

УДК 62-5

DOI: 10.34046/aumsuomt105/35

ПОЛИМОДЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СУДНА

И.П. Бойчук, кандидат технических наук

А.В. Гринек, кандидат технических наук, доцент

А.В. Корнев, кандидат технических наук

А.М. Фищенко, аспирант

О.Е. Слепов, курсант

В статье представлен комплекс математических моделей различного класса и типа и результаты их применения в описании электроэнергетической системы судна. Показана методика определения частотных характеристик системы гребных валов. Судовая электроэнергетическая система представлена в виде трех уровней, к которым отнесены главные двигатели, генераторы, системы управления, силовые преобразователи, система электродвижения. Показано, как проходят переходные процессы в системе при включении нагрузки и изменении внешних моментов.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, судно, математическая модель, моделирование, иерархия

POLYMODEL DESCRIPTION OF THE SHIP'S ELECTRIC POWER SYSTEM

I.P. Boichuk, A.V. Grinek, A.V. Kornev, A.M. Fishchenko, O.E. Slepov

The article presents a complex of mathematical models of various classes and types and the results of their application in the description of the ship's electrical power system. The technique for determining the frequency characteristics of the propeller shaft system is shown. The ship electric power system is presented in the form of three levels, which include main engines, generators, control systems, power converters, and an electric propulsion system. It is shown how transient processes take place in the system when the load is turned on and external moments change.

Key Words: electric power system, ship, mathematical model, modeling, hierarchy

Введение

Математическое моделирование процессов, происходящих в судовой электроэнергетической и механической системе имеет важное значение для решения задач проектирования новых типов судов, их исследования, управления и оценки надежности. Многосвязность и сложность таких систем усложняют подход к комплексному моделированию. Это объясняется различием и многообразием физических процессов, и сложностью математического описания данных процессов. Комплексное проектирование представляет собой сложный междисциплинарный анализ и взаимодействие этапов проектирования, требующих новых подходов и инструментов проектирования.

Полимоделная структура судна, как энергомеханического объекта, может быть получена путем комбинирования аналитических, имитационных, логических, алгоритмических моделей, способных при наличии совокупного системного описания решать задачу обобщенного полимоделного комплекса.

Обобщено полимоделный комплекс можно представить в виде следующих элементов:

- семейство аналитических моделей, участвующих в системах управления;
- имитационные модели;
- искусственный интеллект;
- базы данных;

- информационная модель, объединяющая уровни и базы данных знаний;

- модели управления;

В целом, существует большое количество исследований в каждой локальной области, представляющих интерес в задаче построения подобной большой системы.

При создании полимоделных комплексов, включающих в себя вышеприведенные модели, необходимо понимать, что математическое описание конкретного объекта может быть аппроксимировано формальной моделью «вход-выход».

Структура модели объекта или уровня может быть сгенерирована желаемым образом в соответствии с задачами моделирования (исследование, оптимизация или управление) и формализована [1].

На сегодняшний день предпринимается попытка создания полимоделного комплекса, связывающего следующие элементы:

- механическую систему энергетических установок (гребной валопровод);

- диагностические модели состояния электрооборудования (синхронного генератора);

- модели управления электроэнергетической системой.

На основании обзора существующих решений [2-4] можно сказать, что есть необходимость

в создании универсальной структуризации моделей морского транспорта по классам, типам и иерархическому взаимодействию.

Развитие таких систем позволит автоматизировать моделирование сложных структур. Таким образом нужно связать многоуровневые, многоэтапные процессы моделирования различных классов моделей.

В связи с этим целью данного исследования является определение методологического

подхода к построению полимодельной иерархической модели судна.

Материалы и методы

В данной статье представлен опыт использования широкого класса методов и средств моделирования элементов и систем судовой электро-энергетической и механической системы рис. 1.

