

Г.Г. ЕГОРОВА, канд. техн. наук,
Б.А. ЕГОРОВ, канд. техн. наук,
А.Е. КОЗОРЕЗОВ

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЛАВУЧИХ И СТАЦИОНАРНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Розглянуті проблеми створення сучасного електроустаткування на українських електротехнічних заводах для плавучих і стаціонарних бурових установок, які можуть бути використані для промислової здобичі нафти і газу на шельфі Чорного моря. Встановлено, що двигуни постійного струму (ДПС) забезпечують якнайкращі умови роботи механічної частини бурового комплексу, підвищують швидкість буріння і забезпечують велику кратність пускових і перевантажувальних обертаючих моментів.

Рассмотрены проблемы создания современного электрооборудования на украинских электротехнических заводах для плавучих и стационарных буровых установок, которые могут быть использованы для промышленной добычи нефти и газа на шельфе Черного моря. Установлено, что двигатели постоянного тока (ДПТ) обеспечивают наилучшие условия работы механической части бурового комплекса, повышают скорость бурения и обеспечивают большую кратность пусковых и перегрузочных вращающих моментов.

Учитывая промышленные запасы нефти и газа на шельфе Черного моря, в рамках программы обеспечения энергетической безопасности Украины предполагается увеличение производства бурового оборудования. В настоящее время особое внимание обращается на создание современного электрооборудования для плавучих и стационарных буровых установок.

Электродвигатели, входящие в комплект бурового оборудования, предназначены для привода буровой лебедки, буровых насосов, привода ротора и должны обеспечить весь комплекс работ по бурению эксплуатационных и разведочных нефтяных и газовых скважин на глубину до 7000 м с морских платформ при глубине моря до 300 м.

Электрооборудование буровых установок характеризуется повторно-кратковременными (в отдельных случаях кратковременными) режимами работы при большой частоте включений (например, привод лебедки), широким диапазоном регулирования частоты вращения и большой кратностью пусковых и перегрузочных вращающих моментов. Все это требует создания для буровых установок специальных ДПТ.

ДПТ устанавливаются в рабочих помещениях и под навесом. В процессе эксплуатации суточные изменения температуры могут достигать значительных величин и приводит к выпадению на поверхности электродвигателей конденсата, атмосферной влаги и соленого тумана, что вызывает снижение

сопротивления поверхностной изоляции между токоведущими частями и коррозии металлических деталей. Поэтому внутри ДПТ встраиваются нагревательные элементы, включение которых обязательно при остановках машин.

Учитывая, что ДПТ предназначены для работы во взрывоопасной среде, они должны иметь повышенный уровень взрывозащиты.

ДПТ обеспечивают наилучшие условия работы механической части бурового комплекса, повышают скорость проходки.

Конструкция электродвигателя для привода буровой установки должна иметь высокие динамические показатели, которые характеризуются механической постоянной времени: $T = Jn/9,55M_{\max}$, где J – момент инерции якоря, кг·м²; n – номинальная частота вращения, об/мин; M_{\max} – максимальный вращающий момент электродвигателя, Нм.

Момент инерции якоря в значительной степени определяет время переходных процессов, а также потери энергии при разгоне и торможении. Поэтому важной задачей при разработке комплекта однотипных электродвигателей для буровой установки является разработка ДПТ с минимально возможным диаметром якоря с сохранением на приемлемом уровне тепловых и коммутационных нагрузок.

В связи с этим особое внимание при разработке ДПТ было обращено на выбор оптимального соотношения длины активного пакета (длины железа якоря) к его диаметру. Это соотношение выбрано несколько выше, чем для электродвигателей общепромышленного назначения, что позволяет получить улучшенные динамические показатели привода, а это особенно важно для привода лебедки.

Как правило, общепромышленные ДПТ такого класса проектируются на напряжение 440 В. Но для буровых установок желательно повышение напряжения ДПТ до 800 В, что имеет следующие положительные факторы: – значительно сокращаются масса и габариты преобразователей, устройств управления, сечение и масса силовых кабелей, габариты и вес двигателя. Однако, у высоковольтных ДПТ с пониженным маховым моментом возникают проблемы с межламельным напряжением – увеличение числа коллекторных пластин ограничивается минимальным значением ширины коллекторной пластины, – а увеличение активной длины якоря ограничено предельным значением реактивной ЭДС, как в номинальном режиме, так и в режиме перегрузки.

Кроме того, зачастую предельной является и тепловая нагрузка, определяемая произведением линейной нагрузки (А/см) на плотность тока обмотки якоря (А/мм²), которая должна быть не более 4000 А² мм⁻² см⁻¹.

Требования одновременного ограничения межламельного напряжения и реактивной ЭДС являются зачастую взаимоисключающими – увеличение числа коллекторных пластин влечет увеличение линейной нагрузки, а значит и увеличение реактивной ЭДС.

Для ограничения реактивной ЭДС необходима специальная конфигурация якоря, позволяющая ограничить пазовое рассеяние, а также выполнение двигателя с повышенным зазором под добавочным полюсом, что уменьшает

рассеяние по коронкам зубцов.

