

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ РЯДА ГЕРМЕТИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНАСОСОВ С МАЛОШУМНЫМ РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА БАЗЕ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

А. П. Сарычев, Г. В. Голобоков, В. Н. Думнов,  
М. Е. Коварский, В. О. Терешкевич

*Описаны особенности конструкции синхронных двигателей с постоянными магнитами, применяемыми в герметичных электронасосах с малошумным регулируемым электроприводом. Дан чертёж общего вида электронасоса, применяемого совместно с малошумным регулируемым электроприводом. А также описывается работа преобразователя частоты входящего в состав электропривода. Описан испытательный стенд для испытания насосного оборудования, служащий для проведения полного цикла испытаний насосного оборудования специального назначения. Представлены результаты создания нового поколения малошумных насосов и электроприводов на основе уже существующих малошумных регулируемых электроприводов. Показан чертёж общего вида одного из герметичных электронасосов с малошумным регулируемым электроприводом на базе синхронных двигателей с постоянными магнитами. Приводятся данные о результатах разработки герметичных электронасосов с малошумным регулируемым электроприводом на базе синхронных двигателей с постоянными магнитами.*

**Ключевые слова:** герметичный электронасос, электропривод, преобразователь частоты, электродвигатель, малошумный, ротор, статор, виброактивность.

АО «Корпорация «ВНИИЭМ» разработала, изготовила и испытала ряд герметичных электронасосов типа ГЭН для паротурбинных установок кораблей.

Герметичные электронасосы с малошумным регулируемым электроприводом на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами состоят из: электронасоса с его регулируемым электроприводом на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами и преобразователя частоты.

Особенность данных ГЭН состоит в том, что электродвигатель типа ДСГ является частью моноблочной конструкции и установлен вместе с насосом в одном корпусе. Охлаждение ДСГ осуществляется за счёт рабочей жидкости, перекачиваемой рабочим колесом насоса.

Общий вид герметичного электронасоса с синхронным двигателем типа ДСГ с постоянными магнитами представлен на рис. 1.

Основные особенности конструкции электродвигателей типа ДСГ следующие:

- применение редкоземельных металлов на основе неодим – железо – бор и существенное (до 11 мм) увеличение одностороннего немагнитного зазора;
- выполнение обмотки статора многополюсной для исключения формы колебаний статора с порядком <4;
- применение дробного числа  $q$  для исключения синхронных паразитных моментов;
- применение подшипников из карбида кремния с ресурсом работы до 100 000 ч.

В целях унификации все электродвигатели (20 – 60 кВт) имеют стандартную форму листов статора и его расточку, в валах двигателей предусматривается центральное отверстие, через которое осуществляется циркуляция рабочего тела, обес-

печивающая охлаждение разделительной гильзы и подшипников, а также их смазку.

В качестве оболочки, отделяющей статор и обмотку статора от внутренней полости двигателя, заполненной рабочей жидкостью, применяется гильза из немагнитного материала с большим удельным электрическим сопротивлением. В зависимости от степени агрессивности перекачиваемой жидкости защитные гильзы выполняются из нержавеющей стали или титанового сплава. Для опоры гильзы используется пакет статора и специальная арматура статора, к которым гильза приваривается герметичным швом.

Ротор представляет собой цилиндр, на который установлено магнитопроводящее ярмо ротора, с фрезерованными основаниями для установки магнитов. Для защиты магнитов от воздействия рабочей жидкости, заполняющей внутреннюю полость электродвигателя (ЭД), поверхность ротора изолируется немагнитной гильзой. Гильза вместе с торцевыми шайбами пакета ротора образует герметичную оболочку ротора.

