

УДК 334

DOI: 10.17586/2310-1172-2021-14-3-162-169

Научная статья

Смарт-контракты в инновационных бизнес-процессах Индустрии 4.0

Д-р техн. наук **Жаринов И.О.** mpbva@mail.ru

Университет ИТМО

197101, Россия, Санкт-Петербург, Kronverkskiy pr., д. 49

Бизнес-стратегии развития компаний в условиях цифровой экономики определяют новые принципы взаимодействия изготовителей и потребителей, раскрывающие инновационный потенциал кибертехнологий, смарт-контрактов и смарт-продуктов, применяемых в электронной коммерции и электронном высокотехнологичном бизнесе. Изменения в принципах создания и распределения ценностей актуализируют исследования проблемы внедрения в цепочки этапов жизненного цикла продукции аппаратно-программных средств автоматизации и информационных web-ресурсов, ориентированных на изготовление и реализацию смарт-продукции конечному потребителю или на логистику, возникающую в бизнес-отношениях цифровой, умной и виртуальной фабрик. Средством финансового и технологического контроля операционной деятельности фабрик, объединяющим бизнес-процессы киберпроектирования, киберпроизводства и киберобслуживания продукции, является смарт-контракт, исполняемый автоматически на вычислительной платформе, размещенной в облачной среде. Смарт-контракты выступают в роли цифрового договора, агрегирующего и обрабатывающего данные, децентрализованно собираемые продуктовыми, технологическими, пользовательскими и др. приложениями-оракулами, контактирующими с производственными киберфизическими системами, платежными системами, потребительским сообществом. Настоящее исследование посвящено разработке бизнес-решений, актуальных для организации договорных рыночных отношений, возникающих между фабриками Индустрии 4.0 и потребителями и регулируемых смарт-контрактами в сегменте промышленного производства высокотехнологичной продукции массового спроса и кастомизированной продукции. Результаты исследования востребованы в бизнес-процессах, ориентированных на использование передовых инструментов и технологий, автоматизирующих коммерческий цикл взаимодействия компаний с потребителями.

Ключевые слова: цифровая экономика, смарт-контракт, высокотехнологичное производство, Индустрия 4.0, цифровая фабрика, умная фабрика, виртуальная фабрика, приложение-оракул.

Smart contracts in the Industry 4.0 innovation business processes

D.Sc. **Zharinov I.O.** mpbva@mail.ru

ITMO University

197101, Russia, Saint Petersburg, Kronverkskiy prospekt, 49-A

Scientific article

Business strategies for the development of companies in the digital economy define new principles of interaction between manufacturers and consumers, revealing the innovative potential of cyber-technologies, smart contracts and smart products used in e-commerce and electronic high-tech business. Changes in the principles of value creation and distribution actualize research on the problem of introducing hardware and software automation tools and information web-resources into the chains of product life cycle stages, focused on the production and sale of smart products to the end user or on logistics arising in the business relations of digital, smart and virtual factories. A means of financial and technological control of the operational activities of factories, which combines the business processes of cyber-design, cyber-production and cyber-maintenance of products, is a smart contract that is executed automatically on a computing platform hosted in a cloud environment. Smart contracts act as a digital contract that aggregates and processes data collected in a decentralized manner by product, technology, user, etc. oracle applications that communicate with industrial cyber-physical systems, payment systems, and the consumer community. This research is devoted to the development of business solutions that are relevant for the organization of contractual

market relations that arise between Industry 4.0 factories and consumers and are regulated by smart contracts in the segment of industrial production of high-tech mass-demand products and customized products. The results of the research are in demand in business processes focused on the use of advanced tools and technologies that automate the commercial cycle of interaction between companies and consumers.

Keywords: digital economy, smart contract, high-tech manufacturing, Industry 4.0, digital factory, smart factory, virtual factory, oracle application.

Введение

Методология экономической активности компаний в международной парадигме Индустрии 4.0, предложенной Германией в 2011 г., базируется [1, 2] на бизнес-инновациях, основу которых составляет подход к построению доходных моделей, предполагающий отказ от концепции роста благосостояния отдельных бизнес-структур (цифровой, умной и виртуальной фабрик) в пользу стратегии сбалансированного развития корпорации, представленной объединяющей фабрикой бизнес-системой. Зоны ответственности фабрик, создаваемых сегодня в Российской Федерации, программно определены Правительством РФ в 2017 г. в дорожной карте Национальной технологической инициативы по направлению «Технет» и заключаются в бизнес-процессах киберпроектирования (цифровая фабрика), киберпроизводства (умная фабрика) и киберобслуживания (виртуальная фабрика) продукции, формирующих сквозной поток создания ценности для конечного потребителя. Общая бизнес-система обеспечивает вертикальную и горизонтальную интеграцию технологических и бизнес-процессов фабрик ресурсами информационных систем.

