

Д.В. Краснов, Г.Б. Онищенко

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

*Учебное пособие*



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2020

УДК 621.313  
ББК 31  
К78

**Краснов, Д. В.**

К78 Электрические двигатели : учебное пособие / Д. В. Краснов, Г. Б. Онищенко. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. — 101, [3] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5545-4

Рассмотрены устройство, принцип действия и технические характеристики электрических двигателей. Дана классификация электродвигателей: асинхронные, синхронные, индукторные и двигатели постоянного тока. Учен опыт российских и зарубежных фирм в области создания новых электродвигателей.

Особое внимание уделено современным тенденциям в электромашиностроении, когда двигатель не только преобразует электрическую энергию в механическое движение, но и управляет этим движением посредством полупроводниковых и микропроцессорных устройств. Отдельные разделы пособия посвящены частотно-регулируемым асинхронным двигателям и управляемым синхронным машинам. Материал учебного пособия изложен достаточно просто и лаконично, его освоение не требует специальной подготовки.

Пособие предназначено для студентов бакалавриата по направлениям подготовки «Электроэнергетика и электротехника», для учащихся средних профессиональных учебных заведений электромеханических специальностей и может использоваться при переподготовке и повышении квалификации работающих специалистов предприятий и организаций.

УДК 621.313  
ББК 31

ISBN 978-5-7038-5545-4

© Краснов Д.В., Онищенко Г.Б.,  
2020  
© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020



## **ВМЕСТО ПРЕДИСЛОВИЯ**

Промышленная Группа «Приводная Техника» создана более двадцати лет назад группой единомышленников — выпускников МГТУ им. Н.Э. Баумана. Все эти годы важнейшими векторами деятельности компании были и остаются разработки в области промышленного электропривода.

Конечно, за два десятилетия у специалистов накопился немалый практический опыт. Ведь на их счету огромное количество успешных внедрений и применений электроприводного оборудования на всевозможных промышленных объектах.

Поскольку полезным опытом принято делиться с общественностью, сотрудники Промышленной Группы «Приводная Техника» приняли решение донести до широкой публики свои профессиональные наработки в столь важной сфере отечественного производства.

Эта книга написана в тандеме ученого и практика.

Соавтором книги стал доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ, профессор Георгий Борисович Онищенко — признанный эксперт в области промышленного электропривода, один из основателей этого направления в России. Долгие годы его жизни посвящены также и преподаванию данных дисциплин в ведущих вузах страны. Под его руководством созданы электротехнические комплексы и уникальные автоматизированные системы для атомных электростанций, магистральных газопроводов,

скоростных лифтов и многих других советских и российских объектов.

Другой соавтор данного учебного пособия — председатель правления Промышленной Группы «Приводная Техника», кандидат технических наук Дмитрий Валерьевич Краснов, который двадцать лет возглавляет компанию, ежедневно и активно работающую во многих отраслях промышленности и коммунального хозяйства.

Кроме того, компания ведет последовательную образовательную деятельность: она активно взаимодействует с Московским государственным образовательным комплексом по созданию профессиональных компетенций в рамках движения WorldSkills, сотрудничает с вузами и деятельно участвует в подготовке инженерных кадров.

В нынешнем году компания выпустила обновленный авторский видеокурс профессора Г.Б. Онищенко по тематике электропривода, который уже набрал на Youtube свыше 350 тысяч просмотров, а лицензионное соглашение на включение его в программы обучения подписано целым рядом высших учебных заведений страны.

Такой разнообразный, научный и практический, опыт авторов позволил им создать учебное пособие, которое вы держите в руках. Авторы надеются, что оно будет полезно как обучающимся профессии, так и широкому кругу специалистов.

# ВВЕДЕНИЕ

Основным источником механической энергии, необходимой для выполнения технологических процессов во всех сферах деятельности, являются электрические двигатели. Это устройства, преобразующие электрическую энергию в механическую, необходимую для выполнения технологических процессов. Электрические двигатели потребляют более 55 % всей вырабатываемой в мире электроэнергии. Они широко применяются в промышленности, сельском и коммунальном хозяйстве, на транспорте, в быту и в других областях.

