатели ИМС при работе с различными механизмами. Так, в механизмах с постоянным моментом при постоянной скорости двигателя мощность входного вала муфты будет постоянной, мощность механизма с уменьшением скорости будет уменьшаться, а потери скольжения будут возрастать обратно пропорционально скорости. В механизмах с вентиляторным моментом мощность входного вала муфты будет уменьшаться пропорционально второй степени скорости, мощность механизма будет уменьшаться пропорционально третьей степени скорости, а потери будут изменяться по приведенной на рис. 10, в кри-

вой, достигая максимального значения около 15% номинальной мощности при 66% номинальной скорости.

В общие потери скольжения, имеющие место при работе на регулировочных скоростях, входит также со-

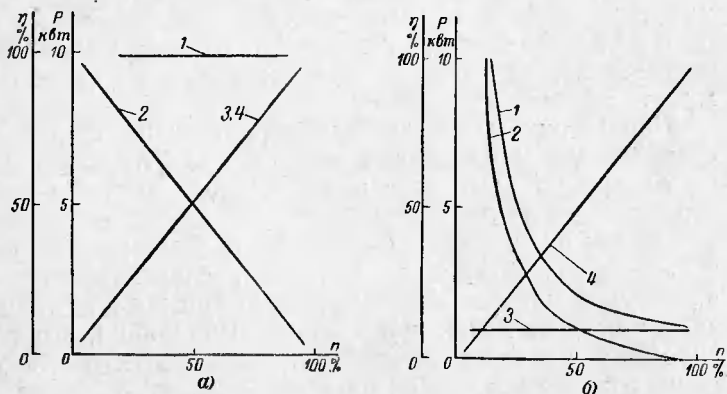
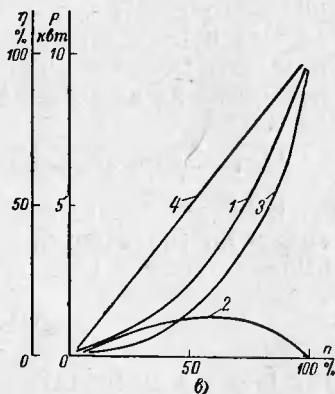


Рис. 10. Энергетические показатели ИМС в различных режимах работы. а — при постоянном моменте; б — при постоянной мощности; в — при вентиляторном моменте; 1 — потребляемая мощность; 2 — потери; 3 — полезная мощность; 4 — к. п. д. муфты.



ставляющая потерь скольжения, сохраняющаяся и при номинальной скорости.

Потери вентиляционные практически не зависят от режима работы муфты, так как скорость наружной части муфты, связанной с входным валом, мало изменяется с изменением режима работы, а потерями внутренней части можно пренебречь ввиду их малой величины по сравнению с первыми.

Абсолютная величина вентиляционных потерь зависит от конструкции муфты.

В муфтах с воздушным охлаждением с небольшими ребрами или вентиляционными лопатками вентиляционные потери составляют примерно 0,5% общей мощности муфт.

Потери на трение зависят от рода выбранного подшипника, от скорости вращения и режима работы муфт.

При шариковых подшипниках потери на трение составляют 0,2—0,4% общей мощности муфт.

Потери на гистерезис невелики по сравнению с потерями от вихревых токов.

Потери от вихревых токов, как это было рассмотрено выше, зависят от амплитуды тока, следовательно, от амплитуды магнитной индукции. Потери же на гистерезис зависят от изменений магнитной индукции, которые определяют собой площади гистерезисных петель, которыми измеряются потери на гистерезис.

Принимаемые для муфт небольшие колебания индукций определяют собой и небольшие площади гистерезисных петель. Практически потери на гистерезис составляют менее 1% потерь на вихревые токи, что дает основание их не учитывать.

### Допустимые нагрузки на регулировочных скоростях

В общем энергетическом балансе следует учитывать также потери энергии на возбуждение муфты  $\Delta P_{\text{возб}}$ , выделяющиеся в виде тепла в обмотке возбуждения

$$\Delta P_{\text{возб}} = i_{\text{в}}^2 r_{\text{о.в.}}$$

где  $i_{\text{в}}$  — ток возбуждения муфты;

$r_{\text{о.в.}}$  — сопротивление обмотки возбуждения муфты.

На энергетической диаграмме не отражены потери на гистерезис, составляющие примерно 1% потерь скольжения, создаваемых вихревыми токами.

Регулирование скорости в электроприводах с индукторными муфтами скольжения осуществляется за счет потерь скольжения, выделяющихся в виде тепла в якоре муфты.

Последнее обстоятельство, кроме электромагнитных

расчетов, определяет размеры якоря муфты, а при определенных размерах муфты ограничивает возможность передачи момента на регулировочных скоростях.

Очевидно, что правильный выбор индукторной муфты скольжения определяется не только номинальным моментом муфты, но и конкретными данными о характеристике механизма и графике его работы на регулировочных скоростях.

### 3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СЕРИЙНЫХ ИНДУКТОРНЫХ МУФТ СКОЛЬЖЕНИЯ

В настоящее время в СССР индукторные муфты скольжения выпускаются Киргизским совнархозом (по разработке ГПИ Тяжпромэлектропроект) серии ИМС на 7, 20, 40, 75, 100 и 160  $\text{кГ} \cdot \text{м}$  и заводом «Электростанок» (по разработке ЭНИМС) серии ПМС на 0,17, 0,4, 0,6, 1 и 2  $\text{кГ} \cdot \text{м}$ .

В ближайшее время намечается массовое производство индукторных муфт скольжения на 250, 400, 630 и 800  $\text{кГ} \cdot \text{м}$ .

Муфты серии ИМС рассчитаны для длительной работы с механизмами с вентиляторным моментом. Обозначение типов муфт содержит в себе сокращенное название муфты — ИМС (индукторная муфта скольжения) и данные о величине максимального момента, передаваемого муфтой при номинальном скольжении и номинальном возбуждении. Типы этих муфт соответственно называются: ИМС-7, ИМС-20, ИМС-40, ИМС-75, ИМС-100 и ИМС-160.

На рис. 11,а и в табл. 1 приведены основные и установочные размеры, а в табл. 2 — основные технические данные индукторных муфт скольжения серии ИМС.

Индукторные муфты скольжения серии ИМС поставляются отдельно либо комплектно с электродвигателем на общей раме. На рис. 11,б показан общий вид электропривода с муфтой, а в табл. 3 — размеры электроприводов.

Муфты серии ИМС рассчитаны по тепловому режиму на глубокое регулирование от номинальной скорости вниз до нуля механизмов с вентиляторным моментом.

## Основные и установочные размеры

Тип муфты	Разме-						
	<i>L</i>	<i>h</i>	<i>d</i>	<i>d'</i>	<i>l</i>	<i>l'</i>	<i>t</i>
ИМС-7	530	200	25	40	50	70	28
ИМС-20	613	240	34	35	72	95	37,5
ИМС-40	915	280	60	60	140	140	65,5
ИМС-75	1 075	335	75	75	140	140	81,0
ИМС-100	1 135	400	90	90	170	170	97,0
ИМС-160	1 225	400	90	90	170	170	97,0

## Технические данные индукторных муфт

Тип муфты	Номинальный момент, кг·м	Номинальная скорость вращения, об/мин	Предельно допустимая скорость вращения, об/мин	Номинальное скольжение, об/мин	Обмоточные данные	
					число витков	марка и сечение провода
ИМС-7	7	1 000	1 500	50	2100	ПСД $\varnothing$ 0,9
ИМС-20	20	1 000	1 500	50	2100	ПСД $\varnothing$ 0,96
ИМС-40	40	1 000	1 500	50	945	ПСД $\varnothing$ 1,4
ИМС-75	75	1 000	1 500	50	945	ПСД $\varnothing$ 1,4
ИМС-100	100	1 000	1 500	50	945	ПСД $\varnothing$ 1,4
ИМС-160	160	1 000	1 500	50	825	ПСД 1,00×3,28 1,25×3,53

<sup>1</sup> Предельно допустимая температура обмотки 155° С. Изоляция класса F.

Таблица 1

## индукторных муфт скольжения серии ИМС

рЫ, мм							Вес муфты, кг
$t'$	$b$	$b'$	$c$	$c_a$	$d_4$	$l_6$	
43,5	8	12	182	135	16	281	145
38,5	10	10	150	157	18	315	300
65,5	18	18	225	335	30	490	590
81,0	20	20	300	350	30	565	1 170
97,0	24	24	325	325	30	595	1 323
97,0	24	24	370	325	30	660	1 737

Таблица 2

## скольжения серии ИМС

катушки <sup>1</sup>		Напряжение источника питания, в	Ток возбуждения муфты, а	Выпрямительное устройство		Вариатор напряжения		Вес муфты, кг
сопротивление, Ом	Вес, кг			Тип	Количество вентиляей	Тип	Мощность, кВт	
42	10	220	1,5	75КМ24Г	1	РНО-250-0,5	0,5	145
33,8	12	220	4	100ГД220А	2	РНО-250-2	2	300
16,4	22	220	4	100ГД20А	2	РНО-250-2	2	590
16,4	22	220	6	120ГД20А	2	РНО-250-2	2	1 170
16,4	22	220	6	120ГД20А	2	РНО-250-2	2	1 323
8,3	47	220	10	130ГД20А	2	РНО-250-2	2	1 737

