

16. Han H., Lee K., Park S. Estimate of the fatigue life of the propulsion shaft from torsional vibration measurement and the linear damage summation law in ships // Ocean Engineering. — 2015. — Vol. 107. — P. 212—221

References

1. Grinek A.V., Boychuk I.P., Kosolap YU.G. Цифровое моделирование в жизненном цикле изделий и автоматизации технологических процессов судостроения (2019) [Digital modeling in the life cycle of products and automation of technological processes of shipbuilding] 4 (93). 100-114. DOI: 10.34046/aumsuomt93/17
2. Galkina O., Ryndin A., Rjaben'kij L., Tuchkov A., Fertman I. Jelektronnaja informacionnaja model' izdelij sudostroenija na razlichnyh stadijah zhiznennogo cikla (2007)[Electronic information model of shipbuilding products at various stages of the life cycle]. 48-51.
3. Budnichenko M. A., Kuz'min V. V. Opyt ispol'zovaniya jelektronnyh tehnologij na sudostroitel'nom predpriyatii (2019) [Experience in the use of electronic technologies in a shipbuilding enterprise]. 1. 43-45.
4. Kljahin V. N., Chulkin S. G., Mineev A. S., Fomichev A. B. Ispol'zovanie metodologii sistemnogo analiza pri proektirovanii korabel'nyh sistem podderzhki prinjatija reshenij (2019) [The use of system analysis methodology in the design of ship decision support systems]. 1. 52-58.
5. <https://www.mathworks.com/>
6. Bashkatov V.A., Khudyakov S.A., Ignatenko A.V. (2021), 2061 (1), art. no. 012054, DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012054
7. Hudyakov S.A., Pal'chik K.B., Syusyuka E.N. Analiz defektov valoprovodov morskikh sudov i metody ih ustraneniya (2019) [Analysis of defects in sea-going shafting and methods for their elimination] 2 (91). 89-92. DOI: 10.34046/aumsuomt91/15
8. Chura M. N. K ocenke ustalostnoj prochnosti materialov sudovykh valoprovodov (2019) [Evaluation of fatigue strength of materials of ship shafting] C. 115-121 DOI: 10.34046/aumsuomt93/18
9. <https://www.ansys.com>
10. Alekseyanc S.YU., Grinek A.V., Boychuk I.P. Modelirovanie trenazhera sudovogo glavnogo raspredelitel'nogo shchita v srede SimInTech (2020) [Simulation of the ship's main switchboard simulator in the environment]. 3(96). 132-138. DOI: 10.34046/aumsuomt96/19
11. Yaghobi H., Ansari K., Mashhadi H. Rajabi. Analysis of Magnetic Flux Linkage Distribution in Salient-Pole Synchronous Generator with Different Kinds of Inter-Turn Winding Faults // Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering. — 2011. — Vol. 7, № 4. — P. 260—272.
12. Wang B.-L., Gu W., Chu J.-X., Wu W.-M., Guo Y. Modeling a dual three-phase permanent magnet synchronous motor for electrical propulsion of ships (2009), 30 (4), pp. 347 – 352
13. Grinek A., Boychuk I., Fishenko A., Savosteenko N., Gerasimenko O. 2021 Investigation of the operation of a ship's synchronous generator based on a numerical model Journal of Physics: Conference Series DOI:10.1088/1742-6596/2061/1/012004.
14. Grinek A.V., Boychuk I.P., Fishchenko A.M., Perehygin D.N., Alfimova N.I. Sistema prediktivnoj diagnostiki grebnogo valoprovoda i chislennoe modelirovanie kak sostavlyayushchie cifrovogo dvojnika sudovoj sistemy (2022)[The system of predictive diagnostics of the propeller shafting and numerical modeling as components of the digital twin of the ship system]. 12. 30-33.
15. Timofeev S., Grinek A., Hurtasenko A., Boychuk I. Machining technology, digital modelling and shape control device for large parts (2022), 24 (2), pp. 6 – 24 DOI: 10.17212/1994-6309-2022-24.2-6-2
16. Han H., Lee K., Park S. Estimate of the fatigue life of the propulsion shaft from torsional vibration measurement and the linear damage summation law in ships // Ocean Engineering. — 2015. — Vol. 107. — P. 212—221