Электрические двигатели разнообразны по принципу действия, конструкции, мощности, скорости вращения, питающему напряжению и другим параметрам. Ниже рассматриваются двигатели вращательного движения различного производственного применения. Особое внимание уделено современным тенденциям в электромашиностроении, когда двигатель становится не только преобразователем электрической энергии в механическое движение, но и управляет этим движением посредством полупроводниковых и микроэлектронных устройств управления, образующих в сочетании с электромеханическим преобразователем регулируемый электрический привод.

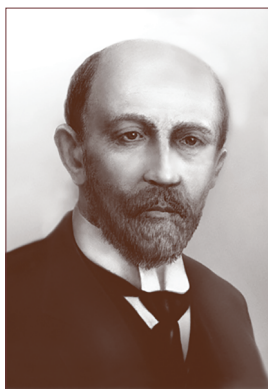
Учебное пособие предназначено для студентов бакалавриата по направлениям подготовки «Электротехника и электроэнергетика», «Машиностроение» и учащихся средних профессиональных учебных заведений по специальностям электромеханического профиля, в том числе: «Мехатроника», «Робототехника», «Полимеханика», «Промышленная автоматика», «Электромонтаж», «Станки с программным управлением».

Содержание пособия отвечает требованиям рабочей программы среднего профессионального образования по дисциплине «Электрические машины и электроприводы». Пособие может быть использовано при повышении квалификации и переподготовке профессиональных кадров промышленных предприятий.

# 1 КЛАССИФИКАЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ



*Академик Б.С. Якоби*



*Инженер-электро-  
техник, физик,  
конструктор  
М.О. Доливо-  
Добровольский*

По своему назначению и масштабам применения электрические двигатели — одно из главных электротехнических устройств в мире.

История развития принципов действия и конструкций электрических машин насчитывает уже 200 лет.

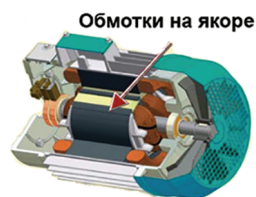
В 1821 г. М. Фарадеем была впервые продемонстрирована возможность создания механического движения с помощью электрического тока. Пропускали ток через проводник, подвешенный около магнита, и осуществлялось движение проводника. В 1839 г. Петербургский академик Б.С. Якоби построил двигатель вращательного движения, в обмотках которого постоянный ток переключался коммутатором. Двигатель прошел испытания как ходовой механизм катера на Неве. Широкое использование электрических двигателей началось после 1889 г., когда М.О. Доливо-Добровольский предложил трехфазную систему переменного тока и на ее основе — асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

В XX в. быстро возрастал объем производства электродвигателей переменного и постоянного тока, строились специализированные предприятия по выпуску электрических машин. К концу 1960-х гг. электрический привод стал основным видом движения во всех отраслях промышленности и других сферах деятельности за исключением транспорта и машин сельскохозяйственного назначения.

К настоящему времени использование электрических двигателей охватило практически все хозяйственные и социальные сферы деятельности.

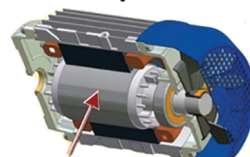
Производство двигателей, как правило, крупносерийное. Оно сосредоточено на специализированных

электромашиностроительных заводах. В России выпускаются практически все типы двигателей (рис. 1.1) массового применения широкого диапазона мощностей. Основной объем производимых



