



Блокчейн и Industry 4.0

DOI: 10.25728/avtprom.2021.01.05

Н.А. Захаров (МТУСИ, НПП «Дозор» ОАО «Концерн КЭМЗ»)

Рассмотрено применение блокчейна для поддержки технологий Industry 4.0. Показана актуальность применения блокчейна для отслеживания обновления документации и защиты от несанкционированных изменений. Рассмотрено использование блокчейна в создании и поддержке цифровых двойников, а также в аддитивном производстве. Отмечено применение блокчейна в логистике, в частности, на железнодорожном транспорте. Описано использование блокчейна в маркетплейсе приложений Industrial Internet of Things.

Ключевые слова: Industry 4.0, блокчейн, Industrial Internet of Things, цифровой двойник, аддитивное производство, логистика, маркетплейс.

Введение

Разработка, изготовление и поддержка жизненного цикла изделий в условиях четвертой промышленной революции (Industry 4.0) осуществляются в результате широкой кооперации многих компаний и отдельных разработчиков, использующих для обмена информацией и документооборота Internet, облачные и туманные вычисления. Поэтому появляется потребность в инструменте подтверждения подлинности документов и отслеживания изменений в конструкторской и программной документации. Эффективным средством решения указанной задачи является блокчейн.

Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) определяет блокчейн как защищенный от несанкционированного доступа цифровой регистр, реализованный распределенным способом (то есть без центрального хранилища) и обычно без центрального органа власти (то есть банка, компании или правительства) [1]. На своем базовом уровне технология позволяет сообществу пользователей записывать транзакции в общую книгу внутри этого сообщества, так что при нормальной работе блокчейн-сети ни одна транзакция не может быть изменена после публикации.

Блокчейны - это распределенные цифровые реестры криптографически подписанных транзакций, сгруппированных в блоки. Каждый блок после проверки и принятия консенсусного решения криптографически связывается с предыдущим, что делает очевидными попытки несанкционированного вмешательства. По мере добавления новых блоков старые блоки становятся все труднее модифицировать (создается устойчивость к несанкционированному доступу). Новые блоки реплицируются между копиями реестра в сети, конфликты разрешаются автоматически с помощью установленных правил.

Создание и поддержка цифровых двойников

Важным инструментом Industry 4.0 является цифровой двойник. Его идея состоит в том, что промышленному изделию (физической системе) можно сопоставить в виртуальном пространстве цифровую информационную конструкцию [2]. На протяжении всего жизненного цикла изделия реализуется двусторонний обмен информацией между физическим и виртуальным пространством, виртуальная и физическая системы являются зеркальными отражениями друг друга.

Цифровой двойник является инструментом управления жизненным циклом продукта (Product Lifecycle Management PLM). Соответственно, связь цифрового двойника с физическим прототипом должна поддерживаться на всех этапах жизненного цикла прототипа – разработке, производстве, эксплуатации и утилизации.

Поскольку в создании цифровых двойников участвуют междисциплинарные команды, взаимодействие между командами, рабочие потоки и прогресс необходимо отслеживать с полным взаимным доверием [3]. Каждое действие в кооперации должно быть задокументировано таким образом, чтобы обеспечить прозрачный мониторинг истории, прослеживаемость, конфиденциальность, доверие и безопасность. Это может быть достигнуто с помощью блокчейна. Блокчейн отслеживает происхождение данных и их передачу по цепочке [4]. Он также поддерживает подотчетность, неизменность и целостность данных, что делает его идеальным решением для мониторинга процесса создания цифровых двойников. Блокчейн позволяет обмениваться уведомлениями с отметками времени, которые постоянно хранятся в защищенном от несанкционированного доступа распределенном реестре [5]. Таким образом, интеграция блокчейна в цифровой двойник обеспечивает безопасное, эф-

фактивное, децентрализованное и надежное создание виртуальных моделей.

