DOI 10.18454/PMI.2016.5.701

УДК 629.563.2

ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ДВИЖЕНИЯ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОСВОЕНИЯ ШЕЛЬФА

А.Е.КОЗЯРУК
Санкт-Петербургский горный университет, Россия

На примере действующих полупогружных плавучих буровых платформ показаны характеристики электромеханических комплексов буровых установок и комплексов якорных систем позиционирования на базе регулируемого электропривода с двигателями постоянного тока.

Даны предложения по повышению электроэнергетических показателей и эксплуатационной надежности за счет использования в технологических буровых системах, системах движения и позиционирования электромеханических систем на базе бесконтактных асинхронных двигателей, получающих питание от силовых полупроводниковых преобразователей с активными выпрямителями. Приведена информация об опыте использования такого рода электромеханических комплексов на объектах горной промышленности, работающих в тяжелых условиях эксплуатации.

Представлены данные о развитии и характеристиках электромеханических комплексов систем движения, позиционирования и технологических технических средств освоения шельфа. Приведены структуры и примеры создания современных высокоэффективных систем с бесконтактными исполнительными двигателями.

***Ключевые слова*:** технические средства освоения шельфа, электромеханические комплексы, бесконтактные электродвигатели, силовые полупроводниковые преобразователи.

***Как цитировать эту статью*:** Козярук А.Е. Опыт создания и перспективы развития электромеханических комплексов – технологических, движения и позиционирования технических средств освоения шельфа // Записки Горного института. 2016. Т.221. С.701-705. DOI 10.18454/PMI.2016.5.701

Введение. Вопросы освоения и разработки шельфовых месторождений минерально-сырьевых ресурсов рассматриваются и в разной степени реализуются уже в течение пятидесяти лет. Для решения этих задач проектировались, создавались и эксплуатировались специальные технические средства – морские плавучие установки, буровые суда, суда снабжения и транспортные суда для транспортировки жидких и твердых полезных ископаемых.

В связи с разведкой и оценкой запасов минеральных ресурсов (прежде всего, нефти и газа) на арктическом шельфе, проблема создания платформ и судов, работающих в тяжелых ледовых и погодных условиях, становится особо актуальной.

В отечественной практике семидесятые-восьмидесятые годы прошлого века были временем создания (следом за западными технологиями) технологий разведки и добычи минеральных ресурсов на шельфе. Логично, что прежде всего работы проводились для шельфовых зон Каспийского и Черного морей с последующим переходом на шельфы Северных морей.

Электроэнергетическое и электромеханическое оборудование является основным в обеспечении технологических процессов бурения, добычи, движения и позиционирования технических средств освоения шельфа.

Первые отечественные плавучие средства, спроектированные в ЦКБ «Коралл» – самоподъемная плавучая буровая установка СПБУ-6500/100 (проект 15401) и плавучая полупогружная буровая установка ППБУ-6000/200 (проект 10170). В Советском Союзе были построены (Астраханский судостроительный завод) и модернизированы (Выборгский судостроительный завод) предприятия для постройки этих платформ.

Для примера более подробно представим техническую информацию по характеристикам и составу специального оборудования полупогружной платформы ППБУ-6000/200. Платформа предназначена для бурения разведочных скважин глубиной 6000 м при глубине моря от 100 до 200 м. Установка спроектирована на класс Регистра СССР с символом К✪1 – ПБУ полупогружная. Установка способна производить бурение при высоте волны до 6 м и скорости ветра до 18 м/с. Установка рассчитана на воздействие волн высотой до 16 м со скоростью ветра 46 м/с.

Якорное устройство обеспечивает стоянку в режиме бурения с точностью горизонтального смещения оси буровой вышки от оси скважины на ±4 % от глубины моря.

Единая судовая электростанция, состоящая из пяти дизель-генераторов переменного трехфазного тока мощностью 1000 кВт каждый, обеспечивает питание потребителей переменного и постоянного тока на всех режимах эксплуатации установки и бурения скважины. Применение тиристорных преобразователей для питания постоянным током упрощает схемы силовых цепей управления, позволяет унифицировать системы электроприводов, а быстродействие тиристорных преобразователей обеспечивает хорошие динамические характеристики электроприводов, что особенно важно для буровой лебедки и ротора.

DOI 10.18454/PMI.2016.5.701

Системы контроля и управления исключают постоянную вахту на местных постах управления во всех режимах работы, кроме подготовительных. Управление энергетической установкой осуществляется с центрального поста управления (ЦПУ). Пульты управления балластной системой, дистанционного управления якорными лебедками, информационно-измерительной и управляющей систем стабилизации ППБУ, а также другое навигационное оборудование расположены в главном посту управления (ГПУ).