**Синхронный**

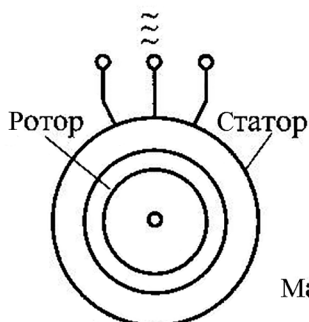
**Асинхронный**



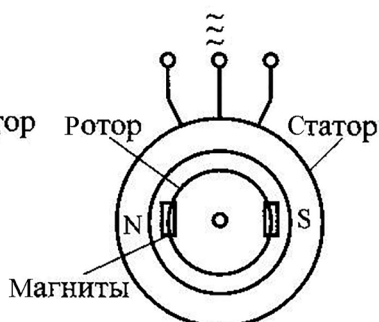
**Без обмоток на якоре**

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

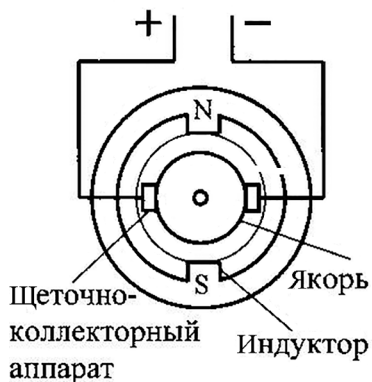
### 1. Асинхронные



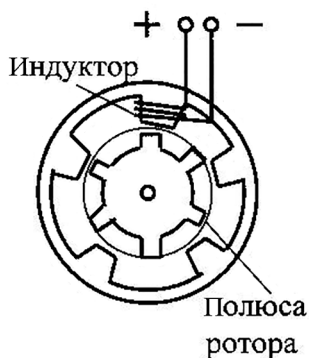
### 2. Синхронные



### 3. Постоянного тока



### 4. Индукторные



**Рис. 1.1.** Классификация электрических двигателей

машин — это двигатели переменного тока, асинхронные и синхронные единых серий. Более 90 % выпускаемых и используемых сегодня двигателей — асинхронные.

Двигатели постоянного тока, широко применявшиеся ранее для регулируемых электроприводов,

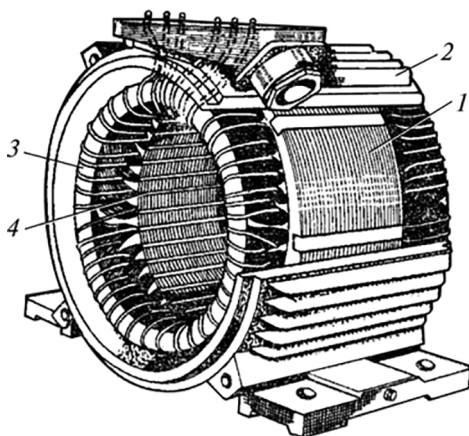


*Асинхронный электродвигатель АИС-Е с тормозом*

в настоящее время в новых разработках почти не применяются. Начинают находить применение двигатели индукторного типа.

По номинальной мощности двигатели классифицируются на микромашины (от долей ватта до 200 Вт), машины малой мощности (до 10 кВт), машины большой мощности (до нескольких МВт). Микромашины используются для приборных электроприводов и в настоящей работе не рассматриваются.

Двигатели вращательного движения имеют обычно неподвижный статор и вращающийся в подшипниках ротор. Активные части статора асинхронных и синхронных машин состоят из сердечника (магнитопровода) с пазами, в которые заключена трехфазная обмотка. Конструкция статора машин переменного тока показана на рис. 1.2 и 1.3.