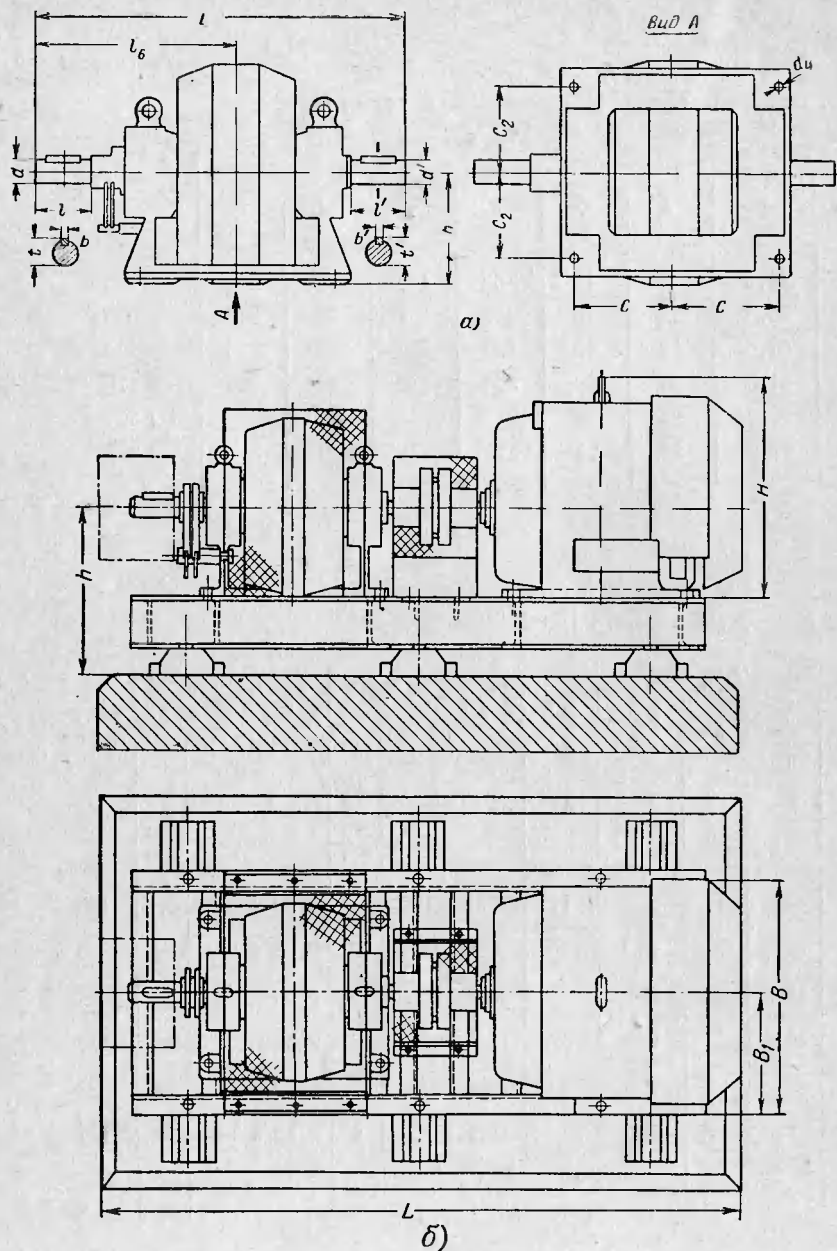


Рис. 11. Размеры.

а — индукторных муфт скольжения; б — электроприводов с индукторными муфтами скольжения.

Таблица 3

**Размеры электроприводов с индукторными муфтами  
скольжения, мм**

Тип двигателя	Тип муфты	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>b<sub>1</sub></i>
АО-62-4 АО-62-6 АО-62-8	ИМС-7	1 176	475	200	485	266
АО-73-4 АО-73-6 АО-73-8	ИМС-20	1 373	548	240	555	307
АО-83-6 АО-83-8	ИМС-40	1 895	650	280	665	377
АО-94-6 АО-94-8	ИМС-75	2 175	745	335	770	441
А-101-6 А-101-8	ИМС-100	2 370 2 300	895	400	960	550
А-103-6 А-103-8	ИМС-150	2 550 2 480	895	400	960	550

В приводах для механизмов с постоянным моментом или постоянной мощностью индукторные муфты скольжения следует выбирать применительно к конкретному графику работы по эквивалентному тепловому режиму.

Номинальное скольжение муфт (скольжение при номинальной скорости) не превышает 5%.

Как показали испытания отдельных типов муфт, фактическое скольжение при номинальной скорости оказалось несколько ниже и лежало в пределах 3,5÷4,2%.

На рис. 12 и в табл. 4 и 5 приведены размеры и технические данные приводов серии ПМС.

## Технические данные

Параметры						
Габарит	Тип привода	Номинальный момент, кг·м	Диапазон регулирования скорости вращения, об/мин	Отклонение скорости при изменении момента нагрузки от $0,25 M_H$ до $M_H$ , %	Обмоточные дан	
					число витков	Диаметр провода, мм
I	ПМС-0,17	0,17	200—1 100	До минус 15	800	0,51
II	ПМС-0,4	0,4	200—1 200	До минус 20	770	0,64
III	ПМС-0,6	0,6	200—1 250		880	0,69
IV	ПМС-1	1,0	250—1 300		846	0,86
V	ПМС-2	2,0	250—1 300		880	1,00

## Основные и установочные размеры индук

Габарит	Тип привода серии ПМС	$B_1$	$b$	$C (2 \times c)$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$d$
I	ПМС-0,17	180	4A <sub>3</sub>	150	15	20	40	45	29	14,5
II	ПМС-0,4	230	6A <sub>3</sub>	202	14	25	60	52	37	20,5
III	ПМС-0,6	230	6A <sub>3</sub>	200	10	23	60	60	45	25,5

Таблица 4

## приводов серии ПМС

привода		Приводной электродвигатель							
ные катушки		Вес, кг	Напряже- ние	Номинальная, мощ- ность, кВт	Номинальная ско- рость вращения, об/мин	Маховой момент ро- тора, кг·м <sup>2</sup>	cos φ При номиналь- ном моменте	К. П. Д. при номи- нальном моменте, %	Вес, кг
сопротивление, Ом	номинальный ток возбуждения, а								
20	1,2	20	380/220	0,27	1 460	0,005	0,75	66	7
15	1,5	45	380/220	0,6	1 410	0,015	0,76	74	13
19	1,7	54	380/220	1,0	1 410	0,021	0,79	78	17
13	2	120	380/220	1,7	1 440	0,048	0,82	82	24
12	2	145	380/220	2,8	1 440	0,067	0,84	85	31

Таблица 5

## торных муфт скольжения серии ПМС, мм

$d_1$	$d_2$	$d_4$	$h$	$h_1$	$h_2$	$H$	$l$	$l_1$	$L$	$L_1$	$t_1$
14×1,5	4A	8	95	20	15	186,5	45	20	410	216	3,6
20×1,5	8A	14	115	21	15	225	53	25	453	247	3,8
24×1,5	8A	13	117	24	15	237	62	35	531	230	3,8

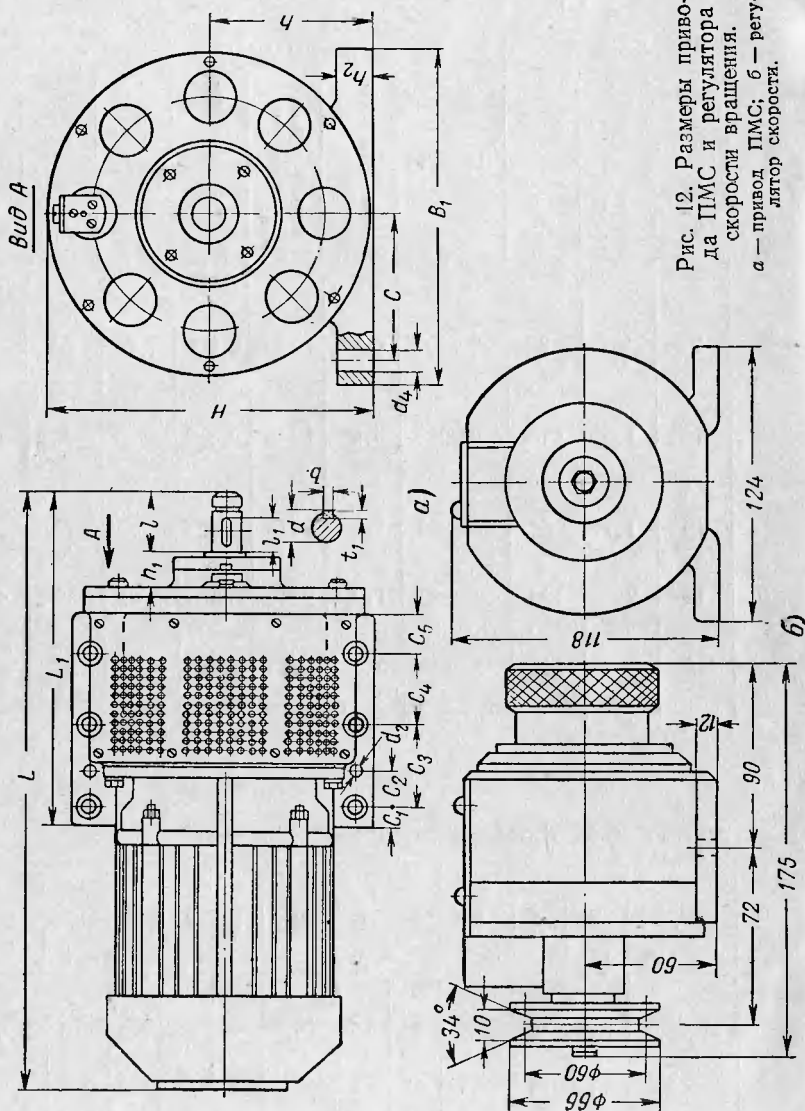


Рис. 12. Размеры привода ПМС и регулятора скорости вращения.  
 а — привод ПМС; б — регулятор скорости.

