

УДК 339.97

**ТЕХНОЛОГИИ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ  
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ**

Денисов С.Г.

Северо-Западный институт управления – филиал  
ФГБОУВО «Российская академия народного хозяйства  
и государственной службы при президенте Российской Федерации»

**DATA COLLECTION AND PROCESSING TECHNOLOGIES  
FOR CREATING DIGITAL DOUBLES**

Denisov S.G.

North-Western 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 приводится подробное представление о технологии сбора и обработки данных для создания цифровых двойников и формирующемся рынке услуг по их разработке, отмечается, что среди множества передовых технологий «цифровой двойник» является интегратором практически всех цифровых технологий и субтехнологий, и позволяет компаниям переходить на новый уровень устойчивого развития на пути к промышленному лидерству на глобальных рынках.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, технология цифрового двойника, рынок цифровых двойников, анализ данных, обработка информации, цифровая модель.

**Abstract**

This article provides a detailed understanding of the technology of data collection and processing for the creation of digital twins and the emerging market of services for their development, it is noted that among the many advanced technologies, the "digital twin" is an integrator of practically all digital technologies and sub-technologies and allows companies to move to a new level of sustainable development on the way to industrial leadership in global markets.

**Keywords:** digital twin, digital twin technology, digital twin market, data analysis, information processing, digital model.

**Ссылка для цитирования:** 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.

Эволюции цифрового двойника (далее – ЦД) и технологий, на которых он базируется, посвящен целый ряд исследований. Наибольшее распространение приобрела концепция четырех эволюционных этапов, охватывающих периоды от создания физических объектов без цифрового прототипа до информационного обмена и обновления между физическим объектом и его ЦД в реальном времени [1]. Общеизвестно, что ЦД базируются на целом ряде эволюционирующих технологий, в связи с чем их развитие напрямую зависит от роста возможностей этих технологий [2]. В современных реалиях, в условиях роста рынка ЦД, особый интерес представляет рассмотрение эволюции технологий автоматизации сбора и анализа данных на ИТ-платформах. Обратим внимание на технологии IoT (internet of

things – интернет вещей), Big Data (больших данных), искусственного интеллекта, которые ответственны за получение информации от физического двойника об обработке этих данных и создании моделей, на них основанных.

Чтобы ЦД оперативно отображал текущее состояние физического объекта, необходимо разместить датчики в этом объекте и обеспечить постоянный сбор данных. Для того чтобы обеспечить функционал сбора и обработки информации о состоянии и эксплуатационных характеристиках наблюдаемых объектов, еще в конце 60-х гг. были разработаны специальные измерительные комплексы, состоящие из аналоговых датчиков и специальных контроллеров, включающих аналого-цифровые преобразова-

тели и средства предварительной обработки. С появлением простейших процессоров, такие контроллеры стали логически-программируемыми (Programmable Logic Controller, далее – PLC) и позволили обрабатывать информацию прямо на контроллере, а также изменять, дорабатывать, оптимизировать алгоритмы обработки информации, не внося изменения в физический конструктив, включая измерительные комплексы, что в свою очередь существенно удешевило процесс измерений, аналитики и существенно облегчило задачи инженерам в сфере возможности получения и обработки информации с измерительных комплексов.

Контроллер собирал аналоговые сигналы с разных датчиков, непосредственно подключаемых к нему. Например, принимаемый сигнал мог переводиться на более высокую частоту для агрегации с другими подобными аналоговыми сигналами. Совокупность данных в виде суммы импульсов от периферийных устройств проходила первичную обработку с помощью цифрового приемника, который передавал сигнал в общую шину, в соответствии с логикой, реализованной с помощью сетевого протокола передачи данных. Транспортная шина использовалась для доставки данных разных PLC на сервер обработки и хранения полученных данных. В частности, по такому принципу работают системы SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных). Поначалу эти дорогостоящие системы использовались преимущественно для промышленной эксплуатации. Постепенно эволюционировала технология передачи данных от PLC до сервера SCADA. Был разработан промышленный Ethernet, что позволило снизить стоимость и перейти на увеличение объема сбора и обработки данных. Параллельно совершенствовались датчики. Появились датчики разных форм и размеров, способные быстро измерить практически любую физическую величину (датчики температуры, движения, ускорения, прикосновения, атмосферного давления, влажности и т. п.). Помимо усовершенствования самих датчиков, были решены многие задачи по улучшению схем резервирования датчиков в критически важных системах, разработаны схемы оптимизации расположения распределенных датчиков, минимизации стоимости измерительных систем, выбора оптимальной технологии для

передачи информации, ее хранения, обработки и так далее.

