

С.В. Попов, С.И. Матвиенко, Н.П. Гузанов,
В.А. Иванова, С.Ю. Тряничев

Научно-исследовательское проектно-технологическое бюро "Онега"
(г. Северодвинск)

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОГРУЖНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТКРЫТОГО ИСПОЛНЕНИЯ

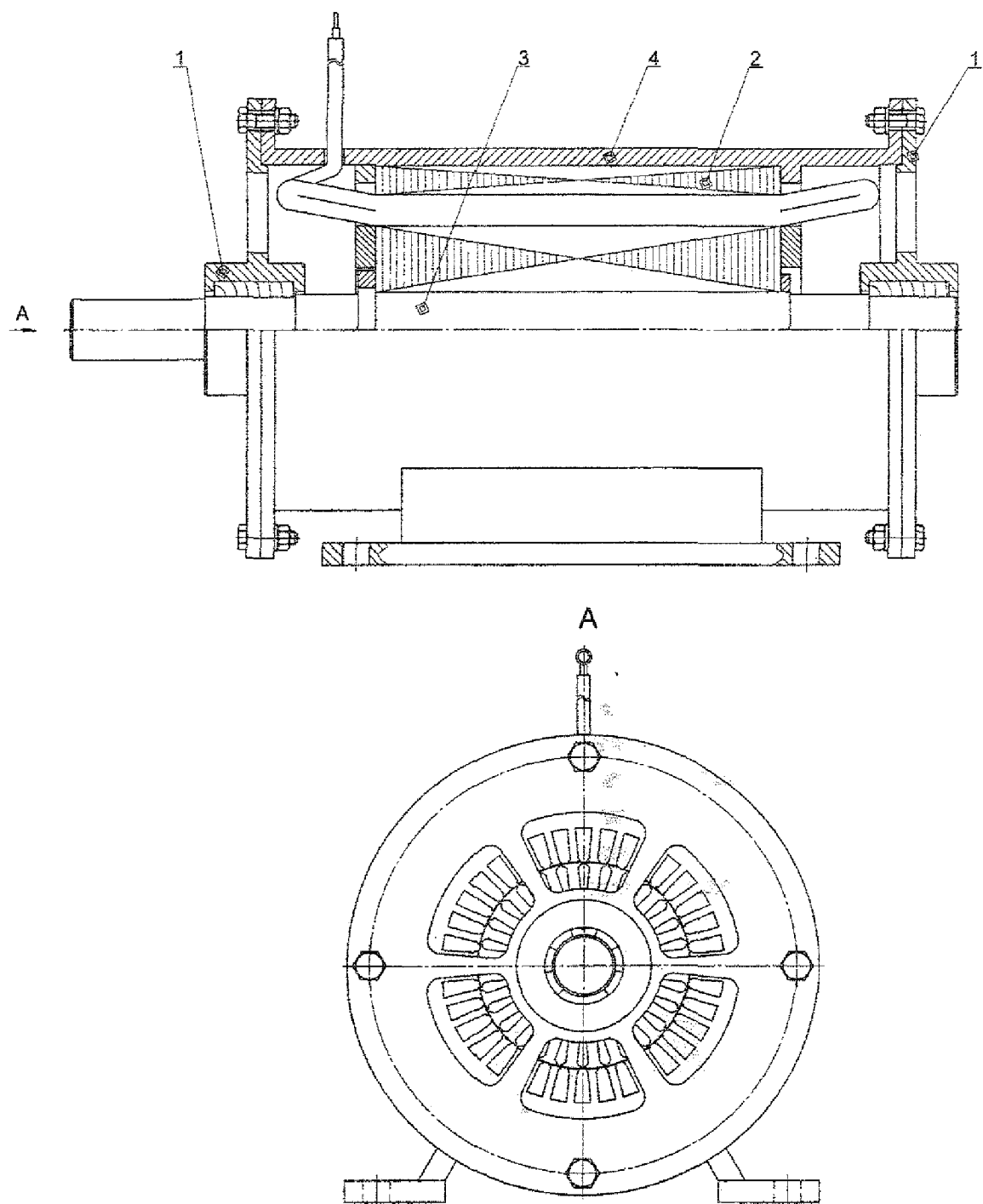
Возрастание роли освоения нефтегазовых месторождений Шельфа морей, внешних и внутренних морских перевозок обуславливают необходимость технического совершенствования судов, которое невозможно без широкого внедрения электротехнического оборудования.

