

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Гладышев Михаил Дмитриевич

Аспирант, ФГБОУ ВО Астраханский государственный
университет им. В.Н. Татищева;

Инженер-конструктор,

ООО «СМЕЛКОМ РОБОТИКС», г. Астрахань

mih.gladyshev@gmail.com

DEVELOPMENT OF A DIGITAL TWIN MODEL: TECHNOLOGICAL ASPECTS AND PRACTICAL APPLICATIONS

M. Gladyshev

Summary. Digital twins, emulating virtual versions of real objects or subjects, are becoming an integral part of the modern digital world. In the context of their development, special attention is paid to technological aspects that ensure a high degree of accuracy and realism of the models. This article discusses the key technological aspects and practical applications in creating digital twin models. Consideration of different modeling methods, data processing algorithms, and use cases in various fields opens up new possibilities in understanding and applying digital twins. The technology under consideration is more promising than ever and is already used in a number of leading ports in the world, and has every chance of becoming one of the key factors in the development of a modern transport system.

Keywords: digital twin, port facilities, technology, modeling.

Аннотация. Цифровые двойники, эмулирующие виртуальные версии реальных объектов или субъектов, становятся неотъемлемой частью современного цифрового мира. В контексте их разработки, особое внимание уделяется технологическим аспектам, обеспечивающим высокую степень точности и реализма моделей. Эта статья обсуждает ключевые технологические аспекты и практические применения в создании моделей цифрового двойника. Рассмотрение различных методов моделирования, алгоритмов обработки данных, а также вариантов использования в различных областях, открывает новые возможности в понимании и применении цифровых двойников. Рассматриваемая технология, является, как никогда перспективной и уже используется в ряде ведущих портов мира, и имеющая все шансы стать одним из ключевых факторов развития современной транспортно-портовой системы.

Ключевые слова: цифровой двойник, портовые сооружения, технологии, моделирование.

Введение

Цифровой двойник порта — революция в управлении портовой инфраструктурой. В современном мире портовая инфраструктура является жизненно важной артерией мировой торговли. Эффективность работы портов напрямую влияет на скорость и стоимость доставки товаров, а значит, и на конкурентоспособность бизнеса. В последние годы набирает обороты инновационная технология, способная кардинально изменить подход к управлению портами — система цифрового двойника (ЦДП).

ЦДП представляет собой виртуальную модель порта, созданную на основе точных данных о его работе. Эта модель отражает все аспекты функционирования порта, включая грузопотоки, движение судов, работу погрузочно-разгрузочных комплексов, метеорологические условия и многое другое. Использование ЦДП открывает широкие возможности для оптимизации работы порта, повышения его безопасности и эффективности.

Технологические аспекты разработки модели цифрового двойника

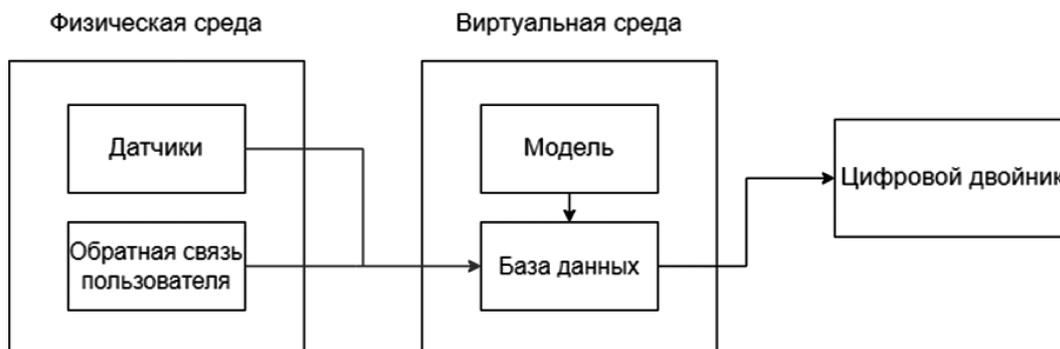
Цифровые двойники, на сегодняшний день, представляют собой виртуальные аналоги реальных объек-

тов или сущностей, созданные с использованием передовых технологий моделирования и визуализации. Эти модели могут варьироваться от простых трехмерных образов до сложных виртуальных ассоциаций, полностью эмулирующих поведение и характеристики оригиналов.

Ключевые технологии и решения, используемые в разработке цифровых двойников, включают в себя: Трехмерное моделирование; Сканирование и захват данных; Методы обработки изображений и видео; Искусственный интеллект и машинное обучение; Интерфейсы взаимодействия [1].

Эти технологии позволяют создавать цифровые модели, которые не только точно отражают внешний вид и характеристики объектов, но и способны эмулировать их поведение и взаимодействие с окружающей средой, структура показана [2] на Рисунке 1.

