

УДК 621.314

В. Н. Мишин, В. А. Пчельников, В. М. Рулевский

Научно-исследовательский институт автоматики и электромеханики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, ул. Белинского, 53, Томск, 634034, Россия.

## СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ МОЩНОСТЬЮ СВЫШЕ 10 КВТ

*Рассмотрены системы электропитания телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов мощностью свыше 10 кВт, позволяющие решать задачи увеличения удельной мощности подводной части и улучшения ее массогабаритных показателей.*

**Ключевые слова:** система электропитания, телеуправляемый необитаемый подводный аппарат

*Розглянуті системи електроживлення телекерованих незаселених підводних апаратів потужністю понад 10 кВт, що дозволяють вирішувати завдання збільшення питомої потужності підводної частини і поліпшення її массогабаритних показників.*

**Ключові слова:** система електроживлення, телекерований незаселений підводний апарат

### Вступ

Возросший объем геологоразведочных, аварийно-спасательных, обзорно-поисковых и других видов работ на морском дне в пределах больших площадей с высокой качественной достоверностью вызвал необходимость совершенствования и разработки новых телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА). Использование научно-исследовательской, фотографической и телевизионной аппаратуры на больших глубинах с длинной кабель-троса до 8000 метров требует применения мощных осветительных приборов и двигателей со значительным энергопотреблением, работающих как в длительном, так и в импульсном режимах. Суммарная мощность токоприемников ТНПА достигает нескольких десятков киловатт, поэтому вопросы энергоснабжения данных систем приобретают весьма важное значение при проектировании подводных аппаратов [1].

### Основна частина

**Целью** работы является анализ структур СЭП ТНПА мощностью более 10 кВт, имеющих низкие массогабаритные показатели, высокую надежность и ресурсоэффективность.

Общая схема комплекса телеуправляемого необитаемого подводного аппарата подключенного к сети обеспечивающего судна представлена на рис. 1.

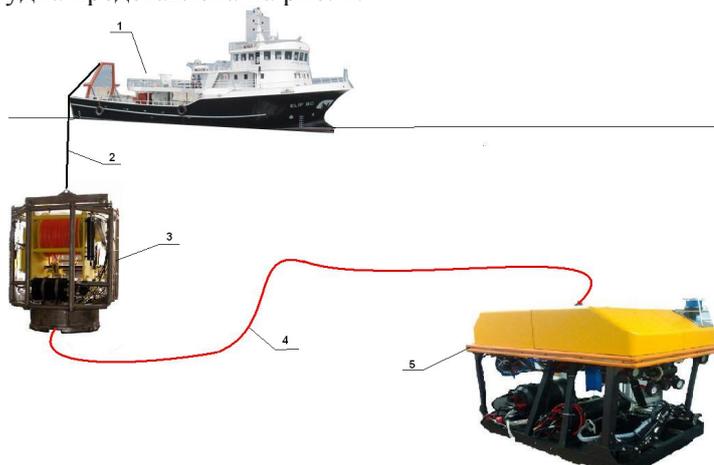


Рис. 1. Общая схема комплекса телеуправляемого необитаемого подводного аппарата

1 – обеспечивающее судно; 2 – кабель-трос; 3 – гараж-заглубитель; 4 – плавучий кабель;  
5 – телеуправляемый подводный аппарат

СЭП ТНПА условно состоит из двух частей: системы электропитания бортовой (БЧ) и подводной части (ПЧ). СЭП БЧ расположена на борту обеспечивающего судна, питание которой осуществляется от трехфазной судовой сети, основной или резервной, напряжением 380 В, частотой 50 Гц. Напряжение с выхода СЭП БЧ передается по кабель-тросу на СЭП ПЧ, устанавливаемую на гараже-заглубителе и ТНПА.

В современных системах подводного оборудования с дистанционным управлением используется в качестве составной части гараж-заглубитель, в котором может размещаться телеуправляемый необитаемый подводный аппарат при его доставке на глубину, и с которым подводный аппарат может соединяться относительно коротким и легким плавучим кабелем. При этом повышается маневренность подводного аппарата, поскольку он не связан с длинным и тяжелым кабель-тросом. Гараж-заглубитель в своем составе имеет кабину для размещения подводного аппарата, лебедку с барабаном плавучего кабеля с системой, управляющей длиной свободного плавучего кабеля между гаражом-заглубителем и подводным аппаратом [2]. Гараж-заглубитель также позволяет установить на нем часть блоков системы электропитания и управления, при этом освобождается дополнительное, полезное пространство на ТНПА и снижается его вес.

