

УДК 339.97

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЦИФРОВОГО  
ДВОЙНИКА И СВЯЗИ ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ**

Денисов С.Г.

*Северо-Западный институт управления – филиал ФГБОУВО  
«Российская академия народного хозяйства и государственной  
службы при президенте Российской Федерации»***SOFTWARE FOR THE PHYSICAL PART OF THE DIGITAL TWIN  
AND THE COMMUNICATION OF ITS ELEMENTS**

Denisov S.G.

*Northwestern Institute of Management – branch of the Federal State Budgetary Educational  
Institution "Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President  
of the Russian Federation"***Аннотация**

В данной статье проанализирован широкий спектр приложений для сбора и обработки информации о физических объектах, и для объединения цифровых и физических элементов цифровых двойников. Инструменты для построения сервисного элемента цифровых двойников рассмотрены в качестве поддержки сервисов оптимизации, математического моделирования и построения прогнозов.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, цифровой двойник, цифровой анализ изображений, технологии хранения больших данных, математическое моделирование.

**Abstract**

This article analyzes a wide range of applications for collecting and processing information about physical objects, and for combining digital and physical elements of digital counterparts. Tools for building a service element of digital twins are considered as support for optimization services, mathematical modeling and forecasting.

**Keywords:** software, digital twin, digital image analysis, big data storage technologies, mathematical modeling.

**Ссылка для цитирования:** Денисов С.Г. Программное обеспечение для физической части цифрового двойника и связи его элементов // Бюллетень инновационных технологий. – 2024. – Т. 8. – № 3 (31). – С. 10-14. – EDN SGDDIC.

Говоря о физической части цифрового двойника, как правило, подразумевают некоторое оборудование, которое может являться частью объекта (физической части двойника), позволяет собирать данные об объекте и в случае необходимости осуществлять управляющее воздействие. Для обеспечения этих процессов необходимо программное обеспечение (ПО для организации телеметрии, видеонаблюдения, контроля и управления физическими объектами). Следует отметить, что для создания высокоадекватной математической модели физического объекта необходимо получать данные о нем на всех этапах жизненного цикла: изучать его размеры и форму, макро- и микроструктуру, физико-механические свойства конструкционных материалов,

степень шероховатости поверхностей и т. п. [1]. Для получения данных об объекте могут применяться разные методы: для изучения внешнего вида и формы – методы лазерного измерения, распознавания изображений; для изучения внутренней структуры – способы неразрушающего контроля, и т. д. В ряде случаев измерения необходимо производить в режиме реального времени, оперативно получая целый набор параметров (температура, давление, скорость, ускорение, вибрация, напряжение, влажность и т. д.).

Цифровые двойники должны непрерывно получать данные с датчиков, чтобы представить состояние физических объектов в реальном времени, обрабатывать полученную информацию, калибровать и

Профиль компаний и продуктов	Компании	Продукты	Описание продуктов
Системы наблюдения, распознавания и сбора данных	Dassault Systèmes	3DEXPERIENCE	Корпоративная среда для поддержки совместной деятельности производителей и потребителей
	MathWorks	MATLAB	Вычислительная среда и язык программирования для решения технических задач
	Adept Technology	HexSight	Библиотека машинного зрения
	MVTec	HALCON	Среда разработки приложений машинного зрения
	National Instruments	LabVIEW	Среда разработки для создания систем сбора/обработки данных и управления техническими объектами
Системы контроля и управления	Rexroth	IndraMotion MTX	Платформа со встроенным PLC для разработки процессов машинной обработки и формования с использованием станков и автоматизированных линий
	Beckhoff	Beckhoff TwinCAT	ПО для создания систем управления технологическими процессами на базе ПК, представляющее собой единую программную среду для всех контроллеров и прочего программируемого оборудования
	GE	Predix	Облачная операционная система, для промышленного интернета
	Siemens	MindSphere	Облачная открытая IoT-платформа
	Dassault Systèmes	3DEXPERIENCE	Корпоративная среда для поддержки совместной деятельности производителей и потребителей

Рис.1. Примеры инструментов для создания систем наблюдения и контроля [3]

уточнять модель объекта и в случае необходимости осуществлять управление физическими объектами на основе полученной и проанализированной информации [2]. Существует широкий спектр приложений для сбора и обработки информации о физических объектах, приведем лишь некоторые примеры. Подобные инструменты есть в многофункциональном платформенном ПО Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE (рис. 1). К этой категории также относится специализированная платформа и среда разработки LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) фирмы National Instruments, которая используется в системах сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами.

