

СТАТЬИ

УДК 004.738

**МОДЕЛЬ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК НА ОСНОВЕ
ТЕХНОЛОГИЙ БЛОКЧЕЙНА И ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

Гаранин Н.А., Белов Ю.С.

*ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»,
Калужский филиал, Калуга, e-mail: fn1-kf@mail.ru*

Забота о здоровье стала самым приоритетным показателем в жизни человека в последние годы. По мере того, как потребители все больше заботятся о себе, растет спрос на определенные методы производства для удовлетворения конкретных экологических, этических и пищевых потребностей. Появление новых рынков и глобальный рост цен на продовольствие также увеличивают рост мошенничества с продуктами питания и рисков для безопасности пищевых продуктов. Для исключения возможных проблем необходимо следить за цепочками поставок. Данная работа демонстрирует цепочку поставок, основанную на технологиях блокчейна – распределенной учетной книги, распространяющейся по всей системе, и интернета вещей – сети интеллектуальных объектов с предоставлением различных промышленных услуг. Данная модель способна хранить записи о деловых операциях, которые записываются в соответствии с согласованным набором политик и правил без привлечения каких-либо централизованных органов власти. Внимание фокусируется на использовании наиболее эффективных и экономичных функций технологии для содействия решению проблем. В разработанной системе применяются различные инструменты и технологии, такие как Консорциум Raft, Hyperledger Fabric, Центры сертификации, кластеры Kafka, NodeJS, RFID-метки. Основное внимание в модели уделяется ее надежности, отказоустойчивости и универсальности.

Ключевые слова: блокчейн, интернет вещей, цепочки поставок

**A SUPPLY CHAIN MODEL BASED ON BLOCKCHAIN
AND INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES**

Garanin N.A., Belov Yu.S.

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, Kaluga, e-mail: fn1-kf@mail.ru

Health care has become the highest priority indicator in human life in recent years. As consumers take more care of themselves, there is a growing demand for certain production methods to meet specific environmental, ethical and nutritional needs. The emergence of new markets and the global rise in food prices are also increasing the growth of food fraud and food safety risks. To avoid possible problems, it is necessary to monitor supply chains. This work demonstrates a supply chain based on blockchain technologies – a distributed ledger that spreads throughout the system, and the Internet of Things – a network of intelligent objects with the provision of various industrial services. This model is capable of storing records of business transactions, which are recorded in accordance with an agreed set of policies and rules without involving any centralized authorities. The focus is on using the most efficient and cost-effective features of the technology to facilitate problem solving. The developed system uses various tools and technologies, such as: the Raft Consortium, Hyperledger Fabric, Certification Centers, Kafka clusters, NodeJS, RFID tags. The main attention in the model is paid to its reliability, fault tolerance and versatility.

Keywords: blockchain, Internet of things, supply chains

Цепочки поставок продовольствия развиваются быстро и распространяются по всему миру. Эти цепочки поставок соединяют три важных сектора экономики. Тремя важными источниками продовольствия являются сельскохозяйственные культуры, домашний скот и морепродукты. Мошенничество с продуктами питания относится к группе действий, которые совершаются намеренно или непреднамеренно с целью получения экономической выгоды. Убедиться в качестве поставок продовольствия от места происхождения до места назначения – большая проблема. Данные проблемы могут быть решены организацией безопасной цепочки поставок, прослеживаемой на всем пути производства.

Цель исследования – рассмотреть архитектуру цепочки поставок на основе техно-

логии блокчейн с применением Интернета вещей.

Платформа Hyperledger Fabric. Это готовое для предприятия блокчейн-решение. Пищевая промышленность внедряет информационные технологии для завоевания доли рынка и повышения доверия потребителей. Предоставляет функциональность канала для обеспечения конфиденциальности транзакций только между wybranymi сторонами. Каждый канал имеет одну бухгалтерскую книгу, и между членами консорциума в одной сети может быть несколько каналов.

Являясь блокчейн-платформой с открытым исходным кодом, отлично подходит для решения поставленной задачи в организации цепочки. Для обеспечения безопасности и прослеживанием за правильностью эксплуатации применяется консорциум [1].

