

УДК 005.4:336.7

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.2>

СМАРТ-КОНТРАКТИ ЯК ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦІЇ РІШЕНЬ У БЛОКЧЕЙН-МЕРЕЖАХ ДЛЯ ІОТ

Ковальчук Є. Я. – аспірант кафедри інформаційно-обчислювальних систем
і управління Західноукраїнського національного університету
ORCID ID: 0009-0001-6379-0877

Козловський С. Й. – аспірант кафедри інформаційно-обчислювальних систем
і управління Західноукраїнського національного університету
ORCID ID: 0009-0000-5610-8158

В статті конкретизовано аспекти автоматизації процесів у ІоТ через смарт-контракти, наприклад, активація дій на основі умов реального часу (тригери), таких як перевищення заданого порогу сенсора. В статті вибрано методи автоматизації рішень, які використовуються в блокчейн-мережах, щоб люди могли ефективно зрозуміти їхню тему в нашому повсякденному житті. Інтеграція стає необхідністю і технологія блокчейну вже дозволила створити всесвітню мережу, в якій кожна транзакція перевіряється та синхронізується між безліччю користувачів. Технологія блокчейна сприяє виникненню безлічі розумних контрактів. Метою роботи є дослідити автоматизацію рішень у блокчейн-мережах для ІоТ використовуючи смарт-контракти.

Смарт-контракт – це умова, записана комп'ютерною мовою, при виконанні якої сторони, які підписують смарт-контракт, обмінюються будь-якими активами: валютою, нерухомістю, акціями і т.д. Смарт-контракти дозволять покращити такі сфери діяльності як логістика, інтернет-торгівля, оренда житла, банківські послуги, що призведе до синергетичного ефекту у цих галузях, а й у економіці загалом. У цій статті було запропоновано використовувати смарт-контракти, як основу для класифікації та обробки даних для ІоТ.

Новизна роботи заснована на застосуванні технологій смарт-контрактів у питаннях автоматизації блокчейн-мереж. Актуальність роботи впливає з сучасних викликів урбанізованому суспільству для людей середовища зі сталим розвитком та можливістю підвищення якості життя у різних аспектах. Методи дослідження: Аналіз та узагальнення літературних джерел, емпіричних даних та кейсів застосування блокчейну; системний аналіз та моделювання для розробки концептуальної моделі блокчейн-системи автоматизованого управління. Стаття буде цікавою вченим, інженерам та спеціалістам, які працюють в галузі автоматизації будівель та споруд та, більш загально, автоматизації міського та муніципального управління.

Ключові слова: дані, сенсори, активація, блокчейн, автоматизація процесів, мережа, логістика, банківські послуги, інтернет речі.

Kovalchuk Ye. Ya., Kozlovskiy S. Y. Smart contracts as the foundation for automated decision-making in blockchain networks for IoT

The article specifies aspects of automation of processes in IoT through smart contracts, for example, activation of actions based on real-time conditions (triggers), such as exceeding a given sensor threshold. The article selects methods of automation of solutions used in blockchain networks so that people can effectively understand their topic in our daily lives. Integration is becoming a necessity and blockchain technology has already allowed to create a worldwide network in which each transaction is verified and synchronized between many users. Blockchain technology contributes to the emergence of many smart contracts. The aim of the work is to investigate the automation of solutions in blockchain networks for IoT using smart contracts.

A smart contract is a condition written in a computer language, upon execution of which the parties signing the smart contract exchange any assets: currency, real estate, shares, etc. Smart contracts will improve such areas of activity as logistics, online shopping, housing rental, banking services, which will lead to a synergistic effect not only in these industries, but also in the economy as a whole. In this article, it was proposed to use smart contacts as a basis for classifying and processing data for IoT.

The novelty of the work is based on the application of smart contact technologies in the automation of blockchain networks. Research methods: Analysis and synthesis of literary sources, empirical data and blockchain application cases; system analysis and modeling to develop a conceptual model of a blockchain automated management system. The relevance of the work stems from the modern challenges of an urbanized society for people of an environment with sustainable development and the possibility of improving the quality of life in various aspects. The article will be of interest to scientists, engineers and specialists working in the field of automation of buildings and structures and, more generally, the automation of urban and municipal management.

