

УДК 339.97

**ВЛИЯНИЕ ТРЕНДОВ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И ПЕРИФЕРИЙНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ
НА ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ****Денисов С.Г.**

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

**THE IMPACT OF CLOUD TECHNOLOGY
AND PERIPHERAL COMPUTING TRENDS
ON DIGITAL TWIN TECHNOLOGIES****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 рассматриваются этапы построения математической модели цифрового двойника, ключевые тенденции облачного рынка и тенденции внедрения технологий периферийных вычислений, оценивается влияние облачных технологий и периферийных вычислений на технологии цифровых двойников.

Ключевые слова: цифровой двойник, математическая модель цифрового двойника, облачные технологии, центр обработки данных, периферийные вычисления.

Abstract

This article discusses the stages of building a mathematical model of a digital twin, key trends in the cloud market and trends in the introduction of peripheral computing technologies, assesses the impact of cloud technologies and peripheral computing on digital twin technologies.

Keywords: digital twin, mathematical model of digital twin, cloud technologies, data processing center, peripheral computing.

Ссылка для цитирования: 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.

Говоря об этапах построения математической модели цифрового двойника (далее – ЦД), представляется целесообразным обратить внимание на подходы китайских ученых, которые предлагают рассматривать четыре этапа в построении математической модели ЦД: построение геометрической модели (Geometry model), модели физических процессов (Physical model), поведенческой модели (Behavior model) и модели, основанной на правилах (Rule based model) [1]. Как показано на рис.1 модели являются «вложенными». Иными словами, геометрическая модель является базисом для последующих моделей, и каждая новая модель дополняет возможности предыдущих.

Геометрическая модель строится на основе CAD-инструментария (Computer-aided

design), физическая модель описывает процессы, определяющие состояние материалов изделия, на базе использования численных методов решения соответствующих дифференциальных уравнений. На этой стадии широко применяется метод конечных элементов. Поведенческая модель описывает поведение многокомпонентных объектов, описывает механизмы реагирования этих объектов на изменения (изменение состояния, изменение производительности) под воздействием определенных факторов (например, команд управления) или помех (например, воздействие внешней среды). Модели, основанные на правилах, оперируют набором правил, извлеченных из исторических данных, накопленных при измерении параметров поведения физического

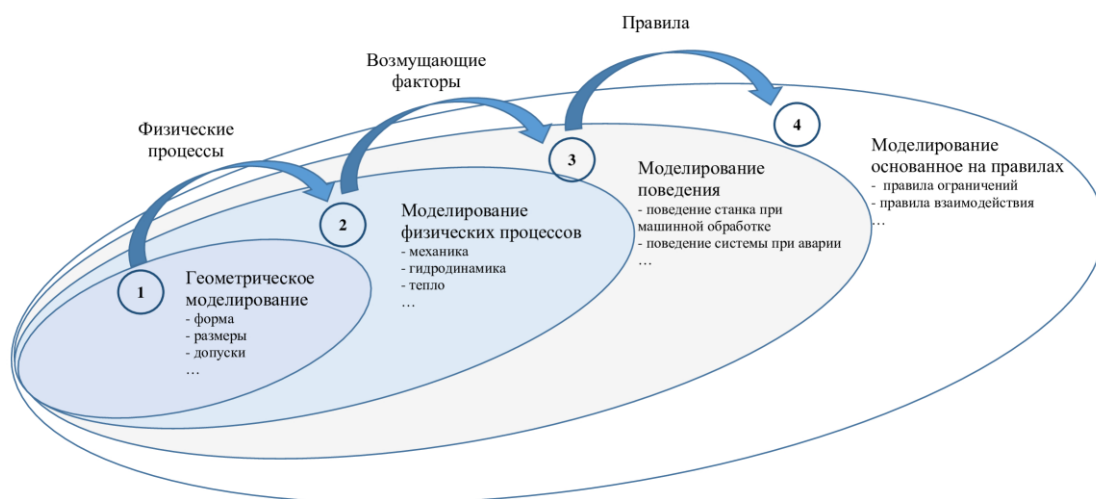


Рис.1. Четыре этапа в построении математической модели цифрового двойника

двойника (реального объекта). Данные в сочетании с правилами позволяют оптимизировать работу систем, используя алгоритмы машинного обучения, такие как нейронные сети.