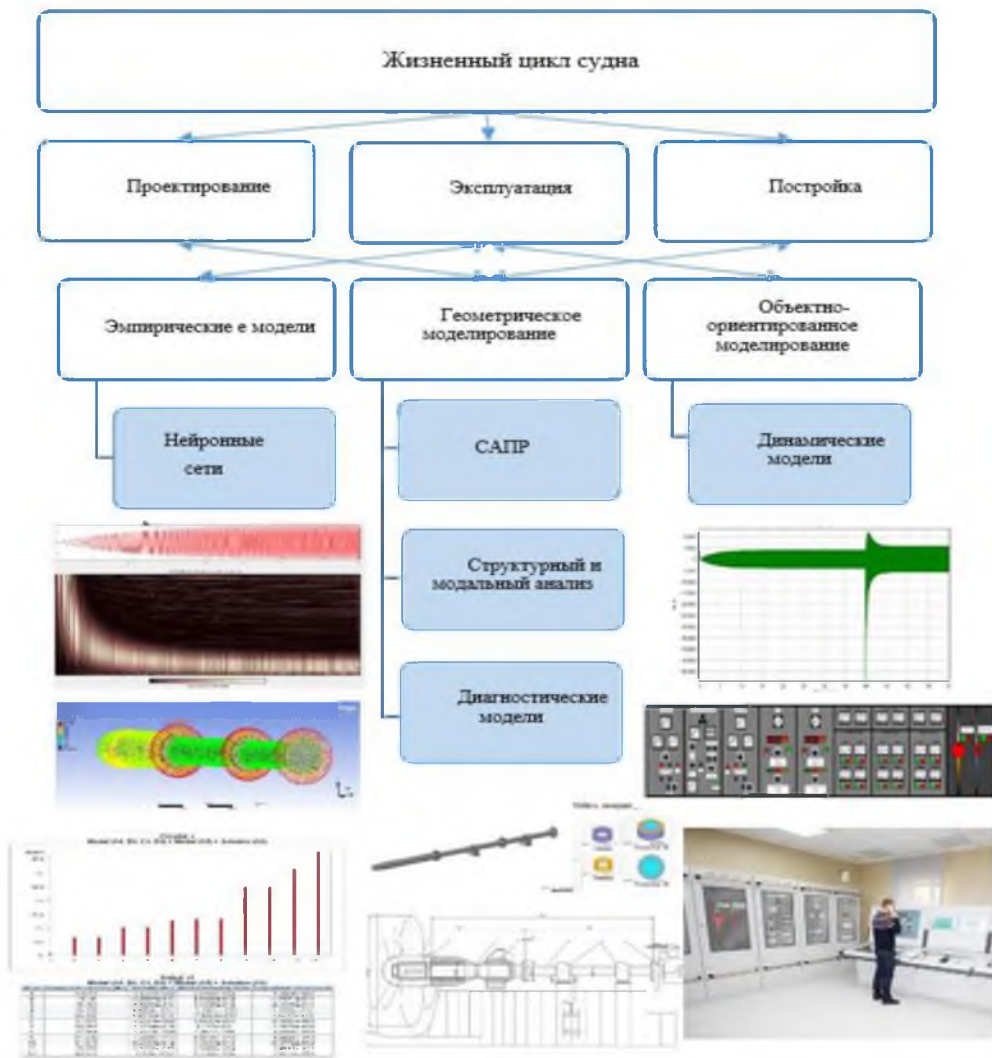


Рисунок 1 – Этапы жизненного цикла судна и математические модели

В исследовании используются модели физических процессов - напряженно-деформированного состояния элементов системы гребного вала. Выходные параметры такого моделирования необходимы на стадии проектирования или в измерительных системах при оценке усталостной прочности и надежности.

Численное решение и исследование задач для моделей с распределенными параметрами для синхронного генератора позволит перейти от вопросов электромагнитного взаимодействия к качеству судовой электросети.

Объектно-ориентированное описание динамических систем позволит имитировать и прогнозировать состояние судовой системы или осуществлять оптимальное управление.

Объектами моделирования в данной работе являются:

- механические системы (сборная конструкция гребного валопровода, состоящая из подшипников и системы гребных валов с фланцевым соединением);
- динамические процессы в синхронном генераторе;

- спектр тока и напряжения синхронного генератора с дефектом и без него;

- переходные процессы в электрической сети судна с электродвижением в начале движения, при включении нагрузки и изменении момента внешних сил на валу электродвигателя

Показано использование среды объектно-ориентированного моделирования Simulink в качестве инструмента для создания сложных систем моделирования [5].

