

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АВВ	– автоматический воздушный выключатель
АРЩ	– аварийный распределительный щит
АД	– асинхронный двигатель
АО	– акционерное общество
АР	– авторулевой
АШЛ	– автоматическая швартовная лебедка
БКА	– бесконтактный коммутационный аппарат
БПО	– буксируемый подводный объект
ВНИПТИ	– Всесоюзный научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт кранового и тягового электрооборудования
ВРК	– винторулевая колонка
ВРШ	– винт регулируемого шага
ГД	– главный двигатель
ГДР	– Германская Демократическая Республика
Г–Д	– «генератор – двигатель» (система)
ГОСТ	– Государственный отраслевой стандарт
ГПУ	– грузоподъемное устройство
ГРЩ	– главный распределительный щит
ДП	– диаметральная плоскость (судна)
ДПТ	– двигатель постоянного тока
ИД	– исполнительный двигатель
ИО	– исполнительный орган
ИПЧ	– инверторный преобразователь частоты
ИПЧ–АД	– «инверторный преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (система)
ИУ	– информационное устройство
КК	– командоконтроллер
ККА	– контактный коммутационный аппарат
КПД, η	– коэффициент полезного действия
МО	– машинное отделение
МП	– механический преобразователь (механическая передача)
МПс	– магнитный пускател
МТК	– Морской технический комитет
МЭК	– Международная электротехническая комиссия
НПО	– научно-производственное объединение
НПЧ	– непосредственный преобразователь частоты
НПЧ–АД	– «непосредственный преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (система)

ОВ	– обмотка возбуждения
ОС	– обратная связь
П	– пропорциональный (закон управления)
ПВ	– продолжительность включения
ПД	– приводной двигатель
П-Д	– пропорционально-дифференциальный (закон управления)
П-Д-Ф	– пропорционально-дифференциально-фильтрованный (закон управления)
П-И-Д	– пропорционально-интегрально-дифференциальный (закон управления)
ПКО	– противокомпаундная обмотка
ПН	– поршневой нагнетатель
ПНР	– Польская Народная Республика
ПрН	– пропеллерный нагнетатель
ПЧ	– преобразователь частоты
ПЭЭ	– преобразователь электрической энергии
Регистр	– Российский морской регистр судоходства
Р-К	– релейно-контакторная (схема)
РМ	– рабочая машина
РЭГ	– рулевой электрогидравлический (привод)
РЭМ	– рулевой электромеханический (привод)
САУКС	– система автоматического управления курсом судна
СК	– судовой компрессор
СН	– судовой нагнетатель
СПП	– силовой полупроводниковый прибор
СПУ	– судовое промысловое устройство
СРК	– счетно-решающий комплекс
СУ	– система управления
СФРЮ	– Социалистическая Федеративная Республика Югославия
ТК	– тиристорный коммутатор
ТП-Д	– «тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока» (система)
ТРН	– тиристорный регулятор напряжения
ТРН-АД	– «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» (система)
ТРС	– траловая рыболовная система
УВ-Д	– «управляемый выпрямитель – двигатель постоянного тока» (система)
УУ	– управляющее устройство
ФРГ	– Федеративная Республика Германия

ХСПО	– Херсонское судостроительное производственное объединение
ЦН	– центробежный нагнетатель
ЦНИИМФ	– Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота
ЦНИИСМ	– Центральный научно-исследовательский институт судового машиностроения
ЭД	– электрический двигатель
ЭДС	– электродвижущая сила
ЭМ	– электрическая машина
ЭМП	– электромеханический преобразователь
ЭМУ	– электромашинный усилитель
ЭО	– электрическое оборудование
ЭП	– электрический привод
ЭЭ	– электрическая энергия
ЭЭС	– электроэнергетическая система
ЯШУ	– якорно-швартовное устройство
$\cos\varphi$	– коэффициент мощности
GCT	– запираемый тиристор (Gate Commutated Thyristor)
GTO	– запираемый тиристор («Gate Turn Off»)
IGBT	– биполярный транзистор с изолированным раствором («Insulated Gate Bipolar Transistor»)
IGCT	– запираемый тиристор («Integrated Gate Commutated Thyristor»)
SCR	– кремниевый управляемый выпрямитель (тиристор) («Silicon Controlled Rectifier»)

ВВЕДЕНИЕ

Современное общество неразрывно связано с использованием электрической энергии во многих областях его жизни и деятельности. Не является исключением и флот, который оснащен электрическим оборудованием различной степени сложности. В настоящее время сотни тысяч торговых, рыбопромысловых, пассажирских и других категорий судов находятся в рабочем состоянии и выполняют свои функции.