С развитием протоколов интернета и беспроводных технологий, таких как RFID (Radio frequency Identification – радиочастотная идентификация), Bluetooth, WiFi, а также по мере снижения стоимости элементной базы удалось выйти на уровень бытовых устройств. По мере увеличения потребности в сборе и обработке данных росла необходимость масштабирования и унификации предоставления данных, чтобы в конечном итоге предоставлять их по запросу как от непосредственных пользователей, так и от приложений, использующих их в целях аналитики. Ответом на эти требования стал класс программно-аппаратных платформ промышленного интернета вещей IIoT (Industrial Internet of Things), причисляемых к компонентам IoT.

Функциональность, предлагаемая системами типа SCADA, органично продолжает вливаться в более общую концепцию промышленного интернета вещей, где компоненты SCADA-системы становятся подсистемами промышленного интернета вещей по сбору и хранению промышленных данных предприятий.

Эволюция платформ пошла по пути миграции в облака. Можно сказать, что современный тип IoT-платформы – это совокупность IT-технологий, реализуемых в облаке. Однако в настоящее время ряд предприятий проявляет определенный скепсис по поводу размещения платформ и своих промышленных данных во внешних системах и облаках по причинам информационной безопасности. Интерес к облачным платформам проявляется в силу того, что последние имеют существенно меньше ограничений в плане вычислительных возможностей и объема хранимых данных, а также способны обрабатывать и хранить разные модели данных, разные их структуры, заложенные разработчиками, поскольку есть возможность поддерживать одновременно различные среды разработки и тестирования [3, 4].

Таким образом, IoT-платформа должна обладать двумя главными признаками: во-первых, она должна быть реализована как программно-аппаратное обеспечение, предназначенное для подключения и управления датчиками, контроллерами и другими внешними устройствами сбора данных, во-вторых, IoT-платформа должна выполнять ряд пост-процессинговых и аналитических



Рис.1. Связь между датчиком и IoT-сетью

функций, зависящих от специфики производственных задач, которые она призвана решать [5].

Схема передачи данных в IoT-сеть продемонстрирована на рис. 1.

Как показано на рис. 1. датчики размещаются в контрольных точках изучаемого объекта и собирают данные в режиме реального времени, каждый датчик реагирует на изменения измеряемой физической величины, преобразовывает данные в цифровой формат, и они отправляются на микроконтроллер, отвечающий за обработку этих данных, а затем данные передаются в IoT-сеть. Стоит отметить, что цены на датчики продолжают снижаться, например, в период с 2004 по 2014 г. средняя стоимость IoT-датчиков снизилась более чем вдвое [6], а к 2022 г. – еще на 37%.

ЦД, базирующийся на IoT-платформе,

обладает способностью принимать и обрабатывать огромное количество данных от датчиков, обеспечивает масштабирование по требованию, предполагает долгосрочное хранение данных, и на основе их анализа (в том числе с использованием систем машинного обучения в продвинутых решениях) позволяет осуществлять «умное» прогнозирование оптимальных графиков обслуживания оборудования, сокращения общего времени простоя и увеличения срока службы оборудования.