#### 4. УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДАМИ С ИНДУКТОРНЫМИ МУФТАМИ СКОЛЬЖЕНИЯ

В приводах с индукторными муфтами скольжения так же, как и в других конструктивных разновидностях электромагнитных муфт скольжения, регулирование скорости вращения производится изменением величины постоянного тока, протекающего в обмотке возбуждения муфты.

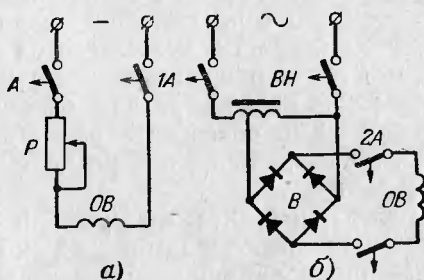


Рис. 13. Схемы ручного управления ЭМС.

*а* — при питании от источника постоянного тока; *б* — при питании от источника переменного тока; *А*, *1А*, *2А* — автоматы; *Р* — реостат; *ОВ* — обмотка возбуждения муфты; *ВН* — вариатор напряжения; *В* — выпрямитель.

Наиболее проста схема управления муфтой при ручном регулировании скорости. В этом случае при наличии источника постоянного тока достаточно предусмотреть реостат *Р* в цепи обмотки возбуждения муфты *ОВ* (рис. 13,а). Но чаще питание схемы управления электромагнитной муфтой скольжения осуществляется от сети переменного тока (от главных цепей привода) через полупроводниковый выпрямитель *В* (рис. 13,б); при этом регулирование тока возбуждения ведется вариатором напряжения *ВН* типа РНО-250; для защиты цепи выпрямленного тока предусматривается двухполюсный автоматический выключатель *2А*. В схемах на рис. 13 ток возбуждения муфты определяет лишь механическую характеристику, на которой будет работать муфта (см. § 2, рис. 8). Скорость же на выходе муфты будет определяться точкой пересечения механической характеристики с кривой зависимости момента нагрузки от ско-

рости. Если скорость на выходе должна поддерживаться приблизительно на одном постоянном уровне, то пересечение этих кривых должно происходить под относительно острым углом. Если угол пересечения кривых не является острым, то скорость на выходе муфты будет колебаться в широких пределах, что имеет место при работе на низких скоростях, особенно при постоянном моменте сопротивления нагрузке.

Такие разомкнутые системы регулирования, т. е. системы без постоянного сопоставления заданной и фактической величины скорости, используются для регулирования скорости лишь в простейших случаях. Однако такой тип управления целесообразен в большинстве случаев, когда необходимо обеспечить регулируемое ускорение нагрузки или ограничение передаваемого муфтой вращающего момента.

Приводы с электромагнитными муфтами скольжения нашли широкое применение в замкнутых системах автоматического регулирования производственных процессов, где требуемое значение регулируемой величины (температуры, уровня, давления, скорости и т. д.) непрерывно сравнивается с фактическим и при появлении отклонения автоматически изменяется скорость привода так, чтобы свести до минимума возникшее отклонение.

При работе муфты в системах автоматического регулирования с применением стандартного регулирующего прибора (рис. 14), воздействующего на исполнительный механизм *ИМ*, последний сочленяется механически с рукояткой вариатора напряжения *ВН*. При появлении в системе автоматического регулирования отклонения, требующего увеличения вращающего момента при данной скорости или увеличении скорости привода при данном вращающем моменте, замыканием контакта *В* (выше) регулирующего прибора включается та обмотка исполнительного механизма, при питании которой исполнительный механизм поворачивает вариатор напряжения в сторону увеличения возбуждения муфты. При появлении в системе автоматического регулирования отклонения противоположного знака замыкается контакт *Н* (ниже) регулирующего прибора, подключающий другую обмотку управления исполнительного механизма, и последний поворачивает вариатор напряжения в сторону уменьшения возбуждения муфты. С целью обеспечения

регулирования возбуждения муфты при переходе на ручное управление, схемой предусмотрена возможность подключения любой обмотки исполнительного механизма с помощью кнопки управления.

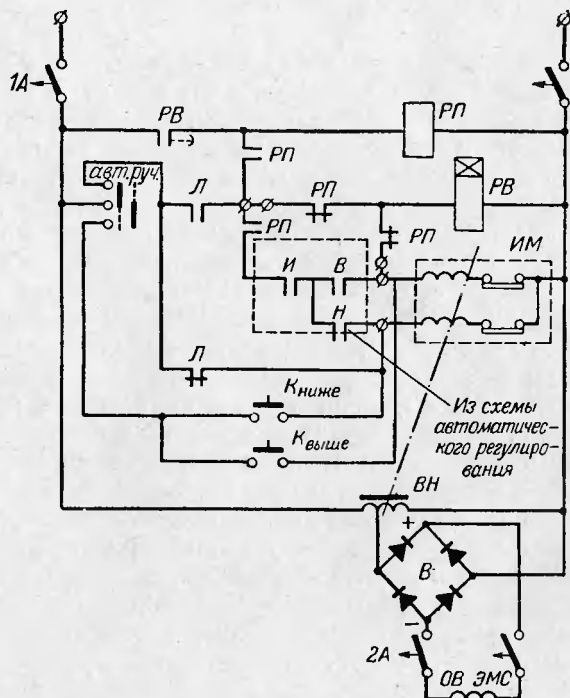


Рис. 14. Схема автоматического управления ЭМС с регулированием возбуждения с помощью исполнительного механизма.

1А, 2А — автоматы; ОВ — обмотка возбуждения муфты; ВН — вариатор напряжения; ИМ — исполнительный механизм; РВ — реле времени; РП — реле промежуточное; В — выпрямитель; К — кнопки управления.

При отключении приводного двигателя возбуждение электромагнитной муфты скольжения уменьшается до нуля для обеспечения последующего запуска двигателя вхолостую, что особенно существенно в приводе механизмов с большим маховым моментом. Для этого в схеме предусмотрено подключение через размыкающие (н. з) контакты пускателя Л приводного двигателя той обмотки

исполнительного механизма, при питании которой вариатор поворачивается в сторону уменьшения возбуждения муфты.

В некоторых системах автоматического регулирования объект регулирования отличается большой инерционностью, т. е. регулируемая величина изменяется медленнее, чем изменяется возбуждение муфты при вращении исполнительного механизма. При этом к моменту, когда регулируемая величина достигнет требуемого значения, исполнительный механизм повернет вариатор напряжения в значительно большей мере, чем это необходимо, и далее регулируемая величина отклонится от требуемого значения в противоположную сторону. Во избежание описанного процесса перерегулирования подача питания на обмотки исполнительного механизма производится импульсами, например с помощью ступенчатого импульсного прерывателя типа СИП-01. Однако в этом случае при пуске привода нарастание возбуждения от нуля до требуемой величины будет происходить недопустимо долго. В связи с этим схемой предусмотрена возможность непрерывного подъема возбуждения муфты до величины, соответствующей средней скорости диапазона регулирования, путем включения обмотки исполнительного механизма на период пуска привода, минуя контакт импульсного прерывателя *И*. Разгон до установленной средней скорости контролируется либо по времени (с помощью реле *PВ*), либо с помощью реле скорости.

Шкафы управления электромагнитной муфтой скольжения по схеме на рис. 14 в настоящее время выпускаются серийно.

Естественно, что в случае механизма с легкими условиями пуска или когда в схеме управления исполнительным механизмом отсутствуют контакты импульсного прерывателя, отпадает необходимость в реле *РП*, *РВ* и следует их отключить, а также зашунтировать контакт реле *РП*, последовательный с контактами *В* и *Н*.

В описанных схемах возможна некоторая нестабильность поддержания скорости, обусловленная нагревом якоря; колебаниями напряжения, питающего обмотку возбуждения муфты; колебаниями напряжения или частоты сети, питающей приводной электродвигатель. Эту нестабильность при необходимости можно устранить с помощью обратной связи по скорости. Необходимость осу-

ществления обратной связи по скорости для ее стабилизации возрастает в случае, когда имеют место колебания момента сопротивления нагрузки.

В схемах управления с обратной связью по скорости осуществляется контроль и автоматическое поддержание заданного значения за счет непрерывного сопоставления заданного значения с фактическим и использования разностной величины в качестве управляющего сигнала.

Регулирование тока возбуждения муфты может осуществляться либо за счет изменения продолжительности протекания тока в обмотке возбуждения при неизменной (максимальной) его величине (импульсное регулирование), либо за счет изменения величины тока при непрерывном протекании его в обмотке (непрерывное регулирование).