Поддержка аддитивного производства

Применение блокчейна для организации аддитивного производства (АП) в авиационной промышленности рассмотрено в [6]. Блокчейн в авиации может облегчить выполнение многих функций, таких как организация полетов, мониторинг, техническое обслуживание и капитальный ремонт. Кроме того, блокчейн может быть эффективней, чем применяемые в данной отрасли традиционные технологии, поскольку им не хватает надежности, прозрачности и защищенности. К будущим поколениям самолетов предъявляются требования меньшей массы при большей нагрузке и увеличении интервалов между техническим обслуживанием. Ряд компаний в авиастроении внедряют технологии 3D-печати, чтобы обеспечить более эффективные производственные процессы. Особенно сочетание блокчейна и 3D-печати в авиационной промышленности перспективно для организации цепочки поставок, в которой компоненты самолета печатаются именно тогда, когда они необходимы, а блокчейн используется для безопасной передачи данных на проверенный 3D-принтер, что позволяет экономить на запасах, импорте и затратах на логистику.

Блокчейн и аддитивное производство тесно связаны между собой. С одной стороны, блокчейн представляет интерес для АП по следующим причинам. Блокчейн – это распределенный процесс (например, данные хранятся внутри и между заинтересованными сторонами), что помогает в управлении деятельностью в распределенных цепочках поставок АП. Во-вторых, блокчейн работает почти в реальном времени (например, расчеты и обмен почти мгновенны), и это, наряду с процессом АП, может позволить мгновенно вносить изменения в дизайн. В-третьих, блокчейн смягчает влияние ненадежной коммуникационной среды (например, за счет криптографической валидации транзакций), поскольку он предназначен для защиты от рисков несанкционированного доступа к данным. В-четвертых, блокчейн обеспечивает неудаляемую отслеживаемую запись изменений, что способствует снижению киберрисков и защите интеллектуальной собственности.

С другой стороны, из цифровой природы АП следует потенциал для распределенной модели с участием нескольких партнеров, расположенных в разных местах. Распределенные цепочки поставок АП обеспечиваются передачей данных АП и сравнительным удобством печати деталей на месте. В распределенной модели, использующей блокчейн, может быть реализована цифровая нить АП, которая представляет собой единую нить данных, простирающуюся от начальной фазы концепции дизайна до конечной фазы готового компонента.

Для применения блокчейна в АП следует строго разделить процесс производства на фазы. Это улучшит

отслеживание истории изготавливаемого компонента и устранил риск бесконечных транзакций. В статье [6] предлагается следующее разделение: сканирование и проектирование, изготовление и мониторинг, тестирование и валидация, поставка и сопровождение.

Сканирование и проектирование. Цифровая нить АП начинается с фазы «сканирование и проектирование». На этом этапе создаются конструкции деталей либо инженерами, работающими с инструментами САПР, либо путем сканирования существующих деталей. Эта фаза начинается с записи первых битов цифровых данных и заканчивается моделью детали, готовой к печати. На этом этапе происходит обмен данными между САПР, инструментами анализа, иным программным обеспечением для проектирования. Процесс охватывает большое число инженеров, множество различных компонентов продукта, отделов и т.д. Компании часто используют системы управления жизненным циклом продукта для управления всеми этими транзакциями регистрации/проверки, относящимися к компонентам продукта и связанным с ними ревизиям. Блокчейн позволяет отслеживать изменения за счет добавления отметок времени без возможности редактирования. Это может быть реализовано в децентрализованном распределенном реестре, охватывающем несколько организаций или подразделений.