Напряженно-деформированное состояние и модальный анализ системы гребных валов

На этапе проектирования важно знать собственные резонансные частоты для выработки эффективных конструкторских решений, а также назначения диапазонов работы главного двигателя [6]. Ненормируемые вибрации могут стать причиной отказов элементов. Задача исследования состояния и поведения составных гребных установок, в которых происходит сложный процесс взаимосвязанных крутильных, продольных и поперечных колебаний, может быть разложена на ряд составных задач статики и динамики [7,8]. В настоящей работе выполнен расчет напряженно-деформированного состояния; а также проведен модальный анализ конструкций при помощи конечно-элементного моделирования в среде ANSYS [9].

Ниже показаны результаты статического расчета и определения напряженно-деформированного состояния вследствие возникновения крутильных колебаний. Они возникают из-за разницы моментов со стороны главного двигателя и гребного винта.

Объектно-ориентированное моделирование судовой электроэнергетической системы

Использование современных методов решения электромагнитных уравнений, описывающих функционирование электрических машин, дает большие возможности для исследования переходных процессов. Также можно учитывать влияние различных механических факторов, электрических факторов и условий эксплуатации: эксцентриситетов, механических повреждений, неравномерной укладки обмоток, повышенной температуры.

Основными элементами судовой электроэнергетической системы, составляющими объектно-ориентированную модель, являются: 1) источники электроэнергии, состоящие из генераторов постоянного или переменного тока и аккумуляторных батарей; кроме того, судовые электро-

энергетические системы имеют различные преобразователи рода тока, его напряжения и частоты; 2) распределительные устройства, состоящие из щитов с аппаратами, распределяющими электроэнергию, и с приборами для управления работой электроустановок и контроля за ней; 3) электрические сети, состоящие из кабелей и проводов, передающих электрическую энергию от источников к потребителям; 4) потребители электрической энергии, представляющие собой различные электродвигатели, преобразующие электроэнергию в механическую работу, а также приборы и аппараты, преобразующие ее в другой вид энергии — тепловую, световую, электромагнитную и другие.

Объектно-ориентированная модель позволяет системно исследовать судовую электроэнергетическую систему, промоделировать динамику и принять решение об удовлетворительном качестве проекторочного решения [10].

Диагностические модели. Спектр частот дефектного генератора

Моделирование дефектов генератора. Методика моделирования различных дефектов электрических машин на их численных моделях весьма эффективна [11-13]. Электрическая и магнитная нагрузки в электрических машинах зависят от величины воздушного зазора между ротором и статором. Исследовалось влияние на качество сети модельного дефекта – эксцентриситета ротора. Моделировались следующие типы эксцентриситета ротора рис. 2: а) смешанный, когда ось вращения ротора RA не совпадает ни с осью симметрии статора, ни с собственной осью симметрии; б) динамический, когда ось вращения ротора RA совпадает с осью симметрии статора и не совпадает с собственной осью симметрии; в) статический, когда ось вращения ротора RA совпадает с его осью симметрии и не совпадает с осью симметрии статора.

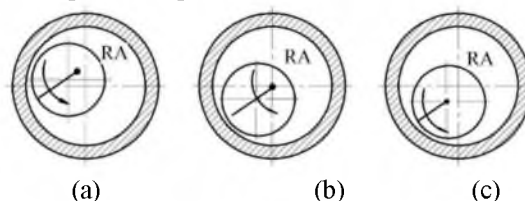


Рисунок 2 – Эксцентриситет генератора: (а) – смешанный; (б) – динамический; (с) – статический

Результаты и обсуждение

Моделирование напряженно-деформированного состояния гребного валопровода на стадии проектирования. На основании трёхмерной модели Рис. 3 создана конечно-элементная сетка из тетраэдральных элементов, с максимальным размером 200 мм, числом узлов 31045.