Важно обратить внимание, что компании, которые занимают первые позиции в области разработки ЦД, проявили серьезный интерес к IoT-платформам. Например, в 2013 году General Electric запустил платформу Predix, а PTC присоединил ThingWorx. В качестве примеров IoT-платформ следует назвать такие продукты, как

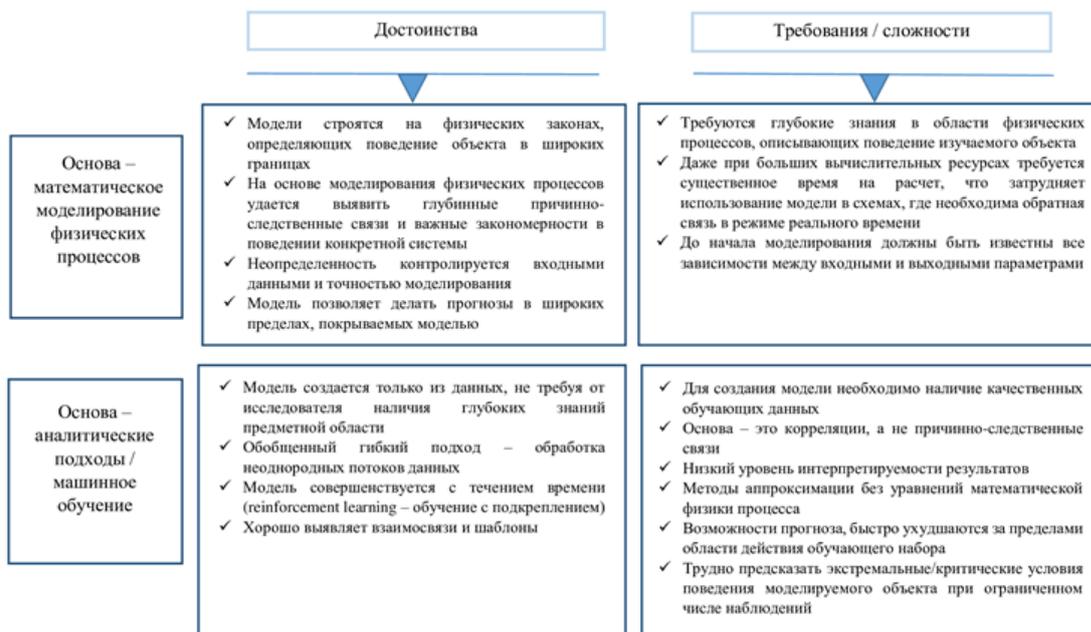


Рис. 2. Достоинства и требования для реализации аналитических и математических моделей физико-механических процессов



Рис.3. Эволюция цифровой модели на разных этапах жизненного цикла изделия

Microsoft Azure IoT, AWS IoT, Google Cloud [3].

Следует отметить, что и модели, основанные на данных, и подходы, основанные на математическом моделировании физических процессов, имеют свои слабые и сильные стороны как показано на рис. 2.

На фоне маркетинговых предложений по внедрению Big Data решений, у ряда исследователей создается впечатление, что подход, основанный на данных, более прост, – понятны шаги: закупка датчиков, IoT-платформ, сбор «больших данных».

Однако стоит напомнить, что использование «больших данных» имеет свои ограничения, связанные с неполными или зашумленными данными, трудностями в прогнозировании редких событий. На этапе, когда необходимо на основе данных, полученных с датчиков, восстановить картину происходящего, то без наличия математической модели эта задача трудновыполнима. Действительно, когда собрано огромное количество данных, 95% из которых являются излишними и несущественными, выделить из них содержательную часть очень сложно. Причем важно понимать, что производить такую кропотливую работу придется ежедневно, с учетом того, что каждый день будет сформирован новый пласт излишней информации. Разработчики, которые собирают избыточный объем данных в надежде найти корреляции в большом объеме данных, часто сталкиваются с тем, что поиск содержательных корреляций оказывается более затратным процессом, чем предполагалось в начале проекта. Можно констатировать, что на сегодня имеется целый ряд

проектов, где разработчики столкнулись с тем, что объем ежедневно собираемых данных оказывается намного больше, чем способны обработать аналитики. Только ЦД, основанный на моделировании физики процесса, может показать, где необходимо измерять тот или иной параметр, где функция может достигать экстремума, где будут критические зоны, что и где нужно измерять на разных этапах жизненного цикла изделия. Следует отметить, что на разных этапах создания цифровой модели объекта существует разный объем данных о поведении физического объекта. Как показано на рис. 3. на этапе «концепция» и «прототип» данных от реального объекта нет вообще, поскольку нет самого физического изделия, и данные об объекте могут быть получены только на основе моделирования физических процессов, определяющих создание и функционирование будущего изделия. По мере накопления данных об изделии, последние все в большей мере могут использоваться для построения аналитических моделей.

