

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

SHIP POWER GENERATING COMPLEXES AND SYSTEMS

Научная статья
УДК 629.1
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-1-88-99>
EDN ZPIOPM

Объектно-ориентированное моделирование судовых пропульсивных систем

*А. В. Гринек^{1✉}, И. П. Бойчук², А. М. Фищенко³, С. Ю. Алексянц⁴,
О. Е. Слепов⁵, Е. Н. Чирков⁶*

*^{1, 2}ООО «Сигматек»,
Санкт-Петербург, Россия, grinyokann@gmail.com✉*

*³⁻⁵Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
Новороссийск, Россия*

*⁶Луганский филиал Московской академии Следственного комитета имени А. Я. Сухарева,
Луганск, Россия*

Аннотация. Приведен пример использования объектно-ориентированной модели пропульсивной системы, применимой для различных судов. Объектно-ориентированный подход к моделированию дает возможность провести количественный и качественный анализ использования электроэнергетической системы судна. Проведен анализ различных вариантов построения судовой электроэнергетической системы судна на примере существующих отечественных промышленных разработок. Применен системный подход к классификации элементов и структурных единиц: первичных двигателей, преобразователей электроэнергии, распределительных элементов, электродвигателей, движителей в качестве основных потребителей. Электроэнергетическая система судна разделена на три иерархических уровня. Каждый уровень представлен классом моделей, при этом определены связи и сигналы между уровнями моделирования. Проведена оценка динамической картины состояния судовой электроэнергетической системы при воспроизведении сценариев – маневра судна, пуска-отключения двигателей, включения-выключения нагрузки. Показан характер переходных процессов в системе управления «первичный двигатель – генератор»: изменение механических величин и сигналов в системе управления электроэнергией. Моделирование учитывает также взаимное электромагнитное влияние элементов друг на друга. Определен характер переходного процесса асинхронного электродвигателя подруливающего устройства при совершении судном маневра. Приведенная модель позволяет оценить диапазон значений при переходных процессах в судовой электроэнергетической системе. Рассчитанные значения могут быть использованы в судовых системах управления и защиты. Показана возможность осуществления комплексного подхода к модульному и уровневому моделированию системы: моделирование динамики возмущений, элементов системы и автоматизации управления. Также с помощью комплексного подхода может быть реализована удаленная модельная лаборатория судовой электроэнергетической системы.

Ключевые слова: комплексная модель, математическая модель, объектно-ориентированное моделирование, пропульсивная система, судовая система

Для цитирования: Гринек А. В., Бойчук И. П., Фищенко А. М., Алексянц С. Ю., Слепов О. Е., Чирков Е. Н. Объектно-ориентированное моделирование судовых пропульсивных систем // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2025. № 1. С. 88–99. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-1-88-99>. EDN ZPIOPM.

Grinek A. V., Boychuk I. P., Fishenko A. M., Aleksyanc S. Yu., Slepov O. E., Chirkov E. N. Object-oriented modeling of ship propulsion systems

Original article

Object-oriented modeling of ship propulsion systems

A. V. Grinek^{1✉}, I. P. Boychuk², A. M. Fishenko³, S. Yu. Aleksyanc⁴, O. E. Slepov⁵, E. N. Chirkov⁶

^{1, 2}Sigmatek LLC,
Saint Petersburg, Russia, grinyokann@gmail.com✉

³⁻⁵Admiral Ushakov Maritime State University,
Novorossiysk, Russia

⁶Lugansk branch of the Sukharev Moscow Academy of the Investigative Committee,
Lugansk, Russia

Abstract. An example of using an object-oriented model of a propulsion system applicable to various vessels is given. The object-oriented approach to modeling makes it possible to conduct a quantitative and qualitative analysis of the use of the ship's electric power system. The analysis of various options for building a ship's electric power system is carried out using the example of existing domestic industrial developments. A systematic approach is applied to the classification of elements and structural units: primary motors, electric power converters, distribution elements, electric motors, propellers as the main consumers. The ship's electric power system is divided into three hierarchical levels. Each level is represented by a class of models, and connections and signals between the modeling levels are defined. An assessment of the dynamic state of the ship's electric power system was carried out when scenarios were considered: ship maneuver, engine start-up and shutdown, load on and off. The nature of transients in the "primary engine – generator" control system is shown: changes in mechanical quantities and signals in the electric power management system. The simulation also takes into account the mutual electromagnetic influence of the elements on each other. The nature of the transient process of the asynchronous electric motor of the thruster is determined when the vessel performs a maneuver. The given model allows us to estimate the range of values during transients in the ship's electric power system. The calculated values can be used in shipboard control and protection systems. The possibility of implementing an integrated approach to modular and level-based system modeling is shown: modeling the dynamics of disturbances, system elements and control automation. A remote model laboratory of the ship's electric power system can also be implemented using an integrated approach.

Keywords: complex model, mathematical model, object-oriented modeling, propulsive system, ship system

For citation: Grinek A. V., Boychuk I. P., Fishenko A. M., Aleksyanc S. Yu., Slepov O. E., Chirkov E. N. Object-oriented modeling of ship propulsion systems. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2025;1:88-99. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-1-88-99>. EDN ZPIOPM.

Введение

В состав пропульсивных систем обычно входят различные элементы, которые можно классифицировать в зависимости от уровня моделирования: микро-, макро- и мегауровень [1]. Качество электрической энергии является производной от весьма большого количества процессов и элементов системы [2, 3]. В данной статье идет речь о моделях различной физической природы: электромагнитных процессах, преобразованиях тока и напряжения, потере энергии, механических процессах гребного винта и электродвигателя.

Материалы исследования

Рассмотрим модели управления судовыми генераторами и главными двигателями. На рис. 1 приведена уровневая модель судовой системы. На третьем, нижнем уровне располагаются механические модели нагрузок на гребной винт и подруливающие устройства. На второй уровень вынесены модели преобразователей электроэнергии (выпрямителей, электродвигателей постоянного и переменного тока, судовая сеть). На первом уровне показаны модели управления генератором и главным двигателем. Модели могут быть классифицированы также как модели с распределенными и сосредоточенными параметрами.

