

Известия Балтийской государственной академии
рыбопромыслового флота. 2026. № 3(77). С. 191–200

Научная статья

УДК 378.14: [656.61.052:004.67]

Doi:10.46845/2071-5331-2026-3-77-191-200

Цифровой двойник судна как самостоятельная мультидисциплинарная дидактическая единица морских образовательных программ

**Виталий Александрович Бондарев¹, Сергей Владимирович Ермаков²,
Никита Жанович Малинин³**

^{1,2,3}Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия

¹bondarev.va@bgarf.ru

²sv.ermakov@bgarf.ru; <https://orcid.org/0009-0009-7814-8877>

³for_informatics@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-7439-0547>

Аннотация. Приведено краткое описание концепции цифровых двойников как общее, так и применительно к морскому судоходству. Проанализирована необходимость существования в морских образовательных программах самостоятельной дидактической единицы «цифровой двойник», приведена соответствующая аргументация. Обобщена и проанализирована выборочная информация о существующих в российских вузах дисциплинах, направленных на освоение концепции цифровых двойников. Отдельно рассмотрено место цифровых двойников в программах аспирантуры. Оценены кадровая проблема и проблема методического обеспечения изучения исследуемой дидактической единицы.

Ключевые слова: концепция цифровых двойников, цифровой двойник судна, дидактическая единица, дисциплины.

Для цитирования: Бондарев, В. А., Ермаков, С. В., Малинин, Н. Ж. Цифровой двойник судна как самостоятельная мультидисциплинарная дидактическая единица морских образовательных программ // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота. – 2026. – № 3(77). – С. 191–200.

В число инновационных развивающихся технологий, лежащих в основе четвертой промышленной революции, по праву входит технология цифровых двойников (Digital Twin Technology – DTT). Прообраз этой технологии появился около полувека назад, а в том виде, как она воспринимается сейчас, DTT начала формироваться в начале текущего тысячелетия с подачи М. Гривза – американского профессора, считающегося основоположником концепции цифровых двойников. Именно в одной из его работ дано одновременно абстрактное и наиболее точное определение понятию «цифровой двойник», а, на наш взгляд, к тому же и дающее лучшее понимание его сущности определение.

По мнению М. Гривза набор виртуальных информационных конструкций, которые полностью описывают потенциальный или фактический физический произведенный продукт от микроатомного уровня до макрогеометрического уровня [1-3] (в оригинале: «*Digital Twin (DT) is a set of virtual information constructs that fully describes a potential or actual physical manufactured product from the micro atomic level to the macro geometrical level*» [4]). В идеале всю информацию, которую можно получить непосредственно от физического объекта, можно получить и от его цифрового двойника. Здесь следует сразу оговориться, что это определение далеко не единственное, а в научной литературе встречается не один десяток разнообразных дефиниций, что является источником проблемы единообразия.

Цифровой двойник является виртуальной цифровой моделью физического объекта, при этом постоянное информационное взаимодействие между ними является сущностным признаком цифрового двойника (рис. 1).

Цифровые двойники позволяют решать множество задач, среди которых моделирование и прогнозирование состояния и поведения объекта в различных условиях будущего времени.



К настоящему времени рассматриваемая технология привела к созданию и успешному функционированию цифровых двойников фабрик, заводов, электростанций, отдельных изделий (автомобилей, насосов и пр.) и даже целых городов [5–9].

Несмотря на некоторую консервативность судоходной отрасли прецеденты тестирования и использования цифровых двойников на морских судах в различных целях существуют. Паром Berlin [10], балкеры Kamsarmax [11], автоматическая система швартовки судов [12] – этим перечнем успешный опыт применения ДТТ в морской индустрии далеко не ограничивается.

Однако, пик интенсивности как отраслевых исследований цифровых двойников, так и непосредственно внедрения их на морские суда ещё впереди.



Рис. 1. Простейшая визуализация концепции цифрового двойника

В своей работе «Перспективы развития цифровых двойников в высшем образовании» [13] И. А. Фролова и В. А. Мельникова, приведя краткий обзор и анализ концепции и технологии с акцентом на отечественные теоретические и практические разработки (включая разработки А. И. Боровкова и Центра компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого [14]), оценили возможность и перспективы использования цифровых двойников как средства обучения. Иными словами, в образовательном процессе цифровыми двойниками предлагается заменять реальное лабораторное и иное оборудование, что даёт возможность достаточно точно моделировать практически неограниченный диапазон условий лабораторного эксперимента без использования «железа».