В фазе «изготовление и мониторинг» происходит преобразование созданной на предыдущей фазе цифровой модели в физический компонент. Эта фаза имеет решающее значение, так как существует большой объем данных, созданных для обеспечения процесса изготовления, и еще больший объем данных, которые могут быть получены с датчиков во время изготовления. На данной фазе имеются проблемы, связанные с потенциально распределенной природой АП, охватывающей цепочки поставок и процессы изготовления, происходящие в нескольких местах. И то, и другое требует систем и инфраструктуры для отслеживания, контроля, обработки обратной связи и сбора данных. Эти проблемы потенциально могут быть решены с помощью блокчейна. В контексте распределенного производства по заказу блокчейн может служить устойчивым к несанкционированному вмешательству транзакционным слоем, создавая реальность, которая децентрализована и распределена между заинтересованными сторонами. Блокчейн также может быть полезным в ситуации, когда производство сложных компонентов требует аудита для сертификации.

Фаза «тестирование и валидация» включает множество процедур контроля, выполняемых как в цифровой, так и в физической сферах. Одна из проблем на этом этапе заключается в увязке записей, созданных для проверки компонента изделия, с цифровыми моделями, ответственными за его создание. В контексте цифрового двойника важное значение имеет полное цифровое представление физического компонента, а также данных испытаний и валидации. Блокчейн

поддерживает индивидуальную историю компонента, передавая записи наборов тестовых данных для конкретного компонента. При использовании блокчейна не происходит изменения ранее сделанных записей, идет только добавление новых. Эта особенность полезна для проверок, выполняемых в рамках квалификации и сертификации. Указанные проверки и валидации выполняются в распределенной сети партнеров и организаций, что придает особую актуальность данной особенности. Обеспечение точного добавления результатов тестирования или данных модификации к исходным файлам часто имеет решающее значение в авиационной промышленности.

На этапе «поставка и сопровождение» изделия внедряются в эксплуатацию и используются по назначению. Существует возможность сбора данных с встроенных в них датчиков, что дает разработчику обратную связь и позволяет вносить улучшения в их конструкцию. Данные, создаваемые с помощью этих датчиков, по своей природе разрознены, поскольку изделия используются в разных местах на разных объектах. Блокчейн предоставляет платформу, на которой данные датчиков могут отслеживаться и привязываться к версии изделия, истории изготовления и каналу поставки. Это может происходить в распределенной среде без централизованного контроля. Это аналогично использованию блокчейна для устройств, подключенных к Industrial Internet of Things (IIoT). Уникальные характеристики блокчейна, описанные выше, представляются более перспективными для задач АП, чем другие решения корпоративной архитектуры или баз данных.

Применение на транспорте и в логистике

Технология распределенного реестра представляет особый интерес для транспорта и логистики, поскольку поддерживает в реальном времени наличие актуальных копий защищенных от несанкционированного вмешательства данных в находящимся на значительном удалении друг от друга местах. Применение блокчейна на цифровой железной дороге Германии описано в [7]. В частности, блокчейн позволяет бороться с переполненностью на площадях и вокзалах. С использованием блокчейна и единого цифрового удостоверения личности внедряется технология смарт-контрактов, реализуются упрощения в системах регистрации и совместных поездках, расчётах и биллинге, а также в расчётах с поставщиками электроэнергии.

В России технологии блокчейн активно внедряет ОАО «РЖД». В [8] приводятся факторы, сдерживающие их развитие, а именно, медленная скорость обновления информации по причине необходимости достижения распределенного консенсуса и быстрый рост требований по доступной памяти вследствие копирования данных по всем узлам. В обоснование применения блокчейн авторы [8] указывают, что для рынка перевозок, особенно международных, распространена ситуация «все всем не доверяют». В этой ситуации блокчейн обеспечивает подтверждение дей-

ствий и фактов. В качестве эффективного сценария использования технологии блокчейн предлагается ее расширение за пределы ОАО «РЖД» и организация взаимодействия всех участников рынка — как ОАО «РЖД», так и изготовителей железнодорожной продукции, собственников подвижного состава, сервисных и ремонтных компаний, грузоотправителей, грузополучателей и пассажиров.