Дорожная карта «Технет», согласующаяся с базовым Национальным проектом РФ «Цифровая экономика», является своевременным и адекватным ответом РФ на рыночные вызовы и тенденции глобализации экономических процессов, возникающие в системообразующих отраслях промышленности и связанные с усилением конкурентной борьбы компаний в сегментах разработки и производства высокотехнологичной продукции. Международный паритет на внешних рынках в ближайшей перспективе отечественной промышленности предстоит достигать в жесткой конкурентной борьбе с технологически развитыми странами, осуществляющими поиск инновационных бизнес-стратегий развития государственных экономик и новых бизнес-моделей функционирования компаний в рамках национальных программ: Advanced Manufacturing Partnership (США, 2016 г.), Investing in a Smart, Innovative and Sustainable Industry (Евросоюз, 2017 г.), Catapult Centers (Великобритания, 2011 г.), Internet of Things Center (Китай, 2015 г.), Innovative Industrial Production (Южная Корея, 2015 г.), Super Smart Society (Япония, 2015 г.) и др.

Смысловая нагрузка международной парадигмы Индустрии 4.0 и последующих ее развивающих национальных программ сводится к трансформации промышленности в направлении электронного бизнеса инструментами тотальной цифровизации, автоматизации и реинжиниринга бизнес-процессов, осуществляемой для завоевания компаниями приоритетных позиций на новых инновационных рынках и для увеличения инновационными компаниями доли своего присутствия на существующих рынках. Передовой движущей силой промышленных преобразований экономики выступают бизнес-системы, в которых нематериальные активы и электронная коммерция, внедренные в технологические и бизнес-процессы компаний, становятся производящим капиталом. Основанные на кибертехнологиях бизнес-модели и бизнес-стратегии операционной деятельности компаний реализуются с целью [3, 4] достижения бизнес-системой конкурентного преимущества на рынке и извлечения прибыли, образующихся за счет технологических нововведений в бизнес-процессах киберпроектирования и киберпроизводства, а также коммерциализации наукоемких идей и решений, приложенных к смарт-контракту полного жизненного цикла продукции.

Смарт-контракты контролируют сквозную цепочку создания и распределения ценности и являются инновационной формой электронных бизнес-соглашений с повышенным потенциалом применения в технологической среде. Использование смарт-контрактов в менеджменте цифровой, умной и виртуальной фабрик позволяет теоретически обоснованно подойти к решению задачи управления бизнес-системами Индустрии 4.0, в котором экономическое регулирование бизнес-процессов компаний будет осуществляться в согласии с техническим регулированием технологических процессов киберпроектирования и киберпроизводства, выполняемых соответственно автоматизированно и автоматически.

Новые условия ведения бизнеса, таким образом, связаны с изменением парадигмы экономического управления хозяйствующими субъектами Индустрии 3.0, проявляющимся на практике в приобретении (заимствовании) кибертехнологий, их внедрении в производственные и маркетинговые стратегии фабрик и выводе на внутренний или внешний рынок массовой или кастомизированной продукции, обладающей повышенной потребительской привлекательностью. Кибертехнологии как источники дополнительной доходности бизнес-системы определены [5, 6] в результате исследования рынка в сервисно-продуктовых нишах машиностроительных (приборостроительных, автомобилестроительных, авиадвигателестроительных) цифровой,

умной и виртуальной фабрик, анализа конкурентной среды, актуальной для внешнего и внутреннего спроса, и синтеза бизнес-стратегий роста прибыльности компаний, поддерживающих бизнес-модели: продукт по требованию потребителя или продукт по предложению изготовителя.