Государственная программа развития флота в России обозначена в «Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства от 08.12.2010 № 2205-р и направленной на обеспечение интересов Российской Федерации в Мировом океане, повышение эффективности основных видов морской деятельности.

К основным задачам стратегического развития относятся, в частности, повышение конкурентоспособности эксплуатирующегося транспортного флота и увеличение добычи рыбопродукции.

Техническое совершенство судовых механизмов и осуществляемых ими технологических процессов в значительной степени определяются совершенством соответствующего привода и степенью его автоматизации.

Преимущества электрической энергии и создание достаточно совершенных электромеханических преобразователей (электродвигателей (ЭД)) привели к активному внедрению электроприводов (ЭП).

Судовые ЭП, являясь многочисленными и разнообразными, потребляют ориентировочно до 90% электрической энергии (ЭЭ), вырабатываемой преимущественно судовыми электромеханическими источниками – генераторами.

В настоящее время и в перспективе ЭД, достигшие в основном своего конструктивного совершенства, остаются основными преобразователями электрической энергии в механическую.

Дальнейший прогресс в области судовых ЭП тесно связан с общим развитием промышленного производства, тенденциями развития флота. Строительство судов различного назначения, водоизмещения и скорости приводит к необходимости разработки и создания разнообразных, иногда принципиально новых, систем ЭП, оптимизации механических характеристик ЭД, увеличения их мощности и повышения надежности ЭП.

На развитие теоретических разработок и практическое совершенствование ЭП, включая решение основных задач энергосбережения, ориентированы работы Б. И. Абрамова, А. В. Башарина, А. П. Богословского, И. Я. Braslavskogo, Д. Г. Жимерина, Г. И. Китаенко, Г. М. Мустафы, Е. Г. Подобедова, В. В. Тихонова, И. М. Шаранова, В. А. Шубенко, А. Г. Яуре и др.

К вероятным направлениям развития судовых ЭП, отвечающих современным требованиям, относятся: углубленные теоретические исследования и практическая реализация новых технических решений; модернизация существующих систем ЭП преимущественно для судов, находящихся в эксплуатации.

К основным составным частям ЭП, включая судовые, в первую очередь относятся ЭД, являющиеся электромеханическими преобразователями.

Исследованиям электрических машин посвящены работы А. И. Вольдека, А. В. Иванова-Смоленского, Е. Я. Казовского, И. П. Копылова, М. П. Костенко, А. М. Мейстеля, И. И. Петрова, Л. М. Пиотровского и др.

Рост потребления энергоресурсов и увеличение стоимости энергии на современном этапе ставят задачу повышения энергосбережения. Эффективное использование энергетических ресурсов, включая электрическую и электромагнитную энергию, относится к приоритетным аспектам развития современной мировой и отечественной экономики.

Необходимость принятия мер, направленных на экономию ресурсов, отражена в Федеральном законе от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и государственной программе «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.12.2010 № 2446-р, согласно которым энергосбережение и повышение энергетической эффективности рассматриваются как одни из основных источников будущего экономического роста.

Качественное решение поставленных задач не представляется возможным без должного усвоения дисциплин по ЭП при подготовке в том числе судового электротехнического персонала.

Дисциплина «Судовые электроприводы» относится к основным специальным дисциплинам при подготовке электромехаников в морских и речных учебных заведениях, иных специалистов.

Сложность при освоении дисциплины определяется: большим количеством и разнообразием ЭП на судах; степенью их ответственности и широким диапазоном потребляемых ими мощностей; необходимостью, наряду с электротехническими дисциплинами, знаний по судовым устройствам и системам (их конструктивным особенностям, основным характеристикам и т.д.).

По условиям работы все современные судовые ЭП можно объединить в три основные группы, близкие к режимам с условными обозначениями S1, S2 и S3, соответствующим продолжительным, кратковременным и повторно-кратковременным режимам работы ЭП с номинальными нагрузками.

Первая группа включает в себя, как правило, нерегулируемые ЭП судовых механизмов с «легкими» условиями работы. Время динамических режимов работы этой группы ЭП несизмеримо мало по сравнению со статическими режимами.

