

УДК 621.3

**ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА СУДАХ  
DC ELECTRIC MOTORS ON SHIPS**

А.А. Скачко, Н.А. Махнач

Научный руководитель – В.В. Зеленко, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Skachko, N. Makhnach

Supervisor – V. Zelenko, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* в данной статье будет рассказано об электродвигателях постоянного тока, их происхождении и использовании на судах.

*Abstract:* this article will talk about electric motors DC, their origin and use on ships.

*Ключевые слова:* электродвигатели постоянного тока, магнитное поле, ЭДС, правило правой руки.

*Keywords:* DC electric motors, magnetic field, EMF, right hand rule.

**Введение**

Двигателем постоянного тока называется электродвигатель, переключение секций обмотки в котором осуществляется внутри машины, посредством коллектора, расположенного на валу. Вследствие чего, такой двигатель может питаться постоянным током. Русско-пруссский учёный Б.С. Якоби в 1834 году создал первый в мире практический электродвигатель с вращающимся якорем и написал теоретическую работу «О применении электромагнетизма для приведения в движение машины». Б. С. Якоби излагал, что его двигатель несложен и «даёт непосредственно круговое движение, которое гораздо легче преобразовать в другие виды движения, чем возвратно-поступательное».

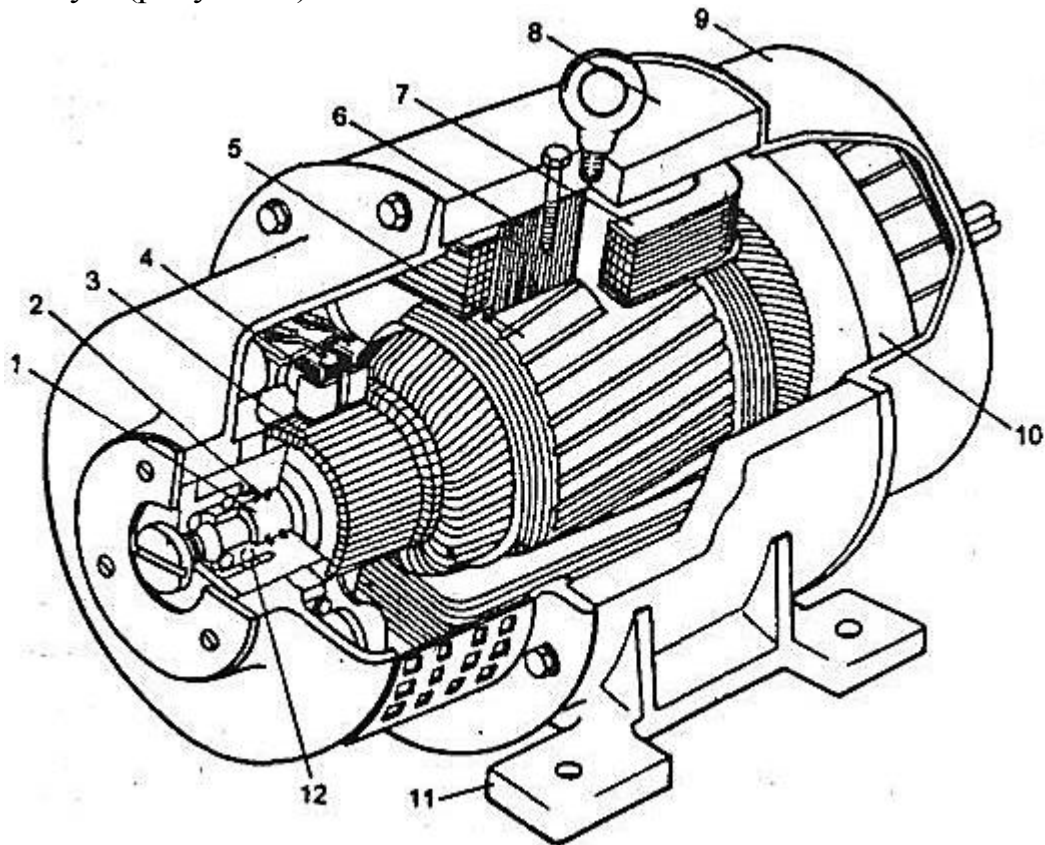
Вращательное движение якоря происходило благодаря попеременному притяжению и отталкиванию электромагнитов. Неподвижная группа  $U$ -образных электромагнитов питалась током непосредственно от гальванической батареи, причем направление тока в этих электромагнитах оставалось неизменным. Электромагнитная подвижная группа была подсоединена к батарее с помощью коммутатора, через которого направление тока в каждом электромагните менялось около восьми раз за один оборот диска. Полярность электромагнитов при этом менялась, а каждый из подвижных электромагнитов попеременно отталкивался и притягивался соответствующим неподвижным электромагнитом: вал электродвигателя начинал вращаться. Таким образом было получено первое конструктивное оформление статора и ротора. Мощность составляла примерно 15 Вт. В будущем Якоби довёл мощность электродвигателя до 550 Вт. Этот электродвигатель был изначально установлен на лодке, а затем на железнодорожной платформе.