Разрешение современных датчиков для получения видеоинформации уже превосходит возможности человеческого зрения [4]. Цифровая обработка и цифровой анализ изображений становится все более

важной задачей в системах промышленного контроля, управления движущимися аппаратами, обработкой данных дистанционного зондирования, которые относятся к задачам цифровых двойников. Неслучайно на рис. 1 отмечена среда разработки приложений машинного зрения MVТec HALCON; библиотека машинного зрения HexSight от компании Adept Technology; а также средство создания приложений машинного зрения и обработки изображений Vision Development от National Instruments.

В части приложений для обратной связи и управления физическими объектами следует упомянуть такое программное обеспечение, как Beckhoff TwinCAT – ПО для создания систем управления технологическими процессами на базе ПК, представляющее собой единую программную среду для всех контроллеров и прочего программируемого оборудования Beckhoff. А также приложение от компании Rexroth

IndraMotion MTX, которое представляет собой платформу со встроенным программируемым логическим контроллером для разработки процессов машинной обработки и формования с использованием стандартных станков или автоматизированных линий.

Как известно, данные составляют основу разработки и применения (работы) любого цифрового двойника. Данные могут поступать с датчиков, считываться со штрих-кодов и QR-кодов, поступать с видеокамер и т. п. [5].

Следует напомнить, что именно понятие Smart Big Data (содержательные большие данные), то есть данные, обладающие высоким уровнем информационной насыщенности, полученные на основе четкого представления о расположении критических зон в конструкции, в которых имеет смысл размещать датчики, – является одной из характеристик цифрового двойника, созданного на этапе проектирования [6]. В случае применения только цифровых теней, генерируется объем Big Data, который содержит, как правило, очень много «мусорных» данных и значительно (на порядки) превышает объем Smart Big Data.

Для эффективной работы с этими данными нужно обеспечить их сбор, фильтрацию, безопасную передачу, проверку, классификацию, дедупликацию, надежное хранение в базах данных, извлечение, обработку, анализ данных и визуализацию для представления пользователю [7]. Для обеспечения этих процедур существует огромное число приложений, которые условно можно отнести к четырем этапам – сбор данных, управление данными, хранение и использование данных. Сбор данных должен включать в себя процедуры фильтрации и очистки данных до того, как они помещаются в хранилище данных или любое другое приложение для анализа данных. На этом этапе могут использоваться функциональные возможности уже упомянутых нами IoT-платформ Predix, ThingWorx, MindSphere. Здесь могут также использоваться специализированные программы, такие как, например, программа с открытым исходным кодом Flume, которая служит для того, чтобы управлять потоками данных: собирать их из различных источников, фильтровать и направлять в централизованное хранилище. Можно упомянуть платформу для сбора, хранения, обработки и анализа машинных данных Splunk от одноименной

компании, а также программу с открытым исходным кодом Scribe от Facebook – инструмент объединения лог-файлов в потоковом режиме реального времени из большого количества серверов. Для хранения данных (в том числе большого объема) могут использоваться классические проприетарные СУБД (Oracle, MS SQL, DB2) и СУБД с открытым кодом, такие как, например, PostgreSQL.

