

**И. Н. КАРПЕНКО**, менеджер по продаже электрооборудования,  
ЧАО «Евродин», Харьков;  
**Е. Ю. ЮРЬЕВА**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

## **ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ БЕСШТАНГОВЫХ НАСОСОВ**

Проведен сравнительный анализ электрических двигателей вращательного и поступательного движения, приводящих в движение привод бесштангового насоса. Рассмотрены погружные асинхронные двигатели серии ПЭД, регулируемые вентильные двигатели, вентильные двигатели с постоянными магнитами, вентильные индукторные двигатели, линейные коаксиальные асинхронные и коаксиальные линейные синхронные двигатели с постоянными магнитами.

**Ключевые слова:** цилиндрический линейный асинхронный двигатель, синхронный линейный коаксиальный двигатель, постоянные магниты, конструкция, электромеханика.

### **Введение**

Современное развитие нефте- и газодобывающей промышленности требует создания нового оборудования, которое сможет работать в условиях месторождений Украины. Это предполагает высокую эффективность технологических процессов добычи нефти и газа, и, как следствие снижение эксплуатационных затрат. Электрооборудование, используемое при нефте- и газодобыче, является определяющим фактором энергоемкости установки в целом. Наиболее перспективным является применение бесштанговых насосов с электроприводом.

### **Цель исследований**

В электроприводе бесштангового насоса силовой частью является электрический двигатель. Возникает необходимость в выборе конструкции приводного электрического двигателя.

### **Анализ существующих конструкций электрических двигателей вращательного движения**

В бесштанговых насосах с электрическими двигателями вращательного движения подъем пластовой жидкости на поверхность осуществляется за счет центробежной силы. Самым распространенным двигателем, применяемым в бесштанговых насосах, до недавнего времени был погружной асинхронный двигатель серии ПЭД [1]. Двигатели серии ПЭД выпускаются мощностью от 5,5 до 250 кВт напряжением от 380 до 6000 В при частоте питающей сети 50 Гц. Наружный диаметр корпуса двигателя определяется диаметром обсадной трубы, погружаемой в скважину, и подчиняется параметрическому ряду: 103, 117, 123, 130, 138 мм. Такие двигатели, по принципу действия являясь асинхронными, из-за ограничения по наружному диаметру статора имеют большую осевую длину (в десятки раз превышающую наружный диаметр статора).

Несмотря на свою простоту и надежность, погружной асинхронный

двигатель имеет КПД не более 85 % и большой пусковой ток, превышающий номинальный в 5–7 раз. Учитывая, что погружной электродвигатель работает в окружающей среде с температурой 100–120°C, эти недостатки погружного асинхронного двигателя становятся определяющими и существенно снижают надежность и КПД бесштангового насоса в целом.

Кроме того, погружные асинхронные двигатели являются нерегулируемыми двигателями. Снабжение их преобразователями частоты приводит к увеличению капиталовложений.

Снизить стоимость насосной установки в целом можно применением на скважинах регулируемых вентильных двигателей [2]. Требование широкого диапазона регулирования частоты вращения погружных двигателей особенно важно при работе на скважинах с малым отбором и нестабильной подачей пластовой жидкости с большим содержанием газа, воды и парафина, что характерно для скважин Украины.

Вентильные двигатели с постоянными магнитами на роторе, внедряемые с 1996 г. в нефтяных компаниях в качестве погружных, в значительной степени устранили недостатки погружных асинхронных двигателей [3].

Погружные вентильные двигатели имеют более высокие КПД (90–93 %) и коэффициент мощности (до 0,98), плавный пуск и широкий диапазон регулирования частоты вращения. Тем не менее, вентильные двигатели не заменили полностью погружные асинхронные двигатели. Это связано, главным образом, со стоимостью высококоэрцитивных постоянных магнитов (100–200 \$/кг), нестабильностью их характеристик при изменении температуры и высокой подверженностью разрушению в агрессивной водородо-содержащей среде. Хотя за последние годы последние два недостатка постоянных магнитов в значительной мере устранены [4].

Альтернативой вентильным двигателям с постоянными магнитами могут стать вентильные индукторные двигатели. До сих пор применение вентильных индукторных двигателей в качестве погружных для привода насосов даже не планируется в нефтедобывающей отрасли. В ОАО «Лукойл» сейчас выполняются разработки поверхностного привода на основе вентильного индукторного двигателя с аксиальным возбуждением для погружных винтовых насосов и для станков-качалок с поршневыми насосами. Несмотря на очевидные преимущества вентильного индукторного двигателя в плане надежности и простоты, двигатели такого типа будут иметь КПД около 75–85 %, а коэффициент мощности на уровне асинхронного двигателя. Но вентильный индукторный двигатель требует усложненной системы управления и питания [5].