Для контроля и управления буровыми и технологическими процессами предусмотрены посты бурильщика и бурового мастера с пультами специальной системы «СКУ – море». Операции бурения обеспечиваются буровой вышкой грузоподъемностью 320 т с устройством компенсации вертикальных колебаний буровой колонны и оборудованной комплексом механизмов дистанционного управления спуском-подъемом буровых свечей. Подача в скважину бурового и цементного раствора обеспечивается тремя буровыми насосами и четырьмя цементировочными насосами с приводами мощностью по 1000 кВт каждый. Максимальное давление раствора при продавке скважины достигает 700 атм. Приготовление бурового раствора, его регенерация и очистка осуществляются с помощью системы закрытого типа с необходимым оборудованием для очистки. На ППБУ предусмотрена компрессорная станция высокого (230 кг/см^2) и низкого (8 кг/ см^2) давлений.

Новым видом оборудования является комплекс подводного устьевого оборудования, выполняющего функции управления устьем скважины, предотвращения вредного влияния на окружающую среду, обеспечения рециркуляции раствора, обеспечения безопасности ППБУ при бурении.

На ППБУ предусмотрены необходимые санитарно-гигиенические и комфортные условия для работы и отдыха экипажа: система кондиционирования воздуха; подача горячей и холодной воды; имеются помещения бытового обслуживания, медицинский блок. Отделка и зашивка помещений выполнены с использованием современных отделочных материалов.

Ремонт судового и бурового оборудования обеспечен непосредственно на установке в механической и электромеханической мастерских. Штатные судовые краны обеспечивают возможность выгрузки и погрузки любого механизма, включая главные дизель-генераторы и буровые насосы.

Плавучая полупогружная буровая установка ППБУ-6000/200 («Шельф») по своим технико-экономическим показателям находится на уровне современных зарубежных ППБУ, а в ряде случаев и превосходит их, в частности:

• отечественная ППБУ имеет лучшие показатели по производительности проходки скважины;

• впервые в мировой практике для плавающих сооружений разработан комплекс механизмов дистанционного управления спуском-подъемом буровой колонны;

• специальное устройство глубинного забора воды позволяет уменьшить влияние работы ППБУ на окружающую среду и предотвратить забор в охлаждающую систему рыбы и других живых существ;

• функциональное разделение корпуса на крупные блок-модули массой до 800 т каждый позволяет осуществлять раздельное изготовление с максимальным насыщением оборудованием, трубопроводами, кабелем.

Основные технические характеристики ППБУ-6000/200:

Длина габаритная (с вертолетной площадкой), м	98,0
Ширина габаритная (без кронштейнов для якорей), м	64,2
Высота от ОЛ до верхней палубы, м	30,5
Просвет над уровнем моря в рабочем положении, м	10,2
Количество нижних понтонов, шт.	2
Количество стабилизирующих колонн, шт.	6
Водоизмещение порожнее, т	11500
Водоизмещение полное в рабочем положении, т	19800
Масса технологически и судовых запасов, т	3050
Система удержания над скважиной	Якорная с цепями
Количество и масса якорей	8×18
Мощность энергетической установки, кВт	5000
Возможность самостоятельного передвижения	Несамоходная
Численность команды, чел.	73
Автономность, сут.	30

Основные энергетические комплексы технических средств освоения шельфа – электроэнергетическая установка, электроприводы буровых станков и технологических систем, системы электродвижения и системы позиционирования.

DOI 10.18454/PMI.2016.5.701

Методика анализа и оценки технических решений. В период бурного развития разведочного бурения и добычи на шельфе, прежде всего Каспийского моря, выполнено и реализовано большое количество научно-исследовательских и проектно-производственных работ по созданию автономных электроэнергетических систем и электромеханического оборудования – технологического, движения и позиционирования.

На стадии создания и эксплуатации первых отечественных образцов технических средств освоения шельфа реализация электромеханических комплексов движения, позиционирования и бурения осуществлялась на базе электропривода постоянного тока по системе управляемый полупроводниковый выпрямитель – двигатель постоянного тока (УВ-ДПТ). Для электропривода буровых установок (БУ) использовались идентичные решения как для наземных БУ, так и для буровых установок ПБУ и ППБУ. Достаточно полное описание и технические характеристики электропривода буровых установок приведены в работе [5].

Большой объем работ по исследованию, проектированию, созданию и введению в эксплуатацию электроприводов постоянного тока буровых установок выполнен ВНИИЭлектропривод, г.Москва (М.Г.Юньков, Б.М.Парфенов и др.).

Электромеханические комплексы движения и позиционирования, а также электродвигатели технологических плавучих буровых комплексов исследовались, проектировались и изготавливались на АО «Электросила» в Санкт-Петербурге (сейчас компания «Силовые машины», отделение «Электросила»).