УДК 621.3

DOI: 10.34046/aumsuomt105/36

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ И МОРСКИХ СУДОВ

В.В. Шкода, кандидат педагогических наук

Т.А. Макаревич, кандидат физико-математических наук, доцент (Беларусь)

М.А. Модина, кандидат технических наук, доцент

Ю.С. Кузнецова кандидат педагогических наук, доцент

К.И. Орехов, магистрант

А.С. Геворгян, магистрант

Уровень развития промышленности в настоящее время требует постоянной модернизации производимого насосного оборудования: совершенствования его конструкции и технологии изготовления, а также

повышения энергоэффективности и конкурентоспособности на мировом рынке [1,6]. В статье проводится анализ перспективных направлений совершенствования конструкций топливных насосов для воздушных и морских судов.

Ключевые слова: морские суда, топливные насосы, морские суда, воздушные суда, экологичность.

ANALYSIS OF PROMISING AREAS FOR IMPROVING FUEL PUMP DESIGNS FOR AIRCRAFT AND MARINE VESSELS

V.V. Skoda, T.A. Makarevich, M.A. Modina, Yu.S. Kuznetsova, K.I. Orekhov, A.S. Gevorgyan.

The level of industrial development currently requires constant modernization of the pumping equipment produced: improving its design and manufacturing technology, as well as improving energy efficiency and competitiveness in the world market. The article analyzes promising areas for improving fuel pump designs for aircraft and marine vessels.

Keywords: marine vessels, emissions, fuel pumps, marine vessels, aircraft, environmental friendliness.

Топливные насосы для воздушных и морских судов служат для перекачки топлива и относятся к особому классу насосов.

В последнее время активно развивается класс электрических машин аксиальной конструкции различного назначения, в том числе и насосов. Это обусловлено рядом преимуществ таких машин по сравнению с машинами радиальной конструкции: меньшими размерами; большей жесткостью конструкции; благоприятными условиями теплоотдачи, охлаждения и вентиляции; существенным упрощением обмоточных работ благодаря открытой зубцовой зоне; практически безотходным использованием магнитных материалов; удобством сочленения с механизмом и приводом; сравнительной простотой эксплуатации и ремонта и т.д. [1]. К таким электрическим машинам относятся перспективные двигатели-насосы [2-5], разработанные под руководством проф. Гайтова Б.Х. учеными Кубанского государственного технологического университета и Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков. Известен двигатель-насос [6], содержащий статор электродвигателя, представляющий собой магнитопровод с пазами, в которые уложена первичная обмотка, массивное рабочее колесо-ротор, представляющее собой полый барабан, на внутренней поверхности которого размещены лопаточные венцы осевого насоса. Однако в таком двигателе-насосе за счет большого активного сопротивления массивного рабочего колеса ротора имеют место повышенные потери, основная доля которых рассеивается в окружающее пространство в виде тепла. За счет этих потерь перекачиваемая таким насосом жидкость нагревается и теряет вязкость, что для топлива неприемлемо, так как может привести к его недопустимому нагреву и изменению его физических свойств.

Известен также насос аксиальной конструкции [7] содержащий корпус, смонтирован-

ные в нем статоры электродвигателя и рабочее колесо насоса, являющееся ротором электродвигателя и выполненное в виде связанных между собой двух роторов-дисков, расположенных между двумя торцовыми поверхностями двух статоров электродвигателя с необходимыми воздушными зазорами, причем один из статоров электродвигателя является отключаемым от сети питания независимо от другого, а насос снабжен установленным в корпусе на подшипниках валом, на котором закреплено рабочее колесо. Однако конструкция такого насоса не предусматривает защиту статорной обмотки от вредного механического и химического воздействия перекачиваемой жидкости, что может привести к повреждению изоляции обмотки статора с последующим коротким замыканием обмотки. Существенным недостатком такого насоса является наличие массивных роторов-дисков, изготовленных из конструкционной стали, приводящее к неоправданно большим потерям мощности на вихревые токи в массиве роторов-дисков и магнитный гистерезис, что приводит к сильному нагреву ротора и, следовательно, к большим потерям энергии и существенному снижению КПД насоса. Отсутствие обмоток на роторах-дисках снижает энергетические показатели насоса в целом. Кроме того, стальные массивные роторы-диски обладают большой массой, вследствие чего ухудшают массогабаритные показатели насосного агрегата в целом, роль обмоток выполняет конструкционная сталь, имеющая большое активное сопротивление. Вал, соединяющий роторы такого насоса, должен иметь достаточно большой диаметр и, соответственно, большую массу для передачи крутящих и изгибающих моментов, осевых и радиальных усилий, что также приводит к ухудшению массогабаритных показателей насоса. Для защиты статорной обмотки электродвигателя насоса от вредного механического и химического воздействия перекачиваемой жидкости, уменьшения нагрева перекачиваемой жидкости и насоса в целом, повышения

энергетических показателей, снижения потерь энергии, повышения КПД и улучшения массогабаритных показателей насосного агрегата разработан аксиальный центробежный двигатель-насос [2].

Статор электродвигателя двигателя-насоса, смонтированный в корпусе, герметично отделяется от проточной части двигателя-насоса тонкой мембраной, изготовленной из диэлектрического материала и защищающей трехфазную обмотку статора от вредного механического и химического воздействия перекачиваемой жидкости. Аксиальный магнитопровод ротора выполняется шихтованным из электротехнической стали с коротко-замкнутой алюминиевой обмоткой и впрессовывается в изготовленное из легкого алюминиевого сплава рабочее колесо двигателя-насоса с лопастями. Полученное таким образом свободно вращающееся рабочее колесо-ротор двигателя-насоса устанавливается свободно вращающимся на неподвижно закрепленной в корпусе оси. Разработанная конструкция в отличие от известных позволяет с помощью мембраны из диэлектрического материала защитить статорную обмотку аксиального центробежного двигателя-насоса от вредного воздействия перекачиваемой жидкости, уменьшить нагрев перекачиваемой жидкости за счет снижения потерь на вихревые токи и магнитный гистерезис, повысить энергетические показатели насоса в целом за счет выполнения рабочего колеса-ротора с шихтованным магнитопроводом с обмоткой, снизить потери энергии и повысить КПД за счет уменьшения потерь на магнитный гистерезис. Потери на магнитный гистерезис уменьшаются в предлагаемой конструкции в силу магнитных свойств электротехнической стали, из которой выполнен магнитопровод рабочего колеса-ротора. Уменьшить потери мощности на вихревые токи позволяет выполнение магнитопровода рабочего колеса-ротора шихтованным. Улучшение массогабаритных показателей насоса обеспечивается за счет частичного выполнения рабочего колеса-ротора из легкого алюминиевого сплава и обеспечения передачи вращающего момента за счет электромагнитных сил, что позволяет заменить приводной вал, имеющий большой диаметр и, соответственно, массу, на неподвижно закрепленную ось малого диаметра и малой массы.

Опыт эксплуатации показал, что недостатком такого аксиального центробежного двигателя-насоса является наличие большого воздушного зазора между магнитопроводами статора и

ротора, приводящее к увеличению магнитного сопротивления, а следовательно к увеличению токов, необходимых для создания требуемого магнитного потока (тока намагничивания), т.е. к увеличению требуемого сечения проводов обмоток и, соответственно, к ухудшению массогабаритных показателей аксиального центробежного двигателя-насоса, увеличению его стоимости, увеличению потерь энергии и снижению КПД. Существенным недостатком такого аксиального центробежного двигателя-насоса, как и любой аксиальной электрической машины, является также наличие большого осевого (аксиального) электромагнитного усилия, вызванного в результате притяжения ротора и статора. Это усилие ведет к преждевременному выходу из строя подшипниковых узлов, что уменьшает надежность работы двигателя-насоса, а наличие подшипниковых узлов, необходимых в прототипе для обеспечения возможности вращения ротора, усложняет конструкцию двигателя-насоса в целом. Кроме того, перекос ротора относительно статора, вызванный большим осевым (аксиальным) электромагнитным усилием, может привести к заклиниванию ротора, что снижает надежность работы насосного агрегата в целом. Для уменьшения зазора между статором и ротором двигателя-насоса, улучшения его массогабаритных показателей, снижения стоимости и потерь энергии, повышения КПД, упрощения конструкции и повышения надежности насосного агрегата в целом разработан аксиальный двигатель-насос [3]. Аксиальный двигатель-насос [3] содержит корпус, смонтированный в нем статор электродвигателя, представляющий собой аксиальный шихтованный магнитопровод с пазами, в которые уложена трехфазная обмотка, и рабочее колесо-ротор. Статор электродвигателя герметично отделен от проточной части насоса тонкой мембраной из диэлектрического материала и имеет калиброванное отверстие в центре, а рабочее колесо-ротор, выполненное из легкого алюминиевого сплава, имеет шихтованный аксиальный магнитопровод, в пазы которого уложена короткозамкнутая обмотка. Между рабочим колесом-ротором и статором установлено Т-образное кольцо, а выходной канал двигателя-насоса выполнен с обводной трубой, соединенной с калиброванным отверстием.

Регулирование зазора между ротором и статором осуществляется следующим образом. При повышении давления в полости между статором и ротором ротор в силу известных законов гидравлики стремится сместиться от статора в

осевом направлении. Величина смещения определяет ширину щели между ротором и кольцом. Ширина щели, в свою очередь определяет величину давления в полости ротор-статор-кольцо. При увеличении щели количество сливаемой жидкости увеличивается, и давление в полости ротор-статор-кольцо падает. Таким образом, зазор между ротором и статором двигателя-насоса регулируется автоматически. При возникновении перекоса ротора в секторе, в котором удаление ротора от статора наибольшее, ширина щели возрастает, уменьшая тем самым давление под ротором в этом секторе. В противоположном секторе ширина щели уменьшается, а давление, соответственно, увеличивается. Неравенство сил давления в противоположных секторах ротора приводит к появлению сил и моментов, устраняющих возникший перекоп, то есть к автоматическому регулированию зазора между статором и ротором. Разработанный двигатель-насос в отличие от предыдущей конструкции и других известных центробежных насосов позволяет уменьшить зазор между статором и ротором двигателя-насоса, ограничив его только высотой кольца Т-образного сечения; улучшить массогабаритные показатели насосного агрегата, снизить его стоимость, упростить конструкцию и повысить надежность насосного агрегата в целом за счет выполнения двигателя-насоса без подшипников и вала (оси), а также снизить потери энергии и, соответственно, повысить КПД за счет уменьшения воздушного зазора между статором и ротором и уменьшить потери на рассеивание магнитного потока. Другое решение задачи уменьшения зазора между статором и ротором двигателя-насоса, улучшения его массогабаритных показателей, снижения стоимости и потерь энергии, повышения КПД, упрощения конструкции и повышения надежности насосного агрегата в целом изложено в [4, 5, 7].