Как правило, в научной литературе встречается анализ моделей ЦД, отражающих различные этапы жизненного цикла изделия. При этом этапы жизненного цикла рассматриваются как последовательные

этапы на временной прямой. Однако наиболее полное использование ЦД может быть при реализации замкнутой схемы как это продемонстрировано на рис.2.

Эта схема является непрерывной: создается виртуальная модель, затем она дополняется данными от реального физического изделия, ЦД обнаруживает закономерности в работе изучаемого реального объекта (в том числе выявляются различного рода проблемные места), полученные

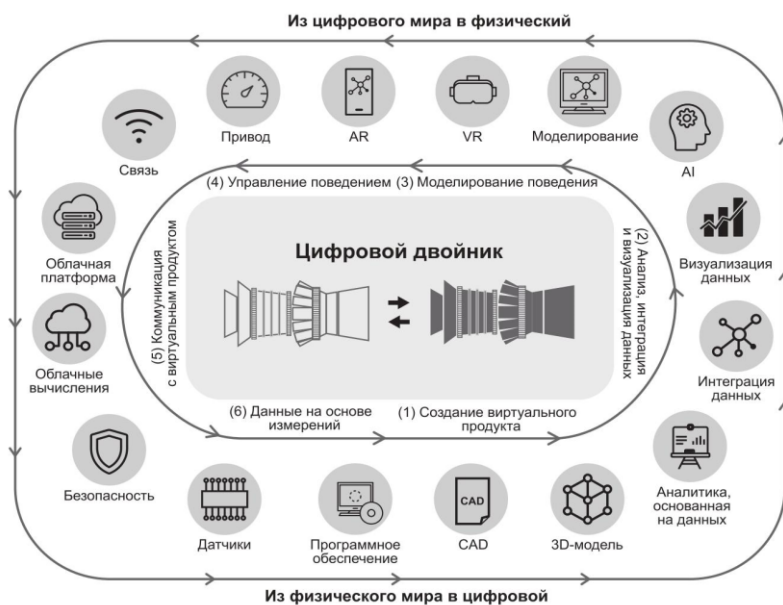


Рис.2. Замкнутая схема создания и использования ЦД

закономерности закладываются в разработку новой версии изделия, вместе с которым появляется модифицированный ЦД, и далее процесс развивается по спирали. Таким образом, постепенно ЦД распространяются на широкий круг промышленных изделий [2].

Как было отмечено выше, объектами моделирования в решениях класса ЦД могут быть большие сложные объекты, генерирующие огромное количество данных. А это означает, что разработка, поддержка и использование ЦД требуют дорогостоящих ресурсов по обработке и хранению информации. Процесс объединения ЦД продолжается на разных уровнях [3]. Облачные вычисления позволяют предоставить инфраструктуру и инструменты моделирования по запросу, делают эти ресурсы более доступными, освобождают потребителей от необходимости закупать элементы инфраструктуры и дают возможность переложить управление инфраструктурой на провайдера. Провайдеры могут предоставить не только суперкомпьютерные вычислительные ресурсы по требованию, но также доступ к инструментам математического моделирования в форме SaaS (Software as a Service – программное обеспечение как услуга), к платформенным ресурсам для разработчиков и базам данных по предметной области; таким образом, к услуге может получить доступ любой пользователь, подключенный к интернету. Эта функция может быть особенно полезна для высокопроизводительных вычислений, требующих суперкомпьютерных ресурсов, поскольку облако устраняет для пользователей необходимость управлять и обслуживать специализированное вычислительное оборудование. Проблема, которая препятствует более широкому использованию сервисов облачных вычислений в задачах моделирования, связана с задержкой передачи информации по телекоммуникационным сетям, однако этот недостаток нивелируется по мере роста скорости передачи информации.