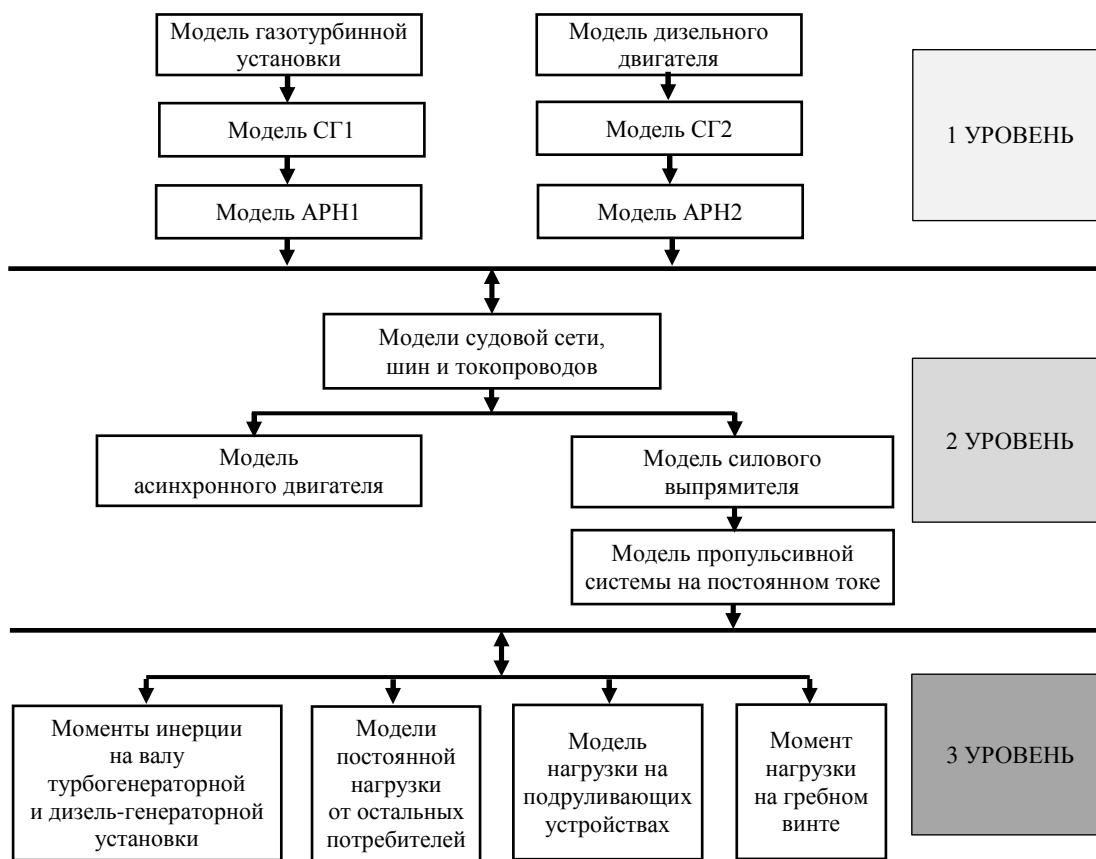


Рис. 1. Комплексная модель пропульсивной электроэнергетической системы судна:
 СГ – синхронный генератор; АРН – автоматический регулятор напряжения

Fig. 1. Integrated model of propulsion electric power system of the vessel:
 СГ (SG) – synchronous generator; АРН (AVR) – automatic voltage regulator

Целью данной работы является комплексное моделирование и исследование динамики судовой электрической сети.

В общем виде структуры судовых пропульсивных систем могут быть представлены в виде набора модулей и вариантов построения схем электродвижения. Современные ведущие судопроизводители [4] предлагают различные варианты построения пропульсивных систем. Системы могут быть переменного-постоянными, переменного тока, постоянного тока, с активными преобразователями электроэнергии (выпрямители, инверторы), с реакторно-трансформаторным оборудованием. Так, к примеру, на рис. 2 приведены различные варианты структуры пропульсивной системы, реализуемые научно-производственным центром «Судовые электротехнические системы» [4].

На рис. 2, а приведена система переменного-

постоянно-переменного тока. В систему входят выпрямители, инверторы, главные двигатели, генераторы, гребной двигатель и система управления и защиты. Схемные решения на шинах постоянного тока обладают повышенной отказоустойчивостью, отсутствием трансформаторов, широким диапазоном регулируемого напряжения.

Пропульсивная система на рис. 2, б с активными преобразователями частоты и аккумуляторными элементами оптимальна для низковольтных систем и экологична. Приведенная на рис. 2, в система с использованием реакторно-трансформаторного оборудования обладает высокой надежностью и широким диапазоном мощностей, однако снабжена согласующими трансформаторами, которые обеспечивают согласование напряжения электростанции с напряжением питания преобразователя частоты.