На рис. 2 представлена СЭП ТНПА переменного тока с передачей энергии по кабель-тросу трехфазным напряжением с частотой 50 Гц и трехфазным напряжением с частотой 1000 Гц по плавучему кабелю. Система электропитания содержит установленную на судне-носителе бортовую часть системы, включающую коммутатор сети К, вход которого соединен с судовой электрической сетью – основной или резервной, напряжением 380 В частотой 50 Гц. Выход коммутатора сети К соединен с фильтром радиопомех ФРП и силовым повышающим трансформатором Тр, который повышает напряжение сети до  $U_{ЛЭФФ}=1000\div 1500$  В.

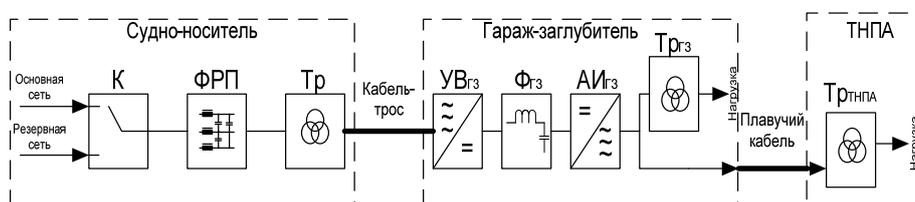


Рис. 2. Система электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу трехфазным напряжением с частотой 50 Гц и трехфазным напряжением с частотой 1000 Гц по плавучему кабелю

Повышенное трехфазное напряжение с частотой 50 Гц по кабель-тросу поступает на первый подводный блок системы, установленный на гараже-заглубителе. Первый подводный блок системы содержит управляемый выпрямитель УВГ<sub>3</sub> с фильтром ФГ<sub>3</sub>, выход которого соединен с инвертором АИГ<sub>3</sub>, повышающим частоту питающего напряжения до 1000 Гц. Напряжение повышенной частоты с выхода АИГ<sub>3</sub> подается на согласующий трансформатор ТрГ<sub>3</sub>, обеспечивающий питание устройств гаража-заглубителя, а также по плавучему кабелю на согласующий трансформатор ТрТНПА второго подводного блока системы, установленного на подводном аппарате.

Достоинством данной СЭП ТНПА является то что, за счет повышения частоты питающего напряжения до 1000 Гц существенно снижаются массогабаритные параметры трансформатора ТрТНПА в 2,5-3 раза по сравнению с трансформатором, работающим на промышленной частоте 50 Гц, установленного на подводном аппарате. В случае расположения трансформатора ТрТНПА в прочном корпусе с масляным охлаждением обеспечивается дополнительное уменьшение габаритов трансформатора, а также разгрузка стенок прочного корпуса от давления воды, что позволяет уменьшить толщину стенок прочного корпуса и соответственно уменьшить массу СЭП устанавливаемую на ТНПА еще в 1,3–1,5 раза [3].

Недостатками рассмотренной системы электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата являются низкие массогабаритные характеристики гаража-заглубителя, так как трансформатор ТрГ<sub>3</sub> работает на переменном напряжении с частотой 50 Гц, а также усложнение системы электропитания ПЧ за счет двойного преобразования энергии – переменного в постоянное и постоянного в переменное повышенной частоты при помощи управляемого выпрямителя УВГ<sub>3</sub> и инвертора АИГ<sub>3</sub>.