В настоящее время на судах и подводных аппаратах широкое применение находят герметичные электродвигатели, используемые в качестве привода движительных и подруливающих устройств. Их существенными недостатками являются избыточная масса, использование масел в качестве промежуточных охладителей, наличие компенсирующих узлов, каскадных торцовых уплотнений. В условиях жёстких требований, предъявляемых к электродвигателям судового электропривода, возникает актуальная потребность в создании конструкций электродвигателей со специальными свойствами и параметрами [1].

К таким машинам относятся погружные электродвигатели открытого типа (далее – ПЭД), все внутренние полости которых охлаждаются забортной водой. Морские ПЭД были разработаны в ОАО «Электросила» под руководством канд. техн. наук В.И. Ветохина и известны как «асинхронная машина Ветохина» (далее – АМВ) [2]. Электрическая машина АМВ-5 предназначена для приводов забортных механизмов подводных аппаратов, гребных винтов, активных рулей, якорно-швартовых механизмов, насосов; теле- и акустических антенн, различных манипуляторов и т.д.

Показатели АМВ-5 обеспечиваются применением обмоточного провода с полимерной изоляцией, металлокерамических подшипников скольжения, электрохимической протекторной защитой активных частей статора и ротора; применением ротора с многозаходной нарезкой на его поверхности. Несмотря на явные преимущества, такие электрические машины не были приняты в производство по ряду причин (дороговизна, сложность изготовления, отсутствие серийного выпуска комплектующих изделий).

Авторами доклада на протяжении ряда лет решались задачи совершенствования технологичности конструкторских решений при проектировании и изготовлении опытного образца ПЭД (рисунок 1), которые могли бы способствовать внедрению электрических машин этого класса в судостроении [3].



1 – подшипниковый щит; 2 – статор; 3 – ротор; 4 – корпус статора.
Рисунок 1 – Конструкция опытного образца ПЭД в сборе

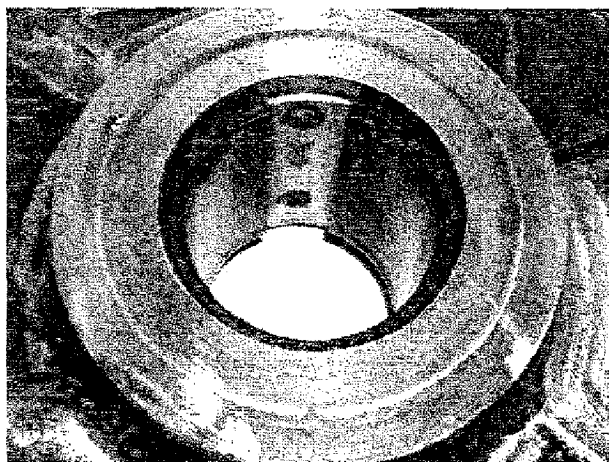
В докладе представлены варианты решения следующих задач, возникающих в процессе проектирования ПЭД:

- создание подшипниковых узлов;
- пути совершенствования системы охлаждения;
- проблема биообрастания внутренних частей ПЭД.

Для ПЭД существующие подшипники не отвечают в полной мере требованиям, предъявляемым к ним по механическим ударным, антифрикционным, антикоррозионным характеристикам и гидrolитической стойкости в морской воде [4].