В таком контексте настоящая работа является некоторым продолжением работы [13], но в настоящем исследовании цифровой двойник (или конкретнее – цифровой двойник судна) уже рассматривается не как средство обучения, а как объект изучения в процессе реализации образовательной программы 26.05.05 «Судовождение».

В работах [2, 3] предложена концепция цифрового двойника судна, схематично изображённая на рис. 2.

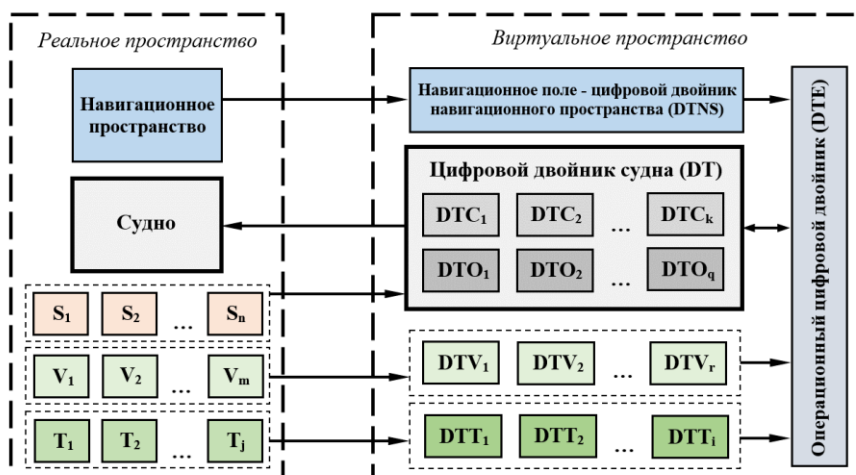


Рис. 2. Концепция цифрового двойника морского судна

Представленная концепция включает в себя непосредственно цифровой двойник судна как совокупность цифровых двойников компонентов DTC и процессов DTO, навигационное поле как цифровой двойник DTNS навигационного пространства, а также цифровые двойники судов-прототипов DTV и судов-целей DTT. Технической основой информационного взаимодействия (непосредственными источниками данных для цифрового двойника) являются судовые и находящиеся вне судна датчики (источники, сенсоры) S.

Здесь вполне уместно отчасти оспорить утверждение авторов [13] об атактистическом характере использования математических моделей для обучения при том, что цифровой двойник в [13] позиционируется как инновационное средство обучения.

Операционный двойник DTE, входящий в структуру цифрового двойника судна и являющийся некоторой средой, обеспечивающий многообразие операций с ним и элементами его структуры, среди прочего включает и математические модели компонентов, процессов и самого судна.

По замыслу, определяющему принцип создания цифрового двойника судна, основой для его формирования являются эмпирические данные от внутренних (судовых) и внешних источников. В свою очередь, математические модели судна имеют здесь вторичный вспомогательный характер и предназначены для восполнения информационных пробелов цифрового двойника и, возможно, для контроля генерируемого им результата.

Однако, поведение судна в различных условиях, реализация любого эксплуатационного процесса настолько уникальны, что нет никаких причин и оснований ожидать частого повторения одинаковых (или к близким к таковым) реализаций. По этой причине факультативность роли математических моделей в структуре цифрового двойника судна является большой формальной и умозрительной, чем реальной. Математические модели представляются здесь неотъемлемой частью DT, во многом определяющих его работоспособность (по сути, жизнеспособность) [1].

Очевидный потенциал цифровых двойников для построения систем поддержки принятия решения судовым специалистом (в частности, вахтенным помощником капитана) позволяет констатировать также очевидную необходимость включения цифровых двойников в образовательные программы морских (конвенционных) специальностей в качестве самостоятельных дидактических единиц одной или нескольких дисциплин. Это касается основных образовательных программ среднего профессионального образования, высшего образования (включая программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре), а также дополнительных профессиональных программ.

Необходимо заметить, что так же, как и «цифровой двойник», термин «дидактическая единица» не имеет установившего общепринятого единообразного определения [15, 16].

В [15] дидактическая единица представляется как:

- элемент содержания учебного материала, изложенного в виде утвержденной в установленном порядке программы обучения в рамках определенной профессиональной дисциплины;
- одна из предметных тем, подлежащих обязательному освещению в процессе подготовки специалистов, изучающих такую дисциплину;
- «квант» содержания дисциплины.