Key words: data, sensors, activation, blockchain, process automation, network, logistics, banking services, internet of things.

Постановка проблеми. В даний час технології мають величезний вплив на автоматизацію рішень. Зміна бізнес-моделей призвела до необхідності технології, яка може забезпечити прозорість та безпеку всіх пов'язаних процесів – блокчейну. Що таке технологія блокчейну і як вона з'явилася? Технологія блокчейн – це децентралізована цифрова бухгалтерська книга, яка використовується для запису транзакцій та відстеження активів безпечним та прозорим способом. Це розподілена база даних, що дозволяє декільком сторонам мати доступ до однієї і тієї ж інформації без необхідності у центральному органі для керування транзакціями. Іншими словами, технологія шифрування та зберігання даних, які розподілені по безлічі комп'ютерів, підключених до спільної мережі. Підробити таку книгу неможливо. Оскільки блокчейн використовується для зберігання та передачі цифрових даних, це можуть бути як фінансові, так і нефінансові активи (наприклад, зображення або об'єкти з ланцюжка поставок).

Технологія блокчейн дозволяє присвоїти активу унікальну інформацію про його належності конкретній особі. Крім того, транзакції на блокчейні перевіряються мережею користувачів, а не центральним органом, що ще більше підвищує безпеку та надійність системи [1–2]. У міру розвитку та просування технології блокчейна може виникнути безліч розумних контрактів або цілі екосистеми децентралізованих додатків, організацій та корпорацій, що працюють автономно. Децентралізована природа блокчейна є основою його надійності. Якщо збій відбувається в одній з ланок, інші беруть на себе його функції, забезпечуючи продовження роботи всього ланцюга. Ця властивість особливо є важливою для компаній, що працюють у сфері постачання товарів та послуг клієнтам, які можуть бути впевнені в тому, що їхній платіж не буде втрачено, а товар буде доставлений у строк.

Смарт-контракт – це умова, записана комп'ютерною мовою, під час виконання сторони, які підписують смарт-контракт, обмінюються будь-якими активами: валютою, нерухомістю, акціями тощо. Елементами смарт-контракту є такі об'єкти:

- Предмет договору. Програма повинна мати доступ до товарів чи послуг з приводу яких укладається контракт, та мати можливість автоматично дати або закрити до них доступ.

- Цифровий підпис. Усі учасники ініціюють угоду, підписуючи договір своїми таємними ключами.

- Умови договору. Умови смарт-контракту у формі точної послідовності операцій. Усі учасники мають підписати ці умови [3].

Виявилось справді зручно за допомогою смарт-контрактів збирати гроші на свій стартап. Адже за допомогою смарт-контракту можна автоматизувати всю «бухгалтерію»: контракт сам запам'ятає, від кого і скільки прийшло грошей, сам нарахує «акції», а також дасть можливість кожному учаснику передавати та продавати ці акції. Усі бачать, скільки всього було випущено акцій та як вони

розподілилися за учасниками. Від прихованого додрукування акцій та продажу однієї акції кілька разів захищає блокчейн.

Розумними контрактами можна регулювати різні фінансові (і не тільки) відносини між людьми. Найочевидніший варіант – торгівля в Інтернеті. Електронна комерція охоплює сьогодні майже всі види товарів. Ми замовляємо не лише техніку, а й готову їжу, продукти, купуємо та орендуємо нерухомість. Щоб повністю автоматизувати смарт-контракт, необхідно додати трохи «інтернету речей (IoT)»: бажано встановити в орендованому житлі складний замок, який автоматично буде блокуватися під час прострочення оплати або після закінчення обумовленого строку. Коли оренда підійде до кінця, двері заблокуються і орендарю автоматично повернеться заморожена в блокчейні застава.