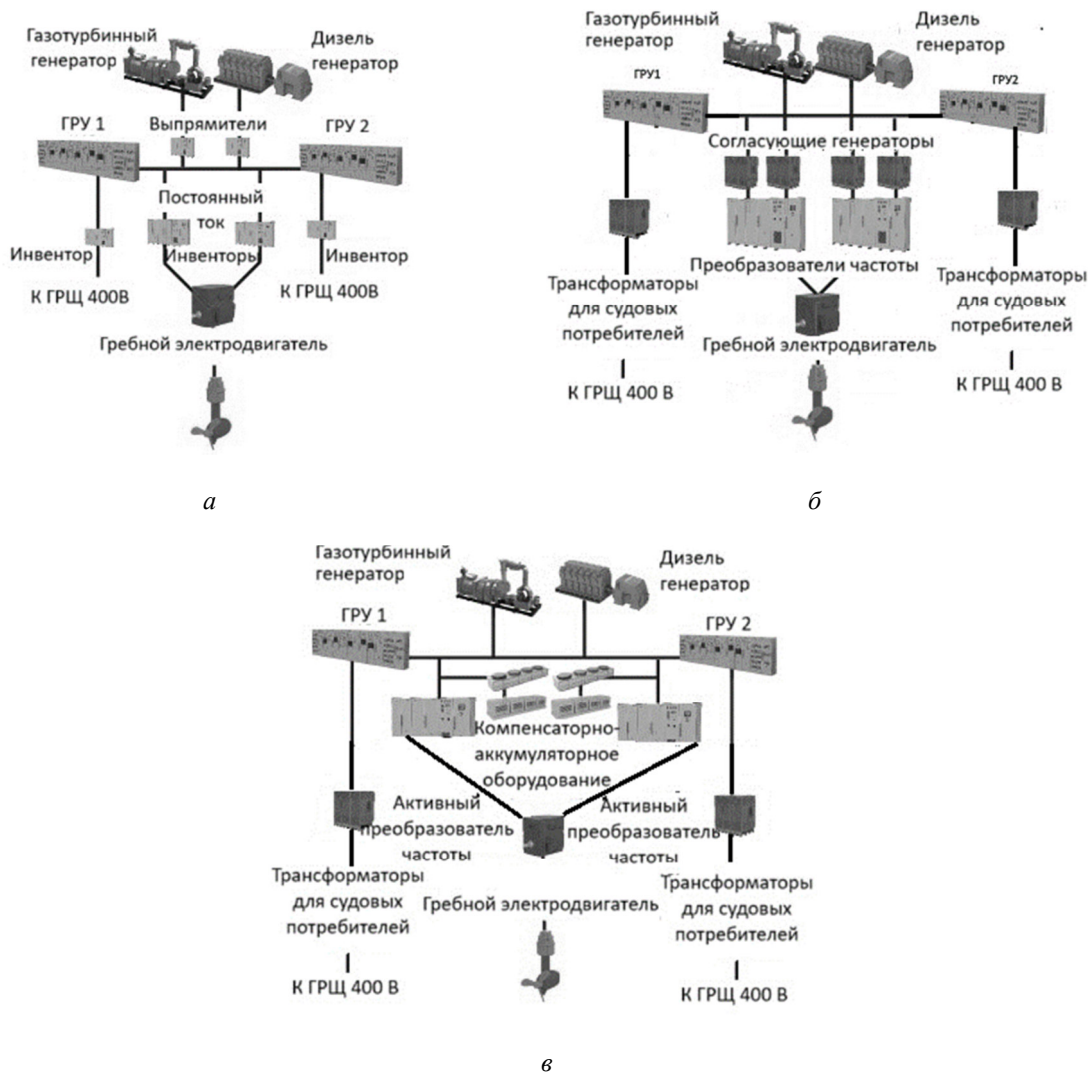


Рис. 2. Варианты структуры пропульсивной системы [4]: а – система переменного-постоянно-переменного тока; б – система электродвижения с активными преобразователями частоты; в – система электродвижения с согласующими трансформаторами

Fig. 2. Variants of the structure of the propulsion system [4]: а – alternating-constant-alternating current system; б – electric propulsion system with active frequency converters; в – electric propulsion system with matching transformers

Моделирование такого рода судовых структур позволяет систематизировать знания, решать проекторочные задачи, создавать цифрового двойника судна [1, 5]. Все элементы судовой сети могут быть классифицированы, отнесены к уровням, и в системе могут быть заданы возмущающие воздействия различной физической природы. Одним из примеров возможной структуры пропульсивной системы является система питания главного судна с гребным двигателем на постоянном токе и под-руливающими устройствами на асинхронных ма-

шинах (рис. 3). Ниже представлены результаты исследования в пакете MatLab объектно-ориентированной модели процесса эксплуатации судовой электроэнергетической системы с электродвижением. Рассмотренные выше элементы судовой электроэнергетической системы могут быть промоделированы элементами библиотеки MatLab Simulink. Исследуемая в данной работе сложная модель системы электродвижения судна показывает значительные возможности моделирования переходных процессов.

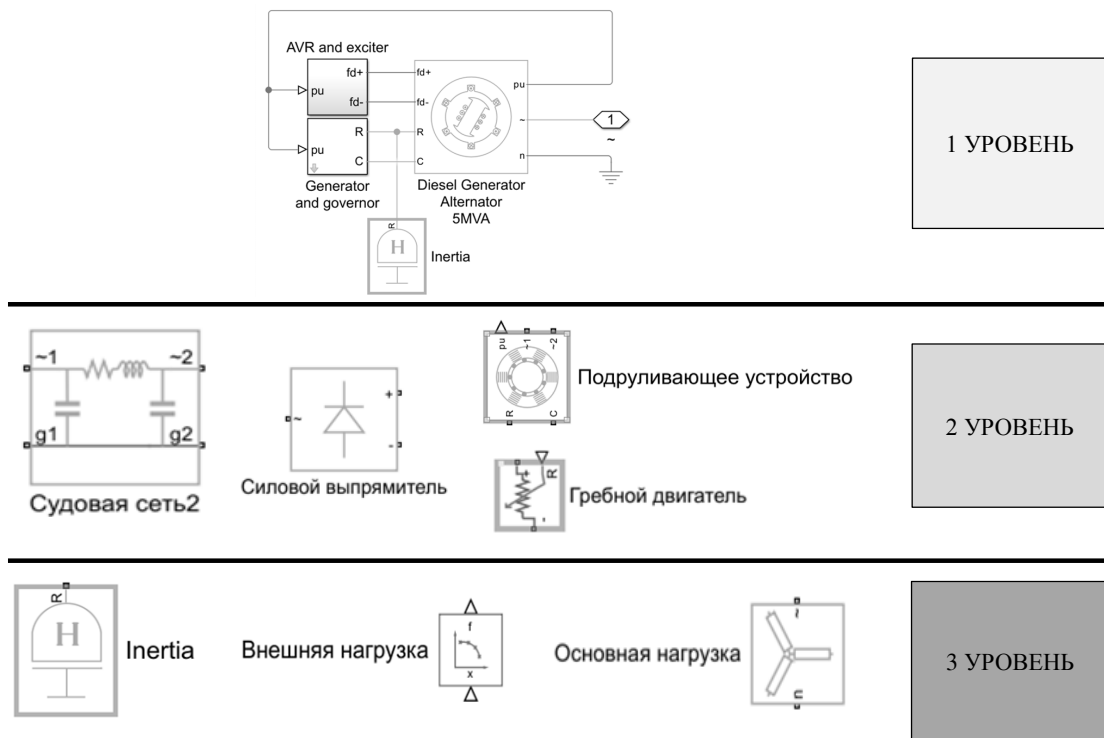


Рис. 3. Вариант набора элементарных моделей для объектной уровневой модели

Fig. 3. Variant of a set of element models for object-level modeling

С помощью элементов, представленных на рис. 3, можно описать значительное количество вариантов построения системы [5].

Модель (рис. 4) содержит основные элементы: газотурбинную установку, дизельный двигатель, генераторы, базовую нагрузку, подключаемую нагрузку, силовой выпрямитель, носовые подруливающие устройства с короткозамкнутыми роторами,

систему электродвижения на постоянном токе. К характеристикам представленных элементов модели системы относятся мощность газотурбинной установки (30 МВА), мощность дизельного генератора (5 МВА), мощность базовой нагрузки (11,5 МВА), мощность подключаемой нагрузки (6 МВА), мощность силового выпрямителя (со средним значением 20 МВА) [6].

