

## СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ГЛАВНЫХ НАСОСОВ СИЛОВОЙ ПАРОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ

Г.В. Голобоков  
(ОАО «КТЗ»)

Л.А. Макриденко, А.П. Сарычев, М.Е. Коварский,  
В.В. Магин, К.Г. Маслов, И.Г. Трунов, Н.И. Швецов  
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

*Рассматриваются электрические приводы (ЭП), призванные заменить в паротурбинных установках (ПТУ) паротурбинные приводы (ПТП) главных насосов, основные преимущества электрического привода над паровым. Рассмотрены особенности конструкции асинхронного двигателя, предназначенного для привода главных насосов, и показаны его преимущества над общепромышленными двигателями той же мощности. Рассмотрена оригинальная конструкция главного циркуляционного электронасоса, приводимого электрической машиной с возбуждением от постоянных магнитов.*

**Ключевые слова:** паротурбинная установка, электропривод, электродвигатель, электронасос, асинхронный двигатель, синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов.

В работе рассматриваются электрические приводы (ЭП), призванные заменить в паротурбинных установках (ПТУ) паротурбинные приводы (ПТП) главных насосов [1]. На кораблях в качестве привода главного циркуляционного насоса (ГЦН) [2] и главного питающего насоса планируется применить электропривод на базе асинхронной или синхронной машины с возбуждением от постоянных магнитов [3].

На строящейся плавучей атомной электростанции (ПАЭС) в качестве привода ГЦН уже используется разработанный с участием ФГУП «НПП ВНИИЭМ» электрический привод с асинхронным двигателем.

Замена ПТП на электрические вызвана существенными недостатками ПТП. Во-первых, это сложность управления ПТУ, во-вторых – повышенные уровни вибраций и шума.

ЭП содержит электродвигатель и систему управления – преобразователь частоты (ПЧ). Для управления двигателем выбран векторный метод. Это обеспечивает надежное управление двигателем, а электронный преобразователь обеспечивает удобную стыковку с управляющим вычислительным комплексом. Электронное управление электрическими и механическими характеристиками, позволяет программно поддерживать требуемые законы регулирования частоты вращения и момента на валу и позволяет получить любые механические характеристики, включая абсолютно жесткие (астатиические).

Электроприводы имеют низкие уровни шумов и вибраций, и тем самым позволяют создавать агрегаты, удовлетворяющие самым последним требованиям по виброшумовым характеристикам.

Кроме этого, ЭП имеет простую конструкцию, что делает его исключительно надежным, долговеч-

ным, приспособленным к работе в агрессивных и взрывоопасных средах, а также при повышенной температуре окружающей среды. Коэффициент полезного действия ЭП значительно превышает показатели ПТУ.

Все вышеупомянутые преимущества ЭП определяют приоритетность их использования в качестве приводов главных насосов при проектировании и создании кораблей нового поколения.

Применение общепромышленных электродвигателей для привода ГЦН невозможно из-за их больших габаритов и жестких условий эксплуатации, повышенных требований к надежности и сроку службы двигателя. Производимые промышленностью электродвигатели на аналогичную мощность и частоту вращения имеют гораздо более высокие массогабаритные показатели. Например, электродвигатель 1BAO-450LB-8, поставляемый ОАО «СЭЗ», мощностью 250 кВт, 600 об/мин, имеет высоту, превышающую 3 м, что не позволяет его разместить в машинном зале.

По этой причине потребовалось разработать специальную конструкцию электродвигателя.

Для снижения уровней вибраций выполнен анализ электромагнитных вибровозмущающих сил и проведена их минимизация. Моделирование магнитного поля электрических машин выполнено с помощью конечно-элементной программы электромагнитных расчетов Femm (рис.1). Моделирование индукции магнитного поля по поперечному сечению позволило найти оптимальную конфигурацию магнитной системы, определить систему нагрузок, создать конструкцию электродвигателей и разработать опорный механизм ротора [4].