Монетизация кибертехнологий бизнес-системой, раскрывающая инновационный потенциал фабрик в Индустрии 4.0, осуществляется на основе [7, 8]:

- обновления продуктовой линейки компаний и перевода киберпроизводства умных фабрик на изготовление физических смарт-продуктов, количественные характеристики и качественные свойства которых востребованы потребителями на рынке (максимизация предельной ценности продукции);

- обновления технологических процессов разработки и изготовления продукции цифровой и умной фабрик и перевода компаний на средства автоматизации, имеющие киберфизическое начало и обеспечивающие создание цифрового или физического смарт-продукта с минимальным участием человека (изменение доминирующей логики в промышленном сегменте);

- обновления бизнес-моделей компаний, переориентируемых на внутренние бизнес-процессы и внешнее окружение, и перевода менеджмента и финансовой деятельности фабрик на электронный бизнес и инструменты (смарт-контракты) электронной коммерции (систематизация потоков доходов и совокупной выручки);

- обновления бизнес-стратегий фабрик и перевода их маркетинговой деятельности на информационные системы, сетевые интернет-технологии и web-ресурсы кастомизации продукции (приобретение доверия и лояльности потребителей);

- обновления бизнес-миссий фабрик и перевода их системы отношений с потребителями и бизнес-партнерами на ценностноориентированные предложения, полезность которых ожидаемо возникает на начальном этапе создания цифрового продукта и воспринимается от использования готового физического продукта (выстраивание долгосрочных каналов взаимодействия изготовителя и потребителя), и др.

Электронный бизнес и электронная коммерция

Прикладной задачей цифровизации экономики в Индустрии 4.0 является поиск новых и совершенствование существующих форм организации межфирменного взаимодействия, обеспечивающих повышенную эффективность функционирования промышленного бизнеса [9, 10]. Инновационным решением, основанным на кибертехнологиях, рассматривается внедрение в партнерские отношения компаний инструментов коммуникационной среды интернет, объединяющей в общее виртуальное пространство цифровые фабрики разработчиков, умные фабрики изготовителей, виртуальные фабрики обслуживания продукции и потребительское сообщество, совершающих операции по заключению договоров, приобретению продукции или оказанию сервисной услуги, а также осуществлению платежей с использованием механизмов электронного бизнеса и его составной части — электронной коммерции.

Электронный бизнес-Индустрии 4.0 является способом ведения деловой активности компаний в высокотехнологичном сегменте промышленности, внутренние процессы и внешние связи которых задействуют сеть интернет. Сеть используется для информационной поддержки процессов киберпроектирования и киберпроизводства продукции, маркетинговых процессов создания спроса и логистических процессов доведения продукции до потребителя, процессов оплаты и др. Сеть позволяет компаниям сконцентрировать свою операционную деятельность на направлениях, максимально раскрывающих компетенции бизнеса и обеспечивающих изготовление конечной цифровой или физической продукции. Ключевым аспектом электронного бизнеса, значимым для экономического управления фабриками, является сетевой обмен бизнес-информацией, передаваемой от субъекта к объекту управления и между субъектами управления.

Электронная коммерция выступает инструментом финансовых отношений компаний, реализуемым посредством информационных систем и ресурсов. Электронные формы коммерции используются для привлечения потребительского внимания в сети, лицензирования компаний и сертификации продукции, организации работы компаний с платежными системами, онлайн продажи и послепродажного обслуживания продукции, анализа пользовательского опыта эксплуатации продукции и др. Электронная коммерция в промышленности осуществляется в отношении компаний, имеющих физическое присутствие на рынке. Ресурсной базой электронной коммерции являются цифровые платформы, интернет-маркетплейсы и web-страницы, обеспечивающие компании и потребителей соответствующим функционалом и цифровым контентом.

Регулированию в системе экономического управления электронным бизнесом подлежат оборот нематериальных активов и потоки движения материальной продукции и капитала, интегрированные в сквозную цепочку создания ценности. Экономическая модель, поддерживающая электронный бизнес и электронную коммерцию, составляет интеллектуальный капитал компании и позволяет бизнесу оперативно и адекватно реагировать на динамику рыночных условий.

Преимущества электронного бизнеса в промышленном сегменте цифровой экономики заключаются в

предоставлении компаниям интернет-доступа к расширенной потребительской аудитории, включающей государство, партнеров и розничных покупателей, обладающих разнообразными предпочтениями, и в предоставлении потребителям сервисов и возможностей по управлению цепочками ценностей через позаказную кастомизацию продукции. Коммерциализация информационного компонента электронного бизнеса осуществляется в рамках политики ценообразования компаний, относящих затраты по сопровождению своей операционной деятельности в сети в структуру добавленной стоимости изготавливаемой продукции.