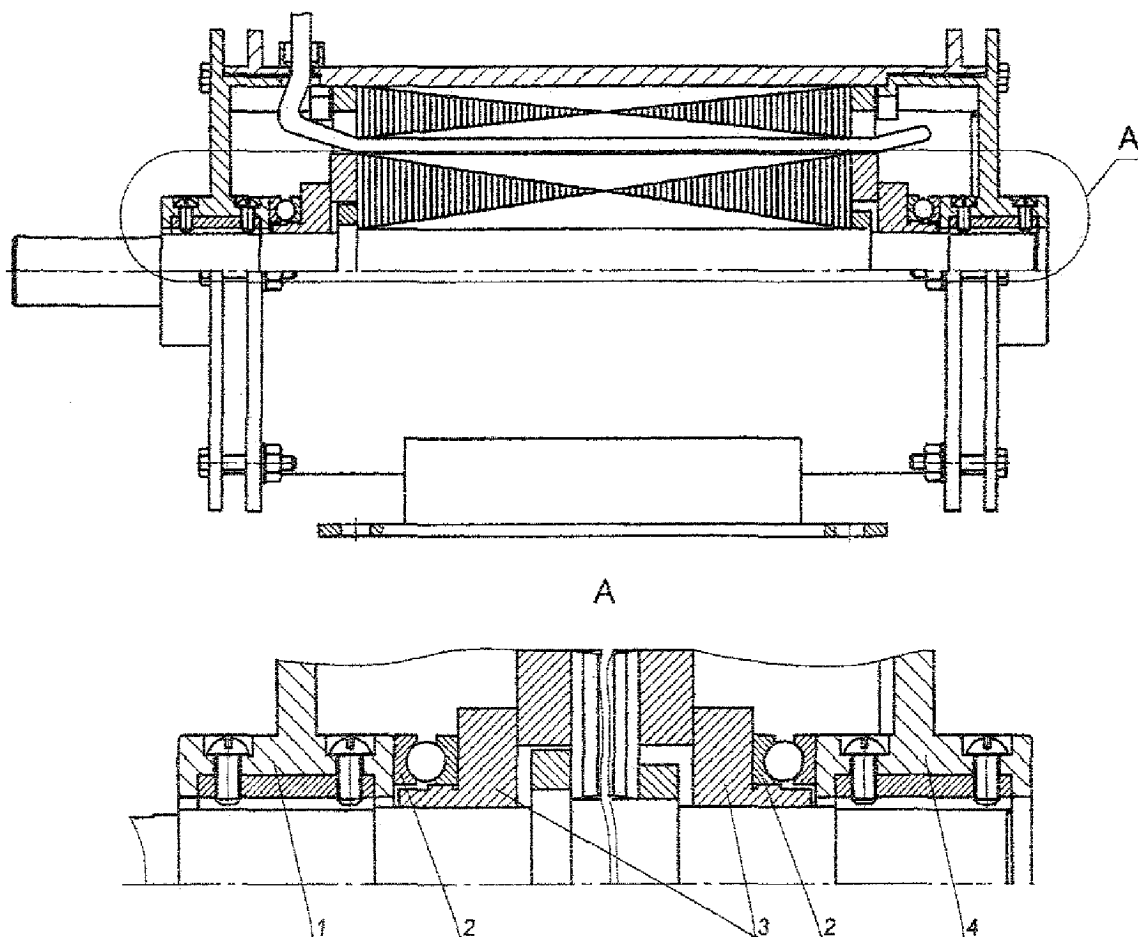
К подшипникам ПЭД предъявляются требования по минимальному коэффициенту трения, высокой износостойкости, устойчивости к электрохимической и биологической коррозии. В АМВ был использован новый класс металлокерамических подшипников скольжения на основе оловянисто-никелевой бронзы с легирующими добавками. Конструкция подшипниковых узлов позволяет работать АМВ при любых положениях крена и дифферента без изменения рабочих характеристик.