Под технологией ЦД может подразумеваться широкий спектр решений, варьируемый по сложности, зрелости, набору используемых технологий и стоимости решения [4]. В целом можно сказать, что облачные технологии сделали предложение ЦД более экономически эффективным. Применение облачных хранилищ (как основных, так и для резервного копирования) в настоящее время становится повсеместным явлением [5]. Благодаря постоянно падающей

стоимости вычислительной мощности и хранилищ крупные сети центров обработки данных (далее – ЦОД) с доступом, предоставляемым с помощью бизнес-модели Software as a Service, теперь позволяют компаниям приобретать именно те вычислительные ресурсы, которые им необходимы, и в то время, когда они им нужны, сохраняя при этом расходы под контролем. Возможность объединения в облаке данных, принадлежащих нескольким компаниям, участвующим в создании двойника или группы цифровых двойников, еще более упрощает задачу.

Одна из тенденций облачного рынка последних 20 лет заключается в строительстве все более крупных ЦОД, что дает существенную экономию и на закупках больших партий серверов, и на нивелировании неравномерностей потребления от отдельных клиентов из разных часовых поясов и различных организаций (с разными циклами отчетности и потребления ИТ).

В последнее время действует другая, в существенной мере противоположная тенденция, когда внедряется так называемая технология периферийных вычислений – Edge computing. Она отвечает за первичную обработку данных и передачу агрегированной информации в облако, где происходит накопление, хранение и аналитическая обработка информации. Edge computing (граничные или периферийные вычисления) – это система обработки информации, где сбор и анализ данных проводится не в централизованной вычислительной среде, такой как ЦОД, а в тех местах, где происходит генерация потоков данных.

Эта технология особенно актуальна в системах, где задержка является критичной. Например, в приложениях беспилотных автомобилей. Автопилот должен принимать решения (о торможении, начале движения, поворотах и т. д.) намного быстрее, чем могут позволить устройства, которые ведут загрузку информации из удаленного центрального облака. Использование технологии периферийных вычислений с технологией ЦД может помочь транспортным средствам ориентироваться на местности и избегать столкновений путем сканирования потенциальных препятствий.

Периферийные вычисления осуществляются вне облака, на краю сети, в точках, приближенных к пользователю, и в приложениях, где требуется обработка данных в реальном масштабе времени.

Периферийные вычисления, как правило, сосредоточены на обработке данных, генерируемых датчиками или контролируемые системами, то есть на обработке данных, которые находятся ближе к пользователю.

IoT-устройства на местах генерируют огромные массивы данных [6]. Передать эти массивы для переработки в центральный ЦОД затратно, а периферийные вычисления позволяют обработать эту информацию там, где она создана. Edge computing отвечает за первичную обработку данных и передачу агрегированной информации в облако, где происходит накопление, хранение и аналитическая обработка информации.

Принципиальная схема периферийных вычислений показана на рис. 3. На уровне периферии (edge) на рисунке показаны промышленные компьютеры, которые сочетают в себе функционал платформы Edge computing с достаточным количеством вычислительной мощности для поддержки логики управления обработки информации от датчиков и некоторой визуализации процессов. Например, они могут осуществлять параметрический контроль определенного типа данных с заданием пороговых значений.

Вычислительная мощность на границе растет, в результате чего становится все более целесообразным располагать расши-