Повышенная актуальность электронной формы ведения бизнеса в межфирменных отношениях фабрик Индустрии 4.0 обусловлена территориальной распределенностью компаний, выполняющих обмен информацией и взаимосвязанные бизнес-процессы, и целостностью цифрового контента, объединяющего киберпроектирование, киберпроизводство и киберобслуживание продукции. Интеграция технологических и финансовых данных в общие потоки транзакций компаний необходима также для полноценной и эффективной работы экосистем смарт-контрактов, контролирующих в реальном времени бизнес-процессы создания и поставки продукции. Электронный бизнес и электронная коммерция, таким образом, не только определяют конкурентные преимущества фабрик на рынке, но и являются необходимыми условиями существования компаний и образованных из них бизнес-систем в инновационной экономике.

Кибертехнология промышленных смарт-контрактов

Промышленный смарт-контракт представляет собой [11, 12] компьютерный алгоритм (программный код), описывающий правила взаимодействия субъектов экономических отношений при совместной реализации договора на создание инновационного продукта или оказание высокотехнологичных сервисных услуг. Доверенной (децентрализованной) средой для исполнения смарт-контракта в электронной форме является цифровое облако, в пределах которого развернут распределенный реестр данных, систематизированных в соответствии с кибертехнологией блокчейн [13]. Технология блокчейн обеспечивает финансовую безопасность выполнения смарт-контракта с повышенной скоростью и надежностью денежных расчетов, а также конфиденциальность бизнес-сторон, заключивших цифровой договор, средствами криптографии и асимметричного шифрования данных. Смарт-контракт как форма электронного договора закрепляет цифровое представление системы обязательств бизнес-сторон и по своим свойствам и последствиям классифицируется как самоисполняемая сделка, обеспечивательные функции которой реализуются кибертехнологиями, автоматизирующими операции с интеллектуальным капиталом. Своими условиями, логикой и инструментами смарт-контракт защищает интересы компаний и определяет экономическую ценность бизнес-процессов, формируемую в виртуальной (облачной) среде электронного бизнеса.

Сторонами смарт-контракта выступают участники бизнес-процесса создания продукции, идентификация которых в виртуальной среде осуществляется с помощью индивидуальных цифровых подписей. Предметом смарт-контракта в высокотехнологичном бизнесе является продукт (сервисная услуга), рассматриваемый в пределах части или всего его жизненного цикла, реализуемого цифровой, умной и виртуальной фабриками. Инструментами исполнения смарт-контракта выступают передовые производственные кибертехнологии и кибертехнологии электронной коммерции, поддающиеся глубокой автоматизации. Финансовый расчет сторон по исполненному смарт-контракту выполняется в виде автоматических транзакций, денежные средства в которых переводятся между банковскими счетами участников совместного бизнес-процесса, зарегистрированными в распределенном реестре данных. Фактическое наступление события (завершение компанией определенного этапа жизненного цикла продукции), переданного в электронной форме в облако, автоматически приводит к списанию денежных средств со счета заказчика (потребителя) в пользу исполнителя смарт-контракта по правилам, описанным в цифровом договоре [14].

Смарт-контракт применяется для формализации технологических и экономических соглашений бизнес-участников цифрового договора, конкретизирующих predetermined условия и способы выполнения обязательств сторон, наступающих в процессе реализации каждого этапа жизненного цикла продукции. Алгоритм смарт-контракта запрограммирован на автоматический контроль событий, предусмотренных согласованным бизнес-соглашением, и предполагает фиксацию в облачной среде данных, отражающих атрибуты продукции (временные характеристики технологического цикла изготовления, объем затраченных энергетических и производственных ресурсов, серия и номер партии и др.). Смарт-контракты актуальны в отношении сторон, взаимодействие которых основано на долгосрочном партнерстве, в котором применяются типовые (отлаженные) договоры на поставку продукции, аренду оборудования, сервисы кастомизации и др., то есть регулируются те виды бизнеса, которые преимущественно присутствуют в операционной деятельности цифровой, умной и виртуальной фабрик.