В настоящее время широкое применение на судах нашли ЭП центробежных нагнетателей (ЦН) (вентиляторов, насосов постоянной и переменной производительности и др.), поршневых нагнетателей (ПН) (насосов постоянной и переменной производительности (радиально-поршневых, аxиально-поршневых и др.)). Реже используются шестеренные и винтовые нагнетатели. Нагрузки на валах ЭД во время работы приводов первой группы изменяются незначительно (вентиляторов, некоторых охлаждающих насосов

и т.д.) или в широких пределах (насосов постоянной и переменной производительности рулевых электрогидравлических (РЭГ) приводов и др.).

Требованиям, предъявляемым к таким ЭП, отвечают односкоростные асинхронные двигатели (АД) общего назначения.

Системы управления (СУ) современных ЭП относительно большой (соизмеримой) мощности, включающих АД с короткозамкнутыми роторами, реализуют, как правило, пуск ЭД при пониженном напряжении (способом переключения со «звезды» на «треугольник», при помощи регуляторов напряжения и др.). У мощных судовых ЭП, содержащих АД с фазными роторными обмотками, пуск осуществляется чаще всего введением добавочных сопротивлений в роторную цепь.

Ко второй группе относятся как нерегулируемые, так и регулируемые ЭП.

Нагрузки на валах ЭД у ЭП второй группы во время работы изменяются как незначительно (траповых и шлюпочных лебедок и т.д.), так и в широких пределах (тельферов, брашпилей и др.).

Нерегулируемые ЭП этой группы (траповых лебедок, тельферов и др.) включают, как правило, односкоростные АД.

СУ большинства таких ЭП не имеют принципиальных отличий от СУ нерегулируемых ЭП продолжительных режимов.

В состав регулируемых ЭП кратковременных режимов работы (брашпилей, шлюпочных лебедок и т.д.) наиболее часто входят трехфазные многоскоростные АД переменного тока (двух- или трехскоростные) с отдельными или полюсопереключаемыми обмотками статора и короткозамкнутыми или фазными роторными обмотками.

В судовых ЭП якорно-швартовных устройств (ЯШУ) применяются многоскоростные АД как с постоянством момента, так и с постоянством мощности на различных скоростях.

СУ таких ЭП включают, как правило, контроллерные или релейно-контакторные схемы. Контроллерные СУ используются ориентировано при установленной мощности многоскоростных ЭД до 20 кВт, а релейно-контакторные – более 20 кВт. В настоящее время наибольшее распространение получили релейно-контакторные СУ, главным образом по причине возрастания мощностей многоскоростных ЭП. Имеет место применение систем «генератор–двигатель» (Г–Д). Расширяется внедрение систем с частотным регулированием скоростей ЭД.

Третья группа включает в себя нерегулируемые и регулируемые ЭП судовых механизмов (гидрофоров, механизмов подъема грузоподъемных устройств (ГПУ) и пр.). Характерной особенностью условий работы большинства ЭП этой группы является широкий диапазон изменения нагрузок. Кроме того, время динамических режимов работы ЭП соизмеримо со временем статических режимов.

Нерегулируемые судовые ЭП этой группы (гидрофоров, питательных насосов и др.) включают, как правило, односкоростные АД.

В состав СУ большинства таких ЭП входят элементы, обеспечивающие их автоматическую работу (реле давления, уровня и др.).

Регулируемые ЭП повторно-кратковременных режимов работы (механизмов подъема ГПУ и пр.) в большинстве случаев включают многоскоростные АД трехфазного переменного тока с отдельными или полюсопереключаемыми обмотками статора и короткозамкнутыми или фазными роторными обмотками. На некоторых судах (рыбопромысловые, обрабатывающие и др.) для увеличения числа скоростей грузовых лебедок применяются четырехскоростные ЭД, а также многоскоростные ЭП с двумя полюсопереключаемыми АД – главным и скоростным, который работает в режиме «подъем».

Подавляющее большинство многоскоростных ЭД, используемых в приводах ГПУ, выполнено по принципу постоянства момента на разных скоростях.

СУ таких ЭП включают контроллерные или релейно-контакторные схемы. Расширяется внедрение частотных ЭП. На некоторых судах в регулируемых ЭП повторно-кратковременных режимов работы используются системы «тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока» (ТП-Д).