Рисунок 3 – Трехмерная модель механической системы валопровода

Число элементов составило 17839. Инерционные характеристики объекта представлены на рисунке 5. В результате моделирования были по-

лучены данные по силам реакции в опорах и сведения о деформациях и напряжениях в конструкции вала под действием силы тяжести.

Properties			
Volume	5.6189e+009 mm ³	9.2678e+009 mm ³	4.3804e+009 mm ³
Mass	44109 kg	72752 kg	34386 kg
Centroid X	-12310 mm	-25653 mm	56.579 mm
Centroid Y		-565.12 mm	
Centroid Z		1322. mm	
Moment of Inertia Ip1	3.2006e+009 kg mm ²	8.2128e+009 kg mm ²	2.6406e+009 kg mm ²
Moment of Inertia Ip2	7.712e+011 kg mm ²	1.0254e+012 kg mm ²	3.8021e+011 kg mm ²
Moment of Inertia Ip3	7.712e+011 kg mm ²	1.0254e+012 kg mm ²	3.8021e+011 kg mm ²

Рисунок 4 – Массовые характеристики системы валов

Results				
X Axis	-49.115 N	-37.4 N	-13.366 N	99.88 N
Y Axis	-2.3825 N	4.5197 N	3.6784 N	-5.8191 N
Z Axis	8.0825e+005 N	3.2576e+005 N	2.6645e+005 N	82920 N
Total	8.0825e+005 N	3.2576e+005 N	2.6645e+005 N	82920 N

Рисунок 57 – Силы и реакции в опорах

Модальный анализ на стадии проектирования дает возможность оптимизировать конструкцию с точки зрения резонансных частот. В результате модального анализа получены формы резонансных колебаний системы гребных валов и соответствующие им частоты [14].

Геометрическое и конечно-элементное моделирование дает возможности проектировочного расчета и проектирования технологии для других судовых элементов и конструкций [15, 16].

Объектно-ориентированное моделирование процесса эксплуатации судовой электроэнергетической системы с электродвижением. В совокупности механические, энергетические и электрические процессы могут быть объединены в объектно-ориентированные модели. При этом потребители сводятся к группам и задаются возмущающие воздействия в динамической системе. Модель включает в себя основные элементы (Таблица 1): газовую турбину, дизельный двигатель, генератор 1, генератор переменного тока с явными полюсами 2, базовая нагрузка, подключае-

мая нагрузка, силовой выпрямитель, носовые подруливающие устройства, систему электродвижения на постоянном токе.

Программный пакет MatLab предоставляет широкие возможности для моделирования сложных систем. Основные элементы электроэнергетической системы могут быть отнесены к различным классам и уровням и промоделированы элементами библиотеки Simulink.

На рисунке 6 показаны взаимосвязи в системе моделирования между элементами. Можно выделить модели управления первого уровня – это модели регуляторов главных двигателей и генераторов. На втором уровне - модель судовой сети, описываемая RLC-цепью (паразитные сопротивления в системе). Это модель с сосредоточенными параметрами. Сюда же входят модели силовых выпрямителей, подруливающих устройств и пропульсивной системы. На третьем уровне находятся модели нагрузок на исполнительные механизмы, которые описываются моделями инерции и демпфирования.

Таблица 1

№	Модели элементов и возмущений в системе	Описание модели	Объект Simulink
1	Асинхронный двигатель	Асинхронная машина с короткозамкнутым ротором, параметризованная с использованием основных поблочных параметров.	
2	Среднее значение нагрузки электродвижения (постоянный ток)	Моделирует линейный переменный резистор. Реализует пропорциональную связь между напряжением и током.	
3	Силовой выпрямитель	Двухполупериодный шестиимпульсный выпрямитель со средним значением. Мощность в выпрямителе на стороне переменного тока равна фиксированным потерям мощности плюс выходная мощность выпрямителя на стороне постоянного тока.	
4	Носовые подруливающие устройства	Модели инерции и демпфирования	
5	Постоянная нагрузка и подключаемая нагрузка	Моделирует нагрузку, соединенную звездой. Полное сопротивление каждой фазы может быть представлено последовательной или параллельной комбинацией резистора, конденсатора и катушки индуктивности.	
6	Дизельный двигатель и генератор 1 (АВР) Газовая турбина и генератор 2 (АВР)	Моделирует синхронную машину с автоматическим регулятором напряжения в сочетании с возбудителем. Входные параметры блока представляют собой единичные напряжения и токи. Динамические коэффициенты в регуляторах заданы в соответствии с типом главного двигателя	
7	Шины и порты судовой сети	Моделирует трехфазную линию передачи с сосредоточенными параметрами.	
8	Нагрузка на подруливающие устройства	Модель идеального источника механической энергии, который генерирует крутящий момент, пропорциональный входному физическому сигналу	