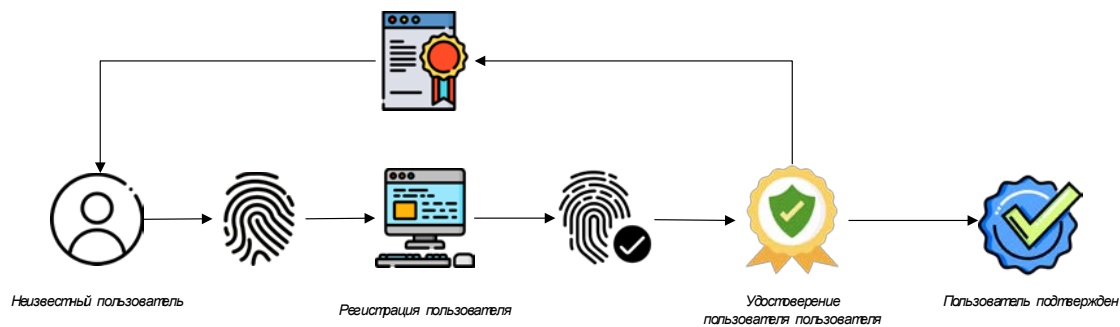


Рис. 1. Управление идентификацией

Члены консорциума принимают множество политик, решений, правил и положений для управления консорциумом. Как правило, консорциум использует децентрализованный подход к принятию решений. Многие администраторы из организаций-членов большинством голосов принимают решение о внесении каких-либо изменений в сеть, что затрагивает членов консорциума или бизнес-сети. Такая децентрализованная система принятия решений нуждается в моделях управления и принятия решений.

В публичной блокчейн-сети пользователи, загружая программное обеспечение и совершая транзакции, не раскрывают свои личности. В деловых сетях это неподходящий способ работы. Анонимность неприемлема в деловых сетях. Участники бизнес-сетей всегда имеют известную личность и назначенные роли. Hyperledger Fabric – это сеть, основанная на разрешениях, и назначает известные идентификаторы и роли для выполнения транзакций [2]. Все пользователи и компоненты в сети Hyperledger Fabric должны быть идентифицированы в сети. Для этого Hyperledger Fabric использует PKI (Инфраструктуру открытых ключей) для управления идентификационными данными. Типичный процесс генерации идентификационных данных показан на рис. 1.

Документ, удостоверяющий личность, предоставляется владельцем удостоверения личности в регистрирующий орган. Регистрирующий орган проверил информацию о пользователе и передал ее органу по сертификации. Центр сертификации создает сертификат x509 и возвращает его владельцу и центру проверки, чтобы подтвердить его действительность [3]. Другие компоненты, такие как одноранговые узлы и узлы-заказчики, также требуют удостоверения для участия в сети.

Архитектура системы. Относительно легко интегрировать блокчейн Hyperledger Fabric с существующей корпоративной системой. Каждая организация в сети может разработать систему взаимодействия в соответствии со своими потребностями [4]. Интерфейсные приложения Fabric могут разрабатываться независимо с использованием RESTful API в качестве промежуточного программного обеспечения, или пользовательское промежуточное программное обеспечение также может быть разработано с использованием одного из SDK, предоставляемых Hyperledger Fabric, как показано на рис. 2.

На рис. 3 показана системная архитектура решения цепочки поставок. Первоначально эта система устанавливается в трех местах. Два одноранговых узла установлены в помещениях организации ферм. Организация по производству продуктов питания и организация по распределению продуктов питания имеют по два одноранговых узла. Организация, занимающаяся производством продуктов питания, дополнительно владеет двумя узлами orderer и кластерами Kafka [5]. В настоящее время эта система демонстрирует Kafka в качестве службы заказа. Hyperledger Fabric также поддерживает консенсус на основе Raft. Служба заказа на основе Raft обеспечивает отказоустойчивость при сбое, такую как реализация службы заказа Kafka, без необходимости управления внешними зависимостями. Кроме того, при использовании Raft узлы обслуживания заказа могут предоставляться различными организациями по всему миру в различных центрах обработки данных. Привязанные одноранговые узлы каждой организации взаимодействуют с заказчиком и другими одноранговыми узлами через Интернет вещей, в то время как брокеры Kafka соединены с узлами-заказчиками через простой коммутатор уровня 2.