АО «ВНИИЖТ» по заказу ОАО «РЖД» разработана блокчейн-платформа, на базе которой в 2019 г. были успешно реализованы экспериментальные перевозки с участием ОАО «РЖД», АО «Морской порт Санкт-Петербург» и транспортно-экспедиторской компании ООО «Модуль» (Москва) [9]. Недостатком приведенного решения является использование только сегмента сети, принадлежащего железнодорожному перевозчику, остальные участники распределенного реестра игнорируются. В результате отсутствия соответствующей инфраструктуры пользователи блокчейна лишены возможности заблаговременно определить порядок взаимодействия заинтересованных сторон. Это приводит к тому, что грузополучатели и грузоотправители выбирают привычные им менее эффективные централизованные системы. Для повышения привлекательности блокчейна в [9] предлагается схема взаимодействия контрагентов на основе единой блокчейн-платформы. Блокчейн-сеть сегментируется на каналы, каждому консорциуму предлагается свой канал. Под консорциумом понимается добровольное объединение сторон, взаимодействующих между собой в рамках единой блокчейн-платформы. По сути, консорциум соответствует логистической цепочке. Выделение консорциумам индивидуальных каналов обеспечивает сохранность конфиденциальной информации, ее недоступность конкурентам из соседних консорциумов. Такое решение создает благоприятные условия для распространения технологии блокчейн и ее интеграции во внутренние процессы транспортно-логистических компаний.

Поддержка маркетплейса в среде туманных вычислений

Администрирование технических и программных средств в условиях промышленного предприятия осложняется по причине их распределенности и неоднородности. Кроме того, устройства и их программное обеспечение часто разрабатываются или кастомизируются по индивидуальному заказу, что затрудняет их разработку и обновление. Продвижение на рынке программного обеспечения и поддержка обновлений требуют значительных усилий. Поэтому для промышленных приложений перспективна организация рынков (маркетплейсов), аналогичных рынкам пользовательских приложений для смартфонов. Примерами таких маркетплейсов являются общеизвестные Apple App Store и Google Play Store. Процесс расширения пользователями функциональных возможностей смартфонов за счет установки приложений организован в удобной для них форме: после аутентификации

и оплаты приложение устанавливается на устройство и сразу же становится доступным пользователю.

В отличие от приложений для смартфонов, пространство приложений в промышленной среде сталкивается с различными проблемами. Решения IIoT часто представляют собой индивидуальные решения как на физическом, так и на программном уровне. Повторное использование приложений невозможно из-за отсутствия платформ распространения. С точки зрения разработчика, соответствующие каналы доставки отсутствуют. Сегодняшние решения также не предлагают гибких моделей оплаты, например, по фактическому использованию.

Работа с периферийными устройствами связана со специфическими проблемами для проектировщиков и обслуживающего персонала. Например, технические специалисты должны посетить оборудование на месте монтажа и инициировать ручную установку программного обеспечения и обновлений. Полевые устройства часто не имеют пользовательского интерфейса, что делает обратную связь с наладчиком сложной и непрозрачной. Отсутствует стандартная процедура установки обновлений. Кроме того, невозможно проследить, кто, когда и по какой причине выполнил конкретные обновления. При этом требуется надежный аудит и прослеживаемость установки и обновления программного обеспечения. Компаниям, использующим IIoT, интересны новые схемы оплаты, такие как покупка функциональных возможностей на определенное время.

В [10] предлагается концепция маркетплейса приложений IIoT, обеспечивающего такую же простоту и быстроту установки приложений для устройств IIoT, как и для смартфонов. Используя машинное обучение и QR-коды, наладчик может обнаруживать и идентифицировать устройства с помощью смартфона с технологией дополненной реальности (augmented reality, AR) и, таким образом, получает пользовательский интерфейс для периферийного устройства, изначально им не оснащенного. Когда специалист указывает на устройство, его смартфон показывает, какие приложения запущены на устройстве, какие обновления доступны и какие новые приложения могут быть установлены. Далее он берет приложение из списка и перетаскивает его через AR на устройство. Процесс запускается после аутентификации и визуализируется в AR. Обратную связь и сообщения об ошибках наладчик получает также через AR.