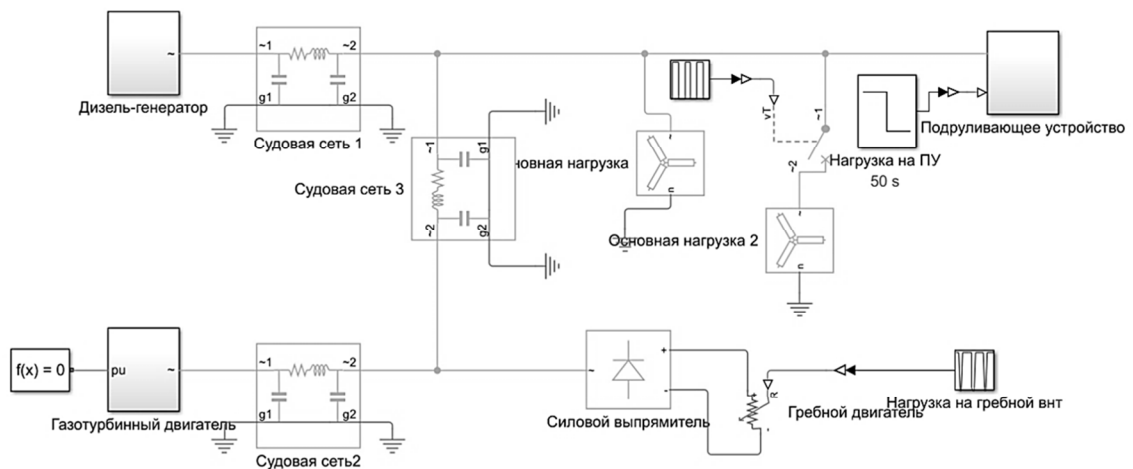


Рис. 4. Объектно-ориентированная модель пропульсивной системы судна

Fig. 4. Object-oriented model of the ship's propulsion system

Результаты и обсуждение

Ниже представлены результаты моделирования динамики пропульсивной системы. Моделирование возмущений (изменение момента на подруливающих устройствах) в системе задавалось по следующей схеме: вначале подключаемая нагрузка отключена; на 20-й секунде увеличивается момент в системе электродвижения; на 30-й секунде – «полный вперед»; на 40-й секунде обороты двигателя снижаются; на 50-й секунде происходит запуск носовых подруливающих устройств; на 60-й секунде подключается дополнительная нагрузка.

Уровень 3. Согласно предложенному уровневому подходу (см. рис. 1) и набору моделей (см. рис. 3) на нижнем уровне (уровень 3) моделируются моменты внешних сил на валу движителей и нагрузки остальных потребителей. Сюда же можно отнести модели механических величин. На рис. 5 показаны задаваемые характеристики «момент – скорость» подруливающего устройства, момент на валу асинхронного двигателя и ток выпрямителя. На рис. 6 представлен переходный процесс изменения напряжения асинхронного двигателя при включении.

Opinek A. V., Boyushik I. P., Fishenko A. M., Aleksyanc S. Yu., Stepanov O. E., Slipkov E. N. Object-oriented modeling of ship propulsion systems

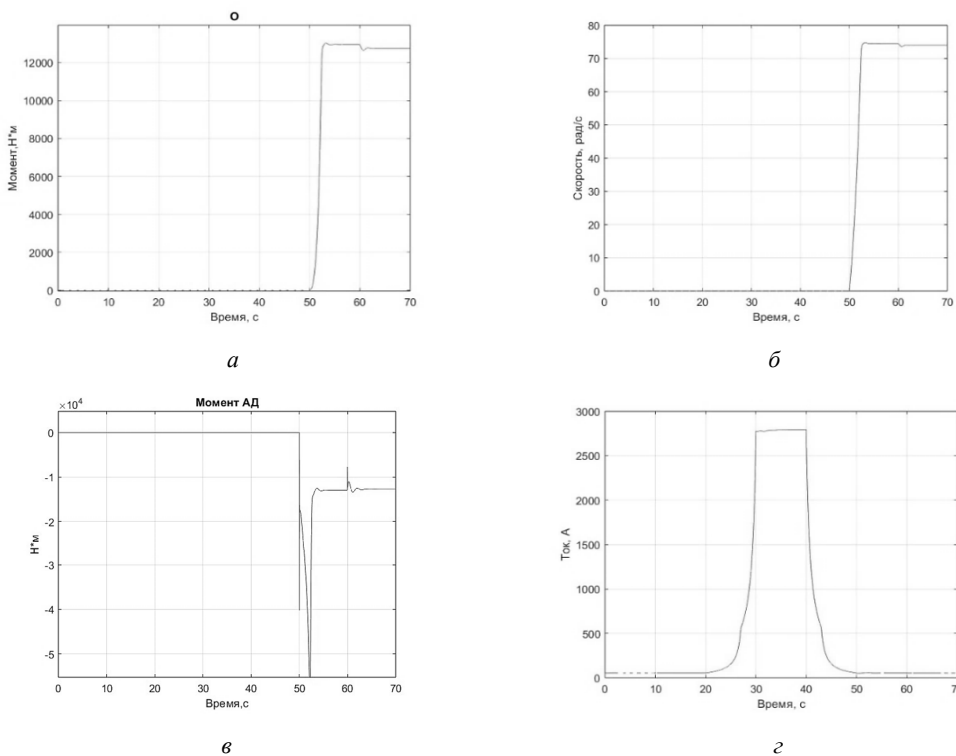


Рис. 5. Результаты моделирования: а, б – заданные характеристики подруливающих устройств; в – момент на валу асинхронного двигателя; г – ток выпрямителя

Fig. 5. Modeling results: a, б – specified characteristics of the steering devices; в – torque on the shaft of the asynchronous motor; г – rectifier current

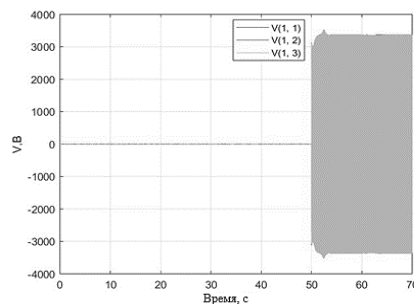


Рис. 6. Напряжение асинхронного двигателя

Fig. 6. Asynchronous motor voltage

На рис. 7, *а* приведена характеристика инерции на валу газотурбинной установки, а на рис. 7, *б* – на валу дизельного двигателя. Отметим, что переходный процесс на дизеле длится немного дольше и характеризуется большей колебательностью, при этом скорость вращения генераторов одинакова. Модель инерции первичных двигателей содержит элементы демпфирования с коэффициентом 0,1.

Таким образом, на рис. 7 показаны моменты, вычисляемые в зависимости от заданных и изменяющихся параметров в модельном блоке «Инерция»: инерции, полной номинальной мощности, электрической частоты количества пар полюсов и заданного коэффициента демпфирования и углового ускорения.