По периметру статора такого двигателя-насоса выполняются кольцевые канавки полукруглого сечения, в которые укладываются диэлектрические тела качения, а по периметру рабочего колеса-ротора двигателя-насоса посредством аналогичных канавок рабочее колесо-ротор двигателя-насоса устанавливается на диэлектрические тела качения с возможностью вращения [6]. Предлагаемое решение в отличие от известных также позволяет: уменьшить зазор между статором и ротором двигателя-насоса за счет повышения жесткости конструкции, обусловленной большой опорной поверхностью рабочего колеса-ротора благодаря размещению тел качения по

всему периметру статора и рабочего колеса-ротора, ограничив величину зазора только состоянием поверхностей (шероховатость и плоскостность) статора и ротора; улучшить массогабаритные показатели насосного агрегата, снизить его стоимость, упростить конструкцию и повысить надежность насосного агрегата в целом за счет выполнения двигателя-насоса без подшипников и вала (оси), а также снизить потери энергии и, соответственно, повысить КПД за счет выполнения тел качения из диэлектрика, уменьшая тем самым нагрев перекачиваемой жидкости за счет снижения потерь на вихревые токи и магнитный гистерезис в телах качения.

Литература

1. Гайтова Т.Б., Капин Я.М. Нетрадиционные электротехнические комплексы (теория, расчет и конструкции). – Краснодар: КВАИ, 2004. – 403 с.
2. Пат. РФ на изобретение № 2284426. 20.04.2005 г. Аксиальный центробежный двигатель-насос / Б.Х. Гайтов, Я.М. Капин, М.И. Рябухин, Т.Б. Гайтова.
3. Пат. РФ на изобретение № 2340974. 26.10.2007 г.. Аксиальный двигатель-насос / Б.Х. Гайтов, Я.М. Капин, М.И. Рябухин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Капин.
4. Пат. на полезную модель № 67769. 10.07.2007 г. Аксиальный безваловый двигатель-насос / Б.Х. Гайтов, Я.М. Капин, М.И. Рябухин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Капин.
5. Пат. РФ на изобретение № 2343318. 31.05.2007 г. Аксиальный центробежный двигатель-насос / Б.Х. Гайтов, Я.М. Капин, М.И. Рябухин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Капин. 6. Гайтов Б.Х. Управляемые двигатели-машины. М.: Машиностроение, 1981. – 183 с.
6. Волков А.В., Парыгин А.Г., Вихлянцев А.А. Анализ перспективных направлений совершенствования насосных агрегатов нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств // Химическая техника, Маркет Скиппер. – 2018. – С. 5-9.
7. Волков А.В., Парыгин А.Г., Вихлянцев А.А., Дружинин А.А. К вопросу об оптимизации проточной части рабочих колёс центробежных насосов // Надежность и безопасность энергетики. – 2018. – Т. 11. – № 4. – С. 311-318.

References

1. Gajtova T.B., Kashin YA.M. Netradicionnye elektrotekhnicheskie komplekсы (teoriya, raschet i konstrukcii). Krasnodar: KVAI, 2004. – 403 s.
2. Pat. RF na izobretenie № 2284426. 20.04.2005 g. Aksial'nyj centrobezhnyj dvigatel'-nasos / B.H. Gajtov, YA.M. Kashin, M.I. Ryabuhin, T.B. Gajtova.
3. Pat. RF na izobretenie № 2340974. 26.10.2007 g.. Aksial'nyj dvigatel'-nasos / B.H. Gajtov, YA.M. Kashin, M.I. Ryabuhin, T.B. Gajtova, A.YA. Kashin.