Исполнение смарт-контрактов осуществляется на основе цифровых протоколов передачи бизнес-информации, ядро которых составляют математические алгоритмы контроля технологических и бизнес-

процессов. Гарантией соблюдения компаниями достигнутых соглашений выступает механизм корпоративного управления, обеспечивающий подключение смарт-контракта к платежным системам банков и к программам-оракулам, работающим с материальными и нематериальными активами, сконцентрированными в цифровой экосистеме технологической среды. Программы-оракулы синхронизируют на языке программирования вычислительные алгоритмы с финансовыми транзакциями и технологическими данными, контролируемые в цифровых и физических схемах бизнес-отношений компаний. Разделение ответственности цифровой, умной и виртуальной фабрик за реализацию этапов жизненного цикла продукции в структуре смарт-контракта выполнено в виде цепочки связанных блоков программного кода, представленных в хронологической последовательности операционной деятельности компаний, создающих общую потребительскую ценность.

Экосистема смарт-контрактов на основе программ-оракулов

Программа-оракул в электронной коммерции представляет собой приложение, обеспечивающее смарт-контракт через транзакции данных достоверной и полной информацией о технологических и бизнес-процессах, происходящих в цифровой и физической среде жизненного цикла продукции. Приложение используется в бизнес-моделях экономического управления компаниями для надлежащего исполнения цифровых соглашений и осуществляет по запросу смарт-контракта сбор и систематизацию алгоритмами BigData финансовых и технологических данных, валидация и верификация которых подтверждена цифровой средой и которые отражают текущее состояние бизнес-процессов компаний [15].

Алгоритмические возможности программы-оракула платформозависимы, в связи с чем объем контролируемых и обрабатываемых приложением данных ограничен. Для информационного сопровождения технологически сложных смарт-контрактов задействуется комплекс программных приложений оракулов, образующих в бизнес-процессах цифровой, умной и виртуальной фабрик сетевой монитор, подключенный одновременно к физической и виртуальной среде и ретранслирующий данные в цепочке «регистрация информации – обработка – смарт-контракт».

Источниками данных, актуальных для контроля условий цифрового договора, в бизнес-процессах создания продукции являются:

- пулы киберфизического технологического оборудования, выполняющие работу по изготовлению продукции;
- API (Application Programming Interface) систем автоматизированного проектирования, сопровождающих операционную деятельность разработчиков продукции;
- смарт-продукция, формирующая через систему RFID (Radio Frequency Identification) и каналы Internet of Things информацию о своем состоянии и логистике жизненного цикла;
- электронные носители, содержащие базы данных банковских счетов и сервисы денежных переводов платежных систем;
- web-сайты и интернет-страницы онлайн сервисов цифровой, умной и виртуальной фабрик, бизнес-логика которых сводится к продажам и кастомизации продукции, и др.

Схемы межфирменных бизнес-отношений, регулируемых смарт-контрактами и программами-оракулами в жизненном цикле продукции, приведены на рис. 1. В схемах реализована автоматическая информационная поддержка исполнения «запрограммированного» договора, составляющая инновационное решение в промышленном секторе экономики, интегрирующее киберпроизводственные и финансовые данные в цифровую экосистему фабрик Индустрии 4.0.