В свою очередь в [16] под дидактической единицей понимается «... структурно-минимальное логически завершенное знание по определенной конкретной дисциплине» [16].

Дидактическая единица «... выступает основной опорной точкой для понимания любого физико-технического явления, которое рассматривается в конкретном содержании учебной дисциплин» [16].

Наблюдая в представленных дефинициях исключительно вариантное различие при отсутствии принципиальных содержательных противоречий, далее при анализе места цифрового двойника в конвенционных образовательных программах будут приниматься за терминологическую основу представленные, дополняющие друг друга определения в совокупности.

В настоящее время одной из тем, определяющих содержание дисциплины «Автоматизация судовождения» программы специалитета 26.05.05 «Судовождение», является тема (дидактическая единица) «Концепция цифровых двойников».

Цель освоения этой темы – изучение основополагающих принципов построения, перспектив и практических аспектов использования цифровых двойников на морских судах. Естественно, что крайне ограниченное время на освоение учебного материала даёт возможность сформировать у обучающихся только общее понимание концепции цифровых двойников и возможных способах их использования в дальнейшей практической деятельности судоводителя.



Однако в рамках указанной дисциплины этого вполне достаточно для формирования у обучающихся представления о месте цифровых двойников в системе средств и методов автоматизации судовождения. К тому же изучение цифровых двойников компонентов и процессов позволяет дополнить и в большей степени систематизировать знания, полученные в отношении этих компонентов и процессов при изучении других специальных (конвенционных) дисциплин.

Так, рассматривая эксплуатационный процессный цифровой двойник циркуляции морского судна, обучающиеся приобретают способность анализировать процесс, траекторию и элементы циркуляции через призму параметров процесса как факторов циркуляции и их одиночное и совокупное влияние на поведение судна. В итоге, представление циркуляции в сознании будущих судоводителей становится более чётким, структурированным и практически применимым.

Однако, упомянутая дисциплина является единственной в образовательной программе 26.05.05 «Судовождение», где фигурирует технология цифровых двойников.

Это следует признать нонсенсом, т.к. эта технология, так же, как и соответствующая дидактическая единица, имеют мультидисциплинарную сквозную сущность. Свойство мультидисциплинарности здесь означает интеграцию нескольких физических процессов (и, как следствие, дисциплин) в один сложный комплексный процесс [14].

Эти процессы плотно взаимосвязаны, т. е. не могут быть рассмотрены по отдельности при решении сложной задачи формирования и функционирования цифрового двойника судна. Здесь показательным является тот факт, что в монографии «Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности» [14] прилагательное «мультидисциплинарный» в различных контекстах повторяется 35 раз.

Вытекает и некоторая кадровая проблема, имеющая место быть как в образовании, так и на производстве, и заключающаяся в дефиците многопрофильных квалифицированных специалистов, способных преподавать и работать на стыке морской техники, информационных технологий и анализа данных, обладающих глубоко пересекающимися множествами знаний из различных областей, одновременно понимающими физику процессов судовождения, владеющими методами математического моделирования и ориентирующимися в архитектуре современных IT-систем.

В этой связи особое значение приобретают качественные дополнительные профессиональные программы (программы повышения квалификации), которые отчасти решают обозначенную проблему. Так, в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» реализуется программа «Цифровые двойники изделий» объёмом 72 часа, обучение по которой в этом году уже прошли несколько преподавателей кафедры судовождения и безопасности мореплавания Калининградского государственного технического университета.

В перспективах кафедры, которая практически сформировала своё устойчивое видение как самой технологии цифровых двойников, так и её преподавания, разработка и реализация своей собственной программы повышения квалификации.

Исходя из известной методологии создания цифровых двойников, подробно описанной, в частности, в той же монографии [14] для реализации всех составляющих цифрового двойника объекта, процесса или явления необходимо применять цифровые технологии – программные и аппаратные решения. В число таких технологий, в частности, входят технологии компьютерного проектирования, моделирования и оптимизации (CAD-CAE-CAO-технологии), системы управления данными и жизненным циклом объекта (PDM-PLM-технологии), технологии интернета вещей (IoT), виртуальной и дополненной реальности, аддитивного производства, больших данных, блокчейн и пр.