В СЭП ТНПА переменного тока с передачей энергии по кабель-тросу трехфазным напряжением  $U_{ЛЭФФ}$  1000÷1500 В частотой 50 Гц и постоянным напряжением по плавучему кабелю представленная на рисунке 3 отсутствуют некоторые недостатки схемы СЭП ТНПА изображенной на рис. 2. Данная система электропитания телеуправляемого подводного аппарата как и в варианте, представленном на рис. 2, содержит установленную на судне-носителе бортовую часть системы, включающую в себя коммутатор сети К с помощью которого подключается одна из бортовых сетей – основная или резервная, которая обеспечивает трехфазное напряжение 380 В частотой 50 Гц. Выход

коммутатора  $K$  соединен с фильтром радиопомех ФРП, обеспечивающий помехоподавление по каждой фазе питающего напряжения. После фильтрации трехфазное напряжение 380 В частотой 50 Гц поступает на первичные обмотки силового трансформатора  $Tr$ , где повышается до необходимой величины ( $U_{ЛЭФФ} 1000 \div 1500$  В) и поступает по кабель-тросу на первичные обмотки согласующего трансформатора  $Tr_{ГЗ}$  первого подводного блока системы, установленного на гараже-заглубителе, вторичные обмотки которого соединены с управляемыми выпрямителями  $УВ1_{ГЗ}$  и  $УВ2_{ГЗ}$ . После выпрямления в выпрямителях  $УВ1_{ГЗ}$  и  $УВ2_{ГЗ}$  и фильтрации фильтрами  $\Phi1_{ГЗ}$  и  $\Phi2_{ГЗ}$ , получают два постоянных напряжения (например 300 В и 600 В), одно из которых обеспечивает питание лебедки и электроники гаража-заглубителя, а другое – передается по плавучему кабелю на вторую подводную часть системы электропитания установленную на телеуправляемом подводном аппарате (рис.3).

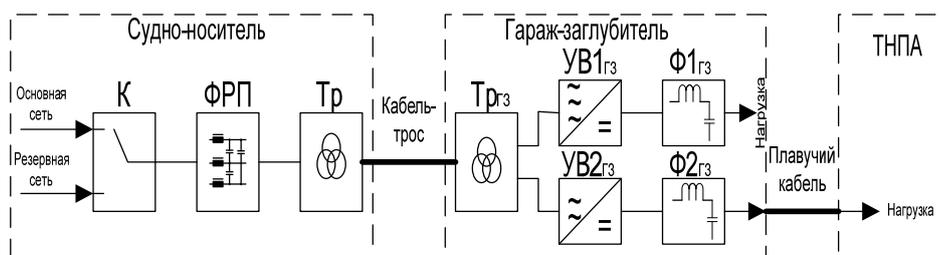


Рис. 3. Система электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу трехфазным напряжением  $U_{ЛЭФФ} 1000 \div 1500$  В частотой 50 Гц и постоянным напряжением по плавучему кабелю

Основным достоинством данной системы является простота и высокие массогабаритные показатели подводного аппарата, за счет того что, по плавучему кабелю передается постоянное напряжение и отсутствует трансформатор, что создает возможность установки дополнительного оборудования на телеуправляемом подводном аппарате.

Недостатками представленной системы электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу трехфазным напряжением  $U_{ЛЭФФ} 1000 \div 1500$  В частотой 50 Гц являются низкие массогабаритные характеристики гаража-заглубителя, так как трансформатор  $Tr_{ГЗ}$  работает на переменном напряжении с частотой 50 Гц, а также применение управляемых выпрямителей  $УВ1_{ГЗ}$  и  $УВ2_{ГЗ}$  с системой управления для обеспечения стабильного постоянного напряжения 300 В и 600 В для нагрузок гаража-заглубителя и ТНПА.

На рис. 4 приведена система электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата с судна-носителя, которая позволяет улучшить массогабаритные показатели подводной части системы за счет передачи энергии по кабель-тросу постоянным напряжением, а по плавучему кабелю переменным повышенной частоты.

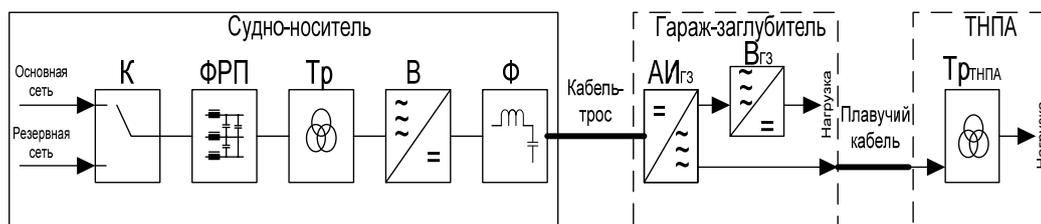


Рис. 4. Система электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу постоянным напряжением и трехфазным переменным напряжением с частотой 1000 Гц по плавучему кабелю