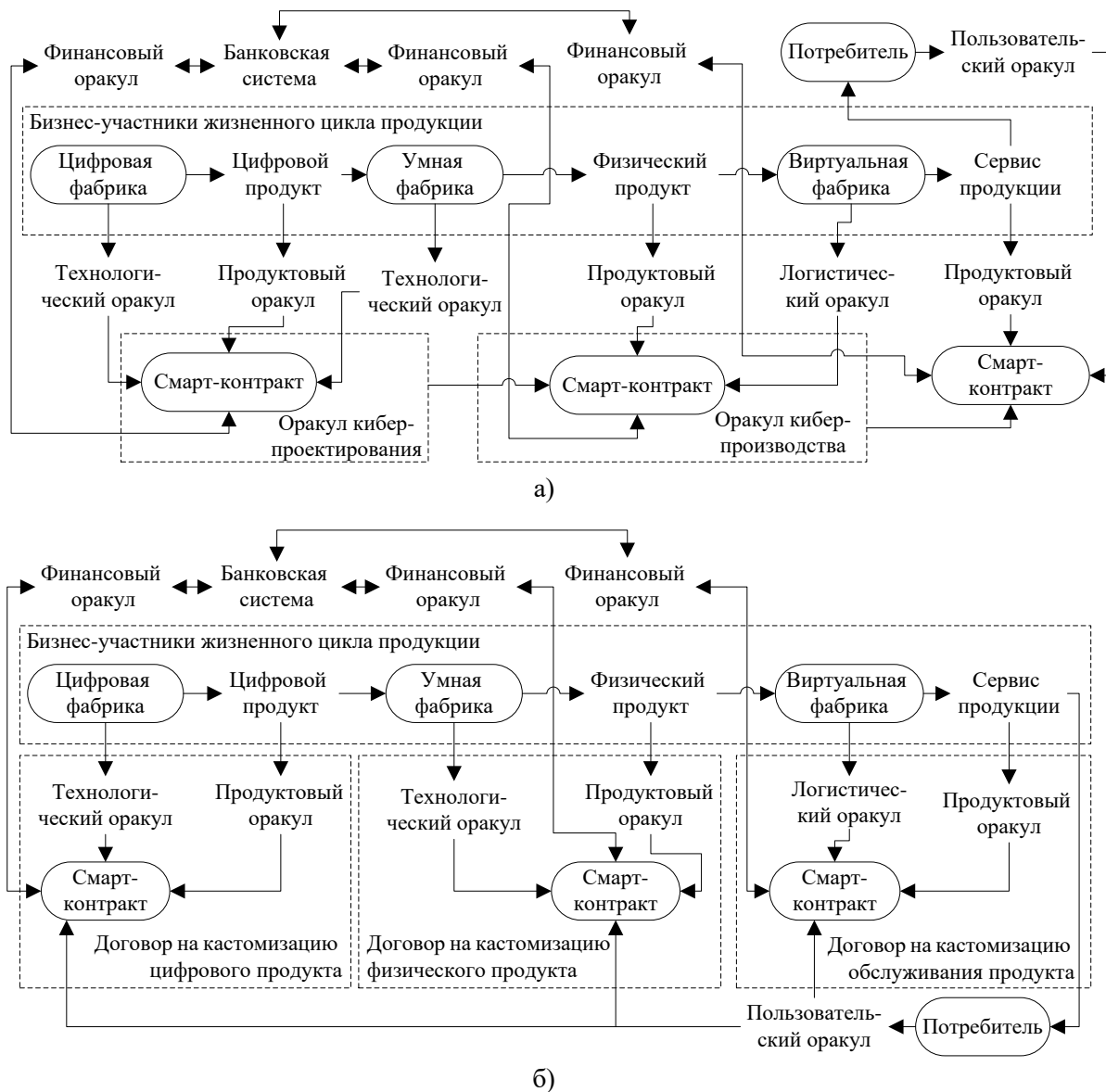


Рис. 1. Схемы межфирменных бизнес-отношений, регулируемых смарт-контрактами в сегменте промышленного производства для:
 а) продукции массового спроса, б) кастомизированной продукции

Финансово-технологическая осведомленность смарт-контрактов о балансовых активах компаний позволяет рассматривать цифровые бизнес-соглашения элементами системы экономического управления, объектами регулирования в которой являются: учетные материальные запасы (исходное сырье и комплектующие, продукция незавершенного производства и готовая продукция), собственные (наличные и на банковских счетах) средства компании, дебиторская и кредиторская задолженность. Код смарт-контракта включает запрограммированные производственный цикл изготовления продукции, операционный и финансовый циклы оборота денежных средств компаний, хронометрированные по времени и согласованные по событиям в цифровой цепочке создания ценности. Синхронизация циклов, автоматизированная в смарт-контрактах, необходима для планирования бизнес-процессов и управления текущими активами, эффективность которого влияет на рыночную устойчивость финансового состояния компаний.

Контрольными точками смарт-контрактов, устанавливаемыми бизнес-сторонами при заключении цифрового соглашения, являются: сроки поставки комплектующих и отгрузки конечной продукции, сроки оплаты продукции или погашения дебиторской (кредиторской) задолженности, продолжительность технологических процессов и ценовые параметры продукции и т.д. Сквозной смарт-контракт полного жизненного цикла продукции обеспечивает бизнес-системе разумный компромисс во временных соотношениях производственного, операционного и финансового циклов, образующийся в результате сопровождения технологических и бизнес-процессов компаний авансовыми платежами и кредиторской задолженностью,

формируемой перед поставщиками и субподрядчиками. В динамике параллельного выполнения множества киберпроизводственных проектов экономическое управление циклами, контролируемое электронными смарт-контрактами, позволяет бизнес-системе сохранять показатели своей финансовой устойчивости на приемлемом для инновационного рынка уровне.