Всё перечисленное свидетельствует о необходимости приобретения обучающимися соответствующих цифровых компетенций и включения в дисциплину «Информатика» и иных дисциплин, связанных с изучением информационных технологий, цифрового двойника как дидактической единицы. При этом цель освоения соответствующей темы можно определить следующим образом: приобретение обучающимся системы знаний о назначении, принципах построения и использовании программных систем и платформ для создания цифровых двойников судна, его компонентов и судовых эксплуатационных процессов.

Таким образом, в «инфотехнологических» дисциплинах цифровой двойник будет изучаться через иную, чем описано выше, грань призмы, определяемую технологическим фундаментом методологии цифровых двойников.

Здесь обязательно следует обратить внимание на то, что технология цифровых двойников, как уже было замечено, имеющая мультидисциплинарный сквозной характер, тем или иным образом «цепляет» такие дисциплины, например, как «Математика», «Физика» и т. д.

Так, математические модели судна, входящие в структуру цифрового двойника судна, находятся на «стыке» двух фундаментальных наук – физики, которая описывает законы взаимодействия физических объектов; и математики, которая даёт возможность представить это описание неравенствами, алгебраическими уравнениями, обыкновенными дифференциальными уравнениями, дифференциальными уравнениями в частных производных и др. Так, кинематика и динамика морского судна, как сложного динамического объекта, в общем случае описывается системой из двенадцати нелинейных дифференциальных уравнений [17].

Естественно, что всё перечисленное в предыдущем абзаце относится к универсальным математическим инструментам, позволяющим на также универсальном языке математики с той или иной степенью адекватности описывать практически любые объекты и явления мира, и здесь ни судно, ни его цифровой двойник не могут быть самостоятельными дидактическими единицами дисциплины. Однако в контексте настоящей работы есть смысл обратить внимание на существование одной проблемы.

Программы таких фундаментальных дисциплин как «Математика», «Физика» и т. п., содержание лекций, учебных заданий по этим дисциплинам действительно имеют непосредственную связь со специальными дисциплинами и будущей профессиональной деятельностью. Однако эта связь неочевидна, латентна и скрыта, причём порой скрыта настолько, что является невидимой и неосознаваемой не только обучающимися, но и преподавателями [18].

Сделать такую связь понятной возможно, если интегрировать в содержание фундаментальных дисциплин специальные элементы, тем более, что многие профильные дисциплины во многом основаны на физических и математических правила, законах и постулатах.

Так, например, в основе работы гидроакустического доплеровского лага лежит эффект Доплера, индикционного лага – явление электромагнитной индукции, при описании движения главной оси чувствительного элемента гирокомпаса, так же как в математической модели судна, используются системы дифференциальных уравнений, а динамика вращательного движения проходит является частью фундамента многих тем из рабочих программ специальных дисциплин.

Подобная интеграция только положительно повлияет на мотивацию обучающихся и на эффективность усвоения учебного материала как фундаментальных дисциплин на младших курсах, так и специальных на курсах старших. В полной мере это касается и цифрового двойника судна вне зависимости от того, дидактической единицей какой дисциплины он является.

Следует заметить, что математика и физика являются не единственными частями знанцевоего фундамента, необходимого для успешного освоения концепции и технологии цифровых двойников. Так, например, цифровой двойник судна, так же, как и программное обеспечение, лежащее в его основе, подлежат верификации и валидации. А здесь уже базовой дисциплиной является «Метрология, стандартизация и сертификация на водном транспорте».

Если цифровые компетенции, связанные с цифровым двойником судна и подлежащие освоению обучающимся по конвенционным программам специалитета, могут быть, как это указано выше, ограничено исключительно знаниями связанных с ДТТ информационных технологий, то ситуация с программами аспирантуры выглядит несколько иным образом. Здесь необходимо говорить уже о более объёмном содержании компетенции, включающей в себя не только знания, но и умения пользоваться соответствующими информационными системами и платформами. Аргумент подобного утверждения носит прецедентный характер.

Последние несколько лет цифровой двойник судна является объектом диссертационных исследований аспирантов кафедры судовождения и безопасности мореплавания, обучающихся по научной специальности 2.9.7 «Эксплуатация водного транспорта, водные пути сообщения и гидрография». При этом один диссертант уже прошёл успешную защиту, а ещё троим эта процедура предстоит в ближайшем будущем. Вполне возможно, что складывающееся направление исследований станет поводом для появления в Калининградском государственном техническом университете новой научной школы. В настоящее же время, цифровой двойник как самостоятельная дидактическая единица интегрирована и присутствует в трёх дисциплинах упомянутой программы аспирантуры.