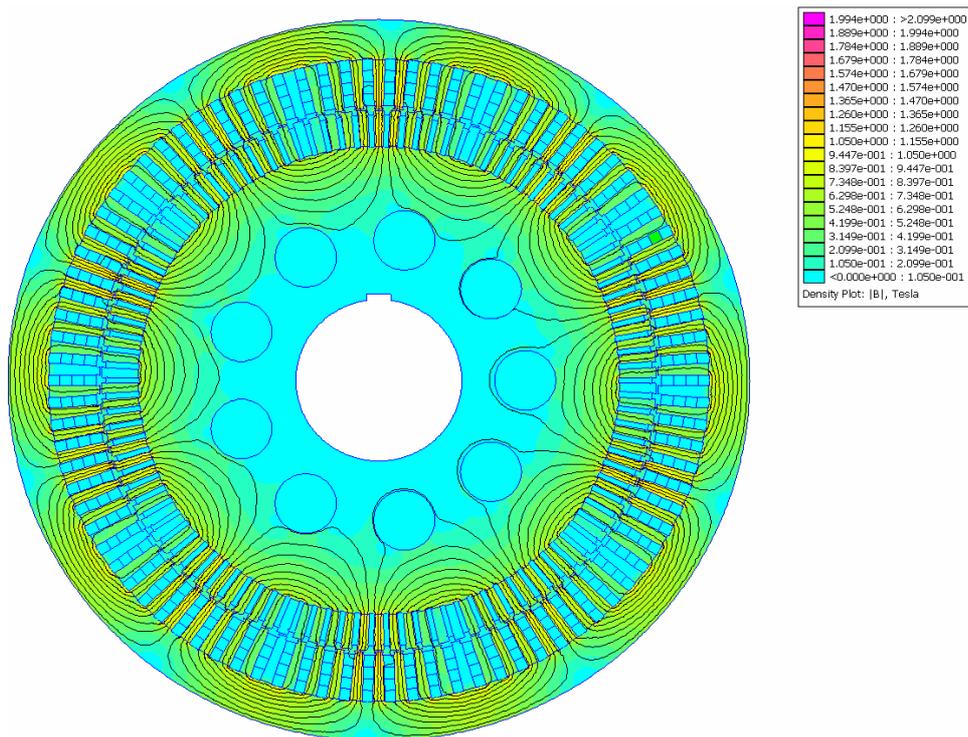


Рис. 1. Результаты моделирования магнитного поля

Для повышения надежности и увеличения срока службы в электродвигателях применена специальная изоляция с повышенной электрической прочностью, способная длительно выдерживать условия окружающей среды, в которой эксплуатируется агрегат. Снижение плотности магнитного потока и тока позволило повысить ресурс электродвигателя, обеспечить низкие уровни вибраций и работоспо-

собность ЭП в условиях перепадов напряжения и частоты питающей сети.

Для уменьшения габаритов двигателя применена сварная медная конструкция короткозамкнутой обмотки ротора и водяное охлаждение статора электродвигателя.

Конструкция асинхронного двигателя для привода ГЦН – АДПА 450 приведена на рис. 2. В электродвигателе АДПА 450 применена медная сварная обмотка ротора. Это позволило улучшить массогабаритные показатели, снизить тепловыделения в обмотке ротора и скольжение электродвигателя и тем самым повысить его КПД.

Двигатель АДПА 450 должен работать на двух частотах вращения 300 и 600 об/мин от сети 50 Гц. Поэтому электродвигатель спроектирован с двумя независимыми обмотками. Это позволяет ему работать на двух скоростях вращения и обеспечивать наиболее экономичные режимы работы агрегата в целом.

Для сокращения длины лобовых частей обмоток и снижения трудоемкости межсекционные пайки и выводные провода от обмоток расположены по разные стороны сердечника.

Охлаждение АДПА 450 – водяное. Вода циркулирует по специально созданной в корпусе статора «рубашке» охлаждения. Это позволило значительно снизить габариты и излучаемые ЭМ шумы.