Импульсное регулирование тока возбуждения муфты имеет место в приводах серии ПМС, выпускаемых харьковским заводом «Электростанок». В схеме регулирования (рис. 15,а) применяется центробежный регулятор ЦР, который соединяется с выходным валом муфты с помощью клиноременной передачи с передаточным числом  $i=2$ . Размыкающие (н. з.) контакты центробежного регулятора шунтируют балластное сопротивление в цепи питания обмотки возбуждения; при превышении заданной скорости эти контакты размыкаются, ток возбуждения резко уменьшается и скорость выходного вала снижается, пока снова не замкнутся контакты регулятора, вызывая новое повышение скорости. Чувствительность регулятора такова, что частота замыканий и размыканий контактов колеблется в пределах 10—50 гц, что практически обеспечивает постоянную величину среднего значения скорости. Изменение задания по скорости производится поворотом лимба настройки центробежного регулятора. Максимальная величина тока возбуждения устанавливается сопротивлением  $R_1$  типа ПЭВ-х-30, 30 вт, 150 ом, минимальная величина тока возбуждения — сопротивлением  $R_2$  типа ВС, 5 вт, 15 ком. Питание обмотки возбуждения осуществляется от линейного напряжения 380 в через понижающий трансформатор ТПБ-100, 380/36 в и выпрямитель типа 60ГМ8А.

Описанная система регулирования с центробежным регулятором применяется в приводах ПМС-0,17; ПМС-0,4; ПМС-0,6. В этих приводах обеспечивается ре-

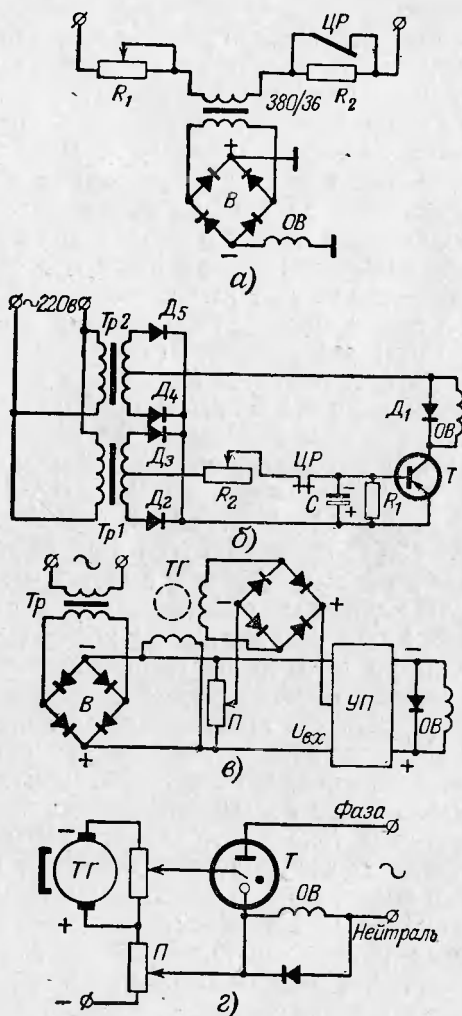


Рис. 15. Схемы автоматической стабилизации выходной скорости ЭМС с импульсным регулированием возбуждения.  
*а* — в приводах типа ПМС-0,17, ПМС-0,4, ПМС-0,6; *б* — в приводах типа ПМС-1, ПМС-2, ПМС-3; *в* — в приводах серии ПМС-М; *г* — в приводах фирмы «Хинан Фруд»; *OB* — обмотка возбуждения муфты; *ЦР* — центробежный регулятор; *Tr* — трансформатор; *УП* — усилитель полупроводниковый; *ТГ* — тахогенератор; *П* — задающий потенциометр; *Т* — триод на рис 15,б или тиратрон на рис. 15,г.

гулирование скорости нагрузки в диапазоне 1:6 (в среднем), при этом отклонение скорости вращения привода при изменении нагрузки от  $0,25 M_H$  до  $M_H$  не превышает 20%.

В приводах большей мощности (ПМС-1, ПМС-2, ПМС-3) центробежный регулятор скорости применяется в сочетании с полупроводниковым усилителем (рис. 15,б). Здесь питание схемы осуществляется от электромагнитного стабилизатора напряжения типа С-0,28. Контакты центробежного регулятора включаются в цепь управления (базы) триода усилителя  $T$ , в качестве которого используется германиевый триод П4Б. Питание триода  $T$  осуществляется от источника постоянного тока, состоящего из специального трансформатора  $Tr2$  со средней точкой 200 вт, 220/21 в и двухполупериодного выпрямителя на двух германиевых диодах Д304. Питание цепей управления триодом предусматривается от трансформатора  $Tr1$  (типа ТПБ, 220/12/6 в) через двухполупериодный выпрямитель на двух диодах Д304. Для регулирования тока управления в цепи базы триода  $T$  предусматривается сопротивление  $R_1$  (типа ПЭВ-50х, 24 ом). Для защиты триода  $T$  от перенапряжений параллельно обмотке возбуждения подключается диод  $D_1$  (кремниевый типа Д205). В схеме конденсатор  $C$  выбран типа КЭГ на 1000 мкф, 12 в, а сопротивление  $R_2$  типа ПЭ-7,5 остеклованное, 10 ом, 7,5 вт. В схемах с центробежным регулятором и полупроводниковым усилителем отклонение скорости привода при изменении нагрузки от  $0,25 M_H$  до  $M_H$  не превышает 15%.

Достоинством описанных систем стабилизации скорости является их простота. В ряде случаев можно рассматривать как недостатки систем: недостаточную надежность контактного центробежного регулятора; невозможность дистанционного изменения уставки по скорости; увеличение потерь в приводе и нагрева его за счет вихревых токов, возникающих в магнитоприводе при увеличении и уменьшении тока возбуждения муфты под действием регулятора.

В настоящее время подготавливается модернизация серии ПМС, которой будет предусмотрена возможность поставки привода в зависимости от предъявляемых требований, либо с системой регулирования с центробежным регулятором, либо с новой системой также импульсного

регулирования тока возбуждения муфты. Новая система по сравнению с системой с центробежным регулятором обеспечивает расширение диапазона регулирования до 1 : 50 вместо 1 : 5 и уменьшение отклонения скорости при изменении нагрузки от  $0,25 M_n$  до  $M_n$  соответственно до 5% вместо 20%!

В новой системе регулирования контроль скорости осуществляется не центробежным регулятором, который обеспечивает регулирование скорости привода лишь в пределах от 1200 до 200 об/мин, а индукторным тахогенератором ТГ. Индукторный тахогенератор имеет такой же индуктор, как и индукторная муфта, но якорь неподвижен и имеет обмотку, в которой при вращении индуктора генерируется переменное напряжение, пропорциональное по величине и частоте скорости вращения выходного вала привода, на котором смонтирован индуктор тахогенератора. Это напряжение выпрямляется и сравнивается с задающим напряжением, снимаемым с потенциометра П (рис. 15,в). Разность этих напряжений подается на вход трехкаскадного полупроводникового усилителя УП, работающего в релейном режиме, к выходу которого присоединяется обмотка возбуждения муфты. Если фактическое значение скорости вращения меньше заданного, то усилитель отпирается, резко возрастает ток возбуждения муфты, вследствие этого увеличивается скорость привода, уменьшается разностное напряжение на входе усилителя и в конечном счете усилитель запирается; в результате ток возбуждения муфты падает, скорость привода начинает уменьшаться и описанный цикл повторяется. Относительная продолжительность импульса автоматически устанавливается такой, чтобы обеспечить среднее значение тока возбуждения муфты, необходимое для передачи муфтой механизму требуемого вращающего момента при заданной скорости вращения.

Ряд зарубежных фирм также применяет импульсное регулирование тока возбуждения муфт. На рис. 15,г показана схема автоматической стабилизации выходной скорости привода с электромагнитной муфтой скольжения, применяемая фирмой «Хинан Фруд». По этой схеме питание обмотки возбуждения муфты осуществляется через тиратрон, на сетку которого подается разность напряжения от источника постоянного тока и напряже-

ния жесткой обратной связи по скорости, снимаемого с потенциометра, подключенного на выход тахогенератора на валу приводимого механизма. Когда скорость привода ниже заданной, напряжение источника в сеточной цепи превышает напряжение, снимаемое с потенциометра на выходе тахогенератора, тогда сетка тиратрона не заперта, по обмотке возбуждения протекает ток и скорость возрастает. Когда скорость привода достигнет или превысит заданную, сетка тиратрона запирается и ток возбуждения муфты падает до нуля; в связи с этим скорость вращения начинает уменьшаться, пока тиратрон не отпирается вновь.

В заключение следует отметить, что вихревые токи, возникающие в магнитопроводе при всяких изменениях магнитного потока, существенно ограничивают возможности применения импульсного регулирования тока возбуждения. Помимо нежелательных дополнительных потерь, вихревые токи затягивают переходные процессы увеличения и уменьшения тока возбуждения, соответственно увеличивая амплитуду колебаний выходной скорости привода. Инерционность процесса изменения потока возрастает с увеличением размеров муфты, поэтому при заданной допустимой амплитуде колебаний скорости импульсное регулирование тока возбуждения применимо лишь до определенной мощности, а при более высоких мощностях необходимо либо переходить от массивного магнитопровода к шихтованному, либо осуществлять непрерывное регулирование тока возбуждения муфты.