Система цифрового двойника порта (ЦДП) может представлять собой комплексную информационную систему, которая объединяет в себе различные модели, данные и алгоритмы для создания виртуальной копии реального порта. ЦДП позволяет оптимизировать работу порта, повысить его эффективность и безопасность.



Источник: Составлено автором

Рис. 1. Общая структура цифрового двойника

Для корректной и точной работы разрабатываемой системы, необходимо обеспечить наличие следующих узлов:

1. *Сбор и интеграция данных:* датчики, установленные на различных объектах портовой инфраструктуры (причалах, кранах, судах), собирают данные о их состоянии, местоположении, скорости движения и т.д.; Системы мониторинга фиксируют информацию о погодных условиях, уровне воды, движении судов в акватории порта; Информационные системы портового оператора предоставляют данные о планируемых и фактических грузопотоках, расписании движения судов, статусе обработки грузов.
2. *Обработка и анализ данных:* полученные данные очищаются, фильтруются и нормализуются; Аналитические алгоритмы обрабатывают данные и выявляют закономерности, тренды и отклонения от нормы; Модели прогнозирования предсказывают будущее состояние системы, например, время обработки судна, вероятность поломки оборудования. [3,4]
3. *Визуализация и моделирование:* 3D-модель порта отображает его виртуальную копию, на которой в режиме реального времени отображаются данные о состоянии объектов, движении судов, грузопотоках; Системы имитационного моделирования позволяют проигрывать различные сценарии работы порта, например, изменение грузопотока, внедрение новых технологий.
4. *Управление и оптимизация:* на основе информации, полученной от ЦДП, диспетчеры порта принимают решения об оптимизации работы системы; Автоматизированные системы управления могут самостоятельно регулировать работу портового оборудования, оптимизировать маршруты движения судов и распределять ресурсы. [5,6]

Предположим, что ЦДП используется для оптимизации процесса обработки контейнеров в порту [7]. Система может работать следующим образом:

- Датчики, установленные на кранах, фиксируют время, необходимое для разгрузки/погрузки каждого контейнера.
- Аналитический алгоритм на основе этих данных определяет среднее время обработки контейнера.[8]
- Модель прогнозирования, учитывая время прибытия судна и количество контейнеров на борту, предсказывает время, необходимое для разгрузки/погрузки судна.[9]
- Диспетчер порта: используя информацию, полученную от ЦДП, планирует работу кранов, и распределяет контейнеры по складам, чтобы минимизировать время простоя судна в порту.[10]

Обозначим:

- T_i — время, необходимое для разгрузки/погрузки i -го контейнера;
- n — количество контейнеров на судне;
- t_p — среднее время обработки контейнера;
- t_r — прогнозируемое время разгрузки/погрузки судна.

Тогда:

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \quad (1)$$

$$t_r = n * t_p \quad (2)$$

Диспетчер порта может использовать t_r для планирования работы кранов и распределения контейнеров по складам.

Система ЦДП может быть представлена в виде следующей системы уравнений:

$$x_1 = f_1(d_1 + d_2 + \dots + d_n)$$

$$x_2 = f_2(x_1, d_{n+1} + d_{n+2} + \dots + d_{n+i})$$

...

$$x_m = f_m(x_{m-1}, x_{m-2}, x_1, d_{n+m-1} + \dots + d_n)$$

где:

- x_i — выходные переменные системы — прогнозируемое время обработки судна и др;
- d_i — входные переменные системы — данные с датчиков и др.;
- f_i — функции, реализующие алгоритмы обработки данных, прогнозирования и оптимизации.

Эта система уравнений описывает общую структуру ЦДП, но конкретные функции f_i и входные/выходные переменные x_i и d_i будут зависеть от конкретной задачи, для которой используется ЦДП. При этом, как говорилось ранее ЦДП представляет собой сложную систему, состоящую из множества взаимосвязанных подсистем. Для более подробного описания работы ЦДП можно попробовать использовать систему дифференциальных уравнений, которая учитывает различные факторы, влияющие на работу порта.

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), u(t)) \quad (3)$$

$$y(t) = g(x(t)) \quad (4)$$

где:

$x(t)$ — вектор состояния системы в момент времени t , который может включать в себя такие переменные, как: количество судов, ожидающих обработки в порту, количество судов, находящихся в процессе обработки, время обработки каждого судна, грузопоток в порту, состояние портовой инфраструктуры (например, доступность причалов, кранов), погодные условия, и может выражаться как:

$$x(t) = (n_w, n_p, n_q, t_1 \dots t_{np}, G_1 \dots G_{np}, G_{tot}, s_2 \dots s_m, w)$$

n_w — количество судов, ожидающих обработки в порту;

n_p — количество судов, находящихся в процессе обработки;

n_q — количество судов, покинувших порт.

t_i — время обработки i -го судна, где $i = 1, 2, \dots, n_p$;

t_{avg} — среднее время обработки судна.