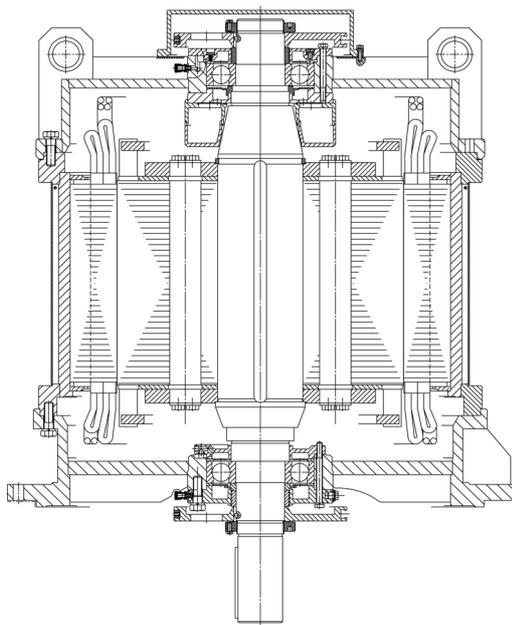


Рис. 2. Конструкция АДПА 450

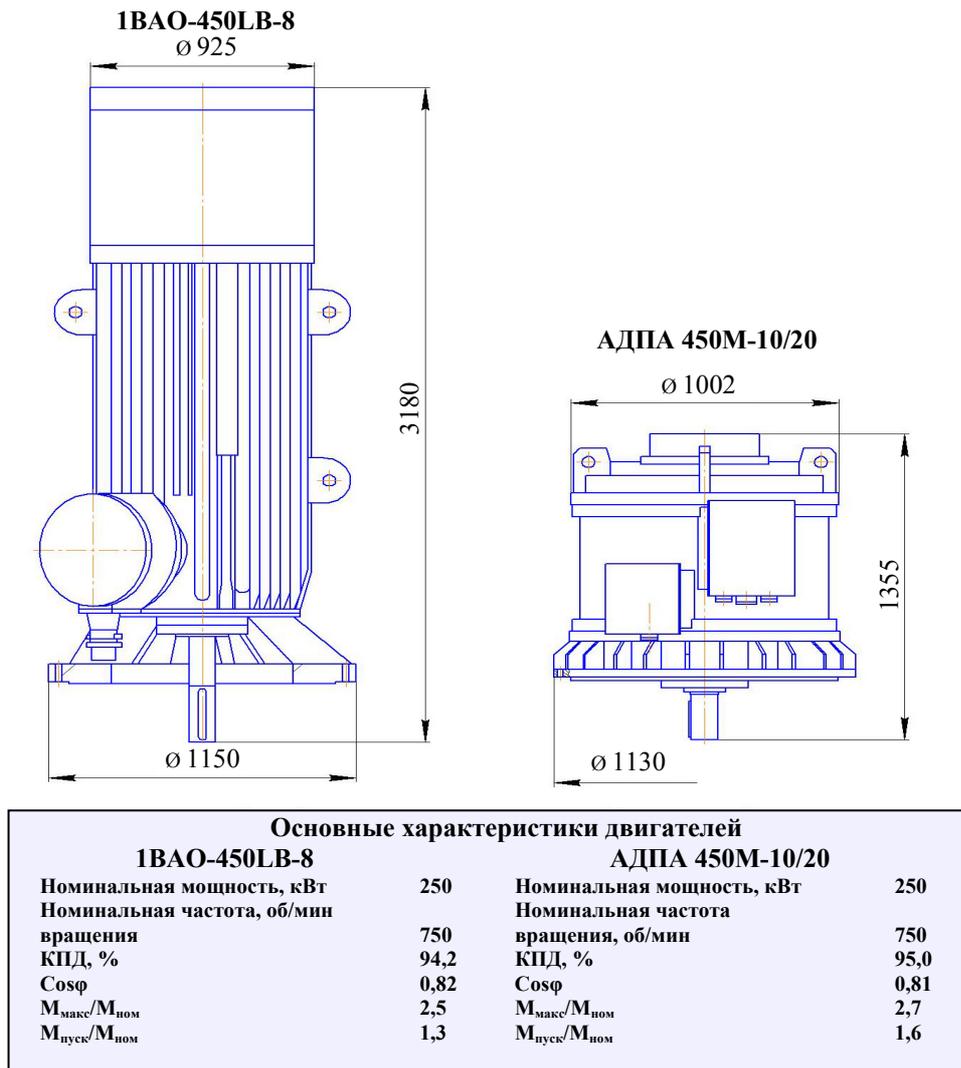


Рис. 3. Габаритные размеры общепромышленного двигателя и АДПА 450

В результате разработан уникальный электродвигатель, который способен выдерживать жесткие условия эксплуатации, но при этом выигрывает у всех существующих аналогов по массогабаритным показателям. Созданный с участием ФГУП «НПП ВНИИЭМ» электродвигатель имеет длину 1,5 м, при высоте оси вращения равной 450 мм (рис. 3).

Как уже отмечалось выше, на строящейся ПАЭС применены ЭП для привода ГЦН. Для этих целей применен асинхронный двигатель АДПА 450.

Достоинствами асинхронного привода являются его простота, низкая стоимость и возможность эксплуатации без системы управления.

Однако замена паротурбинного привода насоса на привод с асинхронным двигателем не решает всех поставленных задач. В некоторых ПТУ требуется привод, который бы имел максимально возможные энергетические характеристики, максимально низкие массогабаритные показатели, отве-

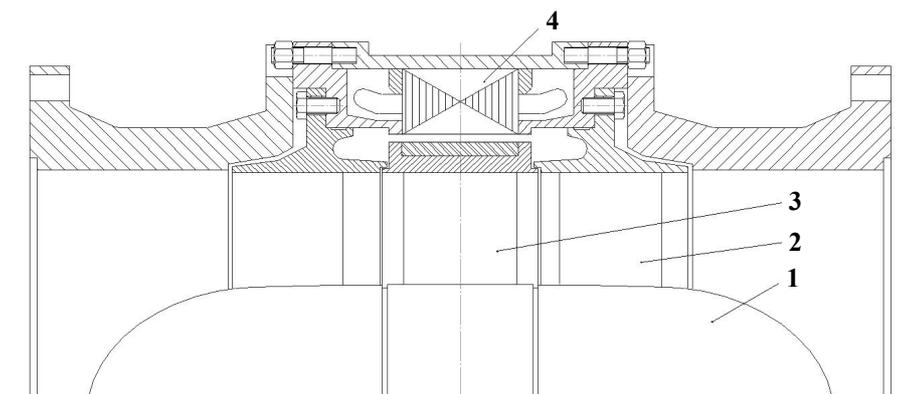
чал требованиям по виброакустическим характеристикам и при этом имел возможность регулирования во всем диапазоне частот вращения.

Наименьшими массогабаритными показателями обладает ЭП на базе синхронной машины с возбуждением от постоянных магнитов.

В связи с этим ФГУП «НПП ВНИИЭМ» совместно с ОАО «КТЗ» предложена оригинальная конструкция электронасоса. На рис. 4 представлен эскиз ГЦН с синхронным приводом.

Рабочее колесо насоса выполнено заодно с ротором электродвигателя. Основной поток перекачиваемой жидкости проходит внутри герметичного двигателя. Это в значительной степени позволило сократить габариты ГЦН.

Приводной двигатель выполнен на базе синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов, который имеет наилучшие массогабаритные и энергетические показатели по сравнению с



**Рис. 4. Герметичный насос 300 кВт: 1 – подшипниковый узел (применяются подшипники скольжения, смазываемые перекачиваемой водой); 2 – направляющие лопатки; 3 – ротор с рабочим колесом; 4 – статор**

другими типами электрических машин. Питается этот двигатель от преобразователя частоты, что обеспечивает регулируемость электродвигателя на всем диапазоне частот вращения.