Анализ судовых ЭП позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время на судах широко эксплуатируются судовые ЭП, включающие АД и релейно-контакторные СУ. Ограничение применения нашли ЭП с тиристорными регуляторами напряжения (ТРН) (преимущественно для формирования переходных режимов работы ЭП). Расширяется внедрение преобразователей частоты (ПЧ) и главных винторулевых колонок (ВРК).

В книге автор делится своими знаниями, приобретенными в результате теоретического и практического изучения судовых электротехнических систем, опыта службы на кораблях и работы на судах отечественной и зарубежной постройки.

С целью правильной расстановки акцентов при изучении судовых ЭП необходим их ретроспективный обзор.

В *первой* главе представлены основные исторические сведения о судовых ЭП со времени создания первого судового ЭП до настоящего времени. Показано, что первым ЭП был судовой, а его родиной является Россия, которая, несмотря на общую техническую отсталость, благодаря усилиям инженерно-технических работников занимала передовые позиции в области развития теории и практики электротехники, в том числе и судовых ЭП. Дан краткий анализ основных современных судовых ЭП, сделана попытка определить основные перспективные направления дальнейшего их развития.

Современные судовые ЭП представляют собой достаточно сложные, в большинстве случаев автоматизированные, электромеханические системы. От их надежности зависит эксплуатационная безопасность судов, экономическая эффективность их использования, жизнедеятельность экипажа.

Во *второй* главе приведены: определения основных понятий по ЭП, разработанная автором классификация судовых ЭП; их эксплуатационные особенности; основные требования, предъявляемые к судовым ЭП.

Известно, что развитие той или иной отрасли науки и техники основывается на результатах исследований, сборе и анализе фактов, которые упорядочиваются и систематизируются (классифицируются).

В настоящее время ЭП классифицируются по ряду признаков, приведенных в литературе. Развитие СУ ЭП в связи с внедрением современных достижений, привело к необходимости корректировки и дополнения существующих классификационных признаков.

Классификация, являющаяся методом познания, позволяющим добиваться прогресса, для судовых ЭП, характеризующихся увеличением количества судовых ЭП и их функций, становится вынужденной необходимостью.

Анализ учебной и научно-технической литературы позволил сделать вывод об отсутствии классификационного единобразия в признаках судовых ЭП. До настоящего времени, несмотря на многообразие подходов, приведенных в различных изданиях, нет общепринятой классификации судовых ЭП, включающей приемлемый диапазон классификационных признаков, наиболее полно характеризующих особенности отдельных судовых ЭП. Не отражена связь судовых ЭП с общепромышленными приводами.

В соответствии с разработанной классификацией передаточных устройств судовые ЭП по регулированию координат движения подразделяются на нерегулируемые и регулируемые.

К нерегулируемым относится большинство современных судовых ЭП. Их характерной особенностью являются относительно простые СУ.

К регулируемым относятся в первую очередь ЭП грузоподъемных, якорно-швартовых и других устройств. Характерной особенностью регулируемых ЭП является большое разнообразие схемных и конструктивных решений.

К характерным эксплуатационным особенностям судовых ЭП относятся повышенные механические, климатические и химические нагрузки (вибрация, изменения положений и удары, касающиеся отдельных частей ЭП, широкий диапазон изменений температур окружающей среды, агрессивность окружающей среды и ее изменение в широких пределах) и т.д.

Исходя из специфических условий эксплуатации, к судовому электрооборудованию (ЭО), включая ЭП, предъявляются отличные от береговых условий технические характеристики и повышенные требования, которые регламентирует Российский морской регистр судоходства (Регистр), классификационные общества других стран.

Технические и эксплуатационно-экономические требования, предъявляемые к большинству судовых ЭП, включают высокую надежность и эксплуатационную гибкость, нормированную скорость, достаточную перегрузочную способность, простоту и удобство обслуживания и др.

В третьей главе рассмотрены законы электромеханического преобразования энергии. Приведены общие сведения по ЭД как основным составным частям ЭП, включая судовые.

Необходимость глубокого и всестороннего изучения установленных на судах ЭД как электромеханических преобразователей продиктована их многообразием и большим количеством, достигающим сотни и даже тысячи единиц на одном судне.

Несмотря на большое многообразие существующих ЭД, в настоящее время в судовых ЭП используются ЭД постоянного тока и трехфазного переменного тока.