Схемы непрерывного регулирования тока возбуждения муфты, как правило, основаны на использовании магнитных (или электромашинных) усилителей (рис. 16,а). При необходимости стабилизации скорости привода на одну из обмоток управления магнитного усилителя МУ подается стабилизированный сигнал-уставка, пропорциональный заданной скорости вращения, а на другую обмотку управления подается встречно сигнал с тахогенератора ТГ на выходном валу привода, пропорциональный фактической скорости вращения. Таким образом, ток возбуждения муфты определяется разностью намагничивающих сил задающей обмотки и обмотки обратной связи по скорости. Тогда при возрастании момента нагрузки некоторое снижение скорости вызывает нарастание рассогласования на входе усили-

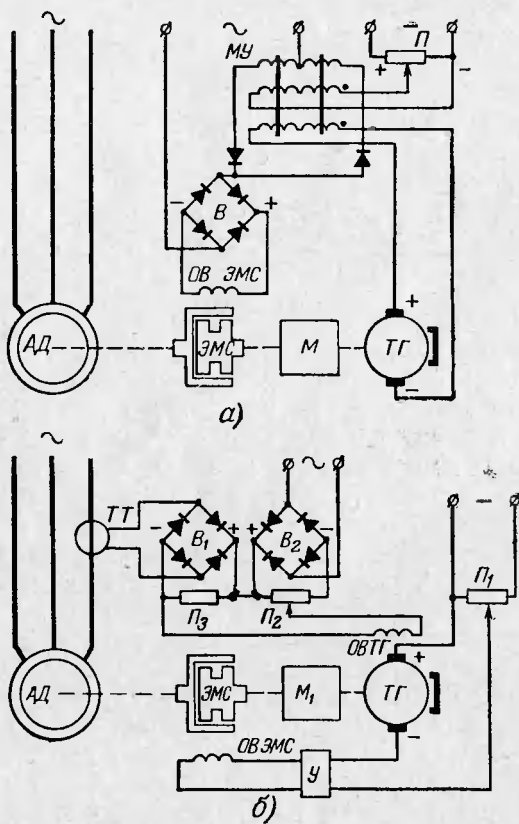


Рис. 16. Схемы с непрерывным автоматическим регулированием возбуждения.

а — для стабилизации выходной скорости; б — для поддержания постоянной мощности на выходном валу привода; АД — приводной двигатель (асинхронный); ЭМС — электромагнитная муфта скольжения; М — механизм; ТГ — тахогенератор; МУ — магнитный усилитель; П, П<sub>1</sub>, П<sub>2</sub>, П<sub>3</sub> — потенциометры; В, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> — выпрямители; У — усилитель; ОБ ЭМС — обмотка возбуждения электромагнитной муфты скольжения, ОБ ТГ — обмотка возбуждения тахогенератора.

теля и в конечном счете увеличение тока возбуждения до такой величины, при которой обеспечивается передача муфтой возросшей величины вращающего момента при заданной скорости вращения. Напротив, при снижении момента нагрузки скорость привода несколько возрас-

тает, рассогласование на входе усилителя уменьшается и ток возбуждения снижается до величины, обеспечивающей передачу муфтой новой требуемой величины вращающего момента. В некоторых специальных схемах с автоматическими регуляторами удалось добиться стабилизации скорости вращения с точностью до 0,1—0,5% заданного значения<sup>1</sup>.

Во всех описанных выше схемах, перемещая движок задающего потенциометра  $\Pi$  от какого-либо исполнительного механизма, можно автоматически регулировать скорость привода по заданному закону. Кроме того, рассмотренные схемы можно дополнить автоматическим управлением и по другим параметрам, например ввести ограничение по моменту.

Ограничение по моменту прежде всего необходимо в приводе механизмов, работающих на упор, например на экскаваторах, землесосных снарядах. Для резкого уменьшения скорости привода вплоть до нуля при превышении предельно допустимого момента обычно предусматривается размагничивание усилителя. Для этого на дополнительную обмотку управления усилителя подается сигнал, пропорциональный величине превышения момента нагрузки сверх заданной величины и создающий размагничивающую н. с. Приближенное измерение момента, передаваемого муфтой от двигателя к механизму, производится косвенно по току в статорной цепи электродвигателя, так как при постоянной скорости вращения двигателя ток в статорной цепи в пределах 0,5—1,5 $I_n$  примерно пропорционален вращающему моменту двигателя. Достоинством такого способа измерения момента, передаваемого муфтой, в схеме с ограничением по моменту является обеспечение пуска приводного двигателя вхолостую, поскольку пусковой ток двигателя будет значительно превышать ток, пропорциональный предельно допустимому моменту, а следовательно, усилитель будет размагничен и ток возбуждения муфты будет равен нулю.

В ряде случаев необходимо обеспечить постоянство вращающего момента на выходном валу привода. Для

---

<sup>1</sup> См. статью Andersen W. G., McCleery H. L., Eddy-current drive system saves space and maintenance on cylinder machine, «Paper trade Journal», 1963, v. 147, № 19, p. 28—29.

этого может быть использована описанная выше система непрерывного регулирования тока возбуждения (рис. 16,а) с той лишь разницей, что обратная связь будет осуществляться не по напряжению тахогенератора, а по току статора приводного двигателя. Постоянство момента будет обеспечиваться путем автоматического регулирования тока возбуждения муфты и соответственного изменения скорости вращения механизма. Такая система требуется в приводе прессов для обеспечения заданного давления в пуансоне, в приводах с циклической нагрузкой, в частности, в роторных экскаваторах.

Наконец, в некоторых задачах регулирования необходимо обеспечить постоянство мощности на выходном валу привода. Такое требование выдвигается перед приводами намоточных аппаратов, где необходимо поддерживать неизменными линейную скорость наматываемого материала и усилие натяжения независимо от заполнения барабана, при этом момент на валу привода изменяется прямо пропорционально, а угловая скорость рулона (катушки) обратно пропорционально диаметру рулона (катушки). В осуществленных схемах привода намоточных аппаратов волоочильных машин достигается стабилизация усилия натяжения с точностью до  $\pm 1\%$ .

На рис. 16,б приведен один из вариантов схемы управления с автоматическим поддержанием постоянной мощности на выходном валу привода, нашедший применение в приводе намоточных аппаратов. В качестве датчика мощности использован тахогенератор *ТГ* с независимым возбуждением, обмотка возбуждения которого питается током, пропорциональным току в статорной цепи электродвигателя, а значит и моменту на его валу.

Так как якорь тахогенератора вращается со скоростью, равной или пропорциональной скорости на выходном валу привода, то напряжение на якоре тахогенератора будет пропорционально мощности на выходном валу привода. В схеме напряжение тахогенератора включается встречно с эталонным, пропорциональным заданному значению, а сигнал рассогласования усиливается усилителем *У* и подается на обмотку возбуждения муфты. Уставка мощности регулируется перемещением движка задающего потенциометра *П*<sub>1</sub>.

В схеме на рис. 16,б предусмотрена компенсация тока холостого хода двигателя для получения линейной зависимости тока возбуждения тахогенератора от момента двигателя. С этой целью с помощью потенциометра  $P_2$  вводится постоянное отрицательное смещение в цепь возбуждения тахогенератора.

Аналогичная задача решена в приводе лущильных станков, где необходимо обеспечить постоянство линейной скорости шпона при примерно одинаковом усилии резания. Однако в случае лущильных станков описанная схема работает неудовлетворительно из-за возможности ударов в момент соприкосновения режущего инструмента с чураком. Поэтому в приводе лущильных станков используется иная схема управления, применяемая также в ряде приводов намоточных аппаратов. Эта схема повторяет описанную выше схему стабилизации скорости привода с непрерывным регулированием тока возбуждения муфты (рис. 16,а) с той лишь разницей, что в ней сигнал-уставка не сохраняется неизменным, а изменяется обратно пропорционально радиусу обрабатываемого изделия (или катушки) и таким образом обеспечивается постоянство линейной скорости. Возможна и такая модификация схемы, в которой сохраняется неизменным сигнал-уставка, а в качестве датчика линейной скорости используется тахогенератор постоянного тока с независимым возбуждением, ток возбуждения которого изменяется обратно пропорционально диаметру изделия (катушки).

## **5. СРАВНЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИВодОВ С ИНДУКТОРНЫМИ МУФТАМИ СКОЛЬЖЕНИЯ И ДРУГИХ ТИПОВ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВодОВ**

В настоящее время можно выполнить регулируемый привод по различным схемам, базирующимся на серийном оборудовании. Однако прежде, чем остановиться на каком-либо варианте, необходимо сравнить все технические и экономические показатели возможных вариантов и выбрать тот, который, удовлетворяя техническим условиям, требует минимальных расчетных затрат, которые состоят из суммарных ежегодных издержек и доли первоначальных капиталовложений, приходящейся на год нормативного срока окупаемости. Зачастую ошибочно

считают наиболее экономичным тот привод, у которого выше энергетические показатели (к. п. д., коэффициент мощности), забывая сопоставить первоначальную стоимость приводов, не учитывая ежегодные амортизационные отчисления и отчисления на текущий ремонт и эксплуатацию. Ниже приводится сравнение вариантов привода для регулируемого вентилятора, из которого видно, что привод с индукторной муфтой скольжения является оптимальным для такой установки.

Мощность, потребляемая механизмами с вентиляторным моментом, изменяется пропорционально третьей степени скорости, и при одинаковой разнице значений к. п. д. сравниваемых приводов (величин относительных) абсолютная величина разницы потерь в них будет резко уменьшаться при снижении скорости. Например, если при скорости  $n = \frac{1}{4} n_H$  к. п. д. сравниваемых приводов составляют  $\eta_1 = 75\%$  и  $\eta_2 = 25\%$ , то разнице по к. п. д. на  $50\%$  соответствует разница по потерям:

$$\Delta P_2 - \Delta P_1 = \left( \frac{1 - \eta_2}{\eta_2} - \frac{1 - \eta_1}{\eta_1} \right) P_{2H} \left( \frac{n}{n_H} \right)^3 \approx 0,04 P_{2H}.$$

Поскольку абсолютная величина потерь скольжения относительно мала при вентиляторном моменте сопротивления нагрузки, постольку при прочих равных условиях приводы с муфтами оказываются экономичными прежде всего при вентиляторном моменте нагрузки.