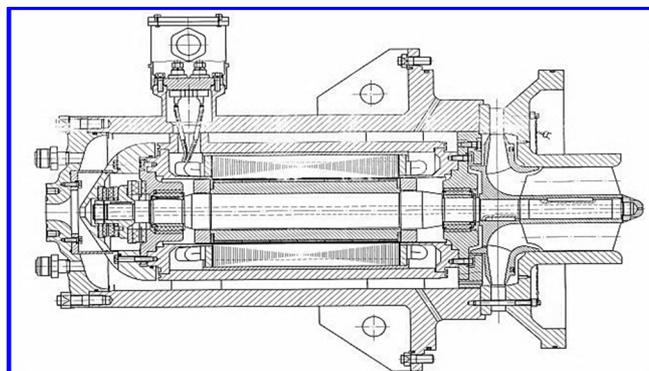


Рис. 1. Общий вид герметичного электронасоса с синхронным двигателем типа ДСГ

Корпус ЭД рассчитан на полное рабочее давление системы и образует второй герметичный защитный пояс, дополнительно обеспечивающий защиту помещений от загрязнения токсичными продуктами при прорыве гильзы статора. Клеммная панель является частью корпуса и также выдерживает полное рабочее давление системы.

Более подробно описание конструкции ДСГ изложено в ранее опубликованной работе [1].

Основным специальным требованием, предъявляемым к электродвигателям насосов ГЭН, является снижение виброактивности двигателей.

Упомянутое снижение виброактивности в двигателях типа ДСГ достигается за счёт:

- малых масс роторов;
- большого воздушного зазора;
- отсутствия пазов на роторе;
- применения современных подшипников скольжения на основе карбида кремния.

В состав регулируемых электроприводов насосов входят преобразователи частоты типа ПЧ-ТПТКТР-122-360-50-250-1 и ПЧ-ТПТКТР-38-360-50-125-1.

Каждый ПЧ состоит из блока фильтров БФ, блока преобразователя частотно-регулируемого (ПЧР) и блока преобразователя постоянного тока (ППТ). Степень защиты блоков – IP54.

Номенклатура и состав ряда регулируемых электроприводов типа ЭТПР насосов типа ГЭН представлены ниже.

Специальными требованиями к преобразователям частоты для насосов ГЭН, входящих в ПТУ, в отличие от общепромышленных, являются:

- обеспечение малошумности ПЧ (требуемый уровень виброшумовых характеристик);

- питание ПЧ от сетей переменного тока 380 В, 50 Гц (основное питание) и постоянного тока 175 – 320 В (резервное питание) с гальванической развязкой между сетями.

Мгновенное переключение электропривода на сеть постоянного тока 175 ... 320 В и обратно без снижения частоты вращения осуществляется за счёт наличия блока постоянного тока (ППТ), включённого в звено постоянного тока преобразователя частоты. Система управления осуществляет мониторинг параметров питающей сети и производит ввод в работу блока ППТ при недопустимом снижении напряжения питания.

Помимо мгновенного подхвата питающей сети, блок ППТ также осуществляет гальваническую развязку между сетями 175 ... 320 В и 380 В, 50 Гц благодаря высокочастотному (20 кГц) силовому трансформатору.

Плавный пуск электронасоса, возможность запрета работы на частотах, на которых происходит превышение требований к уровню виброшумовых характеристик (ВШХ) электронасоса, максимальное приближение формы выходного тока ПЧ к синусоидальной, бездатчиковая система векторного управления приводом и плавающая несущая частота ШИМ позволяют оптимизировать ВШХ электронасоса во всех режимах работы.

С целью экспериментального определения технических характеристик электронасосных агрегатов типа ГЭН и их электроприводов, в том числе для измерений их виброшумовых характеристик, в АО «Корпорация «ВНИИЭМ» создан и аттестован стенд для испытания насосного оборудования, служащий для проведения полного цикла испытаний насосного оборудования.

Стенд для испытания малошумных герметичных электронасосов состоит из следующих элементов:

- питательного бака;
- виброизолированного фундамента с монтажными плитами;
- системы трубопроводной арматуры.

Стенд позволяет проводить испытания электронасосного оборудования мощностью до 500 кВт.

На рис. 2 – 5 приведены:

- электродвигатель типа ДСГ;
- шкафы преобразователя частоты;
- характеристика, полученная по результатам испытаний ЭТПР;
- центр испытания насосного оборудования с испытываемым электронасосом типа ГЭН.