В качестве оболочки, отделяющей статор и обмотку статора от внутренней полости двигателя, заполненной рабочей жидкостью, применяется гильза из немагнитного коррозионностойкого материала с большим удельным электрическим сопротивлением. Для опоры гильзы используются пакет статора и специальная арматура статора, к которым гильза приваривается герметичным швом.

Ротор представляет собой стальной цилиндр, на который установлено магнитопроводящее ярмо ротора, с фрезерованными площадками для установки магнитов. Для защиты магнитов от воздействия рабочей жидкости, заполняющей внутреннюю полость двигателя, пакет ротора изолируется немагнитной коррозионностойкой гильзой. Гильза вместе с торцевыми шайбами пакета ротора образуют герметичную оболочку ротора.

Корпус двигателя рассчитан на полное рабочее давление системы и образует второй герметичный защитный пояс, дополнительно обеспечивающий защиту помещений от загрязнения токсичными продуктами при прорыве гильзы статора. Клеммная панель является частью корпуса и также рассчитана выдерживать полное рабочее давление системы.

Охлаждение двигателя осуществляется за счет перекачиваемой рабочей жидкости. Перекачка производится

при помощи рабочего колеса насоса, встроенного в ротор двигателя и перекачивающего жидкость через внутреннюю полость двигателя. Основные потери в двигателе выделяются в защитной гильзе статора. Потери в спинке и обмотке статора имеют меньшие значения. Это позволило исключить необходимость создания внешнего контура охлаждения корпуса двигателя. В конструкции применены керамические подшипники скольжения, что позволяет в качестве их смазки использовать рабочую жидкость

насоса. Корпус подшипникового узла жестко закреплен через направляющие лопатки с основным корпусом насоса. Посадочные гнезда под подшипник обрабатываются с высокими требованиями по точности базирования, что минимизирует эксцентриситет ротора относительно статора.

Для изготовления деталей электродвигателя, имеющих непосредственный контакт с агрессивной перекачиваемой жидкостью и окружающей средой, применяется титановый сплав. Рабочее положение двигателя – горизонтальное. Конструкция полностью симметрична, что позволяет уйти от многочисленных модуляций источников возбуждения виброактивности насоса и, как следствие, к их локализации. Проведенные работы позволили создать и внедрить новые современные технологии в мощных ПТУ, что существенно повышает их технико-экономические характеристики.

#### Литература

1. Батыров А.Н. Корабельные ядерные энергетические установки / А.Н. Батыров, В.Д. Кошечеров, О.Ю. Лейкин. – СПб.: Судостроение, 1994.
2. Синев Н.М. Бессальниковые водяные насосы / Н.М. Синев, П.М. Удовиченко. – М.: Атомиздат, 1972.
3. Васюков С.А. Регулируемые электропривода с погружными электродвигателями для нефтедобычи / С.А. Васюков, Л.Я. Раскин, М.Е. Коварский // Привод и управление. – 2001. – № 3.
4. Иванов-Смоленский А.В. Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах / А.В. Иванов-Смоленский. – М.: Высш. шк., 1989.

Поступила в редакцию 10.02.2009

**Геннадий Вячеславович Голобоков**, главный конструктор, т. (4842) 76-72-53.

**Леонид Алексеевич Макриденко**, д-р техн. наук, генеральный директор-генеральный конструктор, т. 365-56-10.

**Алексей Петрович Сарычев**, канд. техн. наук, зам. генерального директора-генерального конструктора, т. 365-56-29.

**Михаил Ефимович Коварский**, канд. техн. наук, главный конструктор, т. 366-57-28.

**Вячеслав Валерьевич Магин**, начальник лаборатории, т. 366-30-01.

**Константин Геннадьевич Маслов**, начальник лаборатории, т. 366-24-22.

**Игнатий Геннадьевич Трунов**, инженер-конструктор, т. 8 (915) 309-39-39.

**Николай Иванович Шецов**, начальник лаборатории, т. 366-24-01.

E-mail: vniem@vniem.ru.