Однак, існує проблема обмеженості платформ при отриманні даних з зовнішнього світу. На цьому етапі з'являються так звані оракули. Вони повинні поставляти цю інформацію для перевірки умов розумних контрактів у зрозумілому для них вигляді. Інформація може бути різною: від даних з датчиків температури до змін у базах продавців, державних реєстрах та на фондових ринках. Робота над оракулами ведеться не тільки у спеціалізованих компаніях, а й у великих корпораціях на кшталт IBM і Microsoft [4]. Всі вони намагаються створити як приватні рішення, так і універсальні платформи, які дозволять блокчейнам спілкуватися із зовнішнім світом і отримувати дані, необхідні повноцінного функціонування розумних контрактів. чітко перевести всі умови контракту до програмного вигляду та надати програмі доступ до всіх необхідних даних. До того ж розумні контракти у розподіленому реєстрі блокчейну неможливо змінити, підмінити чи знищити.

Якщо раптом одна зі сторін матиме злий намір, їй не вдасться порушити цілісність блокчейну через його розподілену структуру. Чим складніше контракт, тим більше умов і тим більше інформації потрібно витягти з різних платформ. Але не всі платформи готові відкривати дані оракулам, не всі платформи можна вважати довіреними і, безумовно, авторитетними. Тому метою роботи є дослідити автоматизацію рішень у блокчейн-мережах для IoT використовуючи смарт-контакти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вперше блокчейн подібний протокол було запропоновано американським криптографом Девідом Чаумом (D. Chaum) у його дисертації 1982 р. «Комп'ютерні системи, створюються, обслуговуються та користуються довірою взаємно підозрілих груп» [5]. Далі С. Хабер та У. Скотт Сторнетта у 1991 р. у своїй роботі [6] описали криптографічно захищений ланцюжок блоків. Математики мали на меті впровадити систему, в якій тимчасові мітки документів не можна було б підробити. У 1992 р. Хабер, Сторнетта та Дейв Бейер включили хеш-дерево (дерева Меркле або хеш-дерева, використовувані обчислювальними додатками як структуру для перевірки та синхронізації даних. Це метод швидкої перевірки точності даних децентралізованим способом. Завдяки своїй функціональності дерева Меркле використовуються більш ефективно з точки зору шифрування даних блокчейну) у своїй технології, що підвищило її ефективність, дозволивши зібрати сертифікати документів в одному блоці [7].

У 2008 р. розробник під псевдонімом Сатоші Накамото (справжня особистість є невідомою, не виключено, що під цією назвою працювала група) запропонував загальний алгоритм для системи біткоїн, ключовим елементом якого була децентралізована система з безперервного послідовного ланцюжка інформаційних блоків під назвою блокчейн [8]. Технологія блокчейн має безліч застосувань, у тому числі у фінансах, управлінні ланцюжками поставок та перевірки особистості. Її

основні можливості полягають у забезпечення безпечного, прозорого та децентралізованого управління документацією. Потенціал технології блокчейн у IoT величезний, особливо з погляду підвищення прозорості, ефективності та безпеки смарт-контактів [9].

Серед вітчизняних досліджень варто виділити роботу Д.В. Липницького [10], а також огляд від Української асоціації блокчейну [11]. Водночас технологія блокчейн сьогодні залишається ще недосконалою, певною мірою експериментальною, якій притаманний досить високий ступінь невизначеності. Низка питань щодо доцільності її застосування, особливо в IoT, нині ще залишаються без відповіді.

Формування цілей статті. Метою статті є дослідження впровадження смарт-контрактів в Інтернет-торгівлю з використанням технології блокчейн.

Виклад основного матеріалу. Промислова автоматизація та Інтернет речей (IoT) Блокчейн також може знайти застосування в галузі промислової автоматизації та Інтернету речей (IoT). У промислових середовищах часто використовуються складні автоматизовані системи управління, які збирають та обробляють величезні обсяги даних із різних датчиків, пристроїв та систем.

Блокчейн може забезпечити безпечний та прозорий спосіб зберігання та обміну цими даними між різними компонентами системи. Це дозволить підвищити рівень довіри до даних, що використовуються для прийняття рішень та управління промисловими процесами. Крім того, блокчейн може бути використаний для автоматизації та координації операцій між пристроями IoT за допомогою смарт-контрактів. Наприклад, у розумних будинках або «розумних містах» пристрої IoT можуть автоматично взаємодіяти та координувати свою роботу на основі даних та умов, записаних у блокчейні [12].