#### Состав регулируемых электроприводов типа ЭТПР

Наименование и тип электропривода	Состав электропривода	
	Тип двигателя	Тип ПЧ
Электропривод ЭТПР-20-1500	ДСГ20/1500	ПЧ-ТПТКТР-38-360-50-125-1
Электропривод ЭТПР-55-3000	ДСГ55/3000	ПЧ-ТПТКТР-122-360-50-250-1
Электропривод ЭТПР-60-3000	ДСГ60/3000	
Электропривод ЭТПР-55-1500	ДСГ55/1500	
Электропривод ЭТПР-60-1500	ДСГ60/1500	



Рис. 2. Электродвигатель типа ДСГ



Рис. 3. Шкафы преобразователя частоты

Координированная совместная работа АО «Корпорация «ВНИИЭМ», ОАО «КТЗ» и АО «ЦКБ МТ «Рубин» позволила успешно изготовить, испытать и поставить ряд герметичных электронасосов типа ГЭН с электроприводом для паротурбинных установок кораблей. Всего было отгружено 40 электронасосов типа ГЭН с электроприводами.

На базе серийного изготовления ГЭН для паротурбинных установок кораблей АО «Корпорация «ВНИИЭМ» разработало, изготовило и испытало ряд герметичных малошумных, регулируемых электронасосов типа ГЭН для кораблей. Один из электронасосов представлен на рис. 6.

Виброшумовые характеристики новых ГЭН превосходят вышеописанные насосы типа ГЭН.

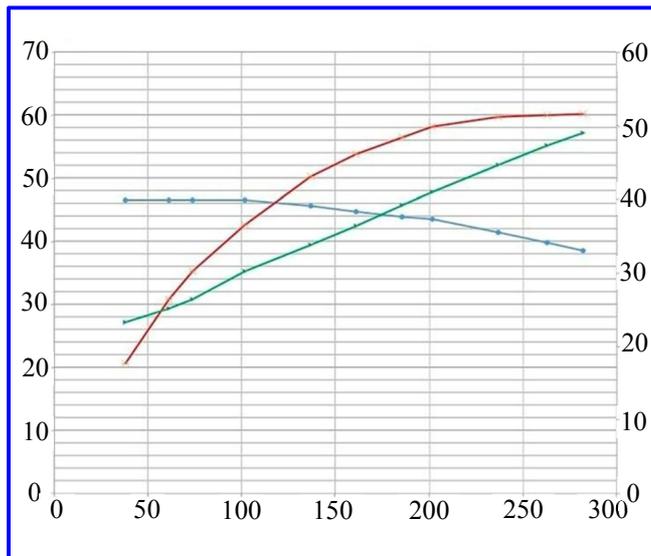


Рис. 4. Характеристика, полученная по результатам испытаний ЭТПР



Рис. 5. Центр испытания насосного оборудования с испытываемым электронасосом типа ГЭН

Этот эффект был получен за счёт улучшения геометрии проточной части насоса, которая отличается от прототипа плавностью каналов, более сложным профилем лопаток рабочих колёс и аппаратов направляющих насосов. Проточная часть была рассчитана с помощью собственных разработанных программ.

Программа позволяет рассчитать течение потока рабочей жидкости в каналах проточной части, и рассмотреть варианты течения рабочей жидкости при изменении геометрии проточной части.

В состав новых ГЭН также входят электродвигатели типа ДГС и ПЧ.

Электронасосы обеспечивают надёжную работу, не допуская ложных срабатываний, и сохраняют свои технические характеристики на всех режимах в течение всего срока службы при следующих

эксплуатационных условиях:

- при статических наклонениях в любую сторону, без ограничения времени;
- при статических наклонениях в течение трёх минут в любую сторону;