Из ЭД постоянного тока наибольшее применение нашли двигатели параллельного (независимого) и смешанного возбуждения. ЭД последовательного возбуждения, в силу их специфических особенностей, на судах используются крайне редко (например, для запуска аварийных дизель-генераторов).

К основным компонентам многих судовых ЭП относятся благодаря конструктивной простоте, технологичности, высоким энергетическим и эксплуатационным показателям трехфазные асинхронные ЭД. В регулируемых автоматизированных ЭП широко используются трехскоростные АД.

В третьей главе рассмотрены ЭД постоянного и трехфазного переменного тока (их конструкции, мощности и моменты, статические механические характеристики в двигательных и тормозных (генераторных) режимах, пуск и регулирование угловой скорости).

Четвертая глава посвящена рулевым ЭП, предназначенным для безопасного управления положением судна.

Представлена классификация рулевых ЭП. Изложены основные требования и рекомендации, предъявляемые к рулевым ЭП.

Согласно представленной классификации, рулевые ЭП по степени значимости на судах относятся к главным, а по типу передаточного устройства подразделяются на механические (редукторные рулевые электромеханические (РЭМ)) и гидравлические (РЭГ) приводы. По степени ответственности специальной классификации рулевые ЭП относятся к ответственным (первой категории).

В настоящее время на флоте в подавляющем большинстве случаев используются пассивные обыкновенные рули.

В главе раскрыта физическая сущность явлений, создающих характерные для ЭП рулевых устройств с пассивными обыкновенными рулями нагрузки. Приведены основные типы механических и гидравлических передаточных устройств (механических преобразователей), через которые механические нагрузки создают моменты сопротивлений на валах ЭД. Представлен вывод формулы для определения обратного коэффициента полезного действия (КПД) механических передаточных устройств.

В четвертой главе приведены основные типы ЭД, применяемых в судовых ЭП РЭМ и РЭГ приводов. Рассмотрены основные методы расчета и выбора ЭД. Представлен расчет двигателей РЭМ приводов аналитическим методом и ЭД РЭГ приводов методом последовательных приближений.

Пятая глава является, по мнению автора, наиболее сложной. К основным операциям, выполняемым ЭП ЯШУ, относятся постановка судов на якоря и снятие с якорей, а также швартовка и отшвартовка судов. Понимание сущности явлений, происходящих при работе данных ЭП, и принятие адекватных мер относятся к основным задачам, стоящим перед судовыми электромеханиками и иными специалистами.

Представлена классификация ЭП ЯШУ. Изложены основные требования и рекомендации, предъявляемые к основным ЭП ЯШУ. Раскрыта физическая сущность явлений, создающих характерные для ЭП ЯШУ нагрузки.

В пятой главе приведены основные типы двигателей, применяемых в ЭП якорных устройств. Рассмотрены расчеты и выбор ИД приводов якорных

устройств методом последовательных приближений без учета динамических процессов и с учетом динамических процессов, расчеты и выбор ИД ЭП швартовых шпилей и швартовых лебедок.

Относительная сложность при освоении материала пятой главы обусловлена двумя основными причинами: значительным количеством формул при описании процесса съемки судов с якорем; учетом динамических процессов.

В *шестой* главе рассмотрены ЭП судовых ГПУ, которые предназначены в первую очередь для производства погрузочно-разгрузочных работ. На судах такие работы выполняются, как правило, при помощи грузовых лебедок и кранов, работающих в различных режимах. От их надежности зависит производительность грузовых операций, экономическая эффективность функционирования судов различного назначения, безопасность обслуживающего персонала и сохранность грузов.

Приведена классификация ЭП ГПУ, изложены основные требования и рекомендации, предъявляемые к ним. Описаны режимы работ и физическая сущность явлений, создающих характерные для ЭП механизмы подъема и поворота ГПУ нагрузки. Особенностью режимов работ механизмов подъема ГПУ является в большинстве случаев соизмеримость по времени статических и динамических режимов.

В главе приведены основные типы двигателей, применяемых в ЭП механизмов подъема ГПУ. Рассмотрены расчеты и выбор ИД для кратковременных режимов, повторно-кратковременных и иных режимов работы методом последовательных приближений при одиночной работе механизмов подъема ГПУ. Кратко изложена физическая сущность явлений, создающих основные для ЭП механизмы поворота ГПУ (кранов) нагрузки. Рассмотрен расчет и выбор ИД ЭП механизмов поворота ГПУ.

