

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРОПРИВОДА И УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Руденко А.И., НИПИОкеанмаш, г. Днепропетровск

Разработкой систем электроснабжения, электропривода и управления робототехническим комплексом, каким является установка добычная (УД), НИПИОкеанмаш, в содружестве с многими организациями бывшего СССР, занимался с 1984 г.

Значительный вклад в разработку внесли ГКБ "Южное" г. Днепропетровск; Киевский институт автоматики; Волгоградское отделение Тяжпромэлектропроект; НПО "Норд", г. Баку; НПО "Квант", г. Киев; ЦНИИСЭТ, г. Санкт-Петербург; СКТБ "Луч", г. Севастополь; НПО "Электросигнал", г. Ташкент; УкрНИИКП, г. Бердянск; СКТБ ИПЭ АН Украины, г. Киев; НИИ ЛЭО "Электросила", г. Санкт-Петербург; Кишиневский политехнический институт; ВИТ, г. Запорожье; Электротехнический институт связи им. Бонч. Бруевича, г. Санкт-Петербург; ЦПКБ "Теплоприбор", г. Казань; СКБ "Тахометрии", г. Тбилиси; НИИ "Теплоприбор", г. Москва; Запорожский филиал ВНИКИ "Цветметавтоматика", НИПИОкеанмаш благодарит все организации, участвующие в разработке систем управления, электроснабжения и электропривода, и приглашает к дальнейшему сотрудничеству.

За восемь лет, включая 1991 г., был разработан технический проект этих систем и созданы технические средства, обеспечивающие их функционирование. Технический проект выполнен применительно к насосной системе подъема железомарганцевых конкреций. Автоматизированная система дистанционного управления установкой добычной (АСДУ УД) обеспечила как в автоматизированном, так и в автоматическом режимах процесс сбора и подъем на борт судна железо-марганцевых конкреций (ЖМК), ориентацию, движение агрегата сбора и преодоление им препятствий, периодические проверки правильности функционирования подсистем и диагностирование технического состояния оборудования УД.

АСДУ УД управляла установкой добычной во взаимодействии с судовыми системами: системой управления движением; комплексной системой управления энергетической установкой; информацион-

но-координирующей системой; общесудовыми и специальными системами.

АСДУ УД разработана для УД, состоящей из системы подъёма (СП), самоходного агрегата сбора (САС) или буксируемого агрегата сбора (БАС), управление которыми осуществляется путём передачи управляющих воздействий на элементы системы ЭС и ЭП и съёма информации о состоянии элементов УД и её положениях.

АСДУ УД тесно взаимодействовала со смежными системами, обеспечивающими процесс добычи ЖМК: системой электроснабжения и электропривода (СЭС и ЭП); системой навигации глубоководной (СНГ); телевизионной системой наблюдения и контроля; системой управления спуско-подъёмным устройством; устройством первичного обогащения.

СЭС и ЭП, предназначенная для распределения электроэнергии между потребителями, её преобразования, защиты электрической сети и питания электропотребителей УД, обеспечила:

- передачу электроэнергии от судовой энергетической установки надводным и подводным потребителям во всех штатных режимах УД;
- гарантированную работоспособность кабелей и их соединений, в том числе разъёмных, в пределах заданного числа спусков-подъёмов;
- гарантированную работоспособность без технического обслуживания подводного электрооборудования в течение заданного времени рабочего состояния УД;
- возможность контроля параметров сети как надводной, так и подводной части СЭС и ЭП;
- возможность приёма сигналов от системы управления и передачи контролируемых параметров в систему управления с целью осуществления функционирования электропотребителей во всех режимах;
- сохранение работоспособности при отклонениях питающих напряжений, при изменении пространственного положения, гидростатического давления, температуры и при воздействии вибраций;
- возможность диагностики состояния погружного электрооборудования во время работы, а также периодически при спуско-подъёмных операциях;
- возможность контроля сопротивления изоляции силовых кабелей в рабочем состоянии, а также температуры в гермоконтейнерах с электрооборудованием;
- безопасность персонала, удобство обслуживания и проведения ремонта;
- возможность ручного и автоматизированного управления механизмами, устройствами в целом и системой электроснабжения.