Заключение

Инновационная повестка цифровой экономики в сегменте промышленного производства актуализирует проблему создания новых моделей ведения бизнеса, операционная деятельность которого сфокусирована на процессах проектирования, изготовления и распределения продукции, полученной с использованием кибертехнологий и смарт-контрактов. Кибертехнологии и смарт-контракты применяются с целью:

- повышения качества и точности значимых для потребителя характеристик предлагаемой продукции, достигаемого в результате перехода компаний от продуктоориентированной бизнес-модели взаимодействия с покупателем к сервисориентированной бизнес-модели;

- снижения издержек при создании и выводе продукции на рынок, отнесенных на все этапы ее жизненного цикла, достигаемого в результате трансформации бизнес-моделей компаний не только в аспектах технического совершенствования процессов, но и в аспектах маркетинговых бизнес-стратегий продвижения продукции до конечного потребителя;

- поиска новых источников роста бизнеса в цепочках, ценообразование в которых зависит не только от спроса и объема предложений на рынке, но и от результатов обработки статистических данных, характеризующих потребительский опыт эксплуатации продукции в течение ее жизненного цикла;

- сближения технологических и бизнес-процессов цифровой, умной и виртуальной фабрик в платформозависимых экосистемах прямого взаимодействия разработчика, изготовителя и потребителя, расширяющих возможности бизнеса по экономическому управлению и оптимизации звеньев цепочек добавленной стоимости продукции и коммуникаций компаний с контрагентами (субподрядчиками);

- стимулирования коммерциализации инновационных разработок, регулируемых потребителем от момента формирования индивидуализированного заказа до момента изготовления кастомизированной продукции, ценностное предложение которой удовлетворяет взыскательный спрос, и др.

Мультипликативный эффект от внедрения смарт-контрактов и кибертехнологий в современную промышленность проявляется в создании новых классов экономических агентов (цифровой, умной и виртуальной фабрик) и экономических ресурсов (киберфизические системы), приоритетное использование которых целесообразно в корпоративных бизнес-системах, поддерживающих бизнес-модели и бизнес-стратегии, формирующие:

- цепочки добавленной стоимости «кибертехнологии – цифровой (физический) продукт – виртуальный (реальный) рынок», доходная модель которых основана на персонифицированных сервисах и времени аренды (шеринга) ресурсов киберпроизводства;

- цепочки ценности «маркетинг – цифровой дизайн – цифровое киберпроизводство – кастомизированный продукт – персонифицированный сервис», позволяющие потребителю получать изделие (услугу) в объемах, сроках поставки и в качестве, соответствующих желаемым требованиям;

- цепочки отношений «цифровая (умная, виртуальная) фабрика – потребитель», в которых не только стимулируется рыночный спрос на инновационную продукцию изготовителем, но и спрос компаний на трансфер кибертехнологий, технические возможности которых приводят к абсолютной автоматизации киберпроизводства и удовлетворению покупательских запросов.

Литература

1. Götz M., Jankowska B. Adoption of Industry 4.0 technologies and company competitiveness: case studies from a post-transition economy // *Foresight and STI governance*, 2020, vol.14, №4, pp.61-78.
2. Leng J., Wang D., Shen W., Li X., Liu Q., Chen X. Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: a review // *Journal of manufacturing systems*, 2021, vol.60, pp.119-137.
3. Cañas H., Mula J., Díaz-Madroñero M., Campuzano-Bolarín F. Implementing Industry 4.0 principles // *Computers & industrial engineering*, 2021, vol.158, art.107379.
4. Nakagawa E.Y., Antonino P.O., Schnicke F., Kuhn T., Liggesmeyer P. Continuous systems and software engineering for Industry 4.0: a disruptive view // *Information and software technology*, 2021, vol.135, art.106562.
5. Song L., Li M., Zhu Z., Yuan P., He Y. Attribute-based access control using smart contracts for the internet of things // *Procedia computer science*, 2020, vol.174, pp.231-242.