Седьмая глава посвящена машинным и системным ЭП, к которым в первую очередь относятся ЭП судовых нагнетателей (СН), предназначенные для перемещения рабочих сред (жидкостей или газов) и создания повышенных давлений в системах с целью обеспечения функционирования судовых механизмов и систем.

СН представляют собой самую многочисленную по количеству однотипных и разнообразную по принципу действия, функциональному назначению и др. группу судовых устройств.

Они обслуживают главные энергетические установки судов и различные судовые системы, обеспечивая безопасность мореплавания, сохранность грузов и бытовые условия экипажей. Понимание принципа действия различных нагнетателей позволяет в случае необходимости принимать судовым электромеханикам и иным специалистам правильные решения при эксплуатации и проектировании.

В главе приведена классификация, основные требования и рекомендации, предъявляемые к приводам СН.

Рассмотрены характеристики сопротивления нагнетательных (трубопроводных) систем, ЭП ЦН, пропеллерных (осевых) нагнетателей (ПрН), ПН и судовых компрессоров (СК).

В седьмой главе приведены основные типы двигателей, применяемых в ЭП ЦН. Рассмотрены расчеты и выбор ИД центробежных, пропеллерных и поршневых нагнетателей, судовых компрессоров.

В восьмой главе рассмотрены ЭП судовых промысловых устройств (СПУ), которые предназначены для промышленного лова гидробионтов (рыбы).

В главе рассмотрены составляющие траховых рыболовных систем (ТРС). Приведена классификация ЭП СПУ, изложены основные требования и рекомендации, предъявляемые к ним. Описаны режимы работы и физическая сущность явлений, создающих характерные для ЭП ТРС нагрузки.

В восьмой главе приведены основные типы двигателей, применяемых в ЭП траховых лебедок. Рассмотрен расчет и выбор ИД ЭП траховых лебедок методом последовательных приближений.

Девятая глава посвящена СУ судовых ЭП. В главе дана общая характеристика и рассмотрены СУ некоторых судовых ЭП, приведены их схемы.

Принципиально важно то, что СУ любого ЭП, независимо от степени ее сложности, включает в себя необходимое и достаточное для функционирования в области допустимых значений количество элементов, предназначенных для выполнения ЭП операций, исходя из их функционального назначения. Связи элементов или групп элементов отражаются принципиальными (полными), структурными и функциональными схемами.

СУ судовых ЭП, несмотря на их большое разнообразие, можно условно объединить в три основные группы.

В главе представлена относящаяся к СУ судовых ЭП первой группы принципиальная электрическая схема нереверсивного нерегулируемого ЭП, включающая магнитный пускатель (МПс). Приведено ее описание.

Вторая группа объединяет СУ рулевых ЭП. В главе рассмотрены структурные схемы рулевых ЭП, режимы управления ими и законы управления, реализуемые авторулевыми (АР). Приведен краткий обзор СУ рулевых ЭП.

В девятой главе рассмотрены СУ некоторых судовых многоскоростных регулируемых ЭП, которые относятся к третьей группе.

Несмотря на то что в настоящее время обоснована бесперспективность широкого применения ЭП с ЭД постоянного тока, на судах такие ЭП все еще используются. В главе рассмотрена типовая электрическая схема судового многоскоростного ЭП трахово-сейнерной лебедки ЛЭТрС-2, включающего систему Г-Д, приведено описание судового многоскоростного ЭП системы ТП-Д.

В главе рассмотрена типовая электрическая схема судового многоскоростного ЭП с релейно-контакторной СУ, наиболее полно отражающая особенности таких СУ ЭП с регулируемой рабочей скоростью, а также представлен пример технической реализации комбинированных СУ судовых многоскоростных ЭП.

Приведено описание судового многоскоростного частотно управляемого ЭП, включающего тиристорный преобразователь частоты серии «SAM», и ЭП, включающего магнитный контроллер БТ74-ОМ5 на основе ПЧ серии «TTC» отечественного производства.

1. ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

1.1. Первый судовой электропривод и развитие судовых электроприводов до конца XIX века

Основной составной частью ЭП является электромеханический преобразователь (ЭД).

К середине 30-х гг. XIX в. результаты разработок опытных образцов и проводимых лабораторных экспериментов явились объективными предпосылками для создания практически пригодного ЭД.