Система ЭС и ЭП УД обеспечивает электроснабжение следующих потребителей установки добычной: буксируемого агрегата сбора, системы подъема, надводного оборудования, системы аварийного отделения. Система ЭС и ЭП УД состоит из самостоятельных систем: ЭС и ЭП надводного оборудования; ЭС и ЭП системы подъема; ЭС и ЭП самоходного агрегата сбора; ЭС и ЭП буксируемого агрегата сбора.

В состав СЭС и ЭП УД входят:

1) силовые высоковольтные и низковольтные кабели, соединители, выключатели, распределительные устройства, предназначенные для передачи электроэнергии от судовой энергетической установки непосредственно к электропотребителям СЭС и ЭП или преобразователям энергии;

2) трансформаторы и преобразователи напряжения, предназначенные для преобразования напряжения и частоты до величины необходимой потребителям;

3) аппаратура управления и защиты потребителей электроэнергии: надводные и подводные потребители электроэнергии;

4) датчики контроля состояния питающей сети, аппаратуры и потребителей электроэнергии;

5) элементы связи СЭС и ЭП с системой управления;

6) устройства подключения забортных высоковольтных, низковольтных, информационных и иных кабелей к бортовой судовой сети.

В процессе разработки вышеуказанных систем были созданы принципиально новые технические средства обеспечивающие функционирование всех систем, в том числе: электродвигатели, трансформатор, силовые кабели напряжением до 6 кВ, кабели управления и связи, токовводы и соединители, всевозможные датчики, телевизионные камеры, работающие в морской воде на глубинах до 6000 м при гидростатическом давлении до 63 МПа.

Элементы АСДУ и СЭС и ЭП установлены в помещениях и на палубе судна. При опробовании и транспортировании на палубе судна элементы АСДУ и СЭС и ЭП, предназначенные для работы под водой, подвергаются воздействию климатических факторов, установленных для климатического исполнения ОМ категории размещения 1 по ГОСТ 15150-69. Волнение моря в районе испытаний до 5 баллов, сила ветра 7 баллов. Средняя скорость течения на водной поверхности до 1 м/с, в придонных слоях до 0,31 м/с.

Элементы АСДУ и СЭС и ЭП работают при следующих номинальных рабочих температурах:

в специальных помещениях
на открытых палубах

+5... +30 °С;
минус 40 ... + 45 °С;

на подводных модулях
в гермоконтейнерах

минус 2 ... +32 °С,
минус 2 ... +45 °С.

Элементы АСДУ и СЭС и ЭП, располагаемые на палубе, должны безотказно работать в условиях относительной влажности воздуха 75 ± 3 % при температуре $+45$ °С ± 2 °С, а также при относительной влажности воздуха 95 ± 3 % при температуре $+25$ °С ± 2 °С.

Элементы АСДУ и СЭС и ЭП должны быть устойчивы к воздействию качки, параметры которой приведены в таблице 1.

Таблица 1. *Параметры внешних воздействий при состояниях УД*

Состояние УД	Параметры качки						V*, м/с
	бортовой		килевой		вертикальной		
	ам- пли- туда, град.	пери- од, с	ампли- туда, град.	пери- од, с	ампли- туда, град.	пери- од, с	
1. Спуско- подъёмные опе- рации	± 3	8...12	± 3	8...12	$\pm 1,5$	8...12	12,3
2. Сбор и подъём ЖМК	± 5	8...12	± 5	8...12	$\pm 1,5$	8...12	12,3
3. Переход	± 5	8...12	± 5	8...12	$\pm 1,5$	8...12	12,3
4. Сост. штурмо- вого отстоя	$\pm 12,5$	11...17	$\pm 12,5$	11...17	± 7	11...17	21,5

Примечание. V* - Скорость ветра (направление $\pm 30^\circ$).

Возможен постоянный крен и дифферент судна до 2° .

АСДУ и СЭС и ЭП обеспечивает автономные испытания УД и её элементов в условиях завода-изготовителя, морского полигона и на палубе судна.

При автономных испытаниях на заводе-изготовителе и на палубе судна, время включения подводного электрооборудования системы ЭС и ЭП ограничено 60 с. Технические средства АСДУ и СЭС и ЭП, установленные на открытой палубе и работающие под водой, предназначены для эксплуатации в условиях непосредственного контакта с морской водой. Остальное электрооборудование размещается в специальных помещениях судна. Система ЭС и ЭП обеспечивает работоспособность при допустимых отклонениях параметров питающего напряжения от номинальных значений, приведенных в таблице 2. Подводное электрооборудование прошло испытание на стендах, в

барокамере и показало работоспособность в заданных условиях эксплуатации.