Як зазначено вище, одним з інструментів для децентралізації в блокчейні є прийняття рішень від централізованого суб'єкта (окремої людини, організації або їх групи) до розподілу мережі. Прозорість децентралізованого блокчейну дозволяє вирівняти довіру учасників один до одного. Ці мережі обмежують свою владу або контроль один над одним, що зберігає функціональність мережі. Незмінність означає, що дані неможливо змінити. Жодний учасник не може втрутитися у транзакцію після її внесення до Реєстру. Якщо запис містить помилку, то для її виправлення потрібно додати нову транзакцію. Обидві транзакції будуть відібрані у мережі. Таким чином, усі транзакції будуть максимально чистими.

Блокчейн-система встановлює набір правил, за якими учасники схвалюють транзакції. Нові транзакції можуть бути зареєстровані лише за згодою більшості учасників мережі. Блокчейн-система, що описується в цій роботі, є децентралізоване сховище, рознесене по всьому периферійному устаткуванню, яке може зберігати інформацію та здійснювати обчислення. Однак у цієї бази даних є суттєвий централізований компонент, який виконує координуючу та диспетчеризуючу роль. Централізований компонент при цьому може бути єдиним центром прийняття рішень або ж центром, рознесеним на кілька об'єктових комплексів для організації схеми управління [13].

На рис. 1 представлені три моделі побудови обчислювальної системи. Для побудови смарт-контактів для опису режимів функціонування елементів автоматизованих та інженерних систем інтелектуальної будівлі також підходять подібні моделі і для IoT, із представлених на вказаному малюнку моделей необхідно використовувати централізовану та кластерну моделі, тільки їх необхідно поєднати разом для створення єдиної схеми управління. Результат подано на рис. 2.

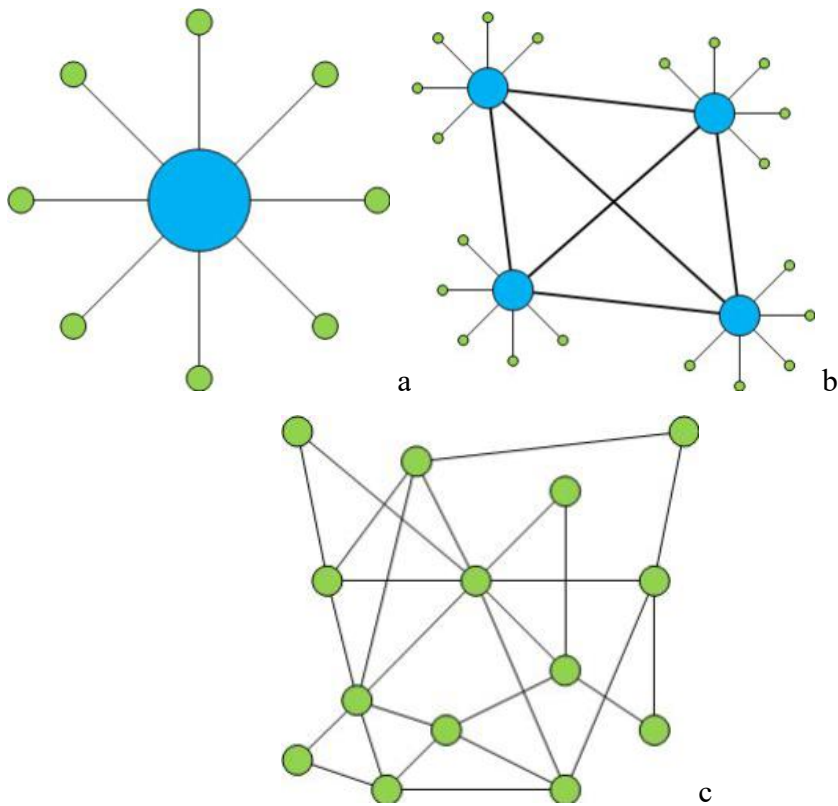


Рис. 1. Моделі організації обчислювальних потужностей. (а) Централізована модель. (б) Кластерні моделі. (с) Розподілена модель. Блакитним кольором на діаграмі позначено серверне обладнання, зеленим – термінали та периферійне обладнання. Лініями показані зв'язки між вузлами у мережі