#### **Анализ существующих конструкций электрических двигателей возвратно-поступательного движения**

Подъем пластовой жидкости из скважины на поверхность может также осуществляться за счет разницы давлений по высоте скважины при поступательном движении жидкости. В этом случае необходимо применение электрических двигателей возвратно-поступательного движения. Кроме того,

конструкция двигателя должна предусматривать монтаж в обсадной трубе скважины, то есть иметь цилиндрическую посадочную поверхность по наружному диаметру статора. Для этих целей лучше всего подходит линейные коаксиальные двигатели.

В коаксиальном электрическом двигателе статор и ротор выполняются в виде цилиндров и расположены соосно (коаксиально), а перемещение ротора относительно статора происходит в осевом направлении. По принципу действия такие двигатели выполняются асинхронными и синхронными.

Линейные коаксиальные асинхронные электродвигатели применяются для привода рабочего органа строительных машин возвратно-поступательного движения, например, толкателей, разъединителей, ударных механизмов и т.д. Такие двигатели также получили название цилиндрических линейных асинхронных двигателей [6].

Статор цилиндрического линейного асинхронного двигателя 1 (рис. 1) представляет трубу с пазами по внутреннему диаметру для размещения обмотки статора 2. Обмотка статора выполняется в виде отдельных катушек. Вторичным элементом (ротором) 3 является шток трубчатой формы, который выполняется из ферромагнитного материала для проведения магнитного потока. Поверхностный слой ротора выполняет функции короткозамкнутой обмотки. В этом слое наводятся токи, которые взаимодействуя с магнитным полем обмотки статора создают момент, приводящий ротор в движение.

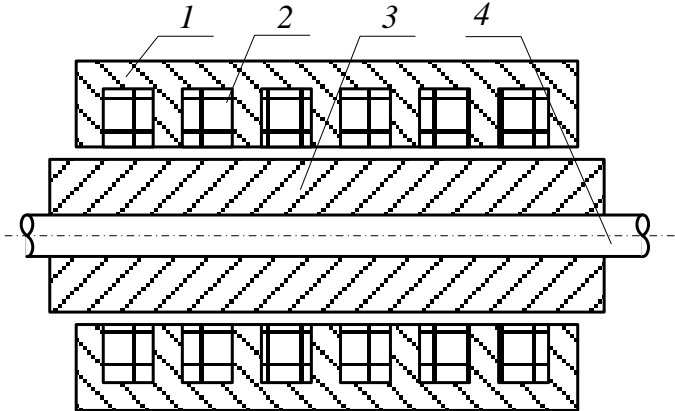


Рис. 1 – Схематическое изображение цилиндрического линейного асинхронного двигателя

Недостатком линейных асинхронных двигателей является низкий КПД вследствие больших потерь мощности в теле ротора. Повышенный нагрев ротора ограничивает применение цилиндрических линейных асинхронных двигателей в установках погружных насосов. Кроме того, двигатели такого типа не позволяют увеличить пусковое тяговое усилие, а также уменьшить

пусковой ток при номинальном напряжении [7].

Появление высококоэрцитивных магнитных материалов и создание постоянных магнитов на их основе позволило рассматривать возможности применения синхронных коаксиальных двигателей с постоянными магнитами в качестве привода плунжерных насосов (рис. 2).

Постоянный магнит 1, намагниченный в осевом направлении, помещается в зазор, образованный полюсными выступами замкнутого магнитопровода 2. На магнитопроводе располагается обмотка статора 3, которая подключается к источнику питания. Постоянный магнит 1, намагниченный в осевом направлении, закрепляется на штоке 4. Шток размещается в опорах 5, которые должны предусматривать перемещение в осевом направлении.