G_i — грузопоток i -го судна, где $i = 1, 2, \dots, n_p$;

G_{tot} — общий грузопоток в порту.

s_j — состояние j -го элемента портовой инфраструктуры, где $j = 1, 2, \dots, m$, (например, причал, кран, склад);

$s_j = 1$ — элемент доступен;

$s_j = 0$ — элемент недоступен.

w — вектор погодных условий, который может включать в себя такие переменные, как: скорость ветра, волнение моря, видимость.

$u(t)$ — вектор управляющих воздействий на систему, который может включать в себя: решения диспетчеров

порта о распределении ресурсов, изменения в расписании движения судов, ремонтные работы портовой инфраструктуры.

$$u(t) = (R, P, t_m, d_m, w_c)$$

r_i — количество ресурсов, выделенных для обработки i -го судна, где $i = 1, 2, \dots, n_p$;

R — вектор распределения ресурсов: $R = [r_1, r_2, \dots, r_{n_p}]$.

p_i — приоритет обработки i -го судна, где $i = 1, 2, \dots, n_p$;

P — вектор приоритетов: $P = [p_1, p_2, \dots, p_{n_p}]$.

t_m — время начала ремонтных работ на m -ом элементе портовой инфраструктуры;

d_m — продолжительность ремонтных работ на m -ом элементе портовой инфраструктуры.

w_c — решение о корректировке работы порта в связи с погодными условиями.

$f(x(t), u(t))$ — векторная функция, описывающая динамику системы, т.е. изменение состояния системы в зависимости от управляющих воздействий.

$g(x(t))$ — векторная функция, описывающая выходные переменные системы, которые представляют интерес для пользователя, например, время ожидания судов в порту, пропускная способность порта.

Заключение

Система цифрового двойника порта представляет собой многопараметрическую и динамическую систему, предназначенную для моделирования и оптимизации работы порта в режиме реального времени. ЦДП состоит из множества взаимосвязанных подсистем, каждая из которых описывает один из аспектов работы порта. Вектор состояния системы $x(t)$ включает в себя множество переменных, отражающих текущее состояние и динамику работы порта. Вектор управляющих воздействий $u(t)$ системы ЦДП представляет собой набор решений, принимаемых диспетчерами порта для оптимизации его работы.

ЦДП может быть дополнена другими подсистемами и модулями, что позволяет расширить ее функциональные возможности и повысить точность моделирования. Использование ЦДП позволяет повысить эффективность работы порта за счет оптимизации грузопотоков, сокращения времени ожидания судов и снижения рисков возникновения аварийных ситуаций. ЦДП является перспективным инструментом для управления портовой инфраструктурой и может сыграть важную роль в развитии современной транспортной системы.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Астраханского государственного университета (Приоритет 2030).

ЛИТЕРАТУРА

1. Лихтциндер Борис Яковлевич, Ольберг Полина Алексеевна. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2022. №4.
2. Иванов Сергей Александрович, Никольская Ксения Юрьевна, Радченко Глеб Игоревич, Соколинский Леонид Борисович, Цымблер Михаил Леонидович. КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГОРОДА // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2020. №4.
3. Горькавый Михаил Александрович, Горькавый Александр Иванович, Соловьев Вячеслав Алексеевич, Егорова Валерия Павловна, Мельниченко Маркел Андреевич. СПЕЦИФИКА АРХИТЕКТУРЫ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА КОЛЛАБОРАТИВНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССА НА БАЗЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. №4.
4. Алаасам Амир Басим Абдуламир, Радченко Глеб Игоревич. Микро-потoki работ: сочетание потоков работ и потоковой обработки данных для поддержки цифровых двойников технологических процессов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2019.
5. Шубенкова Ксения Андреевна, Николаев Тимур Алексеевич, Тюрин Никита Андреевич. Повышение эффективности процессов в дилерско-сервисных центрах с помощью технологии Digital Twin // Вестник ЮУрГУ. Серия: Экономика и менеджмент. 2018. №3.
6. Коновалова Г.И. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ // Организатор производства. 2023. №1.
7. Тищенко В.И. ФЕНОМЕН «ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА» // Sciences of Europe. 2021. № 85–3.
8. Лихтциндер Борис Яковлевич, Ольберг Полина Алексеевна. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2022. №4.
9. Суримова В.А., Скородумова Е.А. СОЗДАНИЕ И ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2022. №4.
10. Соколов Юрий Алексеевич, Гусев Сергей Альбертович. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ С ЦИФРОВЫМ ДВОЙНИКОМ // Металлообработка. 2020. №5–6 (119–120).

© Гладышев Михаил Дмитриевич (mih.gladishev@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»