

## Раздел 2 СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 678

DOI: 10.34046/aumsuomt 103/16

### АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ МОРСКИХ СУДОВ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

*Т. Д. Власов, курсант*

*А. А. Бабаев, курсант*

*В. В. Герасиди, кандидат технических наук, доцент*

Статья посвящена анализу процесса внедрения цифровых двойников морских судов и их эксплуатации. В работе рассмотрен вопрос использования цифровых двойников в области мониторинга, диагностики технического состояния и управления судовой энергетической установкой (СЭУ). Это направление в последние годы получило дополнительную актуальность за счет успешного внедрения в различных сферах деятельности человека. Цифровые двойники позволяют решать быстро и одновременно сразу несколько задач, такие как решение навигационных задач, управление системами СЭУ и другие задачи. Так для автономного управления судовой энергетической установкой можно применять цифровые двойники. Цифровой двойник может применяться к любой сложной системе судовой энергетической установки и решать поставленную ей задачу. В работе рассмотрено влияние автономных судов на современный мир. Приведены примеры использования ЦД в наши дни, представлено предполагаемое развитие технологий в области автономных судов в будущем времени.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, морское судно, эксплуатация, задачи, автономные суда.

### ANALYSIS OF THE PROCESS OF IMPLEMENTATION OF DIGITAL TWINS OF SEA VESSELS AND THEIR OPERATION

*T.D. Vlasov, A.A. Babaev, V.V. Gerasidi*

The article is devoted to the analysis of the process of introducing digital counterparts of sea vessels and their operation. The paper considers the use of digital twins in the field of monitoring, diagnostics of the technical condition and management of a ship power plant (SEU). This direction has gained additional relevance in recent years due to its successful implementation in various fields of human activity. Digital doubles allow you to solve several tasks quickly and simultaneously, such as solving navigation problems, managing the SEU system and other tasks. Thus, digital doubles can be used for autonomous control of a ship's power plant. The digital twin can be applied to any complex system of a ship's power plant and solve the task assigned to it for a person. The paper examines the likely impact of autonomous vessels on the modern world, provides examples of the use of CD in our days, and presents the expected development of technologies in the field of autonomous vessels in the future.

**Keywords:** digital twin, marine vessel, operation, tasks, autonomous vessels.

#### Введение

В настоящее время все судоходные компании стремятся сделать свои морские суда более эффективными и приспособленными к реалиям сегодняшнего дня. В современном мире стандартное мореплавающее судно имеет срок службы от 30 до 50 лет. Это связано с тем, что техника регулярно подвергается модернизации, всяческому переоборудованию и ремонту. Многочисленные изменения приводят к тому, что судовые документы, описывающие конструкцию судна и внутреннего оснащения, не соответствуют с фактическим состоянием, что приводит к проблемам эксплуатации и модернизации оборудования. Для решения данной проблемы требуется создание 3D-

модели судна – «Цифрового двойника». «Цифровой двойник» позволит объединить всю возможную информацию о судне, поддерживать ее в актуальном состоянии, улучшить понимание судовладельца или отдела технической эксплуатации флота о текущем техническом состоянии судовых технических средств и колоссально сократит эксплуатационные расходы на эксплуатацию судна. В данной статье рассмотрены этапы создания и развития цифрового двойника, внедрение в морской транспорт [1-4].

Цифровой двойник – это цифровая (виртуальная) модель любых объектов, систем, процессов или людей. Она точно воспроизводит форму и дей-

ствия оригинала и синхронизирована с ним. Технологические разработки, такие как датчики, каналы связи, системы связи и управления, позволили реализовать цифровой близнец в судоходстве.

Это помогает, во-первых, сэкономить время и средства (например, если речь идет о сложном и дорогостоящем оборудовании), а во-вторых — избежать вреда для людей и окружающей среды.

Этапы создания цифрового двойника:

– прототип (DTP) – представляет собой виртуальный аналог реального объекта, который содержит все данные для производства оригинала;

– экземпляр (DPI) – содержит данные обо всех характеристиках и эксплуатации физического объекта, включая трехмерную модель, и действует параллельно с оригиналом;

– агрегированный двойник (DTA) – вычислительная система из цифровых двойников и реальных объектов, которыми можно управлять из единого центра и обмениваться данными внутри.

Оптимальной погрешностью между работой цифрового двойника и его физического прототипа считают 5%.

Основными задачами цифрового двойника являются:

1. Провести тестовый запуск процесса или производственной цепочки быстро и без существенных вложений.
2. Обнаружить проблему или уязвимость до того, как будет запущено производство или объект поступит в эксплуатацию.
3. Повысить эффективность процессов или систем, отследив все сбои еще до старта.
4. Снизить риски – в том числе финансовые, а также связанные с безопасностью для жизни и здоровья персонала.
5. Повысить конкурентоспособность и прибыльность бизнеса.
6. Строить долгосрочные прогнозы и планировать развитие компании или продукта на годы вперед.