6. Unterberger P., Müller J.M. Clustering and classification of manufacturing enterprises regarding their Industry 4.0 reshoring incentives // *Procedia computer science*, 2021, vol.180, pp.696-705.
7. Ghosh D., Sant T.G., Kuiti M.R., Swami S., Shankar R. Strategic decisions, competition and cost-sharing contract under industry 4.0 and environmental considerations // *Resources, conservation and recycling*, 2020, vol.162, art.105057.
8. Guo D., Li M., Lyu Z., Kang K., Wu W., Zhong R.Y., Huang G.Q. Synchroperation in industry 4.0 manufacturing // *International journal of production economics*, 2021, vol.238, art.108171.
9. McNamara A.J., Sepasgozar S.M.E. Intelligent contract adoption in the construction industry: concept development // *Automation in construction*, 2021, vol.122, art.103452.
10. Bokrantz J., Skoogh A., Berlin C., Wuest T., Stahre J. Smart maintenance: a research agenda for industrial maintenance management // *International journal of production economics*, 2020, vol.224, art.107547.
11. Hsain Y.A., Laaz N., Mbarki S. Ethereum's smart contracts construction and development using model driven engineering technologies: a review // *Procedia computer science*, 2021, vol.184, pp.785-790.
12. Prause G. Smart contracts for smart supply chains // *IFAC-PapersOnLine*, 2019, vol.52, №13, pp.2501-2506.
13. Mehta D., Tanwar S., Bodkhe U., Shukla A., Kumar N. Blockchain-based royalty contract transactions scheme for Industry 4.0 supply-chain management // *Information processing & management*, 2021, vol.58, №4, art.102586.
14. Dietrich F., Palm D., Louw L. Smart contract based framework to increase transparency of manufacturing networks // *Procedia CIRP*, 2020, vol.91, pp.278-283.
15. Geest M., Tekinerdogan B., Catal C. Design of a reference architecture for developing smart warehouses in industry 4.0 // *Computers in industry*, 2021, vol.124, art.103343.

Reference

1. Götz M., Jankowska B. Adoption of Industry 4.0 technologies and company competitiveness: case studies from a post-transition economy // *Foresight and STI governance*, 2020, vol.14, №4, pp.61-78.
2. Leng J., Wang D., Shen W., Li X., Liu Q., Chen X. Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: a review // *Journal of manufacturing systems*, 2021, vol.60, pp.119-137.
3. Cañas H., Mula J., Díaz-Madroño M., Campuzano-Bolarín F. Implementing Industry 4.0 principles // *Computers & industrial engineering*, 2021, vol.158, art.107379.
4. Nakagawa E.Y., Antonino P.O., Schnicke F., Kuhn T., Liggesmeyer P. Continuous systems and software engineering for Industry 4.0: a disruptive view // *Information and software technology*, 2021, vol.135, art.106562.
5. Song L., Li M., Zhu Z., Yuan P., He Y. Attribute-based access control using smart contracts for the internet of things // *Procedia computer science*, 2020, vol.174, pp.231-242.
6. Unterberger P., Müller J.M. Clustering and classification of manufacturing enterprises regarding their Industry 4.0 reshoring incentives // *Procedia computer science*, 2021, vol.180, pp.696-705.
7. Ghosh D., Sant T.G., Kuiti M.R., Swami S., Shankar R. Strategic decisions, competition and cost-sharing contract under industry 4.0 and environmental considerations // *Resources, conservation and recycling*, 2020, vol.162, art.105057.
8. Guo D., Li M., Lyu Z., Kang K., Wu W., Zhong R.Y., Huang G.Q. Synchroperation in industry 4.0 manufacturing // *International journal of production economics*, 2021, vol.238, art.108171.
9. McNamara A.J., Sepasgozar S.M.E. Intelligent contract adoption in the construction industry: concept development // *Automation in construction*, 2021, vol.122, art.103452.
10. Bokrantz J., Skoogh A., Berlin C., Wuest T., Stahre J. Smart maintenance: a research agenda for industrial maintenance management // *International journal of production economics*, 2020, vol.224, art.107547.
11. Hsain Y.A., Laaz N., Mbarki S. Ethereum's smart contracts construction and development using model driven engineering technologies: a review // *Procedia computer science*, 2021, vol.184, pp.785-790.
12. Prause G. Smart contracts for smart supply chains // *IFAC-PapersOnLine*, 2019, vol.52, №13, pp.2501-2506.
13. Mehta D., Tanwar S., Bodkhe U., Shukla A., Kumar N. Blockchain-based royalty contract transactions scheme for Industry 4.0 supply-chain management // *Information processing & management*, 2021, vol.58, №4, art.102586.
14. Dietrich F., Palm D., Louw L. Smart contract based framework to increase transparency of manufacturing networks // *Procedia CIRP*, 2020, vol.91, pp.278-283.
15. Geest M., Tekinerdogan B., Catal C. Design of a reference architecture for developing smart warehouses in industry 4.0 // *Computers in industry*, 2021, vol.124, art.103343.