В 1839 году Б. С. Якоби построил лодку с электромагнитным двигателем, который был равен 1-ой лошадиной силе и приводил в движение лодку с 14 пассажирами против течения реки Невы. Это было первое применение

электромагнетизма для преобразования электромагнитной энергии в механическое движение приводов большой мощности.

### Основная часть

Двигателем постоянного тока называется электрическая машина, работающая на постоянном токе и преобразующая электрическую энергию в механическую (рисунок 1).



1 – вал; 2 – передний подшипниковый щит; 3 – коллектор; 4 – щеткодержатель;  
 5 – сердечник якоря с обмоткой; 6 – сердечник главного полюса; 7 – полюсная катушка;  
 8 – станина; 9 – задний подшипниковый щит; 10 – вентилятор; 11 – лапы; 12 – подшипник

Рисунок 1 – Двигатель постоянного тока

В двигателе магнитные поля создаются обмоткой якоря и полюсами обмотки возбуждения, по которым пропускается постоянный ток. При пропускании через них тока, якорь машины приходит во вращение (рисунок 2). Направление вращения якоря определяется правилом левой руки. При этом если изменить направление в обмотке возбуждения или направление тока в якоре, то направление вращения вала также изменится.

При работе электродвигателя, работающего на постоянном токе, его якорь с обмоткой, вращаясь в магнитном поле, создаваемом магнитами полюсов, пересекает силовые магнитные линии магнитного потока полюсов и, вследствие чего, согласно закону электромагнитной индукции, в обмотке якоря наводится ЭДС. Направление ЭДС обратно направлению тока, протекающего в обмотке якоря, следовательно, она называется противо-электродвижущей силой или как принято называть обратной ЭДС.

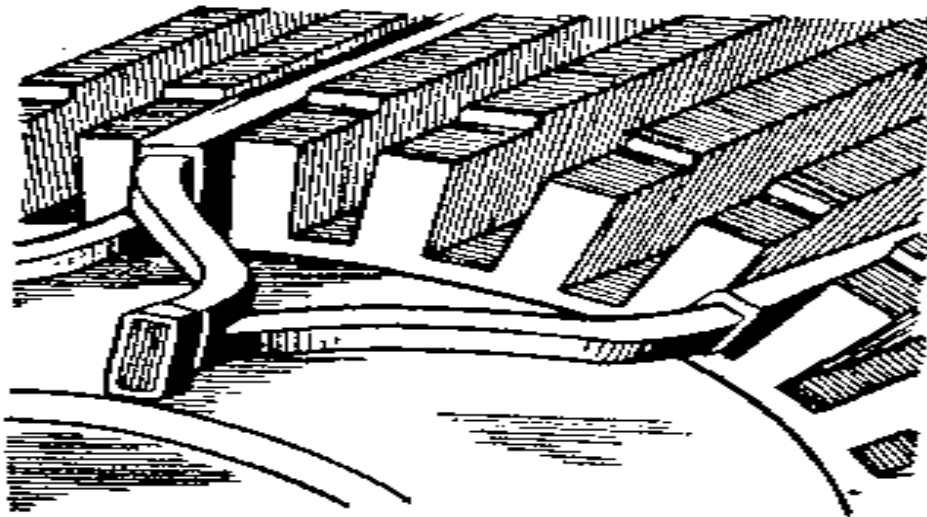


Рисунок 2 – Расположение секции обмотки якоря в пазах сердечника

Процесс управления электродвигателем постоянного тока сводится к выполнению следующих операций: пуск, реверсированию и регулированию скорости вращения, торможение.

Наиболее простым вариантом пуска электродвигателей постоянного тока является такой пуск, когда электродвигатель запускается непосредственно на полное напряжение сети. Начальный пусковой ток  $I$  электродвигателя, когда ЭДС якоря и угловая скорость равны нулю ( $E = 0, \omega = 0$ ), согласно закону Ома определяется выражением:

$$I = \frac{U}{r_{я}}, \quad (1)$$

Во время вращения якоря в его обмотке наводится ЭДС, направленная навстречу  $U$  (приложенному напряжению). Значение этой ЭДС прямо пропорциональна угловой скорости  $\omega$  и магнитному потоку  $\Phi$  т. е.

$$E = k \cdot \Phi \cdot \omega, \quad (2)$$

где  $k = pN / (2\pi \cdot a)$  – конструктивный постоянный коэффициент машины постоянного тока, который будет зависеть от числа пар полюсов машины  $p$ , числа активных проводников обмотки якоря  $N$ , а так же от числа пар параллельных ветвей якоря  $a$ .