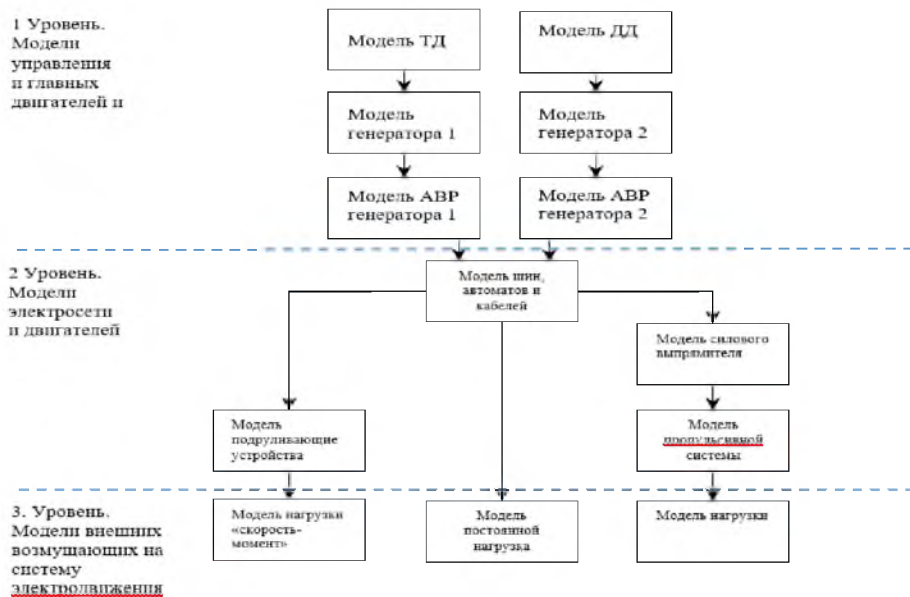


Рисунок 8 – Структура связи моделей элементов электроэнергетической системы судна

Моделируемые возмущения в системе: постоянное изменение момента на подруливающих устройствах, вначале подключаемая нагрузка отключена, на 20 секунде увеличивается момент в системе электродвижения, на 30 секунде полный вперед, на 40 секунде обороты двигателя снижаются, на 50 секунде происходит запуск носовых подруливающих устройств. На 60 секунде подключается дополнительная нагрузка.