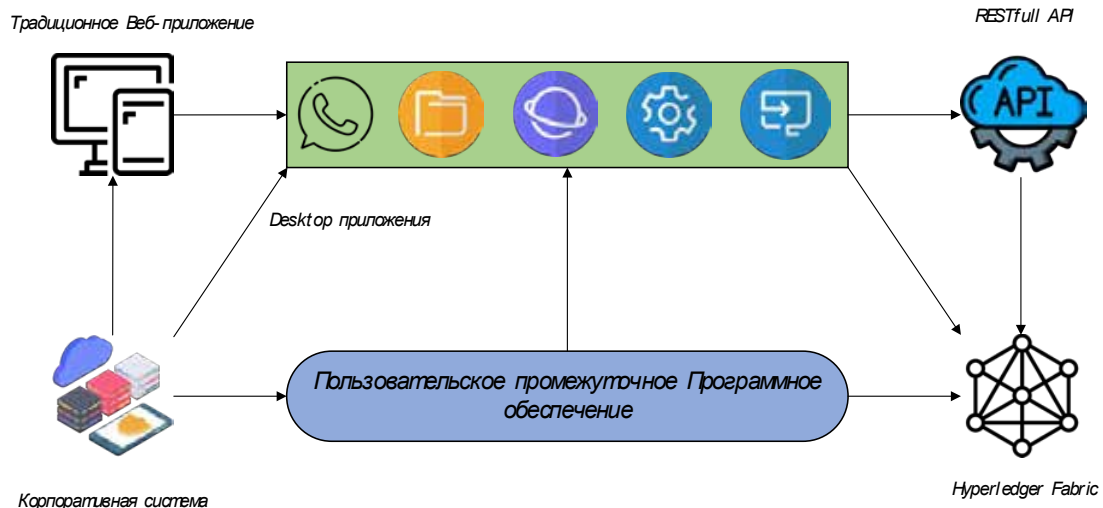


Рис. 2. Интеграция блокчейна Hyperledger Fabric

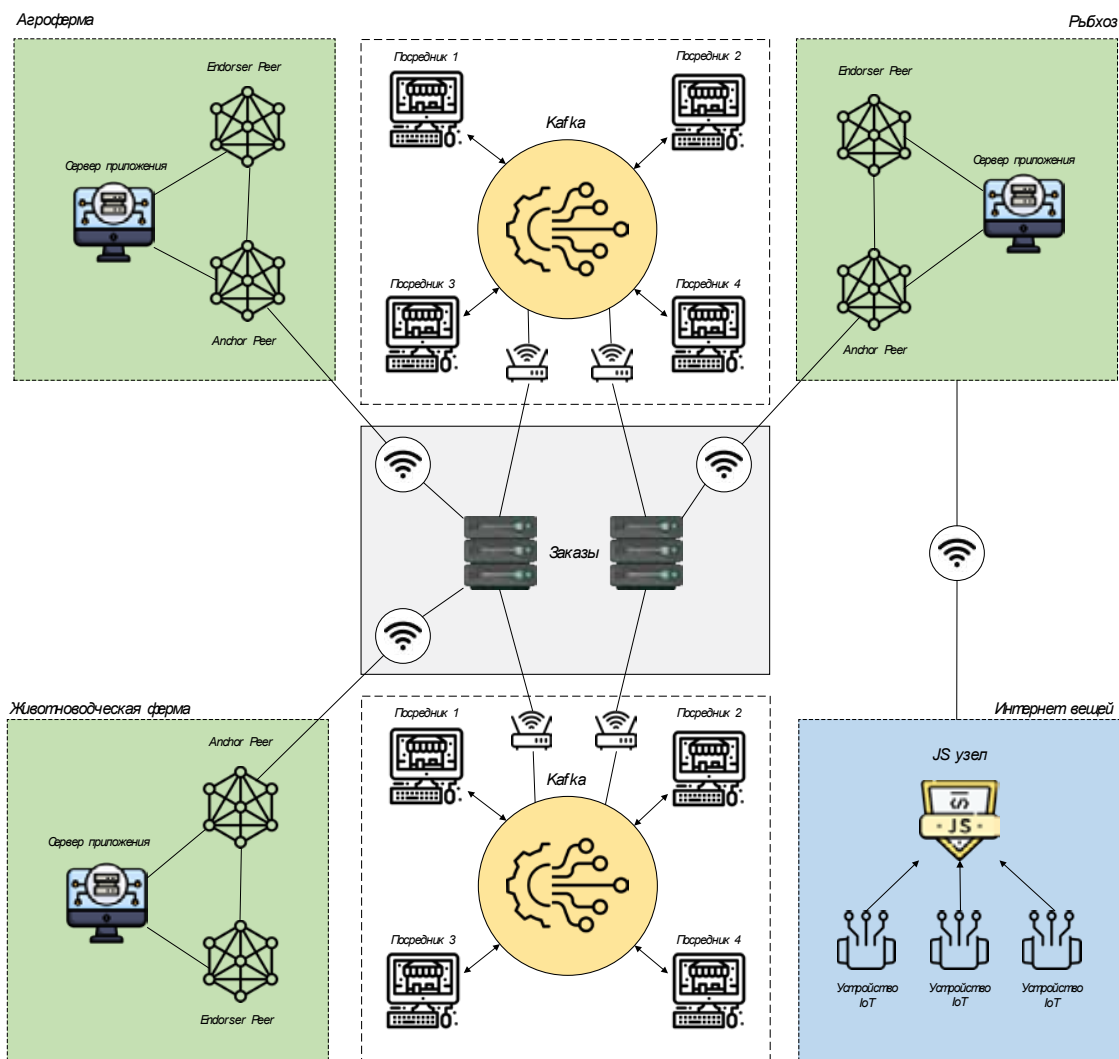


Рис. 3. Архитектура

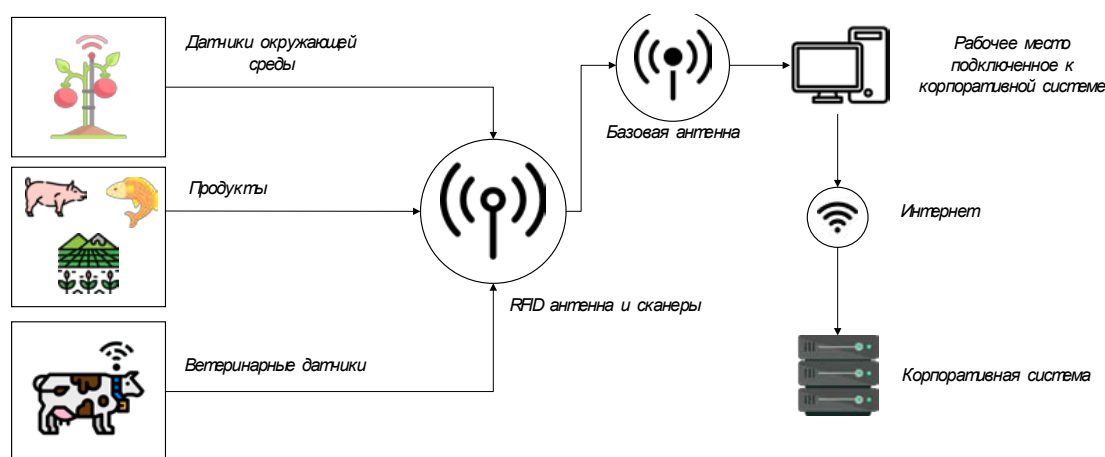


Рис. 4. Идентификация с помощью интернета вещей

Система использует цепной код для хранения данных в блокчейне. Передаются необходимые данные с фиксированной частотой из текущей традиционной базы данных в блокчейн, используя цепной код. Новая версия цепного кода развертывается для каждой новой партии. Код цепочки необходим для ввода или считывания данных из блокчейна. Эти коды цепочки передаются заказчику вместе с продуктом в качестве спецификаций продукта [6].

Фермы также поставляют производимый продукт вместо сырья. В этом случае для управления уникальным идентификатором каждой упаковки используется отдельный код цепочки. Ферма генерирует набор новых идентификаторов для каждой упаковки в соответствии с идентификатором. Эти идентификаторы хранятся в блокчейн-системе с использованием отдельного кода цепочки, разработанного специально для этой цели. Этот новый код цепочки считывает идентификаторы для каждой транзакции, используя код цепочки предыдущего этапа, и сохраняет этот набор идентификаторов для этого продукта. Оба кода цепочки передаются вместе с продуктом заказчику в качестве спецификаций продукта. Это позволяет отслеживать каждую упаковку с полной историей продукта.

Сервер приложений на базе NodeJS, на котором размещены Fabric SDK и NodeJS Express. NodeJS Express предоставляет RESTful API и различные функции для отправки, получения и доступа к данным из существующей инфраструктуры Интернета вещей и программного обеспечения в организациях [7]. Группы ИТ-поддержки из всех организаций, задействованных в ходе этой разработки и развертывания. Этот сервер приложений предоставляет универсальный

интерфейс, который можно использовать для создания нового пользовательского интерфейса или интеграции его в уже существующий интерфейс приложений. Каждая нынешняя или будущая организация, присоединяющаяся к этому предприятию, может интегрировать это решение в свою существующую систему в соответствии со своими потребностями с минимальными усилиями благодаря его простоте.