Непосредственно по мере разгона двигателя ток  $I$ , который протекает по якорной цепи, будет уменьшаться:

$$I = \frac{(U - E)}{r_{я}} = \frac{(U - k\Phi\omega)}{r_{я}}, \quad (3)$$

Так как сопротивление обмотки якоря  $r_{я}$  очень мало, то начальный пусковой ток мощных двигателей достигает больших значений  $I_{п} = 10 \div 50 I_{ном}$ . Это плохо сказывается на процессе коммутации, вызывая большой провал напряжения в питающей цепи, нарушая нормальный режим работы других приемников. Поэтому такой пуск используют для электродвигателей

постоянного тока только незначительной мощности (не более 1,3 кВт), имеющих достаточное сопротивление обмотки якоря.

Пуск более мощных электродвигателей постоянного тока обычно производят при последовательно включенном с якорем двигателя пусковым реостате.

Анализ уравнения электромеханической характеристики электродвигателей постоянного тока

$$\omega = \frac{[U - I(r_{\text{я}} + r_{\text{п}})]}{k\Phi}, \quad (4)$$

показывает, что значение угловой скорости принципиально можно регулировать тремя способами: 1) изменением магнитного потока возбуждения  $\Phi$ ; 2) изменением напряжения  $U$ , приложенного к двигателю; 3) изменением активного сопротивления добавочного резистора  $r_{\text{рег}}$ , включенного в якорную цепь.

Регулирование угловой скорости изменением подводимого к двигателю напряжения возможно лишь, когда двигатель получает питание от специального источника электроэнергии (например, система генератор - двигатель) или при использовании схем тиристорного управления.

Торможение электродвигателей применяется для сокращения времени их остановки, а также для уменьшения угловой скорости двигателя, если это необходимо при выполнении отдельных технологических операций. С этой целью в судовых электроприводах используют электрическое и механическое торможение двигателей.

Электрическое торможение основано на том, что при определенных условиях электродвигатель может развивать отрицательный момент, т. е. момент, действующий навстречу вращению электропривода. Электрическое торможение осуществляется за счет изменения схемы включения двигателя. Различают три способа электрического торможения: противовключением, рекуперативное и динамическое торможение.

Механическое торможение производится дисковыми, колодочными и ленточными электромагнитными тормозами, которые дополняют электрическое торможение и служат, как правило, для обеспечения фиксированных остановок в нормальных или аварийных режимах.

### **Заключение**

На судах морского флота электродвигатели постоянного тока последовательного возбуждения с легкой параллельной обмоткой применяются для привода в действие палубных механизмов (брашпильей, шпилей, лебедок, кранов), где требуется большой вращающий момент при пуске. Электродвигатели постоянного тока параллельного возбуждения применяются для привода механизмов, у которых скорость вращения под нагрузкой меняется в небольших пределах, применяются такие электродвигатели во вспомогательных механизмах и насосах, обслуживающие главные двигатели и судовые системы, станки и т. д.

Электродвигатели постоянного тока смешанного возбуждения применяются для привода в движение механизмов, требующих большого пускового момента и сохранения постоянного числа оборотов, а также имеющих значительный маховой момент (палубные механизмы, рулевые приводы, валоповоротные устройства и др.).

Широкое распространение электродвигатели постоянного тока получили за свои положительные качества, к которым можно отнести:

- надежность (простая конструкция гарантирует продолжительный срок службы, низкий уровень поломок);
- универсальность (применяется в качестве двигателя и генератора);
- возможность регулирования частоты, скорости и направления вращения;
- легкий запуск (особенно для двигателей последовательного возбуждения);
- соответствие современным экологическим стандартам.

### Литература

1. История создания электродвигателя [Электронный ресурс] / история создания электродвигателя – Режим доступа: <https://engineeringsolutions.ru/motorcontrol/history/> . – Дата доступа: 13.10.2023.

2. Электродвигатели постоянного тока [Электронный ресурс] / устройство и принцип работы. – Режим доступа: <https://vec-tech.by/catalog/elektrodvigateli>. – Дата доступа: 13.10.2023.

3. Процессы управления электродвигателями постоянного тока [Электронный ресурс] / электродвигатели постоянного тока. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7850070/page:44/>. – Дата доступа: 13.10.2023.