Основательное изучение большинства ранее разработанных и изготовленных электромагнитных приборов и устройств, преобразующих электрическую энергию в механическую, позволило в 1834 г. инспектору гавани в Пиллау (г. Балтийск Калининградской области), немцу по национальности, Б. С. Якоби (M. H. Jacobi) (1801–1874) (рис. 1.1) обосновать преимущества преобразователя (ЭД) с электромагнитным вращением и обозначить контуры будущей машины, которую он первоначально называл магнитным аппаратом.



Рисунок 1.1 – Б. С. Якоби

В отличие от большинства ученых и изобретателей своего времени, Якоби не рассматривал обнаруженные электромагнитные свойства только как возможность создания лишь лабораторных приборов. Он был убежден в том, что обнаруженные электромагнитные свойства указывают на возможность создания нового двигателя (магнитного аппарата), способного заменить паровую машину. Необходимое взаимодействие между электромагнитами подвижной и неподвижной частей машины могло быть осуществлено путем изменения в определенной последовательности направления тока в их обмотках. С целью выполнения этого условия Якоби разработал оригинальную конструкцию устройства автоматического переключения направления тока в обмотках электромагнитов подвижной (вращающейся) части (коммутатора), названного им жиротроп.

Весной 1834 г. Б. С. Якоби завершил основные работы по разработке компонентов модели ЭД и создал опытный образец ЭД, действующего на принципе взаимодействия подвижных и неподвижных электромагнитов.

Двигатель (рис. 1.2), действующий на принципе взаимодействия подвижных и неподвижных электромагнитов, имел две группы П-образных электромагнитов по восемь стержней «мягкого железа» в одной группе. Четыре электромагнита 1 были установлены неподвижно, а другие четыре электромагнита 2 были закреплены на вращающемся диске 3. Между торцевыми концами стержней подвижных и неподвижных электромагнитов

имелся минимальный зазор. Длина каждого стержня составляла 7 дюймов, а толщина – 1 дюйм (1 дюйм = $25,4 \cdot 10^{-3}$ м). Все 16 стержней были обмотаны 320 футами медной проволоки толщиной в «одну с четвертью линии», изолированной шелком. Обмотки неподвижных и подвижных электромагнитов соединялись последовательно. Питание обмоток магнитов электрическим током 1 и 2 осуществлялось от батареи гальванических элементов 4.

С целью изменения полярности напряжения в группе обмоток 1, необходимого для работы двигателя, использовался коммутатор 5.

Для приведения двигателя в действие ось вначале проворачивали вручную до установления друг против друга противоположных стержней с одноименными полюсами. В результате взаимодействия полюсов диск начинал вращаться. После каждой встречи одноименных полюсов коммутатор менял направление тока в обмотках стержней диска. Со сменой направления тока менялась полярность стержней, взаимодействие полюсов становилось непрерывным, и диск продолжал вращаться равномерно.

Якоби отмечал, что успешная работа машины была обусловлена удачной конструкцией жиротропа, осуществляющего перемену полюсов восемь раз за один оборот, т.е. восемь раз в $1/2$ или $3/4$ секунды, если раствор батареи состоит из слабо подкисленной воды, при которой едва заметно выделение газа. Частота вращения диска составляла от 80 до 120 об/мин. Вращающаяся часть двигателя составляла массу около 50 фунтов, развивая скорость 6 фунтов в секунду.

Первый ЭД развивал мощность около 15 Вт, поднимая груз до 12 фунтов со скоростью 1 фут в 1 с (около 0,3 м/с). Полезная работа, измерялась прибором, аналогичным тормозу Прони.

Двигатель Якоби послужил исходным средством для разработки общей теории электромагнитных машин.

Вскоре, идя по пути усовершенствования конструкции двигателя, в первую очередь с целью увеличения мощности, Б. Якоби создал сдвоенный горизонтальный электрический двигатель – рис. 1.3.

В ЭД были семьдесят два взаимодействующих полюса электромагнитов вместо шестнадцати полюсов в первом горизонтальном двигателе Якоби.