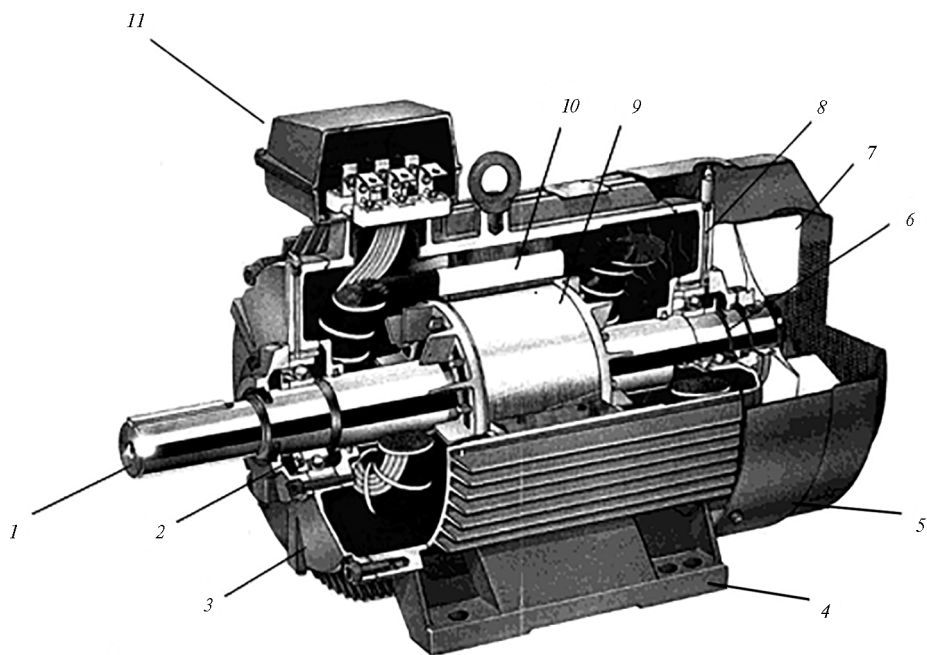
**Рис. 1.2.** Общий вид статора двигателя переменного тока:

*1 — сердечник; 2 — корпус; 3 — обмотка; 4 — пазы*

В асинхронном двигателе электромагнитный момент создается благодаря взаимодействию вращающегося магнитного поля статора, создаваемого токами в его обмотках, с током ротора, наводимым (индуцируемым) в обмотке ротора вследствие различия



скоростей поля статора и самого ротора, в результате чего магнитные силовые линии вращающегося поля статора пересекают стержни обмотки ротора, наводя в них электродвижущую силу (ЭДС).



**Рис. 1.3.** Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором:

1 — вал; 2, 6 — подшипники; 3, 8 — подшипниковые щиты; 4 — лапы; 5 — кожух вентилятора; 7 — крыльчатка вентилятора; 9 — короткозамкнутый ротор; 10 — статор; 11 — коробка выводов

В синхронном двигателе электромагнитный момент создается благодаря взаимодействию вращающегося магнитного поля статора, создаваемого током в его обмотках, с магнитным полем ротора, создаваемым постоянным током в обмотке возбуждения или постоянными магнитами, расположенными на полюсах ротора.

Двигатели постоянного тока состоят из неподвижного статора, на станине которого располагаются

полюса с обмоткой возбуждения. Вращающийся якорь двигателя содержит секционированную обмотку, размещенную в его пазах.

В двигателях постоянного тока электромагнитный момент создается благодаря взаимодействию тока, протекающего по обмотке якоря от источника постоянного тока через щеточно-коллекторный аппарат, с магнитным полем, создаваемым обмоткой возбуждения или постоянными магнитами, расположенными на полюсах статора.

Постоянный ток в секции обмоток поступает от внешнего источника тока через щеточно-коллекторный аппарат.

Наличие этого коммутационного узла, требующего периодического обслуживания, снижает надежность электродвигателя; кроме того, двигатели постоянного тока менее технологичны в изготовлении, чем двигатели переменного тока. Эти обстоятельства определили существенное сокращение использования двигателей постоянного тока в новых разработках. Взамен коллекторных двигателей постоянного тока стали применяться бесколлекторные двигатели на базе синхронных машин.

Индукторные двигатели в последние годы стали получать применение во многих промышленных и транспортных установках благодаря простоте и технологичности своей конструкции. Магнитопровод статора индукторного двигателя выполняется шихтованным с явно выраженными полюсами. Обмотки статора в виде катушек располагаются на полюсах статора. Обмотки статора питаются от блока управления, содержащего электронные ключи (на IGBT-транзисторах). Поочередное включение обмоток создает электромагнитный момент на валу двигателя. Благодаря явнополюсной конфигурации магнитной цепи статора и ротора ротор стремится занять такое положение, когда проводимость