Данная система содержит установленную на судне-носителе бортовую часть системы, включающую в себя коммутатор сети  $K$ , вход которого соединен с судовой электрической сетью – основной и резервной, а выход – с фильтром радиопомех ФРП и силовым повышающим трансформатором  $Tr$ . Напряжение со вторичных обмоток трансформатора  $Tr$  поступает на выпрямитель  $В$  с фильтром  $\Phi$ , в свою очередь выпрямленное напряжение порядка 1000 В по кабель-тросу поступает на автономный инвертор  $АИ_{ГЗ}$  первого подводного блока системы, установленного на гараже-заглубителе.

Автономный инвертор  $AI_{ГЗ}$  осуществляет преобразование постоянного напряжения в переменное повышенной частоты 1000 Гц, выход которого соединен с выпрямителем  $V_{ГЗ}$ , который формирует питающие напряжения (300 В и 600 В) для гаража-заглубителя, а также с плавучим кабелем и согласующим трансформатором  $Tr_{ТНПА}$  второго подводного блока системы, расположенным на телеуправляемом необитаемом подводном аппарате.

В этом случае, как и в варианте СЭП ТНПА (рис. 2), за счет повышенной частоты, существенно снижаются массогабаритные параметры трансформатора, установленного на телеуправляемом необитаемом подводном аппарате, а также за счет передачи по кабель-тросу постоянного напряжения, обеспечиваются более низкие потери мощности в кабель-тросе.

В настоящее время, наилучшим образом, отвечающая всем требованиям, предъявляемым к современным СЭП ТНПА, является система электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата представленная на рис. 5.

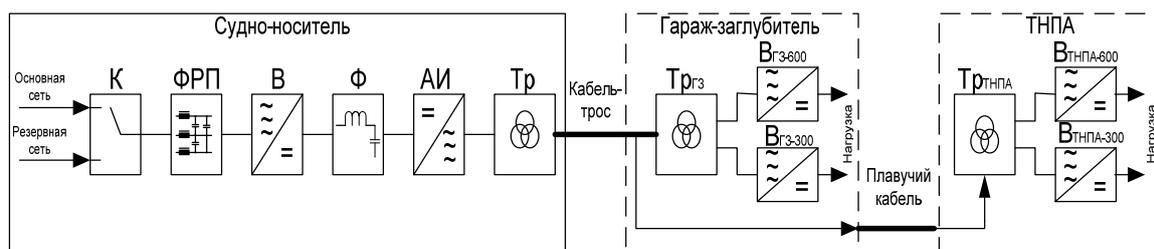


Рис. 5. Система электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу переменным напряжением повышенной частоты

Бортовая часть СЭП ТНПА содержит коммутатор сети  $K$ , вход которого соединен с судовой сетью. С коммутатора  $K$  напряжение через фильтр радиопомех  $ФРП$  поступает на выпрямитель  $V$ , затем через фильтр  $Ф$  на трехфазный автономный инвертор  $AI$ , который повышает частоту питающего напряжения до 1000 Гц. Выход инвертора  $AI$  соединен с первичными обмотками повышающего трехфазного трансформатора  $Tr$ , который в свою очередь повышает напряжение до величины  $U_{Лэфф} 1000 \div 1500$  В, а вторичные обмотки которого соединены с кабель-тросом, связанным с первичными обмотками трансформатора  $Tr_{ГЗ}$  подводной части установленной на гараже-заглубителе и плавучим кабелем. Вторичные обмотки согласующего трансформатора  $Tr_{ГЗ}$  соединены с выпрямителями  $V_{ГЗ-600}$  и  $V_{ГЗ-300}$ , формирующими питающие напряжения для гаража-заглубителя 600 и 300 В. С выхода плавучего кабеля напряжение поступает на первичные обмотки согласующего трансформатора  $Tr_{ТНПА}$ , расположенного на телеуправляемом необитаемом подводном аппарате. Вторичные обмотки согласующего трансформатора  $Tr_{ТНПА}$  соединены с выпрямителями  $V_{ТНПА-600}$  и  $V_{ТНПА-300}$ , формирующими питающие напряжения для подводного аппарата 600 и 300 В.