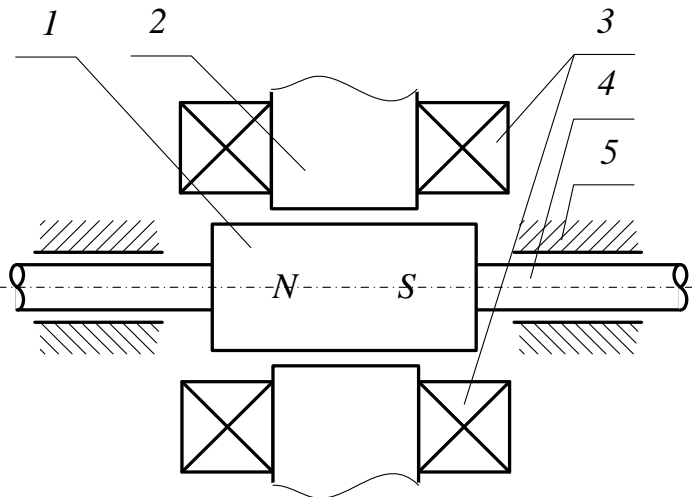


Рис. 2 – Схематическое изображение синхронного линейного коаксиального двигателя

В последние десятилетия появилось множество запатентованных конструкций синхронных коаксиальных двигателей с постоянными магнитами возвратно-поступательного движения [8]. Из всего разнообразия конструкций необходимо выбрать те, которые будут удовлетворять требованиям по эксплуатационным характеристикам и по монтажу.

Для привода бесштангового насоса можно использовать электрические синхронные двигатели, применяемые для вибрационных машин строительного производства [9]. Преимуществами таких двигателей является возможность непосредственного подключения к рабочему органу, а также возможность монтажа непосредственно в обсадной трубе благодаря цилиндрической конструкции неподвижной части двигателя.

Недостатком подобных линейных коаксиальных двигателей является

небольшое линейное перемещение ротора (до 100 мм). Величина линейного перемещения ротора определяется половиной полюсного деления статора, так как при превышении этой величины происходит срыв устойчивости работы.

Наиболее перспективной конструкцией на наш взгляд является конструкция синхронного коаксиального линейного двигателя с постоянными магнитами (рис. 3), которая разработана корпорацией Триол (г. Москва, Россия). Сердечник статора образуется из отдельных фигурных шайб 1, которые образуют сердечник статора и пазы для укладки обмотки. Обмотка статора выполняется сосредоточенной, состоящей из отдельных катушек 2. Вторичный элемент набирается из постоянных магнитов 3, намагниченных в осевом направлении, и цилиндрических шайб 4, которые насаживаются на цилиндрический шток 5.

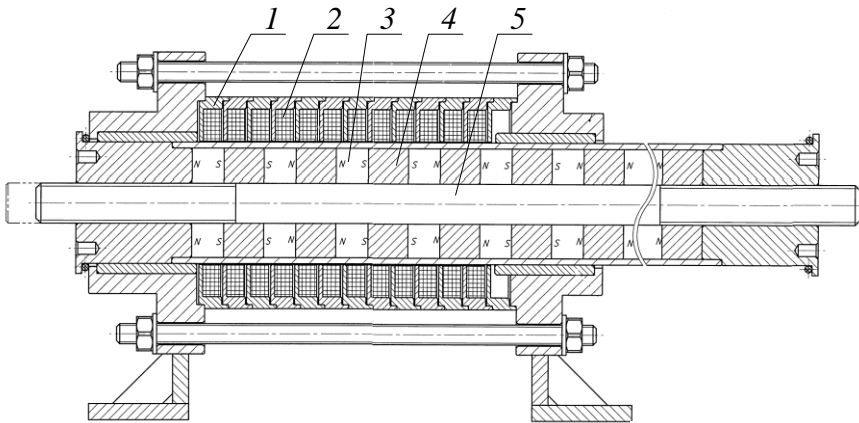


Рис. 3 – Синхронный коаксиальный линейный двигатель с постоянными магнитами корпорации «Триол» (г. Москва, Россия)

Особенностью этого двигателя является конструкция и схема соединения обмотки статора. Каждая катушка обмотки статора создает осевой магнитный поток. Схема подключения катушек предусматривает создание бегущего вдоль оси трехфазного магнитного поля. Геометрия вторичного элемента подбирается таким образом, чтобы создать перемещение вторичного элемента синхронно с бегущим магнитным полем обмотки статора (рис. 4).

Преимуществом этой конструкции является простота технологии изготовления двигателя.

Для возможности монтажа такого двигателя в обсадной трубе скважины необходимо изменить исполнение по способу монтажа – перейти от конструкции на лапах (ИМ 1001) к конструкции без лап с цилиндрической опорной поверхностью, например, ИМ 5110. Если принять во внимание то, что

для обеспечения регулируемого перемещения штока, обмотка статора питается через преобразователь частоты, а частота тока не превышает 5 Гц, то для сердечника статора можно использовать конструкционную сталь, например, марки ст3. Это позволит обеспечить необходимую посадку в трубе и обеспечить достаточное сечение для проведения основного магнитного потока.