В проектах создания цифровых двойников сложных многокомпонентных объектов при наличии данных большого объема и данных, поступающих с большой скоростью, используются технологии хранения больших данных [8]. В частности, облачные хранилища, такие как S3, RedShift или Greenplum; распределенные файловые системы HDFS, а также NoSQL СУБД, такие как Cassandra и MongoDB. ПО для обеспечения связи элементов цифровых двойников [9]. Для обеспечения связанности элементов цифрового двойника с гарантией качества и безопасности при доставке пакетов данных, необходимо применять специальное программное обеспечение. Учитывая наличие датчиков разного типа, разные среды доступа, скорости подключения, протоколы связи и топологию связанности сетевых элементов друг с другом, необходимо обеспечивать подключение IoT-устройств разного типа. Эту задачу решают IoT платформы, предоставляющие инфраструктуру, которая гарантирует совместимость для широкого набора IoT-устройств или предлагает перечень требований к любому IoT-устройству для его успешного подключения. На рис.2 представлены некоторые приложения, которые служат для объединения цифровых элементов, а также для объединения цифровых и физических элементов, при этом большинство из них выполняют обе задачи. ПО для создания сервисного элемента ЦД Для организации сервисного элемента необходимо обеспечить пользовательский интерфейс, управление ресурсами, создать каталог и описание доступных услуг, реализовать поиск и отказоустойчивое управление сервисами. При этом очевидно, что построение таких сервисов, как прогноз поведения актива, или диагностика состояния объекта, или математическое моделирование поведения объекта опираются также на программное обеспечение, которое описано выше. Таким образом, инструменты для построения сервисного

Сфера применения	Компании	Продукты	Назначение продуктов
ПО для объединения цифровых элементов	Microsoft	Azure IoT	Коллекция облачных служб, позволяющих подключать ресурсы интернета вещей
	GE	Predix	Облачная IoT-платформа для большого объема промышленных данных и аналитики
	Siemens	MindSphere	Облачная открытая IoT-платформа
	Hitachi	Lumada	Коммерческая IIoT-платформа
	Foxconn Industrial Internet	BEACON	Промышленная платформа для интернета вещей
	IBM	IBM Bluemix	Публично-облачная платформа, поддерживающая несколько языков программирования и сред разработки
	ABB	ABB Ability	Промышленная интернет-платформа и облачная инфраструктура
	Dassault Systèmes	3DEXPERIENCE	Корпоративная среда для поддержки совместной деятельности производителей и потребителей
	Cisco	Jasper Control Center	Платформа управления подключением большого числа IoT-устройств в рамках глобального SaaS сервиса
	PTC	ThingWorks	Промышленная платформа для интернета вещей

Рис.2. Примеры программных продуктов для обеспечения связи между элементами цифровых двойников [3]

элемента включают уже ранее рассмотренные продукты.

Однако посмотреть на них следует под другим углом зрения – как на инструменты поддержки сервисов оптимизации, математического моделирования, построения прогнозов и т. п. (рис. 3). Жирным шрифтом на

рис. 3 показаны программные продукты, которые относятся сразу к нескольким категориям. Так, например, программная платформа для сбора и анализа данных от промышленного оборудования Predix компании GE представлена в трех областях рисунка,

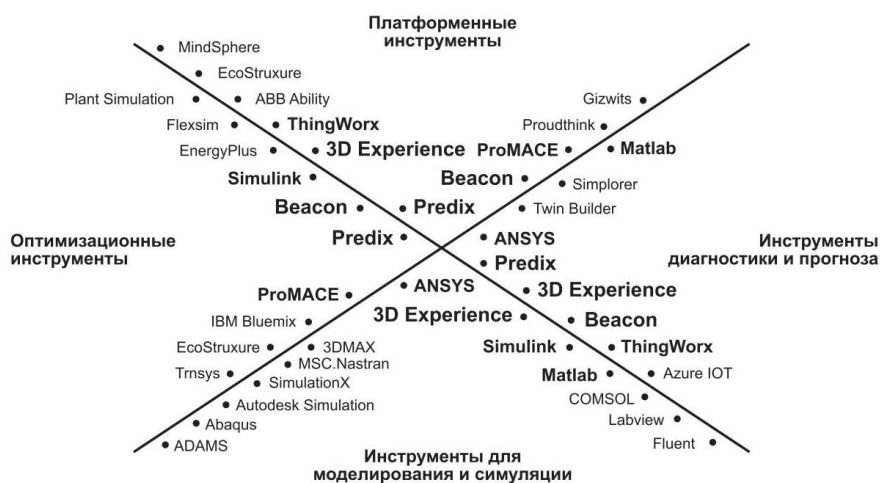


Рис.3. Инструменты для построения сервисов цифровых двойников [3]

так как она предлагает инструменты и оптимизации, и прогноза, и диагностики оборудования.