Достоинствами данной системы являются: высокие массогабаритные показатели трансформатора  $Tr_{ГЗ}$  первой подводной части системы, установленной на гараже-заглубителе и трансформатора  $Tr_{ТНПА}$  подводного аппарата за счет повышения частоты питающего напряжения инвертором  $AI$  до 1000 Гц; простота и надежность системы электропитания подводной части.

В НИИ АЭМ ТУСУР на базе предложенной и разработанной структурной схемы, представленной на рис. 5, были разработаны системы электропитания ТНПА мощностью 10 кВт, 30 кВт и 60 кВт. На рис. 6 представлена фотография СЭП ТНПА мощностью 30 кВт, а в таблице отображены основные технические характеристики данной системы.

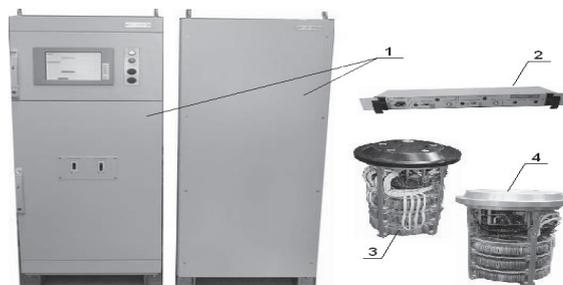


Рис. 6. Система электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата мощностью 30 кВт: 1 – бортовая часть системы электропитания; 2 – пульт дистанционного управления; 3 – система электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата; 4 – система электропитания гаража-заглубителя

Таблица 1

Технические характеристики системы электропитания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата мощностью 30 кВт

№ п.п.	Параметр	Значение
1	Электрические	
	Напряжение питания / частота	380 В, 50 Гц
	Максимальная длина кабель-троса	8000 м
	Выходная мощность СЭП ТНПА	25000 Вт
	Выходная мощность СЭП ГЗ	5000 Вт
	Предельное отклонение выходного напряжения	± 10 %
	Коэффициент пульсаций выходного напряжения	не более 0,5 %
2	Эксплуатационные	
	Режим работы	автономно/дистанционно
	Переход на резервную сеть	Автоматически
	Измерение параметров:	а) напряжение; б) ток; в) сопротивление изоляции; г) температуру внутри прочного корпуса подводного аппарата.
	Диагностика аварийных состояний:	а) пропадание сети; б) снижение уровня сети ниже допустимого; в) обрыв фаз сети; г) обрыв/отсутствие кабеля заземления; д) срабатывание термозащиты; е) срабатывание защит от превышения допустимых значений токов. ж) срабатывание защит от превышения допустимых значений напряжений; з) пропадание сети Ethernet.
	Протоколирование данных	Запись данных каждые 10 секунд и по изменению режима управления

#### Выводы

Сравнительный анализ построения современных СЭП ТНПА показал что, при работе на большой глубине с длинной кабель-троса до 8000 м и передачи энергии мощностью свыше 10 кВт на борт ТНПА, целесообразно СЭП выполнять на переменном токе повышенной частоты. В НИИ АЭМ ТУСУР была реализована на практике СЭП, которая отвечает основным требованиям, предъявляемым к СЭП ТНПА и обеспечивает непрерывное энергообеспечение подводного аппарата мощностью до 30 кВт при высоких массогабаритных показателях.

#### Список литературы

1. Подводные аппараты для геологических исследований / Под. ред. А.М. Игнатова – Геленджик: ПО «Южморгеология», 1990. – 92 с.
2. Ястребов В.С. Телеуправляемые подводные аппараты. – Л.: Судостроение, 1985. – 232 с.

### THE POWER SYSTEM REMOTE-CONTROLLED UNMANNED UNDERWATER VEHICLE HAS THE CAPACITY OF OVER 10 KW

V. N. Mishin, V. A. Pchelnikov, V. M. Rulevskii

*The research institute of automatics and electromechanics of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Belinskogo st., 53, Tomsk, 634034, Russia.*

1. Underwater devices for geological surveys / Under ed. *A.M. Ignatova* – Gelendzhik: PA «Yuzhmorgeologiya», 1990. – 92 p. (Rus.).
2. *Iastrebov V.S. Remote-controlled underwater vehicle.* – L.: Shipbuilding, 1985. – 232 p. (Rus.).