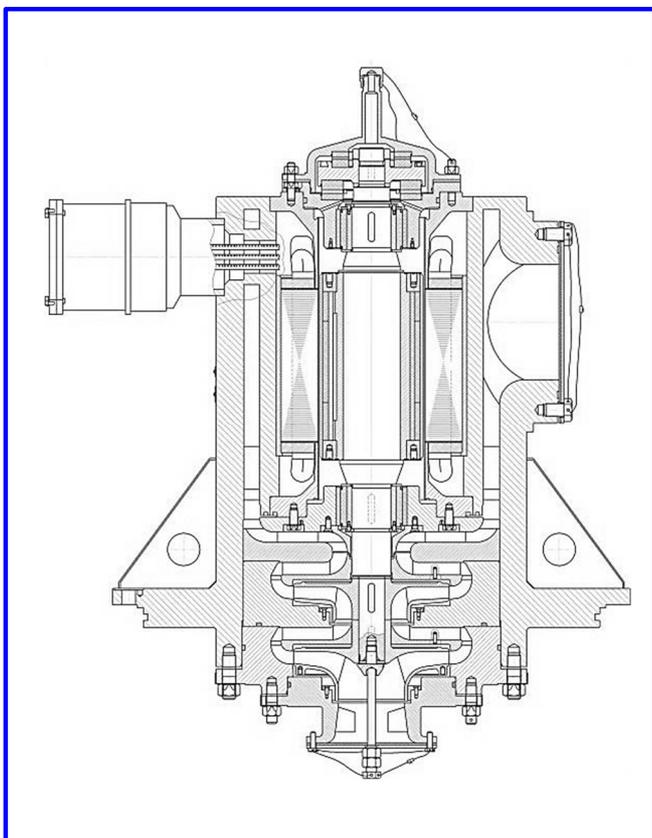


Рис. 6. Общий вид герметичного электронасоса с синхронным двигателем типа ДСГ

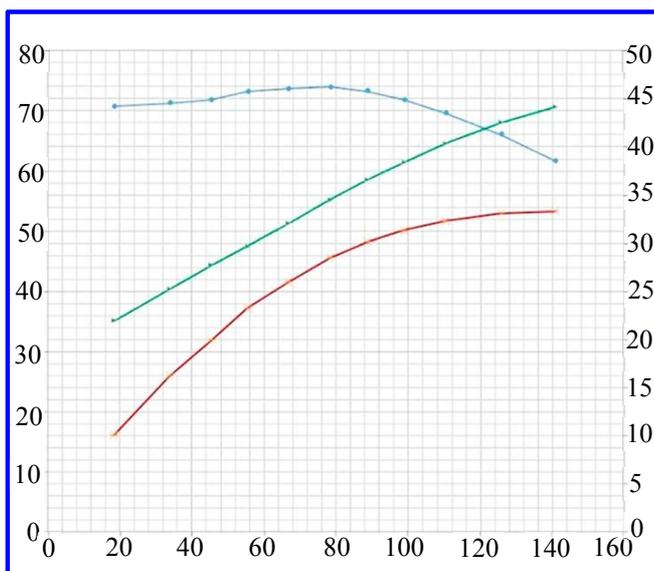


Рис. 7. Характеристика, полученная по результатам испытаний

– при температуре окружающего воздуха в помещении от 0 до плюс 55 °С с относительной влажностью до 98% при температуре 35 °С (длительно без ограничений);

– при кратковременном повышении (в течение двух часов) температуры до плюс 70 °С в номинальном режиме работы электронасоса и относительной влажности 100% при температуре плюс 50 °С с выпадением росы. Режимы работы ПЧ при температуре свыше плюс 60 °С уточняются на этапе проектирования и испытаний;

– при изменении барометрического давления окружающего воздуха в помещении в пределах от 0,08 до 0,202 МПа (от 600 до 1515 мм рт. ст.);

– после длительного пребывания в нерабочем состоянии при транспортировке и хранении при температуре от минус 50 (для ПЧ от минус 40 °С) до плюс 50 °С и относительной влажности до 98% при температуре 35 °С – после выдержки в нормальных климатических условиях в течение 20 ч.

Живучесть электронасоса обеспечивается применением негорючих (трудногораемых) и не способствующих распространению огня конструкционных материалов, смазок и лакокрасочных покрытий, необходимым резервированием составных частей.

Преобразователь частоты сохраняет работоспособность после воздействия на него (в период электромагнитной обработки объекта) знакопеременного трапецеидального убывающего импульсного магнитного поля

Электронасос и преобразователь частоты сохраняют работоспособность и не приводят к ложным срабатываниям при воздействии на них постоянного магнитного поля [2].

Проведённые испытания показали соответствие характеристик (рис. 7) разработанных ГЭН требованиям технического задания.

Применение синхронных регулируемых приводов обеспечило улучшение виброшумовых характеристик электронасосных агрегатов типа ГЭН производства АО «Корпорация «ВНИИЭМ» по сравнению с асинхронными электронасосными агрегатами производства АО «Молдовахидромаш».

### Выводы

1. Проведённые испытания показали соответствие характеристик разработанного ряда герметичных электронасосных агрегатов типа ГЭН и их регулируемых электроприводов требованиям технических заданий.