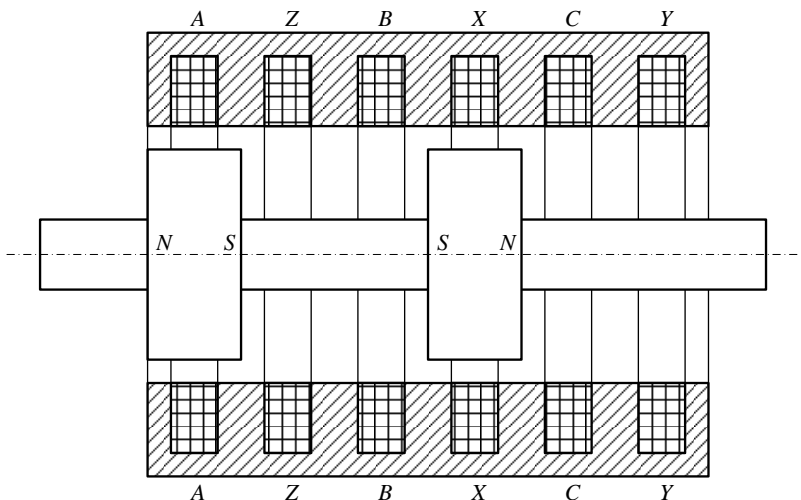


Рис. 4 – Порядок чередования фаз обмотки статора и полюсов ротора синхронного линейного коаксиального двигателя

Необходимая длина линейного перемещения штока (до 0,5 м) достигается набором необходимого количества пар полюсов и межполюсных промежутков.

Таким образом, в приведенной конструкции синхронного линейного коаксиального двигателя с постоянными магнитами с предложенными усовершенствованиями учитываются все требования к электрическим двигателям для бесштанговых насосов.

### Выводы

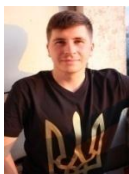
Анализ существующих конструкций электрических двигателей, применяющихся для бесштанговых насосов, позволяет сделать вывод о том, что в установках по откачке пластовой жидкости наиболее перспективным является применение синхронных линейных коаксиальных двигателей с постоянными магнитами. Также необходимо учитывать, что при равных объемах активного пространства (объем катушек на статоре и рабочего зазора) двигатель с высокоэнергетическим постоянным магнитом существенно выгоднее, чем двигатель с подвижной обмоткой возбуждения по величине силы, развиваемой на единицу его объема и единицу массы, а, следовательно, и по удельной мощности. Недостатком синхронных линейных

коаксиальных двигателей с постоянными магнитами является отсутствие отработанных инженерных подходов по проектированию и технологии изготовления.

**Список литературы:** 1. ГОСТ 18058-80. Двигатели трехфазные асинхронные короткозамкнутые погружные серии ПЭД. Технические условия. – Введен 01.07.1981. 2. *Калий В.А.* Проблемы проектирования и применения вентильных и асинхронных электродвигателей в установках центробежных погружных насосов для добычи нефти // Режим доступа: <http://do.gendocs.ru/docs/index-238821.html>. 3. *Ваньков А.А.* Анализ применения комплектных приводов на основе вентильных погружных двигателей в НГДУ «РитекНефть» // А.А. Ваньков, Р.Г. Нургалиев, Е.А. Гапченко / Территория НЕФТЕГАЗ. – № 9. – 2010. – С. 74–78. 4. *Шевченко В.В.* Разработка предложений по использованию генераторов с постоянными магнитами в энергетических установках / В.В. Шевченко, С.В. Пидкивка // Системы обработки информации. Збірник наукових праць. Харківський університет повітряних сил. – № 4 (26). – 2010. – С. 188–192. 5. *Нгуви Тхань Шон.* Перспективы применения вентильного индукторного двигателя в нефтедобывающей отрасли / Нгуви Тхань Шон // Мехатроника. – № 6. – 2011. – Режим доступа: <http://mehatronics.ru/2011/06>. 6. *Голенков Г.М.* Распределение магнитной индукции в зазоре коаксиально-линейного асинхронного двигателя с фазной обмоткой на бегуне // Г.М. Голенков, А.В. Веремеенко, Н.В. Богаенко, В.С. Попков / Электротехника и электромеханика. – № 6. – 2009. – С. 18–20. 7. *Веселовский О.Н.* Линейные асинхронные двигатели // О.Н. Веселовский, А.Ю. Коняев, Ф.Н. Сарапулов / М.: Энергоатомиздат. – 1991. – 256 с. 8. *Хитерер М.Я., Овчинников И.Я.* Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения // М.Я. Хитерер, И.Я. Овчинников / СПб.: КОРОНА принт. – 2004. – 368 с. 9. *Голенков Г.М.* Исследование распределения магнитной индукции в воздушном зазоре коаксиально-линейного синхронного двигателя с аксиальным и радиальным расположением постоянных магнитов на якоре // Г.М. Голенков, А.В. Веремеенко, Н.В. Богаенко, В.С. Попков / Электротехника и электромеханика. – № 2. – 2012. – С. 30–32.