Чтобы определить экономически целесообразную область применения приводов с электромагнитными муфтами скольжения в случае механизмов с вентиляторным моментом сопротивления, необходимо учесть приводимые ниже результаты технико-экономических сравнений, проведенных ГПИ Тяжпромэлектропроект по методике, разработанной на основе рекомендаций «Основных методических положений технико-экономических расчетов в энергетике» применительно к вновь сооружаемому приводу.

Сравнивались следующие системы электропривода:

- 1) асинхронный двигатель с дросселями насыщения в цепи статора (АД-ДН);
- 2) асинхронный короткозамкнутый двигатель в сочетании с электромагнитной муфтой скольжения индукторного типа (АД-ЭМС);
- 3) асинхронный вентильный каскад (АВК);
- 4) асинхронный

машинно-вентильный каскад (АМК); 5) АМК с дросселями насыщения в цепи статора для расширения диапазона регулирования (АМКД); 6) коллекторный двигатель Шраге; 7) система «генератор — двигатель» (Г — Д); 8) система «управляемый ртутный выпрямитель — двигатель» (УРВ — Д); 9) система «кремниевый управляемый выпрямитель — двигатель» (КУВ — Д); 10) магнитный усилитель — выпрямитель — двигатель (МУ — В — Д).

Не рассматривались АД с фазным ротором и реостатом в роторной цепи, применение которых ограничено случаями, когда допустимо ступенчатое регулирование скорости, получаемое при применении металлического реостата.

Все расчеты выполнены для вентилятора 50 квт, 1500 об/мин для случаев бесступенчатого регулирования скорости в диапазоне 1:2, 1:3, 1:5 и изменения момента сопротивления в зависимости от скорости по формуле

$$M = 0,1M_n + 0,9M_n \left( \frac{n}{n_n} \right)^2,$$

где  $M_n$ ,  $n_n$  — номинальные значения величин момента и скорости.

Для каждого привода определены первоначальные капиталовложения  $K$ , ежегодные амортизационные отчисления  $C_a$  и отчисления на текущий ремонт и эксплуатацию  $C_{т.р.}$ , рассчитаны зависимости к. п. д.  $\eta$ , коэффициента мощности  $\cos \varphi$  и суммарных потерь  $\Delta P$  от скорости вращения  $n$ , а также их средние значения  $\eta_{ср}$ ,  $\cos \varphi_{ср}$ ,  $\Delta P_{ср}$  для усредненного графика, по которому привод равное время работает на всех скоростях заданного диапазона регулирования. Величина первоначальных капиталовложений определена на основе действующих прейскурантов для серийно выпускаемой продукции и на основе перспективных цен для продукции, осваиваемой в серийном производстве. Стоимость потерь электроэнергии  $C_w$  в приводе вычислена как по действующему, так и по новому тарифу, вводимому с 1/1 1966 г., по ставкам объединенной энергосистемы Центра, с приведением всех сравниваемых вариантов к одинаковому коэффициенту мощности, равному нормативному.

Сравнение произведено по минимуму расчетных затрат:

$$Z = C + p_n K = \text{минимум},$$

где  $C$  — суммарные ежегодные издержки ( $C = C_a + C_w + C_{т.р}$ );

$p_n$  — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, принятый на ближайшие годы равным 0,125 для расчетов в области энергетики.

На основе указанных выше расчетов были построены зависимости расчетных затрат  $Z$  от годового числа часов работы  $T$  для диапазонов регулирования 1:2, 1:3, 1:5. Так как для перечисленных диапазонов регулирования выводы технико-экономических сравнений оказываются одинаковыми, то здесь приведены зависимости

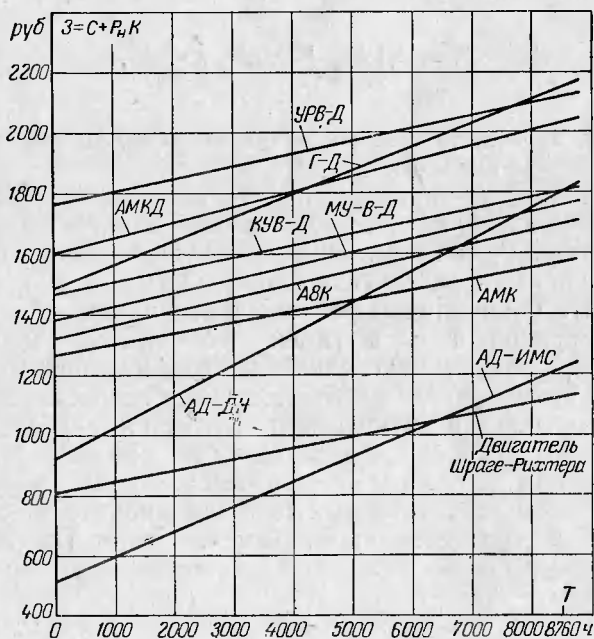


Рис. 17. Зависимость расчетных затрат от годового числа часов работы для сравниваемых приводов при диапазоне регулирования 1:2.

$Z=f(T)$  лишь для диапазона регулирования 1:2 при новом тарифе на электроэнергию по ставкам для промышленных и приравненных к ним потребителей (рис. 17).

Для сравнения стоимостных и качественных показателей в табл. 6 приведены все составляющие расчетных затрат для ряда значений  $T$  при диапазоне регулирования 1:2, энергетические показатели, веса приводов  $G$ , занимаемая площадь  $S$ , расход цветных металлов  $G_{ц.м.}$

Из сравнения приведенных стоимостных и качественных показателей следует, что при мощности 50 кВт, диапазонах регулирования 1:2—1:5 и использовании механизмов с вентиляторным моментом промышленными предприятиями или приравненными к ним потребителями с любым числом часов работы в год экономически целесообразно, как правило, применение АД-ЭМС. Однако разница в расчетных затратах между АД-ЭМС и другими приводами при 50 кВт столь значительна, что вывод об экономической целесообразности применения, как правило, АД-ЭМС для промышленных и приравненных к ним потребителей можно уверенно распространить на мощности до 150—250 кВт.

При постоянном моменте сопротивления нагрузки возрастает величина потерь скольжения в муфте и область экономичного применения приводов с муфтами скольжения сужается. Область, где электромагнитные муфты скольжения являются экономически целесообразными при любом возможном диапазоне регулирования и любом годовом числе часов работы, ограничивается значительно меньшими мощностями (до 10 кВт). При больших мощностях приводы с электромагнитными муфтами скольжения оказываются экономически оправданными либо при уменьшенном суммарном числе часов работы установки, либо при малой продолжительности включения, либо при относительно малом времени работ при низких скоростях.

При постоянной мощности нагрузки потери скольжения еще более возрастают и область экономичного применения приводов с ЭМС еще более сужается. Тем не менее как за рубежом, так и в СССР приводы с электромагнитными муфтами скольжения находят себе применение и в этом случае, например в приводах наката в бумажной промышленности, в моталках в металлургии-

Привод	$\eta_{ср}$	$\cos\varphi_{ср}$	Стоимостные пока						
			К	C <sub>а</sub>	C <sub>то</sub>	C <sub>из</sub> при T, ч			
						2 000	4 000	6 000	8 000
АД—ДН	0,605	0,52	2 048	154	76	646	856	1 066	1 276
АД—ЭМС	0,66	0,795	876	82	47	447	614	780	946
АВК	0,775	0,51	3 812	319	126	486	577	668	759
АМК	0,83	0,722	3 869	301	161	394	466	538	610
АМКД	0,75	0,715	4 895	366	191	535	637	739	841
Шраге	0,817	0,98	1 405	143	84	484	560	636	712
Г—Д	0,67	0,78	3 018	288	166	816	973	1 130	1 287
УРВ—Д	0,75	0,765	5 638	395	218	552	657	763	868
КУВ—Д	0,795	0,765	4 790	337	171	442	524	606	688
МУ—В—Д	0,792	0,817	4 716	332	169	385	474	563	652

ческой промышленности, в лущильных станках в деревообрабатывающей промышленности. Это объясняется, с одной стороны, простотой, надежностью и удобством эксплуатации привода АД-ЭМС, а с другой стороны, сравнительно невысокой первоначальной стоимостью такого привода.

## 6. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКТОРНЫХ МУФТ СКОЛЬЖЕНИЯ

На основе изложенных выше результатов технико-экономических сравнений, целесообразно широкое применение индукторных муфт скольжения в приводах механизмов с вентиляторным моментом — вентиляторов, дымососов, эксгаустеров, насосов и т. д.