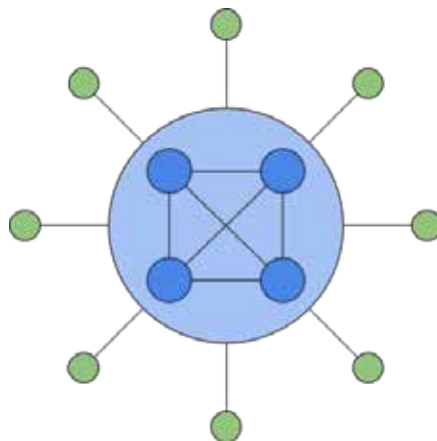


Рис. 2. Централізовано-кластерна модель організації смарт-контактів. Синій колір на діаграмі позначено серверне обладнання, зеленим – термінали та периферійне обладнання. Лініями показані зв'язки між вузлами у мережі

При пропозиції клієнтам інвестиційних продуктів банки можуть входити в єдину систему постачальників активів, що теоретично може дозволити будь-якому користувачеві отримати доступ до будь-якого активу планети. Безумовно, при цьому виникає важливе питання – збереження конфіденційності даних користувачів. Крім того, всі функції, які використовуються для обробки інформації в інтелектуалізованій системі управління блокчейном повинні бути зібрані в одну або декілька бібліотек, які доступні всім периферійним пристроям, що надають свої обчислювальні потужності в загальну розподілену обчислювальну мережу. У свою чергу, сигнатура функції є наступним об'єктом:

$$f : X \rightarrow Y,$$

де:

- f – ідентифікатор функції, за яким вузли розподіленої обчислювальної мережі можуть звернутися до неї.

- X – впорядковування безліч типів аргументів функції.

- Y – впорядкована кількість типів результатів обчислення функції.

Смарт-контракти для банків дозволяють формувати будь-який пул інформації у будь-якому вигляді. Це означає, що при виконанні банківських операцій на стороні клієнта або банку може формуватися відповідна документація у необхідному для учасників процесу форматі. Такі рішення здатні у рази підвищити ефективність праці, позбавляючи банківських службовців паперової роботи. Впровадження смарт-контрактів дозволить автоматично сформувати договір, відправити його клієнту на підпис, перевірити на коректність, направити до відповідних відділів, внести інформацію до звітності банку і перерахувати показники – за бажання все це можна зробити в реальному часі. Неважко уявити, як багато ресурсів заощадить така автоматизація. Розгортання блокчейн-системи автоматизованого управління може відбуватися різними способами, залежно від вимог та специфіки застосування, деякі можливі варіанти наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Розгортання блокчейн-системи автоматизованого управління

Варіант розгортання	Опис
Публічна блокчейн-мережа	Повністю децентралізована мережа, відкрита для участі будь-якого бажуючого. Не має єдиного органу управління, транзакції перевіряються колективно всіма вузлами. Підходить для відкритих систем, де потрібен високий рівень децентралізації та прозорості.
Приватна блокчейн-мережа	Мережа з обмеженим доступом, керована однією організацією. Лише авторизовані вузли можуть брати участь у перевірці транзакцій та додаванні нових блоків. Підходить для внутрішніх корпоративних систем або систем, де потрібен високий рівень контролю.

Не менш корисним будуть смарт-контракти у процесах логістики. Ланцюжки поставок зазвичай складаються з багатьох ланок, проте кожна ланка має отримати підтвердження від попереднього, виконати свою частину контракту та передати інформацію далі. У традиційній практиці це забирає багато часу та знижує

ефективність, а використання смарт-контрактів заощаджує час та дозволяє відслідковувати прогрес у реальному часі [14].