2. Разработанный ряд электронасосных агрегатов и их регулируемые электроприводы имеют лучшие массогабаритные, энергетические

и виброшумовые показатели по сравнению с ранее созданными аналогами.

#### Литература

1. Коварский М. Е., Портной Ю. Т., Магин В. В., Рожков Д. В. Результаты разработки нового поколения малошумных

электроприводов герметичных электронасосов // Труды VII Международной (XVIII Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2012, 2012. – С. 276 – 279.

2. Электронасос ГЭН. Технические условия. – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. – С. 62.

Поступила в редакцию 02.11.2017

*Алексей Петрович Сарычев, доктор технических наук, первый заместитель генерального директора по атомной энергетике и электромеханике, т. (495) 366-56-29.  
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).*

*Геннадий Вячеславович Голобоков, главный конструктор, т. (495) 365-25-45.  
(ОАО «Калужский турбинный завод»).*

*Владимир Николаевич Думнов, директор по насосному оборудованию, т. (495) 366-13-47.*

*Михаил Ефимович Коварский, кандидат технических наук, главный конструктор регулируемых электроприводов для ВМФ, т. (495) 366-15-61.  
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).*

*Владимир Олегович Терешкевич, кандидат технических наук, главный конструктор – начальник отделения энергетике и общесудовых систем, т. (812) 407-51-32, e-mail: neptun@ckb-rubin.ru.  
(АО «ЦКБ МТ «Рубин»).*

## RESULTS OF DESIGNING A NUMBER OF SEALED ELECTRICAL PUMPS WITH LOW-NOISE CONTROLLED ELECTRICAL DRIVES ON THE BASIS OF SYNCHRONOUS MOTORS WITH PERMANENT MAGNETS

**A. P. Sarychev, G. V. Golobokov, V. N. Dumnov,  
M. E. Kovarskii, V. O. Tereshkevich**

*The article describes design features of synchronous motors with permanent magnets used in sealed electrical pumps with low-noise controlled electrical drives. The general view drawing of the electrical pump used with a low-noise controlled electrical drive is provided. The information about operation of the frequency converter of the electrical drive is presented. The pumping equipment test bench used for full testing of special-purpose pumping equipment is described. The results of designing a new generation of low-noise pumps and electrical drives on the basis of existing low-noise controlled electrical drives are provided. The general view drawing of one of the sealed electrical pumps with a low-noise controlled electrical drive based on synchronous motors with permanent magnets is shown. The results of designing sealed electrical pumps with low-noise controlled electrical drives on the basis of synchronous motors with permanent magnets are provided.*

**Key words:** sealed electrical pump, electrical drive, frequency converter, electrical motor, low noise, rotor, stator, vibration activity.

#### List of References

1. Kovarskii M. E., Portnoi Yu. T., Magin V. V., Rozhkov D. V. Results of designing a new generation of low-noise electrical drives of sealed electrical pumps // Proceedings of the VII International (XVIII All-Russian) Conference on Automatic Electrical Drives, 2012. – Pp. 276 – 279.

2. GEN electrical pump. Technical specifications. – Moscow : JC «VNIIEEM Corporation», 2017. – P. 62.

*Aleksei Petrovich Sarychev, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.),  
1<sup>st</sup> Deputy Director General for Nuclear Power and Electromechanics,  
tel.: +7 (495) 366-56-29.  
(JC «VNIIEEM Corporation»).*

*Gennadii Viacheslavovich Golobokov, Chief Designer, tel.: +7 (495) 365-25-45.  
(JSC «Kaluga Turbine Plant»).*

*Vladimir Nikolaevich Dumnov, Director for Pumping Equipment, tel.: +7 (495) 366-13-47.*

*Mikhail Efimovich Kovarskii, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.),  
Chief Designer of Controlled Drives for Navy, tel.: +7 (495) 366-15-61.  
(JC «VNIIEEM Corporation»).*

*Vladimir Olegovich Tereshkevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.),  
Chief Designer for Power Engineering and Ship Common Systems,  
tel.: +7 (812) 407-51-32, e-mail: neptun@ckb-rubin.ru.  
(JSC «Central Design Bureau for Marine Engineering «Rubin»).*