Таблица 2. Отклонение параметров питающей сети

Характеристика	Длительное, %	Кратковременное, %
Напряжение	+6	+20 за время 1,5 с
	-10	-30
Частота	±5	±10 за время 5 с

Технические характеристики некоторых технических средств приведены ниже. Электродвигатели погружного исполнения предназначены для привода механизмов, расположенных под водой. Технические параметры погружных электродвигателей приведены в таблице 3.

Таблица 3. Технические параметры погружных электродвигателей

Марка электродвигателя	АМП-15К	ГАП-03К	АМП-37К*	4АР180М 4ЖДРОМ	АМП-7	АМП-8
Мощность, кВт	15	30	37/18,5	30	100	500
Напряжение, В	380	380	380	380	380	6000
Ток, А	33,6	77	85/54	60,5	237	75
Частота сети, Гц	50	50	50	50	50	50
Синхронная частота вращения, об/мин	1000	375	750/375	1500	1500	1500
Коэффициент полезного действия	0,833	0,79	0,81/0,74	0,855	0,8	0,8
Коэффициент мощности	0,81	0,73	0,82/0,72	0,885	0,8	0,8
Скольжение, %	4,3	3,3	3,3/6,3	4,4	2,0	1,5
Кратность пускового тока	5,1	3,5	8,5/4,5	7,5	6,5	6,0
Кратность пускового момента	1,3	0,9	2,3/1,2	2,0	1,4	1,4
Кратность максимального момента	2,1	1,8	3,0/1,9	2,0	3,0	2,2
Масса, кг	302	860	1170	242	1100	4900

Примечание. *Электродвигатель двухскоростной.

Для передачи электрической энергии напряжением 6000 В частотой 50 Гц к потребителям, установленным на глубине до 6000 м,

был разработан, изготовлен и прошёл испытания на стендах кабель типа КППК 3x50 мм², имеющий следующие параметры:

- масса 1 км кабеля, кг	6718;
- наружный диаметр, мм	54,2;
- длительно допустимый ток, А:	
1) в воде при температуре плюс 32 °С	486;
2) в воздухе при температуре плюс 45 °С	190;
- рабочее растягивающее усилие не более, кН	30;
- число циклов перемоток при силе натяжения 5 кН через ролик диаметром 2 000 мм	1500;
- число циклов закручиваний на угол 2 град/м	1500.

Разработана технология разделки и сращивания кабелей

В цепях управления использовались выпускаемые серийно кабели типа КЭВДН-630 по ГОСТ 15520-80 и СМПЭВГ-100 по ТУ16-505.913-76.

Для передачи сигналов связи и управления был разработан, изготовлен и прошёл испытания на стендах глубоководный гибкий высокочастотный кабель марки КГПК 4x50, имеющий следующие параметры:

- масса 1 км кабеля, кг	5995;
- число коаксиальных пар, шт	4;
- наружный диаметр, мм	59;
- номинальная частота, МГц	12;
- напряжение, В	100;
- затухание сигнала при температуре 25 °С и частоте 10 МГц, не более, дБ/км	12;
- волновое сопротивление на частоте 1 МГц, Ом	50;
- рабочее растягивающее усилие, не более кН	30;
- число циклов перемоток при силе натяжения 30 кН через ролик диаметром 2000 мм	3100;
- число циклов закручиваний на угол 2 град/м при нагрузке 100 кг	3000;
- число циклических изгибов на угол +15° вокруг цилиндра диаметром 2000 мм	100000;

Для передачи электрических сигналов и электропитания радиоэлектронной аппаратуры был разработан, изготовлен и прошёл испытания на стендах глубоководный гибкий кабель марки КПК-13, имеющий следующие параметры:

- число коаксиальных пар	1;
- число силовых жил	12;
- масса кабеля, кг/км	3796;
- диаметр, мм	42;