Теоретические вопросы анализа и исследования электромашинно-вентильных систем для автономных установок достаточно глубоко проработаны автором [2], там же приведена информация по системам электродвижения судов ледового плавания и системам якорной стабилизации платформ ППБУ-6000/200.

Интересные теоретические и практические результаты по моделированию, расчету и применению электроприводов и систем с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями приведены в [8].

Все сказанное говорит о том, что к 90-м годам были разработаны, спроектированы, изготовлены и эксплуатировались отечественные технические средства для разработки и освоения шельфовых месторождений нефти и газа. Для этих установок освоен выпуск отечественного силового электромеханического оборудования. Наибольшее количество плавучих буровых установок использовалось на шельфе Каспийского моря, отдельные установки использовались в Балтийском бассейне и в Баренцевом море.

В 90-е годы решение задач совершенствования и создания новых типов специального электромеханического оборудования резко сократилось и судостроительная промышленность стала ориентироваться на поставки оборудования зарубежных фирм.

Следует отметить, что зарубежные фирмы (ABB, Siemens и др.) за последние годы создали и используют современное электромеханическое оборудование для технических средств освоения шельфа.

Потребность в создании новых типов электромеханического оборудования определяется состоянием рынка морских буровых платформ [1]. Надежды на поступательный подъем мировой экономики после кризиса 2008 – начала 2009 г. на фоне снижения оценок запасов углеводородов на суше способствовали оптимистичным прогнозам развития рынка платформ для подводных (в особенности глубоководных) буровых работ на период 2009-2015 гг.

Тенденции и ограничения в поставке специального оборудования западными фирмами из-за санкций и необходимость обеспечения готовности к выполнению работ на шельфах Северных морей делают задачу разработки, проектирования и создания специальных электромеханических комплексов для технических средств особо актуальной.

Рассмотрим электроэнергетические комплексы обеспечения технологических установок морских буровых платформ и судов. Так же как и в 80-е годы, основные разработки по электроприводу буровых установок выполняет организация, образованная на базе института ВНИИЭлектропривод. До настоящего времени – это чаще всего комплектные электроприводы постоянного тока.

Наиболее современная из вводимых в эксплуатацию буровая установка «Арктическая» (проект 15402 М), предназначенная для бурения разведочных и эксплуатационных нефтяных и газовых скважин на шельфе арктических морей Российской Федерации. К сожалению, электромеханическое оборудование этой платформы в большей части ориентировано на применение зарубежных комплектующих единиц.

Рассмотрим кратко (без приведения схем и специфических особенностей) структуру и состав оборудования технологических комплексов на высокоэффективных регулируемых приводах с асинхронными двигателями. В статье [3] приведены обоснования и примеры реализации.

DOI *10.18454/PMI.2016.5.701*

Электроэнергетическая установка автономных технических средств освоения шельфа состоит из единой электроэнергетической системы, включающей n синхронных генераторов (с приводом от дизеля или турбины), m полупроводниковых силовых коммутаторов (преобразователей частоты) и k бесконтактных асинхронных двигателей (АД) соответствующего исполнения.

Опыт работы с электроприводами постоянного тока (по схеме управляемый выпрямитель – двигатель) обозначил энергетическую проблему, обусловленную соизмеримостью мощностей нагрузки и источника – коэффициент мощности сети и автономных источников и качество электрической энергии при «глубоком регулировании» силовых преобразователей.

Развитие силовой электроники и совершенствование систем управления полупроводниковыми преобразователями (коммутаторами) позволили построить структуры многодвигательных электромеханических комплексов, обеспечивающих коэффициент мощности в сети $K_м \approx 1$ и коэффициент нелинейных искажений $K_{ни}$ сетевого напряжения в пределах требований ГОСТов и Правил Регистра РФ.

Рекомендуется структура ЭЭУ, включающая единый активный выпрямитель АВ, обеспечивающий регулирование $K_м$ и $K_{ни}$ (а значит и энергоэффективность, и электромагнитную совместимость) и m инверторов с регулируемой широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) и обеспечением электромеханической совместимости [9].

Итак, функционально электроэнергетическая установка для технологического комплекса платформы: Единая ЭЭС – АВ – И с ШИМ (m) – АД (k) $\Rightarrow$ РМ (рабочий механизм).

Такой принцип построения ЭЭУ применен и в полной мере в части надежности и энергосбережения показал положительный эффект в эксплуатации на таком механизме как карьерный экскаватор ЭКГ-32Р/35 Ижорского завода «КАРТЭКС». Структура, принципиальные схемы силовой части и характеристики представлены в [6].