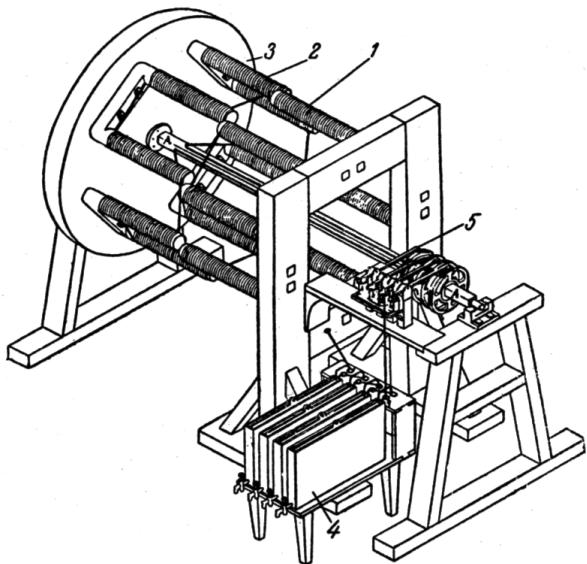


Рисунок 1.2 – Первый горизонтальный ЭД (магнитный аппарат) Б. С. Якоби 1834 г.

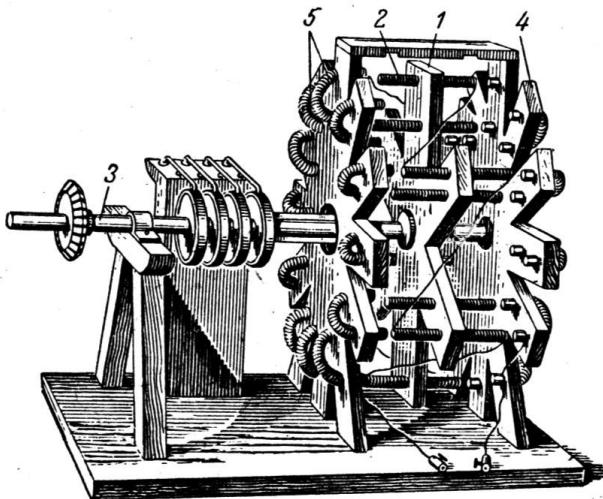


Рисунок 1.3 – Сдвоенный горизонтальный ЭД
Б. С. Якоби

сравнению с первым горизонтальным двигателем, больше разгружались от аксиального усилия, возникающего при взаимодействии магнитов.

Мощность сдвоенного ЭД составляла (120...150) Вт.

В начале 1837 г. американский изобретатель Т. Дэвенпорт (*T. Davenport*) (1802–1851) (рис. 1.4) создал конструкцию ЭД с непосредственным вращением якоря и получил патент на «Применение электромагнетизма для приведения в движение машин».

Двигатель Т. Дэвенпорта был подобен двигателю Б. Якоби, но вертикального исполнения – рис. 1.5.

Принцип действия этого ЭД был основан на взаимодействии между подвижными электромагнитами и неподвижными постоянными магнитами.

Двигатель имел четыре электромагнита 1, 2, 3, 4, расположенных крестообразно в одной горизонтальной плоскости. Эти электромагниты были укреплены на деревянном диске 5, который вместе с вертикальным валом 6 вращался, опираясь на подпятник 7, помещенный на подставке 8. На неподвижном деревянном кольце 9 были установлены два постоянных магнита 10, 11, согнутых каждый в виде полудуги окружности. Магниты 10, 11 соприкасались одноименными полюсами, образуя замкнутое кольцо. На подставке 8 были установлены медные пластины 12, 13, каждая из которых

Якорь 1 сдвоенного ЭД (вращающаяся часть) имел 12 стержневых электромагнитов 2, которые были установлены на деревянной шестиконечной звезде, насаженной на вал 3. По обеим сторонам якоря 1 на неподвижных щитах (двенадцатиконечных) 4 были укреплены 24 электромагнита 5, имеющих U-образную форму. Неподвижные электромагниты 5 были установлены со сдвигом друг относительно друга на 30°. При такой конструкции подшипники ЭД по

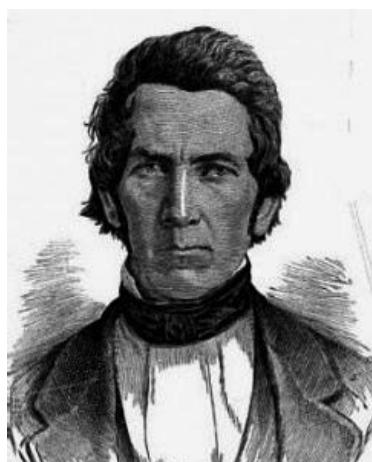


Рисунок 1.4 – Т. Дэвенпорт

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru