

4. Таран В.В. Роль органического сельско-хозяйственного производства в решении проблем глобальных климатических изменений / В.В. Таран, Н.Д. Аварский, Ж.Е. Соколова // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2018. – № 1. – С. 62–78.
5. Агрегат для утилизации незерновой части урожая в качестве удобрения / И.Ю. Богданчиков, Д.В. Иванов, Н.В. Бышов [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – № 4. – С. 5–11. – DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-32-5-11.
6. Пат. 179 685 Российская Федерация, СПК А01F 29/00 (2006.01); А01D 34/43 (2006.01). Агрегат для утилизации незерновой части урожая в качестве удобрения [Текст] / Богданчиков И.Ю., Иванов Д.В., Бышов Н.В., Бачурин А.Н., Качармин А.А. заявитель и патентообладатель Богданчиков И.Ю. – № 2017140290/13 (070001); заявл. 20.11.17; опубл. 22.05.18, Бюл. №15. – 2 с.
7. Богданчиков И.Ю. Полевые испытания программного модуля аналитического блока агрегата для утилизации незерновой части урожая в качестве удобрения / И.Ю. Богданчиков, В.А. Романчук, Д.В. Иванов // Вестник АПК Ставрополя. – 2019. – №3(35). – С.4–9. – DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-35-4-9.
8. Русакова И.В. Биопрепараты для разложения растительных остатков в агроэкосистемах / И.В. Русакова // Juvenis scientia. – 2018. – №9. – С. 4–9.

СУДОВЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЬНО-ДВИГАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОЛЬЦЕВОГО ТИПА



Тимофеев Сергей Сергеевич

Старший преподаватель кафедры электромеханики и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения



Комендантов Андрей Юрьевич

Студент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения

Аннотация: Статья посвящена перспективным судовым системам электродвижения выполненного на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами. В данной статье рассматриваются основные параметры синхронного двигателя кольцевого типа. Этот двигатель предназначен для работы только на малых частотах вращения, при этом его КПД не достаточно высок, но за счет конструкции имеет повышенный гидродинамический КПД. Главной особенностью рассматриваемого двигателя является новая конструкция, которая в настоящее время не оценена по достоинству. Сама конструкция имеет свои плюсы и минусы, но способов применения очень много и каждый является в той или иной части эффективнее ранее используемых типов судовых электрических машин.

Ключевые слова: двигатель, электродвижение, синхронный, движение, судовые.

Abstract: The article is devoted to perspective ship electric motion systems based on synchronous motor with permanent magnets. Basic parameters of ring type synchronous motor are considered in this article. This motor is designed to work only at low speeds, and its efficiency is not high enough, but due to the design has an increased hydrodynamic efficiency. The main feature of the considered motor is a new design, which is currently not appreciated on its merits. The design itself has its pluses and minuses, but there are many ways of application and each of them is in this or that part more efficient than previously used types of marine electric machines.

Keywords: motor, electric, synchronous, movement, ship's.

Введение

Двигательно-движительные системы кольцевой конструкции в настоящее время мало исследованы и в основном нигде не используются, но у них есть значительные преимущества перед движетелями обычной конструкции. Основная цель исследования – сконструировать синхронный двигатель кольцевой конструкции с постоянными магнитами нового типа исполнения. Для достижения данной цели был произведен расчет электрической машины и моделирование всех действующих нагрузок. Моделирование магнитных, тепловых и механических нагрузок происходило в пакетах прикладных программ SolidWorks и Elcut.

Основная часть

Двигательно-движительные системы кольцевого типа. На большинстве судов, планируемых к постройке в нашей стране, в том числе для эксплуатации в северных широтах России, в качестве пропульсивного комплекса используют систему электродвижения (СЭД). СЭД предназначена для обеспечения движения судна во всех ходовых режимах. По сравнению с традиционными пропульсивными комплексами на базе тепловых двигателей, СЭД имеют ряд преимуществ, в том числе:

- высокие маневренные характеристики судна;
- высокая перегрузочная способность пропульсивного комплекса;
- сравнительно низкие эксплуатационные расходы;
- высокий КПД при работе на долевых нагрузках;
- возможность рационального размещения оборудования на судне с увеличением полезного объема;
- сокращение сроков постройки судна и доковых ремонтных работ.

В состав СЭД входит движитель, гребной электродвигатель (ГЭД), полупроводниковые преобразователи частоты (ППЧ), силовые трансформаторы, электрощитовое оборудование и система автоматического управления и регулирования. В качестве движителей в составе СЭД применяются гребные винты или азимутальные винторулевые колонки (ВРК). При использовании в составе СЭД азимутальных ВРК исключается необходимость реверсирования винта, что позволяет применять неревверсивные среднеоборотные ГЭД. При этом управление курсом, торможение и реверс судна осуществляются разворотом колонок. В рамках Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 гг. в ЗАО «РЭПХ» при участии ЗАО «НПЦ «Электродвижение судов» и ЗАО «НПП Морская техника» создается новый тип СЭД на базе двигательно-движительных систем кольцевой конструкции (ДДС КК) с погружным ГЭД. Принципиально новым элементом в СЭД нового поколения является погружной ГЭД кольцевого типа, совмещенный с гребным винтом. Благодаря интеграции двигателя и движителя в единую конструкцию, в отличие от традиционных механических ВРК, в ДДС КК отсутствует вал и конический

редуктор. В отличие от электрических ВРК типа 2 «AZIPOD», корпус ГЭД в ДДС КК не препятствует протеканию потока воды от гребного винта, поскольку последний находится внутри полого ротора [1].

Благодаря интеграции двигателя и движителя в единую конструкцию, в отличие от традиционных механических ВРК с Z-образной и L-образной передачами, в ДДС КК отсутствуют тяжелые валы и сложный, дорогостоящий, громоздкий конический редуктор. При этом следует отметить, что редукторы подобного типа мощностью свыше 400 – 500 кВт в настоящее время закупаются за рубежом, поскольку их серийное производство в России не освоено.

По сравнению с электрическими ВРК типа AZIPOD, корпус кольцевого ГЭД не препятствует потоку воды от гребного винта, поскольку последний находится внутри полого ротора. Использование электродвигателя данной конструкции повышает гидродинамический КПД пропульсивного комплекса, а также открывает возможность применения съемных технологических лопастей, образующих бесступичный гребной винт типа «импеллер» повышенной эффективности в полости ротора кольцевого ГЭД.

В отличие от традиционных установок, в составе ДДС КК применяется синхронный электродвигатель с постоянными магнитами. Среди преимуществ таких электрических машин следует выделить следующие:

- минимальные массогабаритные показатели по сравнению с другими типами электродвигателей;
- высокая надежность, в том числе за счет большого воздушного зазора;
- высокий КПД благодаря отсутствию потерь на возбуждение;
- хорошие условия теплоотвода.

Модель синхронного двигателя с постоянными магнитами кольцевого типа и его основные характеристики ранее рассчитанные, представлена на рис. 1 и табл. 1.

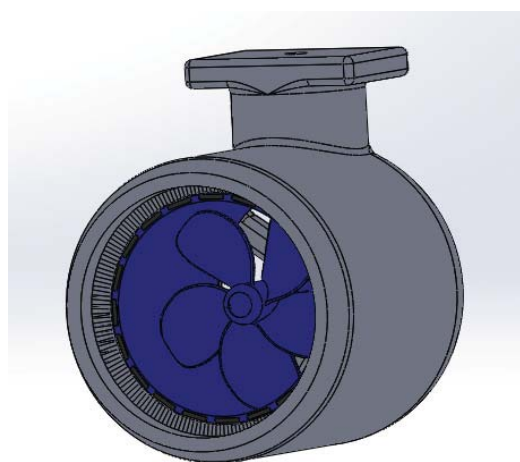


Рис. 1. Модель синхронного двигателя с постоянными магнитами кольцевого типа

Таблица 1
Основные характеристики ДДСКК

Параметр	Единицы измерения	Значение
Мощность	кВт	5
Номинальная скорость	Об/мин	300
Частота	Гц	50
Число пазов	-	90
Число пар полюсов	штук	20
КПД	%	88,3
Внешний диаметр статора	мм	423
Внутренний радиус статора	мм	161
Внешний радиус ротора	мм	160

Двигательно-движительный модуль кольцевой конструкции содержит обтекатель, являющийся элементом легкого корпуса, формирующего кормовую оконечность аппарата, многолопастной гребной винт со ступицей большого диаметра, гребной электродвигатель, опорный и упорный подшипники, отличающийся тем, что устройство выполнено в виде модуля, размещенного вне прочного корпуса кормовой оконечности подводного аппарата. В качестве электродвигателя выбран синхронный двигатель с постоянными магнитами. При проведении магнитостатического анализа были выбраны материалы для создания электрической машины. Материалы выбирались после сравнения значений магнитной индукции в различных элементах машины.

Для создания ротора и статора была выбрана электротехническая сталь марки 1511, а в качестве материалов для магнитов по данным анализа выбран сплав самарий кобальт. Цветовая картина распределения магнитного поля возбуждения с выбранными материалами представлена на рис. 2. В табл. 2 приведены значения магнитной индукции в различных частях электрической машины.

Таблица 2
Максимальные значения индукции в элементах машины

Тип электротехнической стали	1511
Максимальное значение индукции в спинке статора, Тл	1.86
Максимальное значение индукции в магнитах, Тл	0.62
Максимальное значение индукции в воздушном зазоре, Тл	1.31
Максимальное значение индукции в зубцах, Тл	1.71

Параметры гребного винта

Основным элементом рассчитанной модели является гребной винт. При выборе гребного винта необходимо учитывать его основные параметры, при учете которых сделанный выбор будет обеспечивать высокую надежность всей системы:

- Диаметр

Внешний диаметр винта – это диаметр окружности, описываемой внешними кромками лопастей. Как правило, на небольшие надувные лодки и катера устанавливают винт с большим внешним диаметром,

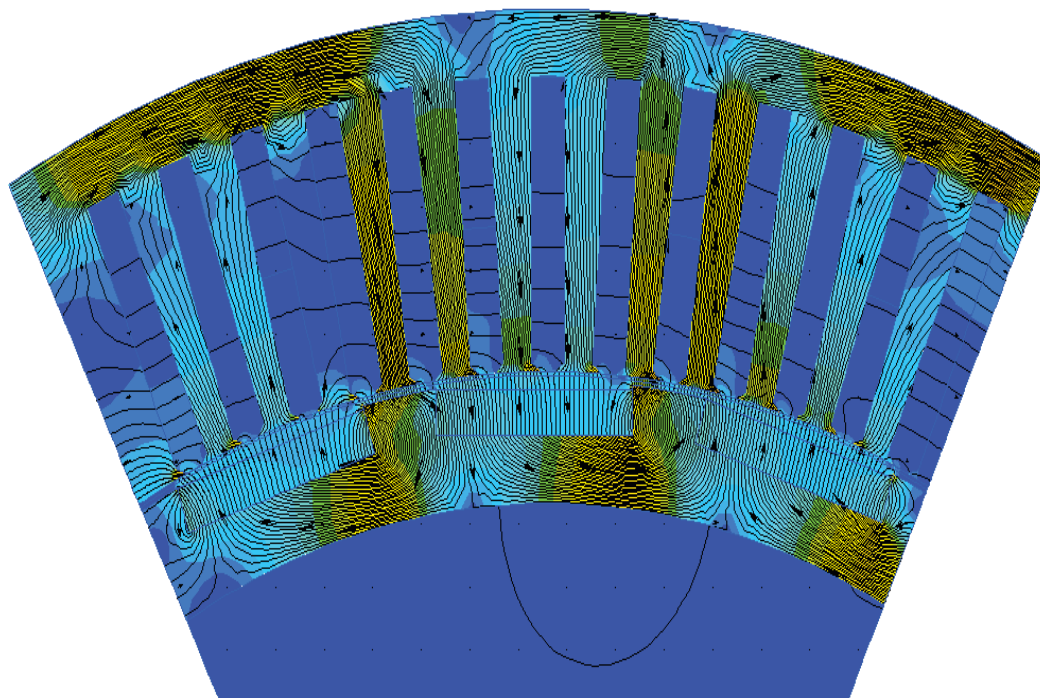


Рис. 2. Цветовая картина распределения магнитного поля возбуждения

а для скоростных судов – с меньшим; диаметр тем больше, чем меньше обороты двигателя (меньше скорость двигателя и/или больше редуктор). При увеличении поверхности лопастей диаметр будет увеличиваться [3].

- Шаг винта

Шаг винта (Н) – это расстояние, пройденное винтом в осевом направлении за один оборот. Изменение шага вина в некоторой степени эквивалентно изменению передаточного отношения. Если Вы хотите, чтобы двигатель лодочного мотора имел заданное число оборотов, то имейте ввиду, что чем быстрее движется судно, тем больший шаг винта необходим [6].

- Количество лопастей

3-лопастные гребные винты:

- Наиболее широко распространены.
- Хорошие выходные характеристики.
- Наивысшая максимальная скорость.
- Слаженная работа в целом.

4-лопастные гребные винты:

- Более стремительный выход на глиссирование.
- Плавный ход лодки на низких скоростях.
- Лучшая средняя скорость при одинаковых оборотах по сравнению с 3-лопастным винтом.
- Лучшая управляемость на низких скоростях.
- Более плавный ход по сравнению с 3-лопастным винтом.

5-лопастные гребные винты:

- Максимальное ускорение.
- Наиболее плавный ход катера.
- Самый быстрый выход на глиссирование.

Для обеспечения эффективной работы двигатель-но-двигательной системы кольцевой конструкции в двигательном режиме, необходимо, чтобы лопасти турбины были рассчитаны на одинаковую хорошую работу при подачи потока воды как в одну сторону, так и в другую.

Для удовлетворения этого условия гребной винт может быть выполнен двух типов:

1. Гребной винт фиксированного шага (ВФШ) с уточненным шагом для одинаковой работы в обе стороны

Лопаста ВФШ стационарно закреплены на ступице. Гребные винты фиксированного шага литые, и позиция лопастей, а значит и шаг винта постоянны и не могут быть изменены в процессе эксплуатации винта. Такие винты обычно изготавливают из медных сплавов.

ВФШ прочны и надежны, поскольку не содержат механических деталей и гидравлики, в отличие от винтов регулируемого шага (ВРШ). Стоимость изготовления, монтажа и эксплуатации значительно ниже, чем у ВРШ. Однако маневренность судна с ВФШ ниже, чем у судна с ВРШ. Винты данного типа устанавливают на судах, не требующих высокой маневренности.

2. Гребной винт регулируемого шага (ВРШ)

У ВРШ возможно менять шаг гребного винта за счет поворота лопасти вокруг вертикальной оси с

использованием механических компонентов и гидравлики. Это позволяет избавиться от оборудования, необходимого для реверса. Повышается маневренность судна и эффективность работы двигателя.

Недостатком является возможность протечек гидравлики и загрязнения водной среды маслом. Кроме того, такой гребной винт сложен в изготовлении и монтаже на судне, а также требует особого внимания при эксплуатации судна.

Эффективность ВРШ несколько ниже, чем у ВФШ тех же размеров из-за большей ступицы, в которой нужно размещать механизм поворота лопастей и гидравлику. Гребные винты, как правило, более эффективны с увеличением их диаметра.

Для повышения эффективности работы гребные винты снабжают специальными насадками. Такие винты включают помимо самого винта кольцевую насадку, внутри которой размещается гребной винт. Винты с насадками успешно используются при необходимости создания дополнительного упора на малых скоростях хода. Обычно винты этого типа используются на буксирах-якорезаводчиках, на рыболовных траулерах, где за счет насадок обеспечивается от 40 до 50% упора винта при малых и близких к нулю скоростях хода. Иногда насадки делают поворотными. Но все это устройства, повышающие эффективность работы традиционных гребных винтов [9].

Вывод

В настоящее время процесс моделирования нагрузок на все элементы машины продолжается. Ведется расчет гребного винта и моделирование поступательных нагрузок. В ближайшее время начнется создание прототипа и корректирование параметров расчета с последующим созданием рабочей модели.

Список литературы

1. Григорьев А.В. Судовые системы электродвижения на базе двигатель-но-двигательных систем кольцевой конструкции [Электрон. ресурс] / А.В. Григорьев, Ю.А. Кулагин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – №4(32). – С. 164–169. – DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-4-164-169.
2. Двигательно-двигательные системы кольцевой конструкции [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/267/2670341.html>.
3. Выбор гребного винта общая часть [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/25986172-Vybor-grebnogo-vinta-grebnnye-vinty-obshchaya-chast.html>.
4. Расчет гребного винта [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.my-kater.ru/articles/grebnnye-vinty/raschet-grebnogo-vinta>.
5. Характеристики гребных винтов [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mercury-lakor.com/pages/145>.

6. Характеристики гребного винта [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://siblodki.ru/o-kompanii/blog/aksessuary/harakteristiki-grebnyh-vintov>.
7. Гребные винты [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гребные_винты.
8. Типы гребных винтов [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://ouvtk.ru/done/sailing/TipyGrebnihVintov.php>.
9. Устройство и принцип работы гребных винтов [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.motolodka.ru/vint.htm>.
10. Инженерная методика определения упора гребного винта [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/inzhenernaya-metodika-opredeleniya-upora-grebного-vinta/viewer>

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН



Мясищев Дмитрий Геннадьевич

Д. т. н., профессор кафедры транспортно-технологических машин, оборудования и логистики Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова



Лоренц Анатолий Сергеевич

Студент Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова

Аннотация. Работа посвящена разработке и созданию экспериментального оборудования, для проведения лабораторных испытаний тормозных механизмов транспортно-технологических машин. На основе произведенного анализа было выявлено, что роликовый стенд является наиболее рациональным технологическим решением при проектировании конструкций стендов для ускоренного испытания механизмов тормозных систем транспортных средств, который в последствии был принят за базовую модель. Измененная конструкция является унифицированным лабораторным оборудованием, которое имеет возможность исследовать как барабанные, так и дисковые тормозные механизмы. В свою очередь, оно не ограничено и в виде привода тормозного механизма, что достигается подключаемым нагнетателем. Возможна адаптация к использованию в условиях дополнительных исследований, посредством варьирования характеристик тормозного привода и механизмов. Фиксация исследуемой балки с требуемым усилием увеличивает поперечную жесткость конструкции, уменьшая погрешности произведенных исследований. Представленное экспериментальное оборудование для проведения лабораторных испытаний процессов в компонентах тормозных систем транспортно-технологических машин потенциально обеспечивает углубленное исследование характеристик, сопровождающих тормозные режимы.

Ключевые слова: транспортно-технологические машины, лабораторные испытания, тормозной механизм, роликовый стенд.

Annotation. The work is devoted to the development and creation of experimental equipment for laboratory testing of brake mechanisms of transport and technological vehicles. Based on the analysis, it was revealed that the roller stand is the most rational technological solution in the design of stand designs for accelerated testing of vehicle brake systems, which was subsequently adopted as the base model. The modified design is a unified laboratory equipment that has the ability to examine both drum and disc brakes. In turn, it is not limited in the form of a brake mechanism drive, which is achieved by a connected supercharger. Adaptation to use in conditions of additional research is possible by varying the characteristics of the brake drive and mechanisms. Fixing the beam under study with the required force increases the lateral rigidity of the structure, reducing the errors of the studies performed.