Вторым важнейшим электромеханическим комплексом, обеспечивающим работоспособность технических средств освоения шельфа, являются системы электродвижения и позиционирования [4, 7]. Основная отличительная особенность современных систем позиционирования и электродвижения – применение гребных двигателей переменного тока (вентильных двигателей с электромагнитным возбуждением и возбуждением от постоянных магнитов и индукционных реактивных двигателей SRM, асинхронных двигателей).

Имеется большой положительный опыт эксплуатации системы электродвижения с синхронным двигателем, питающимся через непосредственный преобразователь частоты, на ледоколах «Таймыр» и «Вайгач» (электрооборудование зарубежной постройки).

Для систем движения и позиционирования ведущими электротехническими фирмами (Siemens, ABB и др.) разработаны винто-рулевые колонки (ВРК) с расположением гребного электродвигателя в погружной гондоле (ГЭУ «Азипод»). Частота вращения гребного двигателя регулируется полупроводниковым преобразователем частоты. В ГЭУ «Азипод» используется гребной синхронный или асинхронный электродвигатели. Установки «Азипод» (Azipod: Azimuting Podded Drive – азимутальный движительный привод гондольного типа) могут быть применены на ледоколах и судах ледового плавания – танкерах, грузовых и научно-исследовательских судах, специально предназначенных для работы в покрытых льдом водах, т.е. для технических средств освоения арктического шельфа.

Созданы и эксплуатируются ГЭУ плавучей буровой платформы для глубоководного бурения, на которой смонтированы восемь установок Azipod CZ, обеспечивающих перемещение буровой платформы и стабилизацию при бурении. В качестве гребного электродвигателя используется синхронный двигатель с постоянными магнитами.

Среди отечественных создаваемых систем электродвижения следует отметить ГЭУ ледокола проекта 22220. ГЭУ должны содержать главные генераторы мощностью 36 МВт – 2 шт.; статический преобразователь частоты 16 МВт – 6 шт.; гребные электродвигатели тандемного исполнения 20 МВт – 3 шт.

Заключение

1. Электроэнергетические системы и электромеханические комплексы движения, позиционирования и технологические для технических средств освоения шельфа активно и продуктивно создавались в СССР и России в 70-80 годы и использовались для геологоразведочных и добычных работ на шельфовых месторождениях.

2. Для ведения перспективных работ по освоению шельфовых месторождений, включая арктический шельф, создаются технические средства (плавучие платформы, буровые и транспортные суда), для которых должны создаваться высокоэффективные электромеханические комплексы. Таковыми являют-

DOI *10.18454/PMI.2016.5.701*

ся электромеханические комплексы с бесконтактными (прежде всего асинхронными) частотно-управляемыми исполнительными двигателями. Регулирование частоты вращения должно осуществляться через силовые полупроводниковые преобразователи частоты с промежуточным активным выпрямителем, обеспечивающим высокий коэффициент мощности ЭЭС и удовлетворительное значение коэффициента нелинейных искажений (электромагнитная совместимость).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ковалев В.* Рынок морских буровых платформ 2015: прогнозы и коррективы // Западные технологии. Нефтегазовая вертикаль. НГВ-Технологии. 2015. № 10. С.35-39.

2. *Козярук А.Е.* Вентильные преобразователи в судовых электромеханических системах / А.Е.Козярук, Е.Г.Плахтына. Л.: Судостроение, 1987. 192 с.

3. *Козярук А.Е.* Энергоэффективные электромеханические комплексы горнодобывающих и транспортных машин // Записки Горного института. 2015. № 218. С.261-269.

4. *Королева Т.Н.* Судовые гребные электрические установки / Т.Н.Королева, А.П.Сеньков. СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2014. 78 с.

5. *Моцохейн Б.И.* Электротехнические комплексы буровых установок. М.: Недра, 1991. 254 с.

6. *Козярук А.Е.* Проектирование электротехнических устройств: Учебник / А.Е.Козярук, В.А.Новиков, М.П.Белов и др. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 330 с.

7. *Романовский В.В.* Электрооборудование морских буровых установок / В.В.Романовский, В.Н.Куракин, А.В.Григорьев. СПб: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С.О.Макарова, 2015. 168 с.

8. Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями / М.В.Пронин, А.Г.Воронцов, П.Н.Калачиков, А.П.Емельянов. СПб: «Силовые машины» «Электросила», 2004. 252 с.

9. Электрический привод. Термины и определения / С.К.Козырев, А.С.Анучин, А.Е.Козярук и др. М.: Изд-во МЭИ, 2015. 96 с.

Автор **А.Е.Козярук,** *д-р техн. наук*, *профессор*, *kozjaruk@mail.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет*, *Россия*).
Статья принята к публикации 25.04.2016.