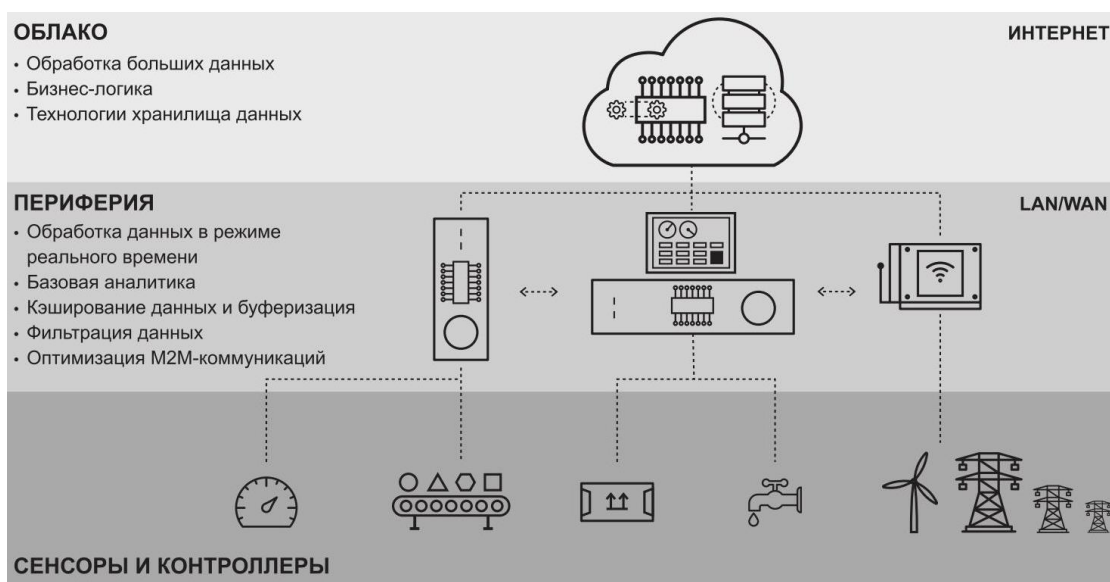


Рис.3. Схема-пояснение концепции периферийных вычислений

Периферийные вычисления снижают время задержки, нагрузку на сеть и ЦОД, экономят время и ресурсы, и благодаря тому, что меньший объем данных передается через интернет, косвенно повышается безопасность. Задача архитекторов решений состоит в том, чтобы найти идеальный баланс между тем, что должно быть обработано в облаке, и тем, что лучше всего держать на периферии. Применение периферийных вычислений актуально в промышленном производстве и при использовании автоматических транспортных средств, таких как дроны и беспилотные автомобили, где задержка передачи информации критична для управления.

ренные интеллектуальные модули в непосредственной близости к устройствам с целью минимизации задержки обработки событий и обеспечения лучшего управления локальными операциями. Задача состоит в том, чтобы определить, как разделить логику приложения между облаком и границей и, в частности, как легко перенести функциональность на периферию. ЦД на базе IoT является решением этой проблемы [6].

IoT, как правило, подразумевает распределенную архитектуру, то есть построение всей системы имеет как минимум два уровня: центральное облако, где находится основная аналитическая обработка, и периферия, на которую приходится первичная обработка. Концепция ЦД подразумевает

наличие нескольких уровней вложенности двойников, которые могут взаимодействовать между собой. Стоит принимать во внимание, что технологии IoT и ЦД являются взаимодополняющими [7].

Если в случае IoT требуется разработать унифицированный подход – архитектуру ПО, обеспечивающую бесшовную работу между периферийными объектами и центром, то ЦД по сути дела и формирует данную функцию. Цифровые двойники предоставляют разработчикам приложений

удобный способ взаимодействия с отдельными узлами в системе простым, однозначным способом [8]. В отличие от облачных вычислений, которые предполагают хранение данных удаленно, периферийные вычисления размещают модуль хранения данных локально, что позволяет передавать данные намного быстрее. Таким образом, в этом сценарии периферийные вычисления обеспечивают немедленность, а облачные поддерживают обработку больших данных.

Список литературы

1. Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing Fei Tao, Meng Zhang, Published in IEEE Access, 2017. – URL: www.semanticscholar.org/paper/Digital-Twin-Shop-Floor%3A-A-NewShop-Floor-Paradigm-Tao-Zhang/8b77cd55a39c4c8c87f8a6a6572078e247630829.
2. 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
3. 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.

5. Касьянова Н.Т., Тумашева Е.С. Рынок цифровых двойников: стимулирующие и сдерживающие факторы // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т. 7. – № 1(25). – С. 30–35. – EDN VOPKJH
6. 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
7. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. – М.: ООО «АльясПринт». – 2020. – 401 с.
8. 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
9. Improving edge computing using the power of digital twin technology. – URL: www.challenge.org/insights/digital-twin-edge-computing.

Поступила в редакцию 02.07.2023

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



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