Цифровой двойник как дидактическая единица является новеллой только в отношении конвенционных морских образовательных программ, существуя таковой во многих других образовательных программах, не обязательно направленных на подготовку IT-специалистов. Более того, бурное развитие технологии цифровых двойников стало причиной появления целых дисциплин (табл. 1), которые назовём для определённости DTT-дисциплины.

Таблица

Примеры DTT-дисциплин в образовательных программах

Наименование дисциплины	Направление подготовки	Кол-во часов	Вуз	Краткое содержание
Цифровые двойники изделий	09.04.02 Информационные системы и технологии (магистратура)	108	ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»	Введение в концепцию цифровых двойников. Моделирование и симуляция изделий. Сбор и анализ данных для цифровых двойников. Применение цифровых двойников в промышленности
Цифровые двойники в электроэнергетике	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника (магистратура)	144	ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»	Основы применения технологий цифровых двойников в электроэнергетике. Разработка цифровых и информационных моделей электроэнергетических объектов. Методы организации производственных процессов на электроэнергетических объектах. Анализ данных режимов работы электроэнергетических объектов. Применение цифровых двойников на электроэнергетических объектах.
Проектирование цифровых двойников на основе больших данных	39.04.01 Социология (магистратура)	144	ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский Федеральный университет»	Понятие цифрового двойника в социологии. Источники больших данных для цифровых двойников. Социологическая операционализация объекта моделирования. Сбор, интеграция и очистка данных. Система индикаторов и метрик. Сетевые связи и структурные зависимости. Временная динамика и событийные ряды. Текстовые данные в цифровом двойнике. Поведенческие логи и пользовательские траектории. Территориальные цифровые двойники. Цифровые двойники организаций и институтов. Сценарное моделирование и прогнозирование. Визуализация и интерфейсы цифрового двойника. Валидация и интерпретация результатов. Этические и правовые ограничения. Консалтинг и управленческие решения на основе цифрового двойника.
Цифровые двойники высокоскоростных магистралей	23.04.02 Наземные транспортно-технологические комплексы (магистратура)	216	ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»	Введение в мир цифровых двойников. Математическое и компьютерное моделирование. Элементы и инструменты разработки цифровых двойников изделий. Цифровые двойники изделий.

Наименование дисциплины	Направление подготовки	Кол-во часов	Вуз	Краткое содержание
Цифровые двойники, системы виртуальной/дополненной реальности	27.04.02 Управление качеством (магистратура)	144	ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»	Развитие концепции цифровых двойников. Классификация цифровых двойников. Применение цифровых двойников. Дискретная модель цифрового двойника. Индустриальные среды и аппаратные средства. Программные средства и средства машинной графики. Симуляторы. Применение систем виртуальной и дополненной реальности.
Цифровые двойники в электронике, радиотехнике и системах связи	11.03.01 Радиотехника (бакалавриат)	108	ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»	Основы работы в среде электродинамического моделирования. Электродинамические характеристики моделируемых систем. Подготовка полученных электродинамических характеристик для представления в различных средах. Реализация сценариев взаимодействия интерактивных объектов на движке Unity. Создание связанных задач в средах разработки Unity и HFSS. Модель цифрового двойника для сопровождения дрона с наземной станции.
Цифровые двойники в системах транспорта и хранения углеводородов	21.03.01 Нефтегазовое дело (бакалавриат)	72	ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»	Концепция цифровых двойников. Математическое и компьютерное моделирование. Элементы и инструменты разработки цифровых двойников.
Цифровые двойники и киберфизические системы	09.03.03. Прикладная информатика (бакалавриат)	108	ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»	Концепция цифровых двойников. Структура и состав цифровых двойников. Моделирование с использованием CAD/CAM/CAE систем. Моделирование с использованием геоинформационных систем. Киберфизические системы в Индустрии 4.0.
Технология цифрового двойника: проектирование и создание	09.03.04 Программная инженерия (бакалавриат)	144	ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М. Д. Миллионщикова»	Основы технологии цифрового двойника. Процесс проектирования цифрового двойника. Создание и реализация цифрового двойника. Применение и интеграция цифровых двойников.