Приложение маркетплейса IIoT также предоставляет специалисту дополнительную информацию о приложениях: рейтинги, номер версии, описания, информацию о разработчике и цену.

Метаданные о доступности приложений, а также отслеживаемость установок и обновлений хранятся в блокчейне, что обеспечивает прозрачность и отсле-

живаемость. Блокчейн как распределенная и открытая система позволяет нескольким маркетплейсам работать параллельно.

Блокчейн в данном маркетплейсе обеспечивает единый источник достоверной информации в условиях возможной непрозрачности. На логическом уровне он поддерживает смарт-контракты, которые обеспечивают распределенное хранение данных. Блокчейн дает защищенный от несанкционированного доступа способ записи транзакций для повышения доверия и прослеживаемости.

Заключение

Перспективное использование блокчейна помимо криптовалют и других финансовых активов только сейчас начинает раскрываться. Блокчейн обеспечивает поддержку продукта на всех этапах его жизненного цикла. Он позволяет отслеживать изменения за счет добавления отметок времени без возможности редактирования. Это может быть реализовано в децентрализованном распределенном реестре, охватывающем несколько организаций или подразделений. Блокчейн также может быть полезным для организации аудита разработки и производства с целью сертификации продукции.

Список литературы

1. *Dylan Yaga, Peter Mell, Nik Roby, Karen Scarfone.* Blockchain Technology Overview. NIST Internal Report 8202. 2018. DOI: 10.6028/NIST.IR.8202.
2. *Grieves Michael.* (2016). Origins of the Digital Twin Concept. DOI:10.13140/RG.2.2.26367.61609.
3. *H.R. Hasan et al.* A Blockchain-Based Approach for the Creation of Digital Twins in IEEE Access. 2020. V. 8. pp. 34113-34126.
4. *P. Ruan, G. Chen, T. T. A. Dinh, Q. Lin, B. C. Ooi, and M. Zhang.* Finegrained, secure and efficient data provenance on blockchain systems. Proc. VLDB Endowment, vol. 12, no. 9, pp. 975-988, May 2019.
5. *K. Christidis and M. Devetsikiotis.* Blockchains and smart contracts for the Internet of Things, IEEE Access, vol. 4, pp. 2292-2303, 2016.
6. *C. Mandolla, A. M. Petruzzelli, G. Percoco, and A. Urbinati.* Building a digital twin for additive manufacturing through the exploitation of blockchain: A case analysis of the aircraft industry. Comput. Ind., vol. 109, pp. 134-152, Aug. 2019.
7. *Покусаев О.Н., Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Лазуткина В.С., Зажигалкин А.В., Куприяновский П.В.* Блокчейн на цифровой железной дороге Германии // International Journal of Open Information Technologies, 2018, vol. 6. no.2. С. 43-53.
8. *Корнеев А.А., Вохмянина Т.В.* Факторы развития технологии блокчейн в ОАО «РЖД» // Информатизация транспорта, 2018. № 8. с. 25-29.
9. *Понадюк А.Ю.* Технологическая структура транспортно-логистической блокчейн-платформы для компании ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. 2020. № 8. С. 25-29.
10. *A. Seitz, D. Henze, D. Miehle, B. Bruegge, J. Nickles and M. Sauer.* Fog Computing as Enabler for Blockchain-Based IIoT App Marketplaces - A Case Study. 2018 Fifth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security, Valencia, 2018, pp. 182-188.

Захаров Николай Анатольевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Теория электрических цепей» МТУСИ, руководитель научно-производственного подразделения «Дозор» ОАО «Концерн КЭМЗ». Контактный телефон (495) 640-09-47. E-mail: nazakharov@npp-dozor.ru