Управление идентификацией с помощью IoT. Продукты на ферме помечены и снабжены RFID-метками. Все соответствующие параметры структурированы. Этот тег содержит необходимую информацию, хранящуюся в нем, такую как дата, порода, вид и информация о владельце. Уникальный идентификатор (ID) метки – это идентификатор животного или продукта. Работник сканирует и помещает в систему всю информацию, касающуюся контроля заболеваний, вакцинации и веса. Он также отслеживает и регистрирует условия на производственной площадке, которые включают условия окружающей среды, включая качество воды, температуру, качество воздуха, влажность окружающей среды, условия труда и качество процессов. Данные с меток и датчиков окружающей среды собираются установленными на фермах антеннами и отправляются на рабочую станцию на объекте, а также в штаб-квартиру предприятия, владеющего фермами, как показано на рис. 4.

Система хранит эти данные в традиционных базах данных для внутреннего использования наряду с размещением этих транзакций в блокчейне. Эти сертифицированные органические фермы работают по двум моделям [8]. Они выращивали продукцию или оказывали услуги только организациям, производящим продукты питания.

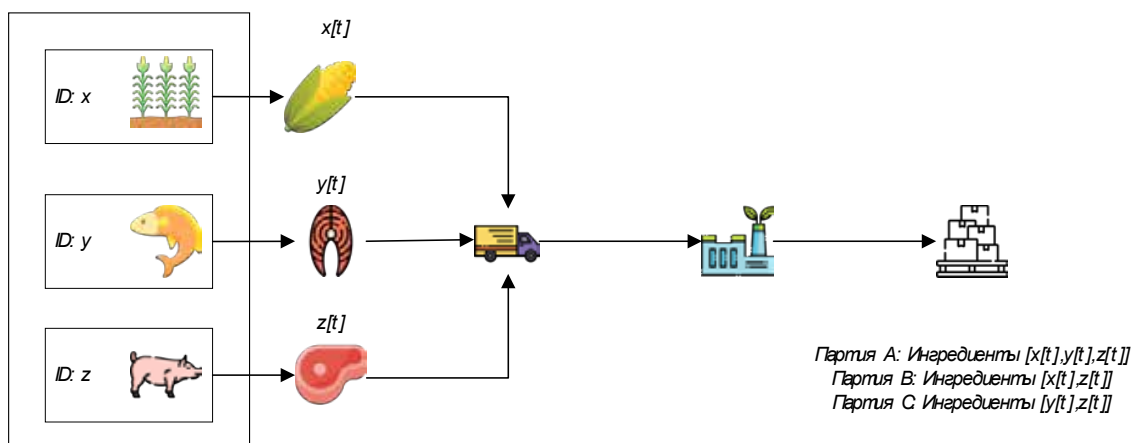


Рис. 5. Управление идентификацией продукта по всей цепочке

В обоих сценариях соответствующие данные собираются и хранятся в соответствии с органическим центром сертификации. Эти данные передаются клиентам вместе с продуктом в качестве спецификаций продукта. Блокчейн-приложение интегрировано таким образом, что оно не влияет ни на одну существующую систему.

Система использует цепной код для хранения данных в блокчейне. Он только передает необходимые данные с фиксированной частотой из текущей традиционной базы данных в блокчейн, используя этот цепной код. Новая версия цепного кода разворачивается для каждой новой партии. Код цепочки необходим для ввода или считывания данных из блокчейна. Эти коды цепочки передаются заказчику вместе с продуктом в качестве спецификаций продукта.

Ферма генерирует набор новых идентификаторов для каждой упаковки в соответствии с идентификатором, как показано на рис. 5.

Эти идентификаторы хранятся в блокчейне системы с использованием отдельного кода цепочки, разработанного специально для этой цели. Этот новый цепной код считывает идентификационные данные для каждой транзакции, используя цепной код предыдущего этапа и сохраняет этот набор идентификаторов для данного продукта. Оба кода цепочки передаются вместе с продуктом заказчику в качестве спецификаций продукта. Это позволяет отслеживать каждую упаковку с полной историей продукта.