При проектировании опытного образца ПЭД специалистами ОАО «НИПТБ «Онега» была решена задача изготовления подшипника простой конструкции из доступных и относительно недорогих материалов. Был создан самосмазывающийся подшипник скольжения из прессованной древесины ГОСТ 9629 [5], что снизило его стоимость. В судостроении для подшипников гребных валов применяется естественная древесина бакаутowego дерева, плотность которой достигает 1400 кг/м^3 . Этот материал содержит до 30 % естественной смолы, которая при работе подшипника выполняет функции смазки, выступая на поверхность трения при повышении температуры. Бакаутвые подшипники при работе по металлу без смазки имеют коэффициент трения 0,13 и допускают давление до 14,0 МПа при невысоких скоростях скольжения. Такие подшипники хорошо работают в морской воде (коэффициент трения от 0,02 до 0,03), изготавливаются наборными из отдельных сегментов в «бочку» или в «ласточкин хвост», в промежутки между сегментами подводится вода, обеспечивающая охлаждение. Конструктивные размеры дейдвудных подшипников из бакаута и технология их сборки представлены в [6]. На рисунке 2 приведён внешний вид разработанного подшипника для ПЭД. Данное решение было защищено патентом РФ на полезную модель [7].



На фото видны втулка, вкладыши из бакаута, упорная планка.
Рисунок 2 – Внешний вид подшипника ПЭД

Для решения проблемы компенсации осевого усилия, возникающего на валу ПЭД при эксплуатации, предлагается использовать два полимерных упорных подшипника фирмы SKF, как представлено на рисунке 3.



1 – щит подшипниковый передний; 2 – шарикоподшипник полимерный упорный SKF;
3 – втулка шарикоподшипника; 4 – щит подшипниковый задний.

Рисунок 3 – Конструкция ПЭД с опорными и упорными подшипниками

В данной конструкции расположение всех элементов ПЭД сохраняется, поэтому пересчёт характеристик ПЭД не требуется. Для установки упорных подшипников (2) на вал ПЭД вплотную к короткозамыкающим кольцам обмотки ротора напрессовываются втулки (3). При подобной конструкции подшипники (2) с одной стороны упираются в торец втулки (3), с другой – в торец подшипникового щита (4).

Полимерные материалы, используемые для производства подшипников SKF, обладают стойкостью к коррозии и воздействию химических веществ, имеют низкий коэффициент трения и высокий усталостный ресурс. Малые деформации используемых полимерных материалов обеспечивают стабильность размеров подшипников на протяжении всего срока эксплуатации. Подшипники SKF в процессе работы не требуют смазывания (являются самосмазывающимися), обладают хорошими демпфирующими свойствами и вибро-акустическими характеристиками. Подшипники SKF

характеризуются невысокой себестоимостью и низкими расходами в течение срока эксплуатации, могут выпускаться в специальных конструктивных исполнениях для определённых областей применения также с невысокой себестоимостью и небольшими партиями.

Для совершенствования системы охлаждения ПЭД в процессе проектирования были рассмотрены два основных пути.

Улучшение охлаждения данного типа двигателей может быть достигнуто, прежде всего, увеличением термических проводимостей от активных частей двигателя к внутренней охлаждающей воде и от внутренней воды к теплообменным поверхностям корпуса. Эти проводимости имеют преимущественно конвективный характер, их увеличение достигается увеличением и развитием охлаждающих поверхностей и увеличением скорости и степени турбулизации охлаждающей жидкости.

Для увеличения интенсивности охлаждения водой, заполняющей двигатель, не только тела и короткозамыкающих колец ротора, но и некоторых областей статора, характеризующихся повышенным тепловыделением (например, пазовой части обмотки и области зазора между статором и ротором, в которых значительна концентрация потерь от трения поверхностей о воду), может быть предложена конструкция с аксиально-тангенциальным потоком охлаждающей среды через полость зазора.