Возможность применения различных способов построения ЦД в зависимости от различного объема экспериментальных данных демонстрирует рис. 4. Внедрение цифровых двойников, позволяет моделировать поведение как отдельных административных процессов, так и объектов в целом [7]. Можно констатировать факт, что полноценный ЦД предполагает, что модель физических процессов совмещается, а не уступает место модели, основанной на данных, получаемых от реального объекта [8].



Рис. 4. Схема условий применимости моделирования физических процессов и моделирования, основанного на данных, получаемых с датчиков [9]

Таким образом, математическое моделирование физических процессов в сочетании с моделями, основанными на данных, дает больше возможностей для прогнозирования, чем модели, основанные только на базе технологий машинного обучения. Моделирование, основанное на данных, как правило, ограничено лишь этапом эксплуатации изделия. Математические модели, основанные на физических процессах, более перспективны в задачах, отвечающих на вопрос «что, если?» и могут использоваться в неповторяющихся ситуациях, когда нет достаточных данных для применения статистических подходов.

В заключении можно отметить, что технологии IoT и ЦД являются взаимодополняющими. Резкое увеличение числа IoT-устройств и снижение их стоимости стимулируют рост использования цифровых

двойников. Вместе с тем, ЦД позволяет решить задачи, возникающие внутри IoT-проектов. По мере того, как вводится все больше взаимосвязанных интернет вещей, организация данных, систем и устройств усложняется, однако ЦД позволяет частично упорядочить IoT-систему. ЦД сложного изделия – это, как правило, совокупность двойников ряда физических подсистем. Вместо того чтобы связываться с каждой подсистемой отдельно, физический объект (например, станок) отправляет все данные своему цифровому двойнику. ЦД агрегирует и обрабатывает эти данные, и те подсистемы, которым требуется информация, подключаются непосредственно к ЦД, где последние могут получить доступ к данным.

**Список литературы**

1. Кошелева О.Э., Павлова А.О. Роль интеллектуальных ресурсов России в расширении сферы применения цифровых двойников и ускорении цифрового прогресса // Бюллетень инновационных технологий. – 2022. – Т.6. – № 4(24). – С.29–33. – EDN: RPXNIB

2. Денисова Н.А. Роль технологии цифрового двойника в процессах цифровой трансформации таможенного администрирования // Ученые записки Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. – 2021. – № 3(79). – С. 34-38. – EDN FGBTCX.  
 3. 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.

4. 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 НМКСVT.

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

6. Dukes E. The Cost of IoT Sensors Is Dropping Fast, 11 September 2018. – URL: [www.iofficescorp.com/blog/cost-of-iot-sensors#CurRqfCiU93DhRD1.99](http://www.iofficescorp.com/blog/cost-of-iot-sensors#CurRqfCiU93DhRD1.99).

7. Афонин П.Н., Плахотин А.А. Цифровые двойники как основа разработки тренажерных систем обучения персонала на потоковых инспекционно-досмотровых комплексах // Бюллетень инновационных технологий. – 2022. – Т.6. – № 3(23). – С.32–38. – EDN: SMHUBG

8. European service network of mathematics for industry and innovation. – URL: [www.eu-maths-in.eu/EUMATHSIN/wp-content/uploads/2018/05/MSO-vision.pdf](http://www.eu-maths-in.eu/EUMATHSIN/wp-content/uploads/2018/05/MSO-vision.pdf).

9. The Evolution of Digital Twins for Asset Operators. Part. – URL: [www.elementanalytics.com/blog/digital-twin-blog-part-2](http://www.elementanalytics.com/blog/digital-twin-blog-part-2).

Поступила в редакцию 30.03.2023

#### 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: [denisov-sg@ranepa.ru](mailto:denisov-sg@ranepa.ru)



Электронный научно-практический журнал "Бюллетень инновационных технологий" (ISSN 2520–2839) является сетевым средством массовой информации регистрационный номер Эл № ФС77-73203 по вопросам публикации в Журнале обращайтесь по адресу [bitjournal@yandex.ru](mailto:bitjournal@yandex.ru)