Анализ содержания рабочих программ ДТТ-дисциплин, как представленных в таблице, так и не присутствующих в ней, позволяют сделать следующие, значимые для настоящей работы выводы:

– содержание подавляющего большинства программ основано на концепции цифровых двойников, разработанной Центром компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Центра НТИ СПбПУ) и лежащей в основе соответствующего национального стандарта [19], с редким использованием оригинальной концепции М. Гривза; признавая, что элементы указанных концепций являются обязательными элементами содержания дисциплины, одновременно нельзя считать их достаточными, т.к. развитие ДТТ определяется множеством разнообразных подходов, а теория цифровых двойников – их синергией;



– в некоторых программах вполне оправданно технология цифровых двойников рассматривается в контексте концепции киберфизических систем;

– содержание дисциплин не всегда соответствует её названию, включая связанные с ДТТ элементы (математическое моделирование, компьютерное моделирование и т. п.), но ограничиваясь только ими, без восхождения к технологии цифровых двойников.

Очевидно, что введение цифрового двойника как дидактической единицы в образовательные программы требует разработки соответствующего методического обеспечения. Сейчас многие необходимые для её освоения материалы фрагментарно и разрозненно содержатся в основном монографиях и в различных публикациях, имеющих меньше учебный, больше научный или научно-популярный характер.

Безусловно, исключения здесь существуют и в их числе, например, учебное пособие [20], изданное в 2024 г. в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники, или увидевший свет в том же году лабораторный практикум [21] за авторством специалистов Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В свою очередь, лежащим в основе ДТТ информационным технологиям посвящён ряд учебников и учебных пособий, предназначенных для подготовки ИТ-специалистов и по этой причине являющихся излишне подробными и специализированными для их использования в целях обучения будущих моряков.

Одним из первых шагов формирования надлежащего методического обеспечения следует считать учебное пособие «Основы применения технологии цифровых двойников в судовождении», включенное в План издания научной и учебно-методической литературы академии на 2026 год.

Учебное пособие содержит следующие разделы:

– концепция цифровых двойников, включая описание эволюции концепции, её терминологию, типологизацию, методологию и проблематику, особенности использования технологии в морском судоходстве и судовождении;

– опыт практической реализации цифровых двойников как в мореплавании, так и в отраслях, с ним не связанных;

– эксплуатационные процессные цифровые двойники циркуляции и скоростного проседания судна.

В настоящее время кафедра судовождения и безопасности мореплавания завершает работу над этим учебным пособием.

Таким образом, оставаясь при традиционном стремлении образования соответствовать жизненным реалиям, уже в настоящем времени следует позиционировать цифровой двойник (и, в частности, цифровой двойник судна), так же, как и соответствующие концепцию и технологию, как обязательные самостоятельные дидактические единицы конвенционных образовательных программ – как программ специалитета, так и программ аспирантуры.

При этом, исходя из свойства мультидисциплинарности цифровых двойников, желательно их присутствие в содержании и рабочих программах дисциплинах различной направленности (различных модулей) для того, чтобы компетентность обучающихся в отношении ДТТ была сформирована в полном объёме, включая методологическую, технологическую и эксплуатационные составляющие.

Значимым преимуществом подобной интеграции и изучения обучающимися специализированных цифровых двойников (непосредственно судна, его циркуляции, скоростного проседания, навигации и т. п.) является не только приобретение курсантами, студентами и аспирантами современных цифровых компетенций, но и совершенствование профессиональной компетентности посредством систематизации полученных ранее знаний.

В свою очередь, для аспирантов знания, умения и навыки в части, касающейся формирования и использования цифровых двойников, среди прочего можно рассматривать как базу для успешного диссертационного исследования.