Вода поступает в полость двигателя через отверстия в переднем подшипниковом щите. Циркулирующая жидкость в зазоре между статором и ротором и в пазах статора (в пространстве между элементарными проводниками обмотки статора) происходит благодаря винтонарезной канавке, выполненной на роторе, из-за чего он приобретает свойства ротора винтового насоса и позволяет осуществить дальнейшее движение охлаждающей среды внутри двигателя, используя принцип действия винтового насоса. Для того, чтобы не допустить чрезмерных затрат мощности на перекачивание охлаждающей среды (чтобы двигатель не превратился в насос), но при этом обеспечить необходимый объём для эффективного охлаждения машины разработана конфигурация винтонарезной канавки (однозаходная или трёхзаходная) с учётом закономерностей, известных из теории винтовых насосов, а именно:

- чем больше длина и меньше шаг винтового ротора, тем выше развиваемое насосом давление;

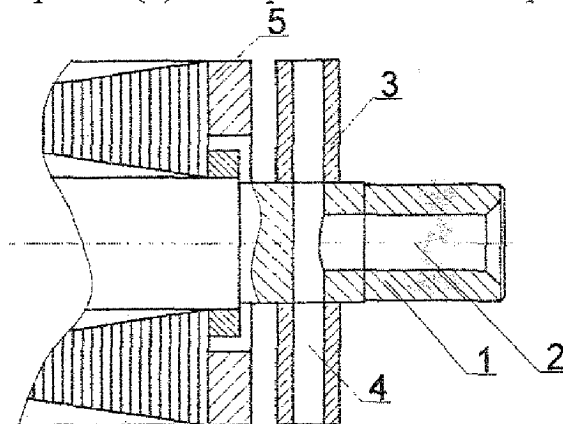
- чем больше объём полостей статора и выше частота вращения ротора, тем больше производительность насоса.

Задний подшипниковый щит в данном случае выполняется глухим. В результате в полости двигателя перед задним подшипниковым щитом создаётся повышенное давление, за счёт которого вода (несжимаемая среда) будет поступать в дополнительные каналы охлаждения, находящиеся между спинкой статора и корпусом двигателя, обеспечивая необходимое движение охлаждающей среды в этих каналах и выводиться из полости двига-

теля. Для организации требуемой циркуляции в подшипниковом щите выполняются канавки, задающие направление течения воды в дополнительные каналы.

В качестве преимуществ совершенствования системы охлаждения по принципу винтового насоса можно рассматривать то, что направление расположения механизма (вертикальное, горизонтальное, под наклоном) не влияет на продуктивность системы и при перекачивании жидкости не происходит её взмучивание и перемешивание, что может оказаться важным в условиях эксплуатации в загрязнённой воде. Данное решение было защищено патентом РФ на полезную модель [8].

Для улучшения процесса охлаждения статора и ротора, как наиболее нагреваемых частей ПЭД, возможно организовать принудительную циркуляцию забортной воды в его внутренней полости с помощью импеллера. Как показано на рисунке 4, наряду с вентиляционными каналами между корпусом и сердечником статора и канавками на роторе, в нерабочей части вала ротора (1) делается осевое отверстие (2), затем на вал ротора (1) насаживается цилиндрический диск (3), в котором выполняется 6-8 радиальных цилиндрических отверстий (4) до пересечения с отверстием (2).



1 – вал ротора; 2 – осевое отверстие вала; 3 – цилиндрический диск;
4 – радиальное цилиндрическое отверстие; 5 – ротор.

Рисунок 4 – Конструкция ротора с импеллером

Полученная система создаёт конструкцию центробежного насоса. При вращении ротора (5) будут осуществляться всасывание забортной воды через осевое отверстие (2) вала (1) и последующий выброс её на периферию с помощью радиальных отверстий (4) цилиндрического диска (3) для прокачки через зазор между статором и ротором. Расходная характеристика насоса будет определяться геометрическими размерами осевого отверстия вала и радиальными отверстиями цилиндрического диска, частотой вращения ротора и гидравлическим сопротивлением тракта движения жидкости в зазоре. Для определения основных параметров импеллера системы охлаждения ПЭД (подачи, мощности, напора и геометрических характеристик) была разработана и опробована на практике соответствующая

шая методика расчёта. При организации данного способа охлаждения изменения существующей конструкции ПЭД минимальны. Данное решение было защищено патентом РФ на полезную модель [9].