В категории «Платформенное ПО» указаны ведущие промышленные IoT-платформы от производителей, которые обладают значительным опытом в промышленном производстве: Predix от General Electric, ThingWorx от PTC, MindSphere от Siemens. Все эти платформы часто упоминаются в публикациях, например хорошо известная в Китае, промышленная интернет-платформа BEACON от Тайваньской компании FII (Foxconn Industrial Internet) – крупного поставщика профессиональных услуг по проектированию и производству оборудования для сетей связи, продуктов для облачных сервисов, высокоточных инструментов и промышленных роботов. Здесь же отмечены и платформы, имеющие отраслевую специфику. Так, например, платформа

ProMACE предназначена для построения решений в нефтяной и химической промышленности. MATLAB, который обеспечивает решение широкого класса задач, включая задачи оптимизации, решения дифференциальных уравнений и ряд других ключевых математических инструментов, отмечен и как инструмент математического моделирования, и как инструмент диагностики и прогноза.

В заключении стоит отметить, что в приведенных выше примерах приложений для создания цифровых двойников представлен опыт ограниченного круга компаний. Представляет научный интерес рассмотреть примеры построения цифровых двойников для разных отраслей с указанием соответствующего инструментария, что расширит ответ на вопрос о том какое программное обеспечение необходимо для построения цифровых двойников.

### Список литературы

1. Денисов С.Г. Технологические тенденции, определяющие будущее управления жизненным циклом продукции в условиях цифровой трансформации // Бюллетень инновационных технологий. – 2024. – Т. 8. – № 2(30). – С. 10-13. – EDN QXNDPO.

2. Денисов С.Г. Технологии сбора и обработки данных для создания цифровых двойников // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т. 7. – № 2(26). – С. 12– 17. – EDN ZKGLQC.

3. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. – М.: ООО «АльянсПринт». – 2020. – 401 с.

4. Денисов С.Г. Цифровые двойники и новые человеко-машинные интерфейсы: возможности дополненной и виртуальной реальности // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т. 7. – № 4 (28). – С. 25-29. – EDN EVJVLO.

5. Афонин Д.Н. Виртуализация, классификация и области применения в ФТС России. Возможности виртуализации. Системы и среды виртуализации: Учебное пособие. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2020. – 104 с. – ISBN 978-5-4365-5385-6. – EDN MMJJRO.

6. Мантусов В.Б., Афонин Д.Н., Афонин П.Н., Данько Д.Ю. Цифровой фактический контроль: тренд современности. – Российская таможенная академия, Санкт-Петербургский имени В. Б. Бобкова филиал. – Санкт-Петербург: Российская таможенная академия, 2019. – 200 с. – ISBN 978-5-9590-1113-0. – EDN FERUEO.

7. Денисов С.Г. Цифровые нити в основе обновления технологии цифровых двойников // Бюллетень инновационных технологий. – 2024. – Т. 8. – № 1(29). – С. 15-18. – EDN VUXTCB.

8. Денисов С.Г. Влияние трендов облачных технологий и периферийных вычислений на технологии цифровых двойников // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т. 7. – № 3(27). – С. 9– 13. – EDN IWZCNU.

9. Афонин Д.Н. Возможности, перспективы и проблемы виртуализации в Федеральной таможенной службе России // Бюллетень инновационных технологий. – 2020. – Т. 4. – № 2(14). – С. 52-55. – EDN HMKSVT.

Поступила в редакцию 10.07.2024

### Сведения об авторе:

*Денисов Сергей Генрихович* – доцент кафедры таможенного администрирования Северо-Западного института управления – филиала ФГБОУВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», кандидат технических наук, e-mail: denisovsg@ranepa.ru