Список источников

1. Бондарев, В. А. Место математических моделей в структуре эксплуатационного процессного цифрового двойника циркуляции морского судна / В. А. Бондарев, С. В. Ермаков, Н.Ж. Малинин // Восьмая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2026). Труды конференции. – Санкт-Петербург : АО «ЦТСС», 2026. – С. 52–62.
2. Ермаков, С. В. Методика оценки адекватности эксплуатационного процессного цифрового двойника судна / С. В. Ермаков, Н. Ж. Малинин, Д. В. Шевчук, А.В. Буров // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2026. – № 2. – С. 77–89. – DOI: 10.24143/2073-1574-2026-2-77-89.
3. Ермаков, С. В. Цифровой двойник судна в период эксплуатации и оценка возможности его использования в целях построения и реализации траектории морских автономных надводных судов / С. В. Ермаков, Е. В. Мулина, Н. Ж. Малинин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2025. – № 2. – С. 48–58. – DOI:10.24143/2073-1574-2025-2-48-58.
4. Grieves, M., Vickers, J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Springer, Cham, 2017. – Pp. 85–113. – DOI: 10.1007/978-3-319-38756-7_4.
5. Applications of Digital Twin across Industries: A Review / M. Singh et al. // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12. – № 11. – P. 5727. – DOI: 10.3390/app12115727.
6. Opoku, D. G. J. Digital twin application in the construction industry: A literature review / D.-G. J. Opoku, S. Perera, R. Osei-Kyei, M. Rashidi // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 40. – Pp. 102726. – DOI: 10.1016/j.jobee.2021.102726.
7. Su, K. Smart city and the applications / K. Su, J. Li, H. Fu // International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC). – 2011. – Pp. 1028–1031.
8. Liljaniemi, A. Using Digital Twin Technology in Engineering Education – Course Concept to Explore Benefits and Barriers / A. Liljaniemi, H. Paavilainen // Open Engineering. – 2020. – Vol. 10. – № 1. – Pp. 377–385. DOI:10.1515/eng-2020-0040.
9. Цифровая трансформация регионов России: от «цифровых двойников» до «умных городов» / О. В. Добычин, Л. А. Родина, И. М. Береснев, Б. Р. Газизуллин // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2025. – Т. 15. – № 11(164). – С. 282–285. – DOI:10.36871/ek.up.p.r.2025.11.15.037.
10. Machine learning enhancement of manoeuvring prediction for ship Digital Twin using full-scale recordings / R. E. Nielsen, D. Papageorgiou, L. Nalpantidis, B. T. Jensen, M. Blanke // Ocean Engineering. – 2022. – № 257.1. – Pp. 111579. – DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.111579.
11. Lexau, S. Automated Docking for Marine Surface Vessels – A Survey / S. Lexau, M. Breivik, A. M. Lekkas // IEEE Access. – 2023. – № 11. – Pp. 132324–132367. – DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3335912.
12. A Ship Digital Twin for Safe and Sustainable Ship Operation / S. Hirdaris, M. Zhang, N. Tsoulakos, P. Kujala // State-of-the-Art Digital Twin Applications for Shipping Sector Decarbonization. – IGI Book, 2024. – Pp. 192–220. – DOI: 10.4018/978-1-6684-9848-4.ch009.
13. Фролова, Н. А., Мельникова, В. А. Перспективы развития цифровых двойников в высшем образовании / Н. А. Фролова, В. А. Мельникова // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота. – 2025. – № 4(74). – С. 26–33.
14. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: монография / А. И. Боровков, Ю. А. Рябов, Л. А. Щербина [и др.]. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2022. – 492 с.
15. Рахимова, Н. Х. Понятие дидактической единицы и методология выбора дидактических единиц по русскому языку в колледжах / Н. Х. Рахимова // Молодой ученый. – 2016. – № 6 (110). – С. 805–807.
16. Ульрих, О.К. Оптимизация дидактических единиц как условие формирования и развития профессиональных компетенций студентов технических вузов: дисс. ... канд. пед. наук: 13.00.01 / Ульрих Олег Карлович. – Казань, 2017. – 146 с.
17. Лукомский, Ю. А. Управление морскими подвижными объектами: учебник / Ю. А. Лукомский, В. М. Корчанов. – Санкт-Петербург : Элмор, 1996. – 320 с.
18. Ермаков, С. В. Структура и динамика мотивационной сферы курсантов-судоводителей / С. В. Ермаков // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки. – 2020. – № 2(52). – С. 185–192.19. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Введ. 01.01.2022. – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – 11 с.



20. Цифровые двойники: учебное пособие / В. М. Дмитриев [и др.] – Томск : Издательство Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2024. – 88 с.

21. Солёный, С. В. Применение технологий цифровых двойников в электроэнергетических системах: лабораторный практикум / С. В. Солёный, В. П. Кузьменко, В. Е. Белай. – Санкт-Петербург : ГУАП, 2024. – 74 с.

Информация об авторах

В. А. Бондарев – кандидат технических наук, доцент;

С. В. Ермаков – кандидат технических наук;

Н. Ж. Малинин – преподаватель, аспирант.

Статья поступила в редакцию 29.06.2026; одобрена после рецензирования 30.07.2026; принята к публикации 07.08.2026.