В СССР индукторные муфты скольжения установлены на вентиляционных установках систем кондиционирования воздуха на заводах искусственного волокна, предусмотрены для регулирования производительности дутьевого вентилятора мартеновской печи, для точного регулирования температуры на выходе вентиляторных градилен путем регулирования интенсивности искусственного охлаждения воды. Применение муфт скольжения для регулирования производительности вентиляторов по данным экспериментальных исследований, проведенных Научно-исследовательским институтом сантехники Академии строительства и архитектуры СССР,

Таблица 6

зателы, руб.								G, кг	С <sub>ц</sub> , м <sup>2</sup>	S, м <sup>2</sup>
С при T, ч				С + P <sub>ц</sub> K при T, ч						
2 000	4 000	6 000	8 000	2 000	4 000	6 000	8 000			
876	1 086	1 297	1 506	1 132	1 342	1 552	1 762	1 350	255	1,1
577	743	909	1 075	686	853	1 018	1 185	1 070	42	1,5
931	1 022	1 113	1 204	1 408	1 499	1 590	1 681	632	87	1,7
856	928	1 000	1 072	1 339	1 411	1 483	1 556	1 380	160	1,9
1 093	1 195	1 296	1 398	1 704	1 806	1 908	2 010	1 730	290	1,9
711	787	863	939	886	962	1 038	1 114	1 230	163	1,5
1 269	1 426	1 583	1 740	1 646	1 803	1 960	2 117	2 100	208	2,8
1 165	1 270	1 376	1 481	1 869	1 975	2 081	2 186	1 870	115	1,7
950	1 033	1 115	1 196	1 549	1 631	1 713	1 795	1 500	115	1,7
886	975	1 064	1 153	1 476	1 565	1 654	1 743	1 410	300	1,2

дает экономию потребляемой мощности в размере 10—15% номинальной по сравнению с дросселированием и 2—6% по сравнению с применением направляющих аппаратов. В заграничной практике муфты фирмы «Хинан» (Англия) используются в электроприводе выпускаемого оборудования 20 фирмами, изготавливающими вентиляторы, и 8 фирмами, изготавливающими насосы. Наконец, использование муфт скольжения для привода вспомогательных механизмов (в частности, вентиляторов) от главного двигателя внутреннего сгорания позволяет наиболее просто и экономично автоматически поддерживать режим работы двигателя (например, температуру охлаждающей воды).

Муфты скольжения применяются для регулирования скорости насосных агрегатов с целью поддержания требуемого давления в контрольных точках сети либо регулирования производительности в функции какого-либо параметра. Индукторная муфта скольжения ИМС-160 в течение нескольких лет успешно эксплуатируется на одной из насосных станций Московского водопровода.

Однако область применения индукторных муфт скольжения, как и других конструктивных разновидностей электромагнитных муфт скольжения, не ограничивается механизмами с вентиляторным моментом.

На металлургических предприятиях электромагнитные муфты скольжения нашли применение в намоточных

устройствах, в системе привода транспорта летучих ножиц.

Электромагнитная муфта скольжения применена в двухклетьевом прокатном стане тандем. Здесь первая клеть приводится от асинхронного короткозамкнутого двигателя в сочетании с муфтой скольжения, а вторая — от асинхронного двигателя с фазным ротором. Схема автоматического регулирования для согласованного вращения обеих клеток с поддержанием заданных величин натяжения полосы предусматривает регулирование возбуждения ЭМС в зависимости от сигнала задаваемой скорости, сигнала фактической скорости, мощности, потребляемой короткозамкнутым двигателем, и положения прыгающего ролика.

Электромагнитная муфта скольжения в сочетании с реверсивными асинхронными двигателями 80 кВт использована при прокатке материала через две клетки с возвратно-поступательным перемещением материала. Питание возбуждения муфт осуществляется через усилители, связанные с тахогенераторами и датчиками тока приводных двигателей. Моталки работают поочередно то приемной, то отдающей. Двигатель отдающей моталки затормаживается до полной остановки, и его ЭМС в качестве тормоза обеспечивает автоматическое регулирование натяжения сматываемого материала.

Электромагнитные муфты скольжения для поддержания требуемого натяжения проката используются в линиях травления, лужения, отжига, в линии очистки полосы, в приводе моталок.

Электромагнитные муфты скольжения широко используются в индивидуальном приводе волоочильных барабанов многоступенчатых волоочильных станков, которые должны удовлетворять требованиям широкого регулирования скорости и момента. Так как потери в ЭМС пропорциональны диапазону регулирования, то необходимо учитывать, что можно значительно уменьшить требуемый диапазон регулирования, если для ступени волочения, вращающейся с постоянной (синхронной) скоростью, выбрать оптимальное положение. Для привода волоочильного барабана этой ступени целесообразно применить синхронную муфту, у которой якорь имеет зубцы, число которых равно числу зубцов индуктора; при этом обеспечиваются плавный пуск и отсутствие скольжения

во время работы. Автоматическим электронным регулированием возбуждения ЭМС достигается регулирование усилия волочения с точностью  $\pm 1\%$ . Намотка готового изделия также осуществляется приводом с ЭМС, регулируемой на постоянную мощность намотки.

Приводы с ЭМС для намоточных и размоточных устройств применяются также в бумажной, химической и текстильной промышленности.

Отечественная промышленность выпускает ряд волоочильных станков с применением ЭМС для привода моталок (станки С-212, МР-9, ВМ-13, СВМ-II-9). Волоочильные станки с применением ЭМС изготавливают английские фирмы «Нортон» и «Баркроу», немецкая «Грюнэ».

Электромагнитные муфты скольжения применяются в труболоочильных станках.

Электромагнитные муфты скольжения с моментом  $3,5 \text{ кГ} \cdot \text{м}$  использованы институтом «Уралмеханобр» для регулирования скорости тарельчатого гранулятора. Они могут найти применение для пластинчатых питателей, подающих руду в дробилки первичного дробления, где они обеспечивают максимальную производительность дробилки и одновременно исключают подачу в дробилку избыточного количества материалов при попадании особо крупных кусков путем снижения скорости пластинчатого питателя в течение некоторого времени. Электромагнитные муфты скольжения могут использоваться в приводе таких механизмов обогатительных и агломерационных фабрик, как барабанные питатели, подающие шихту агломерационной машине, дисковые питатели в корпусе шихтовых бункеров, ленточные конвейеры и др.

Электромагнитные муфты скольжения находят применение в электрооборудовании прессов. Так, ЭМС в сочетании с вихревым тормозом, представляющим собой ЭМС с застопоренной ведомой частью, применяется в приводе штамповочных прессов. Такие приводы для прессов поставляются фирмой «Итон Мэнюфэкчурин» с моментом от  $1\,000 \text{ кГ} \cdot \text{м}$  при  $550 \text{ об/мин}$  до  $16\,500 \text{ кГ} \cdot \text{м}$  при  $425 \text{ об/мин}$ . Такие же приводы находят применение в приводе дыропробивных прессов.

Электромагнитные муфты скольжения в тормозном режиме иногда используются для прессов глубокой вытяжки.

Привод с ЭМС применяется для регулировки скорости вращения коленчатого вала для обеспечения оптимальной скорости рабочего хода плунжера и сокращения времени цикла. Программное регулирование возбуждения ЭМС позволяет ускорить подъем плунжера при сохранении требуемой скорости рабочего хода при опускании. Скорость рабочего хода может быть выбрана оптимальной, исходя из конфигурации обрабатываемой детали и свойств материала.

Электромагнитные муфты скольжения находят применение в приводах главных и вспомогательных механизмов бумагоделательных машин для регулирования (поддержания) скорости их вращения. Осуществленная система автоматической стабилизации скорости с регулированием возбуждения магнитным усилителем позволяет поддерживать скорость с точностью до 0,1%.

На одной длинносеточной бумажной машине ЭМС используются в индивидуальных приводах секций: сеточной, прессовой, сушильной, каландра и намоточного устройства. Электромагнитные муфты скольжения обеспечивают диапазон регулирования до 1:10. Для экономичного расширения диапазона регулирования применяется коробка скоростей с фиксированными передаточными отношениями 1:1, 2:1, 3:1. Привод с ЭМС обеспечивает очень точное поддержание соотношения скоростей отдельных секций как при нормальной работе, так и во время разгона и торможения, обеспечивая высокое качество бумаги, максимальную производительность и минимальные простои из-за обрывов бумаги и тому подобных причин. Система автоматического регулирования скорости обеспечивает точное поддержание заданной скорости с применением обратной связи, осуществляемой тахогенератором постоянного тока. Синхронизация секций при разгоне и торможении бумажной машины, а также при изменении скорости обеспечивается общим командоконтроллером, вращаемым серводвигателем. При этом темп изменения скорости бумажной машины определяется приводом секции, имеющим наибольшую инерцию, поэтому переходные механические процессы происходят без отставания. Установка скорости производится нажатием одной из кнопок «быстрее» или «медленнее».

В СССР приводы с электромагнитными муфтами

скольжения (серии ПМС) применяются в буквоотливных машинах МО-2 и ниткошвейных автоматах БНА, изготавливаемых Ленинградским заводом полиграфических машин.

Муфты находят применение в станкостроении для поддержания постоянной скорости шлифования или резания при изменении диаметра обработки, используются в приводах подач металлорежущих станков.

Электромагнитные муфты скольжения оказываются экономически и технически оправданными в приводе прядильных машин, которые, как правило, работают при скоростях, близких к номинальной, однако, требуют высокой плавности пуска, возможности получения ползучей скорости, необходимой для заправки, ремонтной скорости, составляющей 0,5—0,6 от нормальной и требуемой для правки и выверки веретен в процессе ремонта, а также пониженной скорости, составляющей 0,8—0,9 от нормальной, требуемой при переработке низких сортов хлопка и ухудшенных технологических условиях прядения.

Приводы с ЭМС используются в изолировочных машинах в кабельной промышленности, где они обеспечивают поддержание требуемого соотношения между скоростью нанесения изоляции и скоростью движения провода.

Электромагнитные муфты скольжения позволяют создать совершенный привод подъемных лебедок буровых установок. Так как продолжительность работы подъемных лебедок весьма мала и измеряется сотнями часов в год, то применение ЭМС даст возможность осуществить наиболее экономичный и надежный привод лебедки при помощи синхронного двигателя или асинхронного короткозамкнутого двигателя; в этом случае управление разгоном и замедлением барабана лебедки осуществляется изменением тока возбуждения муфты при неизменной скорости вращения приводного двигателя.