Рисунок 1 – Схема процесса строительства судов

Цифровые двойники, как инструмент управления процессами производства и проектирования, позволяют усовершенствовать производственную систему предприятия. Благодаря моделированию проектирования и производства судов, возможно, добиться значительного роста рентабельности, оптимизировать цепочки поставок, снизить нагрузку на складские помещения.

**Процесс создания цифрового двойника состоит:**

- исследование объекта;
- моделирование цифровой копии объекта;
- тестирование основных процессов работы на цифровом двойнике;
- запуск и наладка;
- корректировка и развитие оригинального объекта или системы;

**Исследование объекта**, этот этап предшествует разработке только в том случае, если у цифрового двойника есть реальный прототип — например, работающее предприятие или система коммуникаций. Тогда разработчики составляют детальную карту прототипа, воспроизводят все процессы и характеристики. При этом важно изучить объект в разных условиях.

**Моделирование цифровой копии объекта**, этот этап должен быть первым. Например, в постройке морского судна вначале создается цифровая 3D-модель.

Для построения комплексной модели используются математические методы вычисления и анализа:

1. Метод конечных элементов (FEA — Finite Element Analysis), позволяющий рассчитать эксплуатационную нагрузку. Его применяют, допустим, для расчета механики деформируемого твердого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики.
2. FMEA-модели (Failure Mode and Effects Analysis, анализ видов и последствий отказов) необходимы для анализа надежности систем и выявления наиболее критических шагов производственных процессов.
3. CAD-модели (computer-aided design /drafting, средства автоматизированного проектирования) используются, чтобы рассчитать внешние характеристики и структуру объектов, материалов и процессов.

Рассмотрим этапы создания и воплощения объектов цифровой трансформации:

- воплощение модели;
- тестирование основных процессов работы на цифровом двойнике.

Затем рассчитанную ранее архитектуру цифрового двойника переносят на специальные платформы – такие как Siemens или Dassault Systemes. Они объединяют математические модели, данные и интерфейс для управления цифровым двойником, превращая его в динамическую

систему. Этот этап можно сравнить с трансформацией программного кода в программу или приложение с визуальным интерфейсом, который понятен любому пользователю [1-4].

Таблица 1 – Этапы развития цифрового двойника

Тестирование основных процессов работы на цифровом двойнике	Запуск и наладка	Корректировка и развитие оригинального объекта или системы
<p>Главная цель этого этапа – спрогнозировать, как будет вести себя объект или система в обычном режиме и при внешних ситуациях, чтобы избежать поломок и перегрузки после запуска. Для этого к процессу подключают технических операторов, которые собирают большой массив данных в ходе испытаний, чтобы просчитать алгоритмы для любых возможных условий в эксплуатации</p>	<p>Если предыдущий этап прошел успешно, в процессе эксплуатации реального прототипа можно избежать до 90% сбоев и поломок. Однако часть ситуаций все же не удается спрогнозировать, и тогда их отслеживают уже на этапе запуска и наладки цифрового двойника</p>	<p>Работа с цифровым двойником как с реальным физическим объектом до тех пор, пока не будут отлажены все системы и процессы. По результатам этой работы в оригинальный объект вносят изменения, чтобы получить добиться его максимальной эффективности</p>

На сегодняшний день развитием цифровых двойников и внедрением новых технологий занимается MASS [2]. **MASS** - это элемент развития систем робототехники и искусственного интеллекта (RAI) в различных секторах транспорта [5,6]. Термин MASS был принят Комитетом по безопасности на море (MSC или ИМО) Международной морской организации (ИМО) для их аналитической работы. В настоящее время ИМО проводит оценку существующих инструментов ИМО,

чтобы выяснить, как они могут применяться к судам с различной степенью автоматизации, путем проведения нормативного анализа морских автономных надводных кораблей (MASS) [2].

В некоторых морских районах проходят испытания автономные суда с дистанционным управлением. Большинство прогнозов заключается в том, что автономная или полуавтономная работа будет пока ограничена короткими рейсами, например, из одного конкретного порта в другой на короткое расстояние.

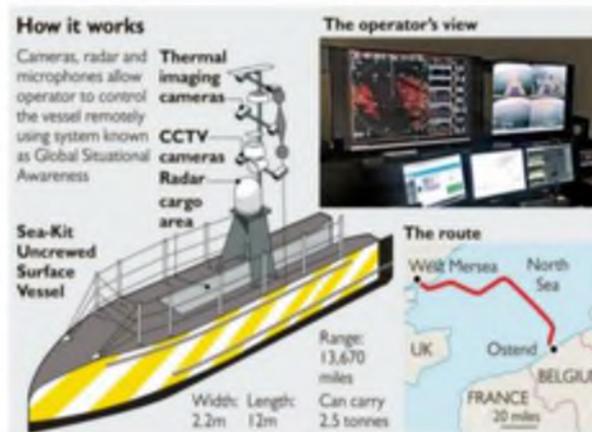


Рисунок 2 – Фото и маршрут существующего судно с цифровым двойником [2]

На рисунке 3 представлены судно "Maximer" компании SEA-KIT и его маршрут. Из имеющейся информации мы можем составить графическую модель развития внедрения цифровых технологий на морском транспорте, она представлена в таблице 2.

Над новым проектом по оцифровке кораблей работают сразу четыре компании: финский производитель программного обеспечения Nara, немецкий разработчик силовых агрегатов AVL,

Корейский университет морских технологий и южнокорейский концерн Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering (DSME) – вторая по величине судостроительная компания в мире после Hyundai Heavy Industries.

Nara – эксперт в области морского программного обеспечения и больших данных – занимается разработкой самого цифрового двойника корабля с оцифрованными компонентами и симу-

лятором для интеграции моделей корабля и машинного отделения в режиме реального времени.

Таблица 2 – Графическая модель развития внедрения цифровых технологий на морском транспорте [2-4]

Игроки	Этапы	Задачи	Проект
Проектное бюро	DTP	Моделирование цифровой копии	Автономное судно Maxlimer компании SEA-KIT
Завод изготовитель	DTI	Запуск и наладка	
MASS	DTA	Контроль оборудования и обмен данными	

Немецкая фирма AVL создает инструменты и методики для разработки, моделирования и тестирования систем силовых агрегатов и установок [7].

Корейский морской университет разрабатывает платформу для использования виртуальной и дополненной реальности, чтобы помочь контролировать производительность корабля. Планируется, что собственные учебные суда университета станут испытательным полигоном для исследования и тестирования разработанной технологии.

По словам разработчиков, цель проекта заключается в том, чтобы создать инструменты для сбора и обработки данных о производительности корабля и работе машинного отделения и использовать эту информацию для обучения моряков, оптимизации работы судов и морских перевозок в целом.

Для развития цифровых технологий необходимо создавать инструменты для сбора и обработки данных о судне и судовых энергетических установках для оптимизации процессов эксплуатации судовых систем и судна в целом.

#### Заключение

Цифровые двойники позволяют:

1) Выполнять контроль состояние объекта в режиме реального времени при помощи специальных датчиков-трекинг системы.

2) На цифровом двойнике можно моделировать различные производственные ситуации, чтобы проверить, как поведет себя оборудование в тех или иных условиях.

3) Проводить обучение или переподготовку персонала.

Диапазон вариантов использования этой технологии значительно варьируется от проектов технического обслуживания и модернизации до конкретных случаев моделирования сценариев чрезвычайных ситуаций или обучения персонала.

Внедрение цифровых двойников позволяют компаниям сократить эксплуатационные затраты до 20%.

#### Литература

1. Регистровая книга судов Российского морского регистра судоходства [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rs-class.org/ru/regbook/> (дата обращения 01.12.2021).
2. Использование технологии «DigitalTwin» при управлении ремонтом судна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nfp2b.ru/2019/02/07/ispolzovanie-tehnologii-d.>(дата обращения 01.12.2021).
3. CADMATIC eShare – ключевой шаг к цифровизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cadmatic.com/ru/resources/blog/what-is-at.> (дата обращения 01.12.2021).
4. Корейская судостроительная компания будет создавать цифровые двойники кораблей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://logist.today/dnevnik\\_logista/2019-06-18/korej.](https://logist.today/dnevnik_logista/2019-06-18/korej.) (дата обращения 01.12.2021).
5. Гринек А.В., Тимофеев С.П., Кондратьев С.И., Хуртасенко А.В. Способ контроля параметров геометрической точности судовых валопроводов //Морские интеллектуальные технологии.– 2020.– № 3-1 (49).– С. 90-96.
6. Каракаев А.Б. Разработка методологии, методов и моделей анализа влияния различных вариантов построения структуры и режимов поддержания и восстановления работоспособности судовых электроэнергетических систем (Часть2) [Текст] /А.Б. Каракаев, А.В. Луканин, Е.В. Хекерт// Эксплуатация морского транспорта.– 2016.– № 4 (81).– С. 85-95.
7. Боран-Кешипян А.Л. Положения теории интервальных средних, применительно к анализу надежности технических средств сложных систем при независимых по надежности элементах [текст] / А.Л. Боран-Кешипян, Е.В. Хекерт // Эксплуатация морского транспорта.– 2014.– № 1 (73).– С. 38-42.

#### References

1. Registrovaya kniga sudov Rossijskogo morskogo registra sudohodstva [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.rs-class.org/ru/regbook/> (data obrashcheniya 01.12.2021).
2. Ispol'zovanie tekhnologii «DigitalTwin» pri upravlenii remontom sudna [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://nfp2b.ru/2019/02/07/ispolzovanie-tehnologii-d.>(data obrashcheniy a 01.12.2021).
3. CADMATIC eShare – klyuchevoj shag k cifrovizacii [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.cadmatic.com/ru/resources/blog/what-is-at.> (data obrashcheniy a 01.12.2021).

4. Korejskaya sudostroitel'naya kompaniya budet sozdavat' cifrovye dvojniki korablej [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: [https://logist.today/dnevnik\\_logista/2019-06-18/korej](https://logist.today/dnevnik_logista/2019-06-18/korej). (data obrashcheniya 01.12.2021).
5. Grinek A.V., Timofeev S.P., Kondrat'ev S.I., Hur-tasenko A.V. Sposob kontrolya parametrov geometricheskoy tochnosti sudovyh valoprovodov Morskije intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 3-1 (49). S. 90-96.
6. Karakaev A.B. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnyh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vosstanovleniya rabotosposobnosti sudovyh elektroenergeticheskikh sistem (CHast'2) [Tekst] /A.B. Karakaev, A.V. Lukanin, E.V. Hekert//Ek-spluatatsiya morskogo transporta. 2016. № 4 (81). S. 85-95.
7. Boran-Keshish'yan A.L. Polozheniya teorii interval'nyh srednih, primenitel'no k analizu nadezhnosti tekhnicheskikh sredstv slozhnyh sistem pri nezavisimyyh po nadezhnosti elementah [tekst] / A.L. Boran-Keshish'yan, E.V. Hekert // Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2014. № 1 (73).– S. 38-42.

УДК 621.3.01

DOI: 10.34046/aumsuomt 103/17

## МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОПТИМИЗАЦИИ

*А.Б. Каракеев, доктор технических наук, профессор  
Е.В. Хекерт, доктор технических наук, профессор  
Д.А. Трапезникова, аспирант*

На сегодняшний день актуализируются вопросы, связанные с решением проблем в судовых электро-энергетических системах. Одними из основных являются вопросы качества электроэнергии и электро-магнитной совместимости объектов технического флота. Актуальность данного исследования также обусловлена и наличием значительного физического износа на объектах технического флота. В рамках представленной статьи акцентируется внимание на повышении качества электроэнергии и оптимизации энергоснабжения моделей судовых электроэнергетических систем посредством оптимизации алгоритмов управления. Таким образом, основной целью данной работы является изучение вопроса актуальности модернизации существующих моделей судовых электроэнергетических систем посредством оптимизации алгоритмов управления. В работе применяются теоретические и эмпирические методы исследования, автором используются научные материалы зарубежного и отечественного авторства. Преимущественная часть работы посвящена именно изучению вопроса повышения надежности работы электроэнергетических систем посредством математического моделирования и обеспечения. Автором также производится анализ алгоритма применения комплексного подхода к анализу систем, алгоритм определения основного отображения системы, алгоритм уточнения структуры и функционала системы и алгоритм процесса оптимизации отображений параметров объектов системы.

**Ключевые слова:** электроэнергетические системы, судно, моделирование, алгоритм, управление, электрооборудование.

## METHODS FOR OPTIMIZING CONTROL ALGORITHMS SHIP ELECTRIC POWER SYSTEMS TO IMPROVE THE QUALITY OF OPTIMIZATION

*A. B. Karakaev, E. V. Khekert, D. A. Trapeznikova*

To date, issues related to solving problems in ship power systems are being updated. One of the main issues is the quality of electricity and electromagnetic compatibility of technical fleet facilities. The relevance of this research is also due to the presence of significant physical wear and tear at the facilities of the technical fleet. Within the framework of the presented article, attention is focused on improving the quality of electricity and optimizing the power supply of models of ship electric power systems through the optimization of control algorithms. Thus, the main purpose of this work is to study the relevance of the modernization of existing models of ship electric power systems by optimizing control algorithms. The paper uses theoretical and empirical research methods, the author uses scientific materials of foreign and domestic authorship. The predominant part of the work is devoted to the study of the issue of improving the reliability of electrical power systems through mathematical modeling and assurance. The author also analyzes the algorithm for applying the complex approach to the analysis of systems, the algorithm for determining the main selection of the system, the algorithm for clarifying the structure and functionality of the system and the algorithm for optimizing the mapping of the parameters of the objects of the system.

**Key words:** electric power systems, ship, modeling, algorithm, control, electrical equipment.