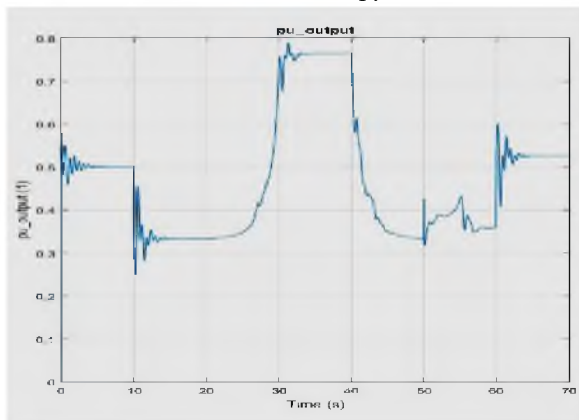


Рисунок 7 – Выходная мощность дизельного двигателя

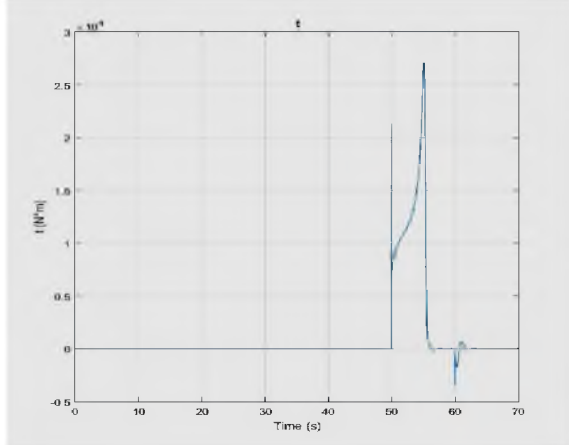


Рисунок 8 – Крутящий момент на роторе двигателя подруливающего устройства

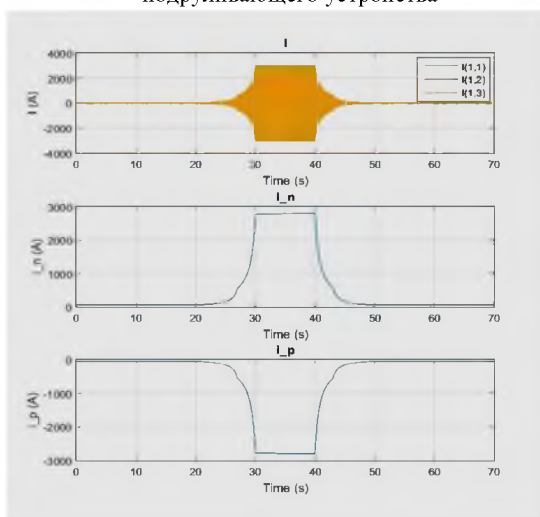


Рисунок 9 – Ток выпрямителя, токи, протекающие по положительному и отрицательному полюсам выпрямителя

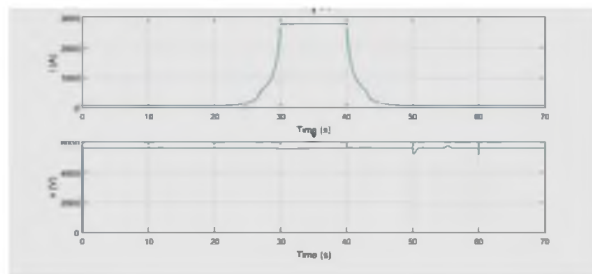


Рисунок 10 – Нагрузка в системе электродвижения на постоянном токе

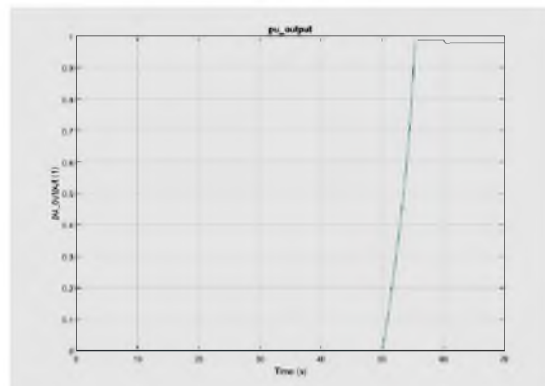


Рисунок 11 – Скорость вращения ротора асинхронного двигателя подруливающего устройства

Получены параметры переходных процессов в электрической и механической частях системы судна. На рисунках 7-11 показаны переходные процессы, связанные с изменением мощности в главном двигателе, изменение крутящего момента на валу двигателя подруливающего устройства, динамика тока в силовой части (выпрямителе), изменение скорости вращения двигателя подруливающего устройства. Видно, как включение нагрузки влияет на работу главных двигателей, регулирование напряжения генераторов и механическую часть привода системы электродвижения. Также на подобных моделях могут быть проанализированы аварийные варианты развития событий на судне: короткие коммутации, выход из строя оборудования.

Диагностическое моделирование генератора. В работе [13] авторами данного исследования показаны результаты моделирования механического дефекта генератора. В качестве модели генератора выбран судовой синхронный генератор с внутренним диаметром статора $D=1,616$ м.