Для устранения проблемы биообрастания внутренних частей ПЭД было предложено следующее решение. Наряду с использованием системы охлаждения для борьбы с обрастанием, эффективность которой имеет место только при работающем ПЭД, следует для большей эффективности дополнить механическое предотвращение оседания личинок на поверхности ПЭД системой генерирования ультразвуковых колебаний жидкости, создающих ультразвуковой фильтр над рассматриваемыми поверхностями при неработающем двигателе. Вариант установки ультразвуковых пьезоизлучателей приведён на рисунке 3.

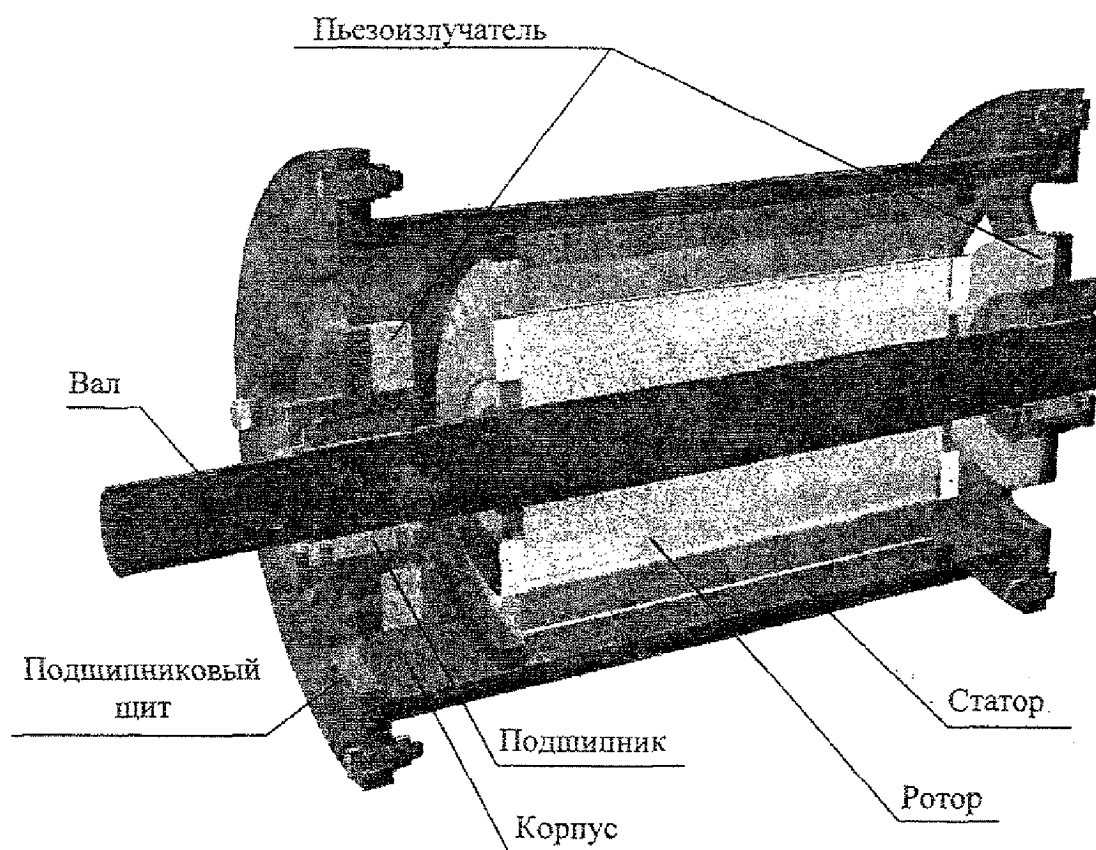


Рисунок 3 – Схема размещения пьезоизлучателей на подшипниковых щитах ПЭД

Благодаря ультразвуковой вибрации личинки обрастателей, попадающие во внутренние полости двигателя, после его останова не будут иметь возможности осесть на поверхности из-за наличия ультразвукового фильтра. Фильтр состоит из генератора и двух кольцевых пьезоэлектрических элементов, которые необходимо концентрически разместить на переднем и заднем подшипниковых щитах. Расположение пьезоэлектрических

ских элементов должно быть таким, чтобы создаваемое ими ультразвуковое поле имело вид цилиндрической поверхности.