Підсумовуючи, можна назвати кілька основних етапів у роботі блокчейна. Програмне забезпечення блокчейна автоматизує більшу частину процедури:

Крок 1. Зареєструйте транзакцію. Транзакція на блокчейні відбиває переміщення фізичних чи цифрових активів з одного боку до іншого у мережі блокчейнів. Транзакція записується у вигляді блоку даних і може містити таку інформацію: Хто брав участь у транзакції? Що сталося під час транзакції? Коли була здійснена транзакція? Де було проведено транзакцію? Які причини транзакції? Скільки активів було переведено? Скільки попередніх умов було виконано під час транзакції?

Крок 2. Досягнення консенсусу. Більшість учасників розподіленої блокчейн-мережі повинні підтвердити, що зафіксована транзакція є дійсною. Залежно від типу мережі правила угоди можуть відрізнятися, але, як правило, вони встановлюються в початку процедури.

Крок 3. Зв'язування блоків. Коли учасники досягають консенсусу, транзакції в блокчейні записуються в блоки, еквівалентні сторінкам реєстру. Таким чином, блоки надійно пов'язані. Кожен додатковий блок посилює перевірку попереднього та всього ланцюжка блоків. Цей принцип аналогічний будівництву вежі з дерев'яних блоків. Блоки можна укладати тільки зверху, і, якщо прибрати один блок вся вежа завалиться [15].

Спільний проект датської компанії Maersk, що спеціалізується на морських грузових перевезеннях та IT-гіганта IBM є одним з найбільш показових прикладів використання блокчейна у логістиці. Платформа, створена в рамках проекту, отримала назву TradeLens і вже об'єднує понад 92 компаній-учасників. TradeLens дає користувачам можливість вести весь необхідний документообіг у цифровому форматі: всі сертифікати, що супроводжують та інші документи зберігаються у постійному реєстрі, що значно спрощує аудит. Автоматизація бізнес-процесів досягається завдяки модулю торгових документів ClearWay, який функціонує при допомозі смарт-контрактів.

Користувачі також мають можливість інтегрувати TradeLens з інтернетом речей (IoT) і відстежувати різні фізичні показники, наприклад, вага вантажу або температуру у контейнері. Лише під час тестування платформи було проведено понад 154 млн операцій на блокчейн, а транзитний час перевезень до США скоротилося на 40%, що дозволило суттєво зменшити витрати [16]. У 2018 р. Maersk та IBM після року тестування запустили екосистему TradeLens для відстеження транспортних засобів, контейнерів та вантажів, а також керування ланцюжками постачання.

Платформа збирає та об'єднує дані про вантажоперевезення від галузевих партнерів в єдину захищену блокчейн-мережу і забезпечує безпечний доступ до інформації для всіх зацікавлених сторін. Крім того, система дозволяє автоматизувати практично весь документообіг та цифрові бізнес-процеси, пов'язані з судноплавною логістикою, у тому числі такі операції, як отримання коносаменту, фінансові транзакції, митні збори та передача прав власності/відповідальності. Для цього TradeLens використовує смарт-контракти та IT-технології. У момент запуску платформи припадало на частку близько 15% ринку, зараз – 35%. Серед партнерів (користувачів) TradeLens можна знайти 15 найбільших морських перевізників, у тому числі Seaboard Marine, KMTTC, ZIM, Safmarine, Boluda, Sealand, Namsung та APL [7].

Технологія блокчейн здатна революціонізувати багато галузей і створити можливості для нових форм співробітництва та інновацій, у тому числі для України.

Блокчейн може забезпечити безпечний та прозорий спосіб відстеження товарів та активів по всьому ланцюжку поставок. Записуючи всі транзакції до блокчейну, можна відстежити походження та шлях прямування товару від виробника до кінцевого споживача. Смарт-контракти можуть використовуватись для автоматизації виконання контрактів між різними сторонами в ланцюжку постачання. Наприклад, смарт-контракт може бути налаштований на автоматичне перерахування платежів постачальнику після отримання товару.

Блокчейн можна використовувати для відстеження активів, таких як контейнери та піддони по всьому ланцюжку поставок. Це може допомогти запобігти втратам і крадіжкам та забезпечити ефективне використання активів. Блокчейн може використовуватися для аутентифікації та підтвердження особистості особистих учасників ланцюжка постачання. Це може допомогти запобігти шахрайству та гарантувати відправку товарів у потрібне місце призначення. Використовується блокчейн так само і для відповідності вимогам та регулювання.