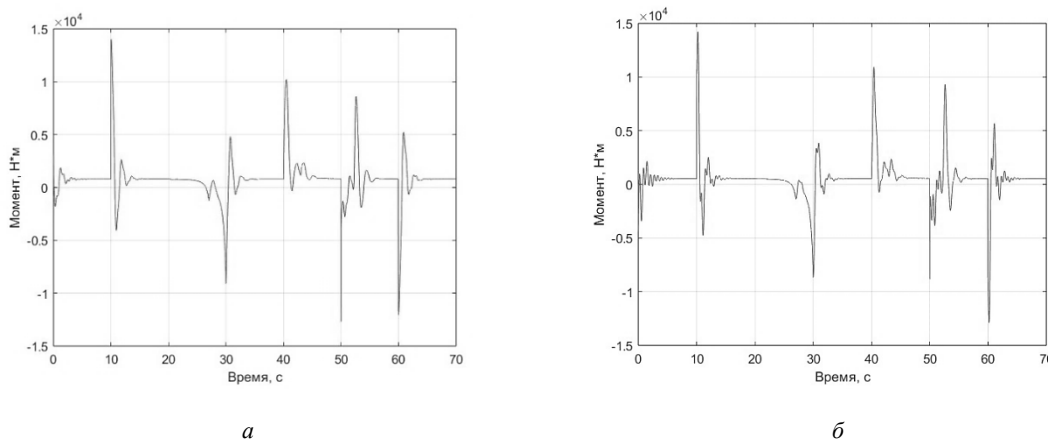


Рис. 7. Результаты моделирования: *а* – момента на валу турбины; *б* – момента на валу дизельного двигателя

Fig. 7. Modeling results: *a* – turbine shaft torque; *b* – diesel engine shaft torque

Уровень 2. На этом уровне моделируется сопротивление фаз, самоиндукция фаз, взаимная индуктивность и емкость судовой сети, емкость шин. Также сюда отнесены модели асинхронных электродвигателей подруливающих устройств и модели силового выпрямителя. На рис. 8–10 приведены изменения токов и напряжений в судовой сети, при этом учитываются параметры протяженности су-

довой сети переменного тока, явлений взаимной индукции и потерь. Включение гребного двигателя постоянного тока на 30-й секунде и подруливающих устройств на 50-й секунде вызывает броски тока и напряжения, а с включением основных потребителей судовой сеть выходит на номинальный режим.

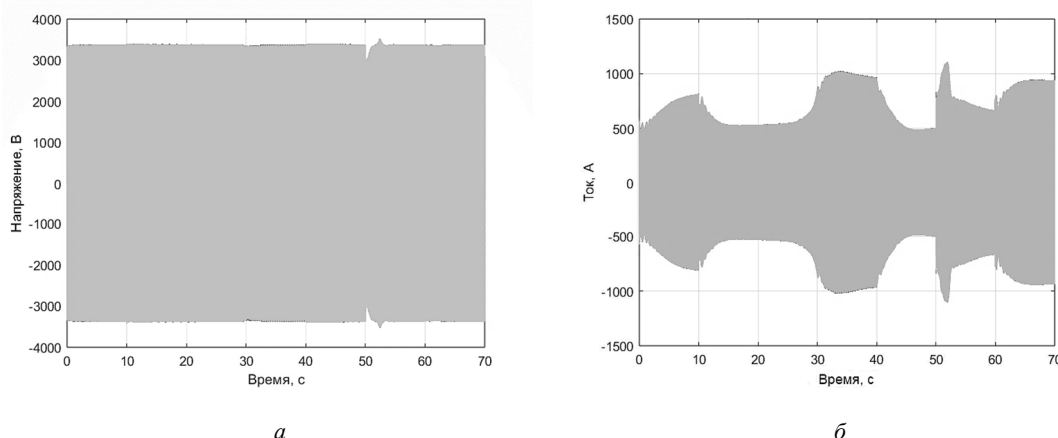


Рис. 8. Результаты моделирования: *а* – изменение напряжения на элементе «Судовая сеть 1»; *б* – изменение тока на элементе «Судовая сеть 1»

Fig. 8. Modeling results: *a* – change of voltage on the element “Ship network 1”; *b* – current on the element “Ship network 1”

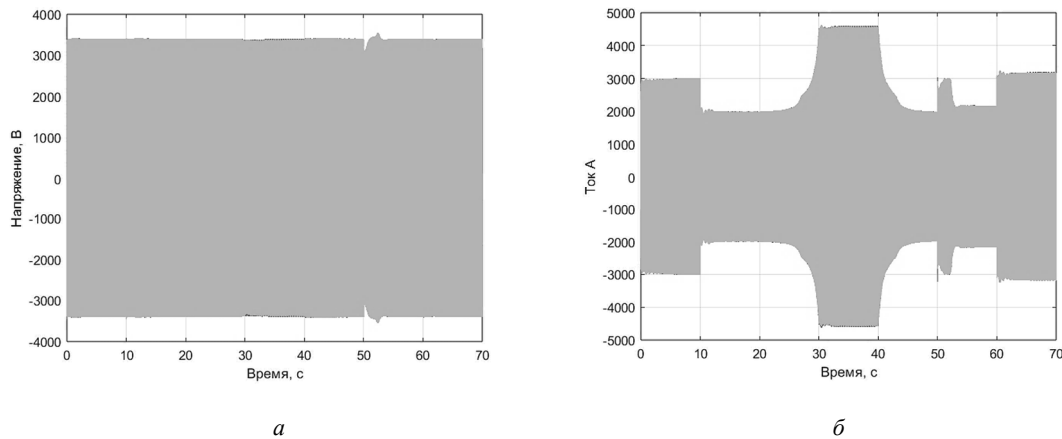


Рис. 9. Результаты моделирования: *a* – изменение напряжения на элементе «Судовая сеть 2»;
б – изменение тока на элементе «Судовая сеть 2»

Fig. 9. Modeling results: *a* – change of voltage on the element “Ship network 2”;
б – current on the element “Ship network 2”

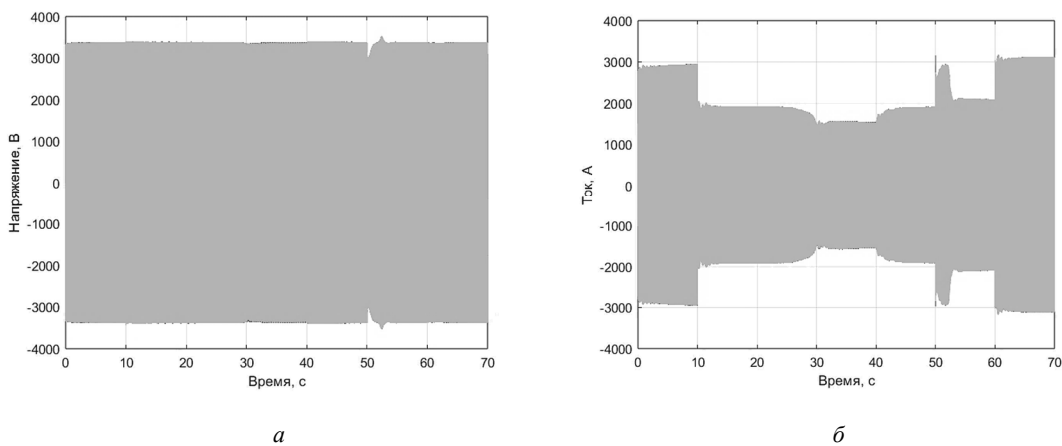


Рис. 10. Результаты моделирования: *a* – изменение напряжения на элементе «Судовая сеть 3»;
б – изменение тока на элементе «Судовая сеть 3»

Fig. 10. Modeling results: *a* – change of voltage on the element “Ship network 3”;
б – current on the element “Ship network 3”

Данные режимы являются наиболее сложными и требуют повышенного внимания при моделировании и исследовании процессов в системе. На рис. 11 показан график изменения фазных токов и напряжений на статоре асинхронного двигателя, вызванного сложным характером нагрузки внешних сил на подруливающие устройства, которая подключается на 50-й секунде. Переходный процесс протекает почти 10 секунд, и на 60-й секунде происходит скачок напряжения и тока в связи с включением остальных потребителей.

На рис. 12, 13 представлена динамика двухпо-

лупериодного шестипульсного выпрямителя со средним значением. Мощность выпрямителя на стороне переменного тока равна сумме фиксированных потерь мощности и выходной мощности выпрямителя на стороне постоянного тока. Показаны токи и напряжения постоянной части выпрямителя. Ток резко увеличивается, начиная с момента включения двигателя, и при команде «полный вперед» с 30-й по 40-ю секунду остается почти постоянным. Также видно мгновенное падение напряжения при включении остальных потребителей на 60-й секунде мощностью 6 кВт.

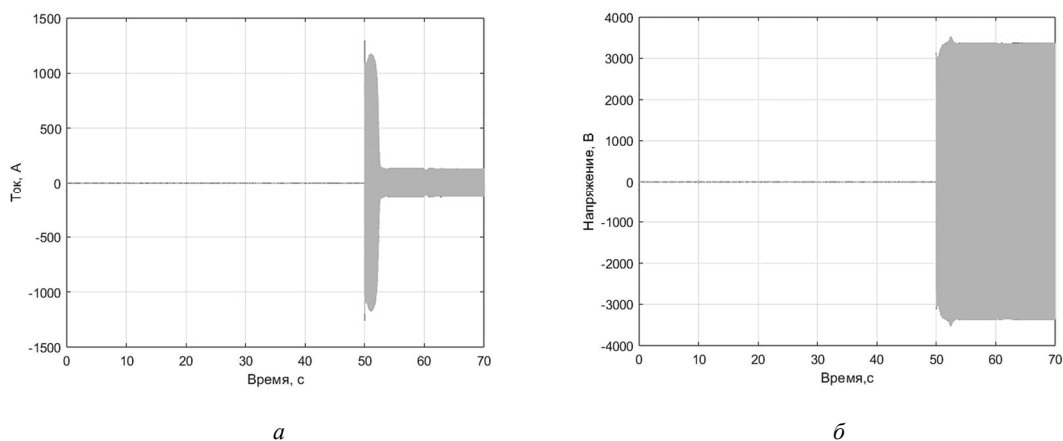


Рис. 11. Результаты моделирования: *a* – тока асинхронного двигателя при запуске подруливающих устройств; *б* – напряжения асинхронного двигателя

Fig. 11. Modeling results: *a* – induction motor current at thruster startup; *b* – induction motor voltage

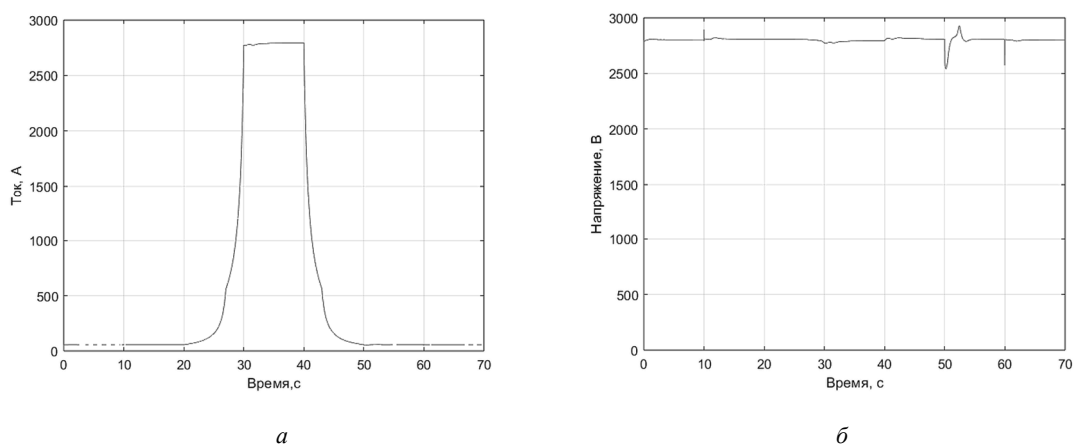


Рис. 12. Результаты моделирования: *a* – скачки тока выпрямителя; *б* – изменение напряжения

Fig. 12. Modeling results: *a* – rectifier current surges; *b* – voltage change

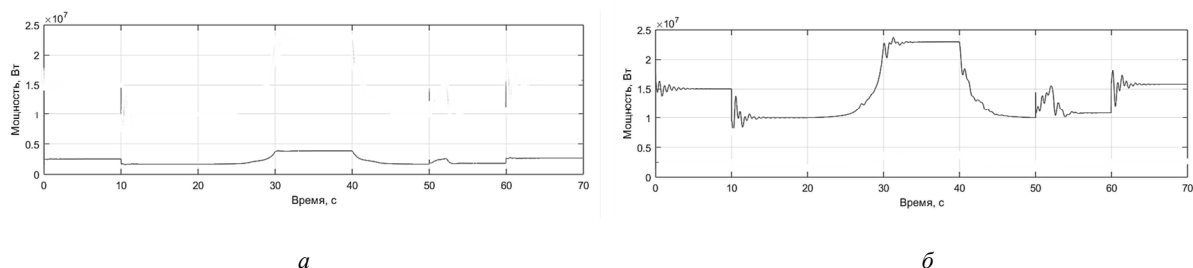


Рис. 13. Изменение мощности на главных двигателях:

a – переходный процесс выходной мощности дизель-генератора;
б – переходный процесс выходной мощности газотурбинной установки

Fig. 13. Change of power at main engines: *a* – transient process of output power of diesel generator; *b* – transient process of output power of turbo-generator

Уровень 1. На этом уровне показаны переходные процессы в системах управления дизель- и турбогенераторами. Система «синхронный генератор – выпрямитель – двигатель» позволяет плавно изменять частоту вращения гребного двигателя в широких пределах и получать требуемые механические характеристики. Для регулирования требуются сигналы малой мощности для возбуждения синхронного генератора. Следует отметить, что в моделях электрических машин могут быть учте-

ны механические процессы и дефекты, что позволяет определять их в спектре тока [7, 8].

На рис. 14, 15 приведены результаты моделирования системы управления возбуждением турбо- и дизель-генератора. Ток возбуждения дизельного генератора изменяется более плавно, чем газотурбинной установки. Переходный процесс до 10-й секунды вызван индуктивным характером постоянной базовой нагрузки, действующей во всем диапазоне времени моделирования.

Glink A. V., Boychuk I. P., Fishenko A. M., Aleksyanc S. Yu., Stepanov O. E., Shtikov E. N. Object-oriented modeling of ship propulsion systems

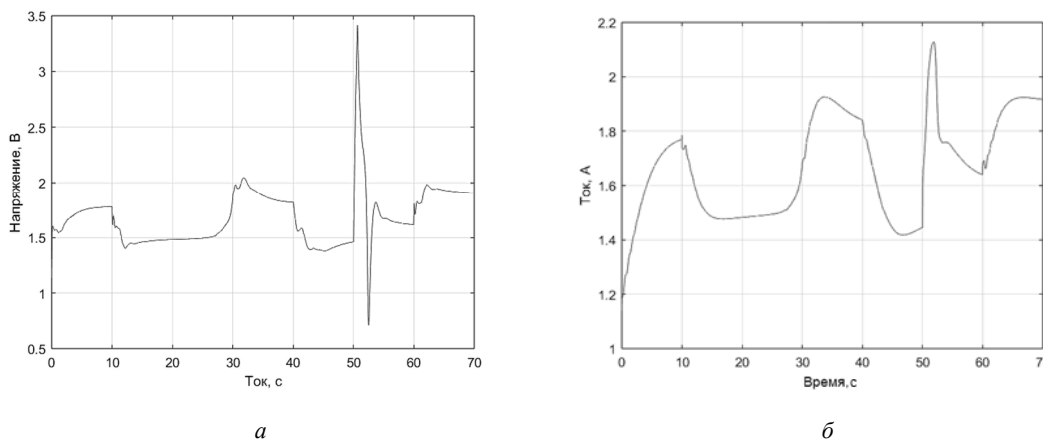


Рис. 14. Результаты моделирования: *а* – напряжение возбуждения дизель-генератора; *б* – ток возбуждения дизель-генератора

Fig. 14. Modeling results: *a* – excitation voltage of diesel generator; *b* – generator excitation current

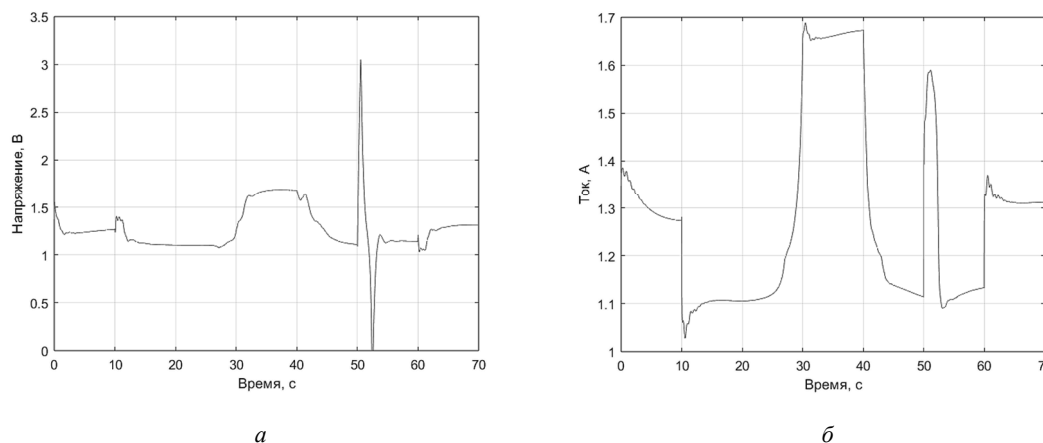


Рис. 15. Результаты моделирования: *а* – напряжение возбуждения; *б* – ток возбуждения синхронного турбогенератора

Fig. 15. Modeling results: *a* – excitation voltage; *b* – excitation current of synchronous turbo-generator

В результате моделирования получены параметры переходных процессов в электрической и механической частях системы судна. Очевидно, что включение нагрузки влияет на работу главных двигателей, регулирование напряжения генераторов и механическую часть привода системы электро-

движения. Также на подобных моделях могут быть проанализированы аварийные варианты развития событий на судне: короткие замыкания, выход из строя оборудования, прочие процессы в судовых токопроводящих частях [9].

Заключение

Объектно-ориентированное моделирование предоставляет широкие возможности для описания и моделирования сложных уровневых систем с целью отладки, исследования и построения обучающих платформ. Современные требования классификационных сообщений для автономных судов требуют наличия подобной цифровой платформы моделирования. Расчет режимов дает возможность оценить динамику процесса, синтезировать регуляторы переходных процессов и спроектировать силовую цепь и схемы защиты. Подобные модели могут использоваться при организации систем удаленной диагностики и автономного управления для достижения следующих целей:

- имитационного ситуационного моделирования;
- исследования моделей надежности при оценке рисков автономного судовождения;
- разработки цифрового двойника «что если»;
- обучения интеллектуальных систем управления;
- разработки оптимальных режимов функционирования.

Реальная судовая энергосистема в таком случае должна обладать обратной связью и цифровыми каналами, а также технической возможностью передавать данные в режиме реального времени. Отдельно следует отметить, что весьма перспективным видится интеграция в подобные модели систем берегового питания и аккумуляторов энергии.

Список источников

1. Boychuk I. P., Grinek A. V., Martyushev N. V., Klyuev R. V., Malozyomov B. V., Tynchenko V. S., Kukartsev V. A., Tynchenko Ya. A., Kondratiev S. I. A Methodological Approach to the Simulation of a Ship's Electric Power System // *Energies*. 2023. N. 16. P. 8101. <https://doi.org/10.3390/en16248101>.
2. Uriarte F. M. Multicore simulation of an ungrounded power system // *IET Electrical Systems Transportation*. 2011. N. 1 (1). P. 31–40. DOI 10.1049/iet-est.2010.0019.
3. Linares L. R., Marti J. R. A resynchronization algorithm for topological changes in real time fast transients simulation // *14th Power Systems Computation Conference*. Seville, Spain, June 24–28, 2002. P. 1–7.
4. Официальный сайт научно-производственного центра «Судовые электротехнические системы». URL: <https://npcses.ru> (дата обращения: 18.07.2024).
5. Бойчук И. П., Гринек А. В., Корнев А. В., Фищенко А. М., Слепов О. Е. Полиmodelное описание электроэнергетической системы судна // *Эксплуатация мор. трансп.* 2022. № 4 (105). С. 188–195.

6. The Math Works, Inc. 2010. *SimPowerSystems 5 User's Guide*. URL: <http://www.mathworks.com/help/toolbox/physmod/powersys> (дата обращения: 17.07.2024).
7. Grinek A. V., Boychuk I. P., Fishenko A. M., Savosteenko N. V., Gerasimenko O. N. Investigation of the operation of a ship's synchronous generator based on a numerical model // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. N. 2061. P. 012004. DOI 10.1088/1742-6596/2061/1/012004.
8. Вершинин В. И., Махонин С. В., Паршиков В. А., Хомяк В. А. Алгоритм векторного управления гребными электроприводами на основе синхронных двигателей для ледоколов с движителями типа «Азипод» // *Тр. Крылов. гос. науч. центра*. 2019. Т. 3. № 389. С. 103–112. DOI 10.24937/2542-2324-2019-3-389-103-112.
9. Цицикян Г. Н. Результаты развития судовых электроэнергетических систем // *Тр. Крылов. гос. науч. центра*. 2019. Т. 1. № 387. С. 123–130. DOI 10.24937/2542-2324-2019-1-387-123-130.

References

1. Boychuk I. P., Grinek A. V., Martyushev N. V., Klyuev R. V., Malozyomov B. V., Tynchenko V. S., Kukartsev V. A., Tynchenko Ya. A., Kondratiev S. I. A Methodological Approach to the Simulation of a Ship's Electric Power System. *Energies*, 2023, no. 16, p. 8101. <https://doi.org/10.3390/en16248101>.
2. Uriarte F. M. Multicore simulation of an ungrounded power system. *IET Electrical Systems Transportation*, 2011, no. 1 (1), pp. 31-40. DOI 10.1049/iet-est.2010.0019.
3. Linares L. R., Marti J. R. A resynchronization algorithm for topological changes in real time fast transients simulation. *14th Power Systems Computation Conference*. Seville, Spain, June 24–28, 2002. Pp. 1-7.
4. *Ofitsial'nyi sait nauchno-proizvodstvennogo tsentra «Sudovye elektrotekhnicheskie sistemy»* [The official website of the scientific and production center “Marine Electrotechnical Systems”]. Available at: <https://npcses.ru> (accessed: 18.07.2024).
5. Boichuk I. P., Grinek A. V., Kornev A. V., Fishchenko A. M., Slepov O. E. Polimodel'noe opisaniye elektroenergeticheskoy sistemy sudna [A multi-model de-

- scription of the ship's electric power system]. *Ekspluatatsiya morskogo transporta*, 2022, no. 4 (105), pp. 188-195.
6. *The MathWorks, Inc. 2010. SimPowerSystems 5 User's Guide*. Available at: <http://www.mathworks.com/help/toolbox/physmod/powersys> (accessed: 17.07.2024).
7. Grinek A. V., Boychuk I. P., Fishenko A. M., Savosteenko N. V., Gerasimenko O. N. Investigation of the operation of a ship's synchronous generator based on a numerical model. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, no. 2061, p. 012004. DOI 10.1088/1742-6596/2061/1/012004.
8. Verшинin V. I., Makhonin S. V., Parshikov V. A., Khomiak V. A. Algoritim vektornogo upravleniya grebnymi elektroprivodami na osnove sinkhronnykh dvigatelei dlia ledokolov s dvizhiteliyami tipa «Azipod» [An algorithm for vector control of electric rowing drives based on synchronous motors for icebreakers with “Azipod” type propulsion]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, 2019, vol. 3, no. 389, pp. 103-112. DOI 10.24937/2542-2324-2019-3-389-103-112.
9. Tsitsikian G. N. Rezultaty razvitiya sudovykh el-

ektoenergeticheskikh sistem [The results of the development of marine electric power systems]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, 2019, vol. 1, no. 387, pp. 123-130. DOI 10.24937/2542-2324-2019-1-387-123-130.

Статья поступила в редакцию 19.07.2024; одобрена после рецензирования 09.01.2025; принята к публикации 15.01.2025
The article was submitted 19.07.2024; approved after reviewing 09.01.2025; accepted for publication 15.01.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Анна Владимировна Гринек – кандидат технических наук, доцент; конструктор; ООО «Сигматек»; grinyokann@gmail.com

Anna V. Grinek – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Designer; Sigmatek LLC; grinyokann@gmail.com

Игорь Петрович Бойчук – кандидат технических наук, доцент; генеральный директор; ООО «Сигматек»; igor_boichuk@mail.ru

Igor P. Boychuk – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; General Manager; Sigmatek LLC; igor_boichuk@mail.ru

Артём Михайлович Фищенко – старший преподаватель кафедры высшей математики и физики; Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова; fishenko2012@gmail.com

Artem M. Fishenko – Senior Lecturer of the Department of Higher Mathematics and Physics; Admiral Ushakov Maritime State University; fishenko2012@gmail.com

Сергей Юрьевич Алексянц – старший преподаватель кафедры судового электрооборудования и средств автоматики; Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова; koval240395@yandex.ru

Sergej Yu. Aleksyanc – Senior Lecturer of the Department of Marine Electrical Equipment and Automation Equipment; Admiral Ushakov Maritime State University; koval240395@yandex.ru

Олег Евгеньевич Слепов – курсант кафедры судового электрооборудования и средств автоматики; Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова; slepov.o@list.ru

Oleg E. Slepov – Cadet of the Department of Marine Electrical Equipment and Automation Equipment; Admiral Ushakov Maritime State University; slepov.o@list.ru

Евгений Николаевич Чирков – старший преподаватель кафедры физической и специальной подготовки; Луганский филиал Московской академии Следственного комитета имени А. Я. Сухарева; Chirkov.1970@mail.ru

Evgenij N. Chirkov – Senior Lecturer of the Department of Physical and Special Training; Lugansk branch of the Sukharev Moscow Academy of the Investigative Committee; Chirkov.1970@mail.ru