Упаковка продуктов питания может быть отслежена в цепочке поставок от ферм до компании по переработке пищевых продуктов к дистрибьютору, от дистрибьютора к целому продавцу и от всего продавца к розничному продавцу. Это возможно с помо-

щью штрих-кода, QR-кода или RFID-метки на каждой коробке с едой [9]. Блокчейн может легко обрабатывать идентификационные данные и регулировать, кто получает доступ к информации, стоящей за каждым продуктом. Каждая коробка с мясом содержит RFID или QR-код, который предотвращает информацию о нем, и можно отслеживать этот продукт и весь процесс его производства от рождения до переработки.

Компания предоставляет данные в режиме реального времени со своих грузовых автомобилей, используя свою платформу Интернета вещей, доступ к которой имеют как отправитель, так и получатель. Эти данные также обновляются с помощью смарт-контракта через определенные промежутки времени в блокчейне.

Производитель продуктов питания получает свою партию сырья со своим кодом цепочки спецификаций продукта. Этот код цепочки позволяет производителю считывать спецификации сырья из блокчейна. Производитель передает эти данные из блокчейна в свою традиционную систему управления базами данных для своих внутренних операций и записей. Если компания получает продукт, она разворачивает смарт-контракт для обновления набора идентификационных данных для каждой упаковки продуктов.

Организация использует цепной код для записи своей продукции в блокчейне. Этот цепной код запрашивает сырье, используя цепной код спецификации сырья, который он получает вместе со своим сырьем. Система организации присваивает уникальный идентификационный номер готовому продукту в соответствии с идентификационной группой ингредиентов. К каждой упаковке прикреплен идентификационный

номер [10]. Каждая коробка сканируется, и информация заносится в базу данных. Набор новых вспомогательных идентификаторов, созданных системой для каждого идентификатора, присваиваемых каждой партии продуктов, в которых используется.

Таким образом, данная модель может применяться в пищевой промышленности в рамках целостного и продуманного подхода к экономически эффективному измерению и сертификации качества конечного продукта. Предоставляет децентрализованную, достоверную и прозрачную информацию, хранящуюся в блокчейне параллельно с использованием Интернета вещей. Система не вмешивается в существующую инфраструктуру, но обеспечивает отдельный уровень обмена данными, который может быть интегрирован в систему с использованием общей структуры приложения в качестве эталона.

Список литературы

1. Гаранин Н.А., Белов Ю.С. Облачные сервисы в решении базовых проблем интернета вещей // Наука. Исследования. Практика: материалы международной научной конференции ГНИИ «Нацразвитие» / Гуманитарный национальный исследовательский институт «Нацразвитие». 2021. С. 87–90.
2. Гаранин Н.А., Белов Ю.С. Защита устройств интернета вещей (IoT) с помощью блокчейн-фреймворка Hyperledger fabric // Научное обозрение. Технические науки. 2021. № 6. С. 17–21.
3. Bouzembrak Y., Kléuche M., Gavai A., Marvin H.J.P. Internet of things in food safety: literature review and a bibliometric analysis. *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 94. P. 54–64.
4. Muessigmann B., von der Gracht H., Hartmann E. Blockchain technology in logistics and supply chain management. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2020. Vol. 67. No. 4. P. 988–1007.
5. Raban D.R., Gordon A. Evolution of data science and big data research: a bibliometric analysis. *Scientometrics*. 2020. Vol. 122. No. 3. P. 1563–1581.
6. Patil P., Sangeetha M., Bhaskar V. Blockchain for IoT access control, security and privacy: a review. *Wireless Personal Communications*. 2020. Vol. 117. No. 1. P. 1–20.
7. Boutaib S., Bechikh S., Palomba F. Code smell detection and identification in imbalanced environments. *Expert Systems with Applications*. 2021. Vol. 166. Article 114076.
8. Choo R., Yan Z., Meng W. Editorial: blockchain in industrial IoT applications: security and privacy advances, challenges, and opportunities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2020. Vol. 16. No. 6. P. 4119–4121.
9. Tandon A. An empirical analysis of using blockchain technology with internet of things and its application. *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.* 2019. Vol. 8. P. 1470–1475.
10. Sengupta J., Ruj S., Das Bit S. A Comprehensive Survey on Attacks, Security Issues and Blockchain Solutions for IoT and IIoT. *J. Netw. Comput.* 2020. Vol. 149. Article 102481.