В сочетании с маховиком ЭМС позволяет значительно уменьшить установленную мощность дизелей для привода лебедки при высоких скоростях подъема.

Электромагнитные муфты скольжения весьма эффективно могут быть использованы также в качестве тормозных устройств и устройств для автоматической подачи долота. Системой автоматического регулирования

возбуждения муфты можно получить характеристику постоянного момента, необходимого в тормозном режиме при опускании инструмента, или смягченную характеристику с ограниченным моментом, желательную для привода роторного стола.

Электромагнитные муфты скольжения применяются в приводах кранов для подъемного механизма и для механизма передвижения. Электромагнитная муфта скольжения, работающая в тормозном режиме, серийно изготавливается заводом «Динамо» имени С. М. Кирова (Москва) для выпускаемых им приводов лебедки подъема строительных башенных кранов. Они применяются в сочетании с асинхронным двигателем с фазным ротором и обеспечивают: малые скорости опускания деталей во время монтажа независимо от веса деталей; снижение динамических нагрузок в начальный период подъема груза за счет выбора слабину каната с малой скоростью; переход от подъема на опускание без потери момента. В приводе кранов зарубежных фирм ЭМС в тормозном режиме используются для регулирования скорости, а асинхронно-синхронные ЭМС — в качестве муфты предельного момента.

Электромагнитные муфты скольжения используются на одноковшовых электрических экскаваторах (с емкостью ковша до  $7,5 \text{ м}^3$ ) для подъемной лебедки и в дизельных экскаваторах для всех главных рабочих механизмов. В приводе подъемной лебедки для возвратного движения реверсирование муфты необязательно, так как ковш может опускаться под действием собственного веса. При копании нужна экскаваторная механическая характеристика, при которой максимальный момент, возникающий при стопорении ковша, ограничивается заранее установленной величиной, безопасной для механической прочности рабочего оборудования и экскаватора. При этом существенно, что величина предельного (стопорного) момента, передаваемого ЭМС, не зависит от напряжения сети, и в стопорных режимах, а также при пуске сеть нагружена от больших пусковых токов. Это особенно важно при питании экскаватора от сети малой мощности, где падения напряжения особенно велики. Обычно это имеет место в сетях, предназначенных для питания строительных объектов, которые зачастую не рассчитаны на таких мощных потребителей, как экскаваторы и кра-

ны, и поэтому падение напряжения в таких сетях может достигать 30%. При этом максимальный момент асинхронного двигателя, пропорциональный квадрату напряжения, резко снижается, а момент ЭМС остается практически неизменным.

Электромагнитные муфты скольжения были использованы Ковровским экскаваторным заводом для дизельных экскаваторов типа Э-504, Э-505, Э-505А и Одесским крановым заводом имени Январского восстания в опытных траншейных экскаваторах.

Электромагнитная муфта скольжения успешно эксплуатируется на землесосных снарядах типа 12р-7, где они используются в приводе рыхлителя (ИМС-40) и пиллонажных лебедок (ИМС-7). Здесь ЭМС обеспечивают: плавное регулирование скорости, необходимое для регулирования консистенции пульпы; экскаваторные механические характеристики привода; пуск двигателя без нагрузки с последующим разгоном механизма вращающим моментом, близким к максимальному моменту двигателя. Электромагнитная муфта скольжения находит применение на мощных земснарядах при приводе насоса от дизеля (мощностью 2 250 и 3 000 кВт).

Электромагнитные муфты скольжения широко используются в приводе конвейеров, где они обеспечивают защиту от перегрузки, пуск двигателя вхолостую, пуск при пониженном напряжении, одновременный пуск двигателей вхолостую в двухбарабанном приводе, медленное движение конвейера в течение некоторого заданного времени во избежание аварий при примерзании влажной ленты к приводным шкивам, автоматическое поддержание заданной величины ускорения при пуске.

Электромагнитная муфта скольжения в сочетании с тормозом на вихревых токах используется в качестве сервопривода. Такие сервоприводы выпускаются фирмой «Ньюбридж» (Англия) на мощности до 22 кВт при 2 500 об/мин. Сервопривод может развивать полный момент при заторможенном выходном вале в течение 45 мин или сколь угодно долго 75% полного момента.

Для создания обратной связи по скорости служит встроенный тахогенератор переменного тока (при диапазоне регулирования 1 : 100) или постоянного тока (при диапазоне регулирования 1 : 1 000). Система регулирова-

ния возбуждения муфты и тормоза содержит усилитель на полупроводниковых триодах.

Электромагнитные муфты скольжения находят применение не только для регулирования скорости ведомого вала при постоянной скорости приводного двигателя, но позволяют стабилизировать скорость механизма при изменениях скорости приводного двигателя. Так, ЭМС используется в агрегатах, состоящих из двигателя внутреннего сгорания и электрического генератора, с целью получения постоянной скорости вращения генератора при изменении скорости вращения двигателя внутреннего сгорания.

Для решения подобной задачи применяются ЭМС в приводе авиационных генераторов.

Электромагнитные муфты скольжения используются в установках для бесступенчатого регулирования частоты. Так, для изменения частоты в пределах 0—200 *гц* создан агрегат мощностью 100 *квa*, состоящий из четырехполюсного асинхронного короткозамкнутого двигателя, ЭМС и 16-полюсного индукционного генератора. Требуемая частота обеспечивается соответствующей скоростью вращения генератора, изменяющейся от —375 до +1125 *об/мин*.

Электромагнитные муфты скольжения нашли применение в судостроении для связи первичного двигателя-дизеля с гребным валом благодаря следующим свойствам. Во-первых, муфта дает возможность в гребных приводах с несколькими первичными двигателями, работающими через редуктор на общий вал, плавно (без толчков и ударов) вводить в работу и отключать любой двигатель, не прерывая работы остальных; при этом дистанционное управление сцеплением и расцеплением обеспечивается просто и удобно путем включения и выключения тока возбуждения. Во-вторых, муфта поглощает крутильные колебания валопровода, возникающие вследствие пульсаций движущего момента дизеля, и смягчает удары нагрузки. В-третьих, изменением тока возбуждения можно установить величину наибольшего момента, передаваемого муфтой, и тогда муфта ограждает первичный двигатель от случайных перегрузок и ударов. Муфта может быть создана с любым пусковым моментом, который встречается в практике гребного привода.

Перечисленными выше примерами не исчерпывается область применения ЭМС. Они используются также в шаровых мельницах; в разгрузателях бункеров и вагонов с бункерообразным кузовом; в установках для испытания тормозных обкладок; как тормоза; в машинах для наложения оболочки кабеля; в приводах каландров; центробежных разливочных машинах; в цементных обжигательных печах и грохотах; в машинах для выдавливания сока цитрусовых; в машинах для намотки катушек; в приводах моталок проволоки, ленты, трубок, бумаги и т. д.; в элеваторах; в двухдвигательном приводе станций для испытания задних мостов; в специальном исполнении, как динамометры; в приводах для пуска и обкатки редукторов моторов; в экструдерах; в приводах шлифовальных машин; в приводах испытательных установок топливных насосов, в приводах процессов термообработки; на испытательных установках коробок скоростей, в обработке металлической ленты; в перемешивающих машинах и др.



## БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

### *Вышли из печати*

Черепенин П. Г., Монтаж асинхронных двигателей до 100 квт, изд. 2 (Вып. 145)

Беляева Е. Н., Как рассчитать ток короткого замыкания (Вып. 146)

Юриков П. А., Средства защиты изоляции от атмосферных перенапряжений (Вентильные разрядники) (Вып. 147)

Фугенфиров М. И., Пускорегулирующая аппаратура для люминесцентных ламп (Вып. 148)

Фингер А. А., Ртутные выпрямители (Вып. 149)

Дуткин Г. С., Монтаж проводов линий электропередачи на штыревых изоляторах (Вып. 150)

Марфин Н. И., Охрана линий электропередачи (Вып. 151)

Белоцерковец В. В., Применение пропан-бутана в электромонтажном производстве (Вып. 152)

Марголин Ш. М., Точная остановка электроприводов (Вып. 153)

Масанов Н. Ф., Электропроводки в трубопроводах (Вып. 154)

Анастасиев П. И., Фролов Ю. А., Сооружение и монтаж линий 3—10 кв (Монтажные работы) (Вып. 155)

Мишустина Л. И., Автоматические выключатели серии АЗ100, изд. 2 (Вып. 156)

Юриков П. А., Защита изоляции от атмосферных перенапряжений (Трубчатые разрядники) (Вып. 157)

Каминский Е. А., Как сделать проект небольшой электроустановки, изд. 2 (Вып. 158)

Дадиомов М. С., Управление осветительными сетями (Вып. 159)

### *Готовятся к изданию*

Барзам А. Б., Как читать схемы релейной защиты и автоматики

Голубев М. Л., Релейная защита и автоматика подстанций с короткозамыкателями и отделителями

Живов М. С., Индустриальный монтаж осветительных установок

Зак С. М., Монтаж светильников с газоразрядными лампами

Овчинников В. В., Электромагнитные реле тока и напряжения

*Издательство заказов на книги не принимает и книг не высылает. Книги, выходящие массовым тиражом, высылают наложенным платежом без задатка отделения «Книга — почтой». Отделения «Книга — почтой» имеются во всех республиканских, краевых и областных центрах СССР.*