- рабочее растягивающее усилие, не более, кН 30;
- число циклов закручиваний на угол 2 град/м при нагрузке 2100 кг 3000;
- число циклических изгибов на угол +15° вокруг цилиндра диаметром 1600 мм 300000;
- число циклов перемоток при силе натяжения 30 кН через ролик диаметром 1600 мм 500;
- коаксиальная пара:
 - 1) номинальная частота, МГц 2;
 - 2) напряжение, В 100;
 - 3) затухание сигнала при частоте 2 МГц, не более дБ/км 5;
 - 4) волновое сопротивление на частоте 1 МГц, Ом 50;
- силовые жилы:
 - 1) напряжение постоянного тока, В 825;
 - 2) напряжение переменного тока частотой 50 Гц, В 380;
 - 3) длительно допустимый ток в воде при температуре 32 °С, А 45;
 - 4) длительно допустимый ток в воздухе при температуре 45 °С, А 35.

Для кабелей марок КЭВДН-630, КЭВД-630 и СМПЭВГ-100 с количеством жил 7, 14, 19 и сечении одной жилы 1,5 мм² были разработаны соединители типа СМ. Диаметры посадочных мест под соединители с числом контактов 7-27, 50 и 75 мм. Диаметры посадочных мест под соединители с числом контактов 14, 19-50 и 75 мм.

Так же были разработаны соединители типа СМ для кабелей с коаксиальными парами. Диаметр посадочного места для этих соединителей равен 50 мм. Соединители были разработаны как прямые, так и угловые. Электрические характеристики соединителей приведены в табл. 4.

Таблица 4. Электрические характеристики соединителей

Условное обозначение соединителя	Кол-во контактов	Диаметр контактов, мм	Ток на один контакт, А	Напряжение, В	Частота, кГц	Кол-во сочленений-расчленений
СМ-7	7	1,5	12	230	200	1000
СМ-14	14	1,5	9,3	230	200	1000
СМ-19	19	1,5	8,1	230	200	1000
СМ-4к	4К	3	0,1	100	12000	1000
	1К-6	3,5-3	0,1	100	2000	1000
СМ-1к	12	2	10	825		

Для кабелей типа КППК 3x50 были разработаны соединители типа СМВ, работающие в морской воде при давлении до 63 МПа.

Допустимый ток на контакт, 190 А.

Для кабелей типа КППК 3x50 были разработаны токовводы типа ТВ-6-190, работающие в морской воде при давлении до 63 МПа.

Допустимый ток на контакт, 190 А.

Разработан ряд гермоконтейнеров, работающих в морской воде при температуре от минус 2 до плюс 32 °С, обеспечивающий герметичность и прочность при наружном гидростатическом давлении 63 МПа. Гермоконтейнеры заполняются осушенным воздухом или азотом с целью избавления от конденсации воды на электрооборудовании. Гермоконтейнер представляет собой цилиндр с двумя полусферами, на его поверхности имеются посадочные места для установки токовводов и соединителей. Разработаны три типа гермоконтейнеров.

Гермоконтейнеры с наружным диаметром 580 мм длиной 1665 и 2510 мм имеют 18 посадочных мест под токовводы и соединители диаметром 50 мм,

Гермоконтейнеры с наружным диаметром 270 мм длиной 1015 мм имеют 8 посадочных мест под токовводы и соединители диаметром 50 мм.

Гермоконтейнеры с наружным диаметром 1300 мм длиной 1350 и 1530 мм имеют 11 посадочных мест под токовводы и соединители диаметром 75 мм.

Для коммутации электрических цепей при гидростатическом давлении до 63 МПа были разработаны коробки разветвительные. В зависимости от назначения и количества коммутируемых цепей коробки разветвительные имеют различную конфигурацию и количество соединителей и токовводов. Коробки разветвительные выполнены разгруженной конструкции и заполнены полиэтилсилоксановой жидкостью ПЭС-5 ГОСТ 13004-77. Данные коробки позволяют осуществлять коммутацию силовых электрических цепей напряжением до 6000 В. Коробки разветвительные допускают использование токовводов и соединителей всех приведенных выше видов. Все коробки разветвительные разгруженной конструкции имеют мембрану, осуществляющую передачу наружного давления рабочей жидкости коробки. В результате этого внутри коробки создается противодействие, разгружающее конструкцию.

Проведенный НИПИОкеанмаш комплекс работ по созданию подводного электрооборудования для эксплуатации в морской воде позволяет в настоящее время изготавливать и поставлять заказчику электрооборудование для робототехнических комплексов, связанных с освоением минеральных ресурсов океана.