Висновки. Таким чином, можна виділити такі переваги смарт-контрактів.

- Безпека. Смарт-контракт зашифрований і зберігається на кількох пристроях, що гарантує захист від втрати чи несанкціонованої зміни.
- Дешевизна та швидкість. Більшість процесів автоматизовано, а більшість посередників усунуто з процесу.
- Стандартизація. Сьогодні існує безліч варіантів смарт-контрактів, та можна вибрати потрібний для конкретного завдання.

Однак, як у будь-якій інноваційній сфері, створення смарт контрактів із використанням технології блокчейну містить і певні недоліки.

- Людський чинник. Оскільки контракт – це код, написаний людьми, у ньому можуть бути якісь помилки; до того ж, смарт-контракт записується в блокчейні – отже він може бути змінений.
- Невизначений правовий статус. На сьогоднішній день смарт-контракти не є об'єктом, який регулює уряд, тому якщо державні органи вирішать створити для смарт-контрактів законодавчу базу, можливі серйозні обмеження.
- Витрати використання. Смарт-контракти безглузді без програмування, та, щоб скласти надійний смарт-контракт, що відображає потреби компанії, бажано мати досвідченого розробника у штаті.

Але всі ці проблеми вирішуються із залученням досвідчених співробітників та розвитком цифрової економіки. Інтеграція стає необхідністю і технологія блокчейна вже дозволила створити всесвітню мережу, в якій кожна транзакція перевіряється та синхронізується між безліччю користувачів. Неможливо замінити або переписати запис.

У майбутньому ця технологія дозволить малому та середньому бізнесу на рівних конкурувати з великими гравцями. Партнери та клієнти будуть віддавати перевагу компаніям, які вчасно вдосконалили свою діяльність, оскільки це забезпечить більш ефективне співробітництво. Впровадження дозволить покращити одразу кілька сфер діяльності, що призведе до синергетичного ефекту. Уряди країн починають регулювати галузь, щоб впроваджувати блокчейн у державні системи, а багато хто включив технологію у довгострокові плани розвитку. Лідери ринку вже впроваджують блокчейн у свою роботу чи продукти, тож зараз інтеграція є ключовим чинником стратегічного успіху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Bashir, I. Mastering Blockchain: Deeper insights into decentralization, cryptography, Bitcoin, and popular Blockchain frameworks. Packt Publishing, 2018.

2. Tapscott, D., Tapscott, A. *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World*. Penguin, 2016.
3. Friedlmaier, M., Tumasjan, A., Welp, I. M. *Disrupting Industries with Blockchain: The Industry, Venture Capital Funding, and Regional Distribution of Blockchain Ventures*. Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences, 2018, pp. 3517–3526.
4. Frankenfield, J. *Blockchain Technology: The Complete Guide*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/articles/investing/042815/blockchain-technology-complete-guide.asp> (дата звернення: 15.01.2025).
5. Chaum, D. Showing credentials without identification: Transferring signatures between unconditionally unlinkable pseudonyms. Available from the author.
6. Stuart Haber & W. Scott Stornetta. How to time-stamp a digital document. *Journal of Cryptology*. 1991. V. 3, pp. 99–111.
7. Bayer D., Haber S., Stornetta W.S. Improving the Efficiency and Reliability of Digital Time-Stamping. In: Capocelli R., De Santis A., Vaccaro U. (eds) *Sequences II. Methods in Communication, Security, and Computer Science*. Springer, New York, NY. 1993. P. 329–334.
8. Satoshi Nakamoto. *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (дата звернення: 15.01.2025).
9. *The Skills Companies Need Most in 2020 – And How to Learn Them*. URL: <https://learning.linkedin.com/blog/topskills/the-skills-companies-need-most-in-2020and-how-to-learn-them> (дата звернення: 15.01.2025).
10. Липницький Д.В. Возможности и вызовы для блокчейн в новой индустриализации. *Економіка промисловості*. 2019. № 1 (85). С. 82–100.
11. Огляд блокчейн індустрії в Україні. Травень 2019, Київ. Асоціація Блокчейн України. URL: <https://bau.ai/wp-content/uploads/2019/05/Overview-of-the-blockchain-industry-in-Ukraine.pdf>. (дата звернення: 15.01.2025).
12. Rostamy, R., & Nilsson, E. Blockchain Technology and GDPR Compliance: Can They Be Reconciled? *European Journal of Law and Technology*, 2020, 11(1). Retrieved from <https://ejlt.org/index.php/ejlt/article/view/730>
13. Surianarayanan C., Chelliah P. R. Disaster Recovery // In: *Essentials of Cloud Computing*, August 2019. – DOI: 10.1007/978-3-030-13134-0_12.
14. Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2020. URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top10-strategic-technology-trends-for-2020/> (дата звернення 15.01.2025).
15. Deloitte Insights. «Blockchain in Accounting: Opportunities and Challenges.» – Onlayn manba, 2022.
16. Стратегія розвитку фінансового сектору України до 2025 року. URL: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/Strategy_FS_2025.pdf. (дата звернення: 15.01.2025).