Таким образом, применение ДПТ для комплектации буровых установок предполагает необходимость проектирования двигателей с высокими динамическими характеристиками и высокими превышениями температуры. Для ДПТ буровых установок вполне оправдано применение дорогой изоляции, обладающей высокой теплостойкостью и позволяющей существенно снизить вес, габарит и момент инерции машин, особенно для эксплуатации в режимах с большой частотой включений при высокой температуре окружающей среды.

При серийном производстве возможно изготовление ДПТ с ненормализованным диаметром якоря, что позволит сократить осевой габарит ДПТ ориентировочно на 250÷350 мм при улучшенных динамических показателях, сохранением высоты оси вращения 450 мм. Весовые показатели при этом снизятся на 10÷15 %.

Изложенную концепцию можно проиллюстрировать на примерах нескольких характерных двигателей для буровых установок.

Рассмотрим двигатели для двух вариантов мощности: 750 кВт и 1000 кВт, на одни и те же пределы частоты вращения $n = 1000/1500$ об/мин, при питающем напряжении равным 800 В. Все двигатели горизонтального исполнения.

Для буровой установки с глубиной проходки до 5000 метров проработаны два варианта двигателя мощностью 750 кВт. **Первый** – четырехполюсный двигатель 4ПБ 450 26Л с диаметром якоря 493 мм, с пониженным моментом инерции до 32 кг·м², длиной якоря 500 мм и общей длиной 2210 мм. Двигатель компенсированный, с шихтованным магнитопроводом. Обмотка якоря этого двигателя петлевая с полным числом уравнивающих соединений. Двигатель имеет значительные тепловые нагрузки (3400 А² мм² см⁻¹), высокие значения реактивной ЭДС (6,2/9,3 В) и межламельного напряжения (17,4/25 В). **Второй** – шестиполюсный двигатель 4ПБ 630 15М с диаметром якоря 740 мм, со значительным моментом инерции 94 кг·м², длиной якоря – 270 мм и общей длиной машины 1950 мм. Двигатель имеет сниженные тепловые нагрузки (505 А² мм² см⁻¹), значения реактивной ЭДС (4,5/6,8 В) и межламельного напряжения (13,8/20 В). Для его производства не требуется изготовление новой оснастки, и это позволяет изготавливать по заказам на единичные двигатели. Электродвигатели серии П15, на базе которых спроектирован двигатель 4ПБ 630 15М, успешно эксплуатировались на буровых станках "Уралмаш 4000Э".

Для буровой установки с глубиной проходки до 7000 м также рассмотрены два двигателя мощностью 1000 кВт. **Первым** рассмотрен четырехполюсный компенсированный двигатель 4ПБ 450 48Л с диаметром якоря 493 мм, длиной якоря 710 мм, с пониженным моментом инерции 40 кг·м², с шихтованным магнитопроводом. Обмотка якоря петлевая, с полным числом уравнивающих соединений. Однако двигатель имеет высокие магнитные нагрузки, высокие значения реактивной ЭДС. Масса двигателя 5750 кг, динамический момент инерции – 40 кг·м², общая длина – 2410 мм. **Второй** вариант – шестиполюсный двигатель 4ПБ 630 25М с диаметром якоря 740 мм, длиной якоря 340 мм, имеет меньший осевой габарит (2020 мм), может быть изготовлен

с использованием имеющейся оснастки, меньше нагружен в коммутационном плане, однако, имеет несколько большие весовые показатели (масса 6200 кг) и значительно проигрывает двигателю 4ПБ 450 48Л в динамике т.к. его момент инерции составляет 104 кг·м².

Выводы. Не вызывает сомнения целесообразность производства бурового электрооборудования в Украине, как для внутреннего потребления, так и для поставок за рубеж.

В случае единичного производства ДПТ для установок сверхглубокого бурения, следует ориентироваться на конструкции ДПТ, для изготовления которых не требуется новая оснастка.

Для уменьшения тепловых, коммутационных и потенциальных нагрузок желательно перейти на изготовление ДПТ с повышенным диаметром якоря по отношению к нормализованному диаметру 493 мм. При этом возможна модернизация магнитной системы с тем, чтобы при повышении диаметра якоря до 530-540 мм, внешний габарит и высота оси вращения двигателя остались теми же, что и при диаметре 493 мм. Такая конструкция потребует создания новой технологической оснастки и, как следствие, подорожания стоимости двигателя. Сохранить стоимость ДПТ на уровне исходного варианта можно в случае получения заказа на мелкосерийное производство таких модернизированных двигателей.

Список литературы: 1. *Гурин Я.С., Курочкин М.Н.* Проектирование машин постоянного тока. – М.: ГЭИ, 1961. – 352 с. 2. *Рабинович И.Н., Шубов И.Г.* Проектирование электрических машин постоянного тока. – Л.: Энергия, 1967. – 504 с. 3. *Толкунов В.П.* Теория и практика коммутации машин постоянного тока. – М.: Энергия, 1979. – 224 с. 4. *Шайда В.П., Егоров Б.А., Мирошниченко А.Г.* Цифровое моделирование магнитной системы МПТ средней мощности общепромышленного назначения // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2004. – Вып. № 9. – Т. 4. – С. 84.

Поступила в редколлегию 08.05. 08