**Bibliography (transliterated):** 1. HOST 18058-80. Dvihateli trekhfaznye asinkhronnye korotkozamknutyeh pohruzhnyeh serii PED. Tekhnicheskie uslovia. – Vveden 01.07.1981. 2. *Kaliy V.A.* Problemy proektirovaniya i primeneniya ventilynykh i asinkhronnykh elektrodvigatelay v ustanovkakh tsentrobeznykh pohruzhnykh nasosov dlia dobychy nefti. Rezhym dostupa: <http://do.gendocs.ru/docs/index-238821.html> [Web]. 3. *Van'kov A.A.* Analiz primeneniya komplektnykh privodov na osnove ventilynykh pohruzhnykh dvigatelej v NHDU «RytekNeft». A.A. Van'kov, R.H. Nurhaliev, E.A. Napchenko. Terrytorija NEFTEHAZ. – # 9. – 2010. – P. 74–78. [Print] 4. *Shevchenko V.V.* Razrabotka predlozhenij po ispolzovaniju generatorov s postojannymi mahnitami v energeticheskikh ustanovkakh. V.V. Shevchenko, S.V. Pidkivka. Systemy obrobky informatsii. Zbirnyk naukovykh prats. Kharkivskiy universytet povitrianykh syl. – # 4 (26). – 2010. – P. 188–192. 5. *Nhuvn Tkhan Shon.* Perspektivy primeneniya ventilnogo induktornogo dvigatelja v nefte dobyvaiushchei otrasli. Nhuvn Tkhan Shon. Mekhatronika. – # 6. – 2011. – Rezhym dostupa: <http://mehatronics.ru/2011/06>. [Web] 6. *Holenkov H.M.* Raspredelenie magnitnoj induksii v zazore koaksyal'no-linejnogo asyinkhronnogo dvigatelja s faznoj obmotkoj na begune. H.M. Holenkov, A.V. Veremeenko, N.V. Bohaenko, V.S. Popkov. Elektrotehnika i Elektromekhanika. – # 6. – 2009. – P. 18–20. [Print] 7. *Veselovskiy O.N.* Lyneinye asynkhronne dvyhately. O.N. Veselovskiy, A.Yu. Koniaev, F.N. Sarapulov. M.: Enerhoatomizdat. – 1991. – 256 P. [Print] 8. *Khiterer M.Ya., Ovchinnikov Y.Ya.* Sinkhronnye elektricheskie mashyny vozvratno-postupatel'nogo dvizheniya. M.Ya. Khiterer, Y.Ya.Ovchinnikov. SPb.: KORONA prynt. – 2004. – 368 P. [Print] 9. *Holenkov H.M.* Issledovanie raspredeleniya mahnytnoj induksii v vozduzhnom zazore koaksyalno-lynejnogo sinkhronnogo dvihatelia s aksialnym i radialnym raspolozheniem postojannykh mahnitov na yakore. H.M. Holenkov, A.V. Veremeenko, N.V. Bohaenko, V.S. Popkov. Elektrotehnika i Elektromekhanika. – # 2. – 2012. – P. 30–32. [Print]

*Надійшла (received) 10.09.2014*



Карпенко Илья Николаевич  
менеджер по продаже электрооборудования,  
ЧАО «Евродин», Харьков  
E-mail: viktorshayda08@rambler.ru



Юрєва Елена Юрьевна  
канд. техн. наук,  
доцент каф. электрических машин, НТУ «ХПИ»  
E-mail: ele6780@yandex.ua