Синхронное импульсное возбуждение пьезоизлучателей осуществляется от одного генератора по отдельным цепям формирования ударного импульса (для обеспечения электрической развязки между «горячими» выводами пьезоизлучателей). Данное решение было также защищено патентом РФ на полезную модель [10].

ЛИТЕРАТУРА

1 Ветохин В.И., Олейников А.М., Агафонов В.В., Попов С.В. Перспективы развития погружных электрических машин открытого типа // Проблемы повышения эффективности электромеханических преобразователей в электроэнергетических системах : докл. на междунар. науч.-техн. конф. / Сев. НТУ. – Севастополь, сент. 2005. – С. 14–19.

2 Ветохин В.И. Новый погружной электродвигатель типа АМВ-5 // Судостроение. – 1997. – № 4. – С. 55.

3 Куликов К.Н., Попов С.В., Матвиенко С.И., Гузанов Н.П., Авдюнина В.А. Проблемы проектирования погружных электродвигателей открытого исполнения // Технические проблемы освоения мирового океана : докл. на третьей всеросс. науч.-техн. конф. / Дальневосточное отделение РАН. Институт проблем морских технологий. – Владивосток, 22–25 сентября 2009. – С. 65–70.

4 Попов С.В., Матвиенко С.И., Гузанов Н.П., Авдюнина В.А. Подшипник для погружных электродвигателей открытого исполнения // Конструкторские разработки : сб. научн. тр. / ОАО «НИПТБ «Онега». – Северодвинск, 2012. – № 7. – С. 45–50.

5 ГОСТ 9629–81. Заготовки из модифицированной древесины. Технические условия. – Введ. 1982–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 16 с.

6 Архангельский Б.А., Кулапин А.В. Судовые подшипники из неметаллических материалов. – Л. : Судостроение, 1969. – 264 с.

7 Пат. 81276 Российская Федерация, МПК F16C 17/14 (2006.01). Подшипник скольжения для погружного электродвигателя открытого исполнения / Попов С.В., Матвиенко С.И., Гузанов Н.П. (Россия) ; заявитель и патентообладатель ОАО «НИПТБ «Онега», г. Северодвинск. – № 2008127798/22; заявл. 08.07.2008; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 7. – 1 с. : ил.

8 Пат. 85767 Российская Федерация, МПК H02K 5/12 (2006.01). Погружной асинхронный двигатель открытого исполнения / Попов С.В., Гузанов Н.П., Матвиенко С.И., Авдюнина В.А. (Россия); заявитель и патентообладатель ОАО «НИПТБ «Онега», г. Северодвинск. – № 2008149359/22; заявл. 15.12.2008; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22. – 1 с. : ил.

9 Пат. 94082 Российская Федерация, МПК H02K 5/12, H02K 9/12 (2006.01). Погружной асинхронный двигатель открытого исполнения / Попов С.В., Матвиенко С.И., Гузанов Н.П., Авдюнина В.А. (Россия); заявитель и патентообладатель ОАО «НИПТБ «Онега», г. Северодвинск. – № 2010101299/22; заявл. 18.01.2010; опубл. 10.05.2010, Бюл. № 13. – 1 с. : ил.

10 Пат. 87842 Российская Федерация, МПК H02K 5/12 (2006.01). Погружной асинхронный двигатель открытого исполнения / Попов С.В., Матвиенко С.И., Васильев А.В., Авдюнина В.А. (Россия); заявитель и патентообладатель ОАО «НИПТБ «Онега», г. Северодвинск. – № 2009122144/22; заявл. 09.06.2009; опубл. 20.10.2009, Бюл. № 29. – 1 с. : ил.