Получены временные осциллограммы потокосцепления, фазных токов и напряжений, сил и моментов. На их основании получены частотные характеристики заданного генератора на холостых режимах. С помощью вейвлет-преобразования проведен анализ переходного процесса. Исследование показало, что существует три частот-

ные области: область нарастания скорости, достижение критической скорости и выход на установившийся режим. Анализ коэффициентов вейвлет-преобразования исследуемого сигнала дал информацию об энергии, содержащейся в соответствующих частотных составляющих ряда. Наличие эксцентриситета ротора приводит к появлению гармонической составляющей в спектре силы большой амплитуды с максимальным значением на низкой частоте.

Данная численная модель дает возможность идентифицировать спектры напряжений, токов, сил и моментов, соответствующих механическим и электромагнитным дефектам. Показана возможность диагностирования дефектов генератора, обусловленного эксцентриситетом ротора, с помощью модельного исследования на пусковых режимах.

Выводы

В данном исследовании проанализирована конструкция и построена цифровая модель судового валопровода с учетом статической нагрузки. Рассчитанные резонансные частоты и формы колебаний, используемые в предложенной системе диагностики состояния элементов валопровода, лежат в диапазоне 1,5–93 Гц, что должно учитываться при постройке и эксплуатации механизма и судна в целом.

На примере численной модели проведена идентификация работы дефектной синхронной машины. Для эксцентриситета ротора может быть определен спектр тока гармонических колебаний, и выявлены пульсирующие силы электрического происхождения, создающих вибрации и шум. Подобный подход дает возможность обеспечивать работу диагностических систем на судне.

Объектно-ориентированные моделирование показало возможность строить модели сложных алгоритмов управления судовой электроэнергетической системы, с целью отладки, исследования и построения обучающих платформ. Расчет режимов дает возможность оценить динамику процесса, синтезировать регуляторы переходных процессов и спроектировать силовую цепь и схемы защиты.

Литература

1. Гринек А.В., Бойчук И.П., Косолап Ю.Г. Цифровое моделирование в жизненном цикле изделий и автоматизации технологических процессов судостроения // Эксплуатация морского транспорта. 2019. № 4 (93). С. 100–114. DOI: 10.34046/aumsuomt93/17

2. Галкина О. Электронная информационная модель изделий судостроения на различных стадиях жизненного цикла / О.Галкина, А.Рындин, Л.Рябенский, А.Тучков, И.Фертман // Судостроение. Специальный выпуск. CADmaster.– 2007. – С.48–51.
3. Будниченко М. А. Опыт использования электронных технологий на судостроительном предприятии / М. А.Будниченко, В. В. Кузьмин // Судостроение.– 2019.– №1, – С. 43–45.
4. Кляхин В. Н. Использование методологии системного анализа при проектировании корабельных систем поддержки принятия решений / В. Н. Кляхин, С. Г. Чулкин, А. С. Минеев, А. Б. Фомичев // Судостроение.– 2019.– №1. – С. 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. Худяков С.А., Пальчик К.Б., Сюсюка Е.Н. Анализ дефектов валопроводов морских судов и методы их устранения // Эксплуатация морского транспорта. 2019. № 2 (91). С. 89–92. DOI: 10.34046/aumsuomt91/15
8. Чура М. Н. К оценке усталостной прочности материалов судовых валопроводов // Эксплуатация морского транспорта. 2019. № 4 С. 115–121. DOI: 10.34046/aumsuomt93/18
9. <https://www.ansys.com>
10. Алексянц С.Ю., Гринек А.В., Бойчук И.П. Моделирование тренажера судового главного распределительного щита в среде SimInTech // Эксплуатация морского транспорта. 2020. № 3 (96). С. 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. Гринек А.В., Бойчук И.П., Фищенко А.М., Перельгин Д.Н., Алфимова Н.И. Система предиктивной диагностики гребного валопровода и численное моделирование как составляющие цифрового двойника судовой системы // СТИН. 2022. № 12. С. 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
- 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 sudovyh valoprovodov (2019) [Evaluation of fatigue strength of materials of ship shafting] С. 115-121 DOI: 10.34046/aumsuomt93/18
 9. <https://www.ansys.com>
 10. Aleksyanc 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. Yaghoobi 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. Гевордян, магистрант*

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