4. Pat. na poleznuyu model' № 67769. 10.07.2007 g. Aksial'nyj bezvalovyy dvigatel'-nasos / B.H. Gajtov, YA.M. Kashin, M.I. Ryabuhin, T.B. Gajtova, A.YA. Kashin.
5. Pat. RF na izobretenie № 2343318. 31.05.2007 g. Aksial'nyj centrobeznyj dvigatel'-nasos / B.H. Gajtov, YA.M. Kashin, M.I. Ryabuhin, T.B. Gajtova, A.YA. Kashin. 6. Gajtov B.H. Upravlyaemye dvigateli-mashiny. M.: Mashinostroenie, 1981. – 183 s.
6. Volkov A.V., Parygin A.G., Vihlyancev A.A. Analiz perspektivnyh napravlenij sovershenstvovaniya nasosnyh agregatov neftekhimicheskikh i neftepererabatyvayushchih proizvodstv//Himicheskaya tekhnika, Market Skipper 2018g., str. 5-9.
7. Volkov A.V., Parygin A.G., Vihlyancev A.A., Druzhinin A.A. K voprosu ob optimizacii protochnoj chasti rabochih kolyos centrobeznyh nasosov //Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki. 2018. T. 11. № 4. S. 311-318.

УДК 621.431.74

DOI: 10.34046/aumsuomt105/37

К ВОПРОСУ О ВНЕДРЕНИЕ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА НА ОБЪЕКТАХ МОРСКОЙ ОТРАСЛИ

*В.В. Герасиди, кандидат технических наук, доцент
А.А. Кротенко, курсант
И.В. Чос, курсант*

В данной статье рассматривается производство и внедрение водородной энергетики на объекты морской отрасли. Приводится ряд отечественных разработок технологий создания энергоустановок с водородными топливными элементами. Представлены ведущие разработчики и основные положительные и отрицательные стороны водородного топлива и его производства, а также способы получения и экономическая составляющая. Проводится анализ и темпы развития перехода морской отрасли на водородное топливо с учетом стоимости производства водорода в России. Полученные результаты анализа показывают, что большая часть компаний расположена именно на территории Норвегии и на данный момент водород является самым экологичным видом топлива, который способен продлить наше время на день другой. С переход на водородное топливо на морских судах появятся специалисты с новыми профессиями будущего.

Ключевые слова: водородное топливо, энергетические установки, загрязнение, анализ, разработки.

ON THE ISSUE OF THE INTRODUCTION OF HYDROGEN FUEL AT THE FACILITIES OF THE MARINE INDUSTRY

V.V.Gerasidi, A.A. Krotenko, I.V. Chos

This article discusses the production and implementation of hydrogen energy at the facilities of the marine industry. A number of domestic developments of technologies for creating power plants with hydrogen fuel cells are given. The leading developers and the main positive and negative sides of hydrogen fuel and its production, as well as the methods of obtaining and the economic component are presented. The analysis and the pace of development of the transition of the marine industry to hydrogen fuel is carried out, taking into account the cost of hydrogen production in Russia. The results of the analysis show that most of the companies are located on the territory of Norway and at the moment hydrogen is the most environmentally friendly type of fuel that can extend our time for another day. With the transition to hydrogen fuel, specialists with new professions of the future will appear on ships.

Keywords: hydrogen fuel, power plants, pollution, analysis, development.

Введение

В последнее время все острее становится проблема загрязнения окружающей среды выбросами серы, углекислого газа, азота и многих других соединений, разрушающих наш привычный мир. Согласно недавним подсчетам ученых уже к 2050 году человечество достигнет “точки невозврата”, если не сократит выбросы выше перечисленных веществ. К сожалению, эта проблема не обошла и отрасль перевозки грузов морем. Для питания массивных судов требуется большое количество энергии, и побочные продукты от этого составляют примерно 2,5% глобальных выбросов

парниковых газов. Международная морская организация (ИМО) согласилась сократить глобальные морские выбросы на 50% к 2050 году. В связи с этим все большее внимание обращается в сторону экологического топлива. В данной статье мы постараемся рассмотреть пути развития данной технологии, её плюсы и минусы.

1. Водородная энергия в России

В ходе прошедшего в июне 2021 года в Санкт-Петербурге X Международного военно-морского салона свои проекты в области водородной энергетики представил филиал Центральный НИИ судовой электротехники и технологии