REFERENCES:

1. Bashir, I. (2018). *Mastering Blockchain: Deeper insights into decentralization, cryptography, Bitcoin, and popular Blockchain frameworks*. Packt Publishing.
 2. Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World*. Penguin.
 3. Friedlmaier, M., Tumasjan, A., & Welp, I. M. (2018). *Disrupting Industries with Blockchain: The Industry, Venture Capital Funding, and Regional Distribution of Blockchain Ventures*. Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences.
 4. Frankenfield, J. (2022). *Blockchain Technology: The Complete Guide*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/articles/investing/042815/blockchain-technology-complete-guide.asp>
-

5. Chaum, D. Showing credentials without identification: Transferring signatures between unconditionally unlinkable pseudonyms. Available from the author.
6. Stuart Haber, W. Scott Stornetta. (1991) How to time-stamp a digital document. *Journal of Cryptology*, vol. 3, pp. 99–111.
7. Bayer D., Haber S., Stornetta W.S. (1993) Improving the Efficiency and Reliability of Digital Time-Stamping. *Sequences II. Methods in Communication, Security, and Computer Science*. (eds Capocelli R., De Santis A., Vaccaro U.), NY.: Springer, New York, pp. 329–334.
8. Satoshi Nakamoto (2008) Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Available at: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (accessed 15 January 2025).
9. LinkedIn (2020) The Skills Companies Need Most in 2020 – And How to Learn Them. Available at: <https://learning.linkedin.com/blog/top-skills/the-skills-companies-need-in-2020-how-learn-them> (accessed 15 January 2025).
10. Lipnitskiy D.V. (2019) Vozmozhnosti i vyzovy dlya blokcheyn v novoy industrializatsii [Opportunities and challenges of blockchain Industry 4.0]. *Ekonomika promyslovosti*, vol. 1, no. 85, pp. 82–100.
11. Blockchain Association of Ukraine (2019) Ohliad blokchein industrii v Ukraini [Overview of the blockchain industry in Ukraine]. Available at: <https://bau.ai/wp-content/uploads/2019/05/Overview-of-the-blockchain-industry-in-Ukraine.pdf> (accessed 15 January 2025).
12. Rostamy, R., & Nilsson, E. (2020). Blockchain Technology and GDPR Compliance: Can They Be Reconciled? *European Journal of Law and Technology*, 11(1). Retrieved from <https://ejlt.org/index.php/ejlt/article/view/730>
13. Surianarayanan C., Chelliah P. R. (2019) Disaster Recovery // In: *Essentials of Cloud Computing*, August 2019. – DOI: 10.1007/978-3-030-13134-0_12.
14. Gartner (2019) Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2020. Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020/> (accessed 15 January 2025).
15. Deloitte Insights. «Blockchain in Accounting: Opportunities and Challenges.» – Onlayn manba, 2022.
16. Blockchain Association of Ukraine (2019) Ohliad blokchein industrii v Ukraini [Overview of the blockchain industry in Ukraine]. Available at: <https://bau.ai/wp-content/uploads/2019/05/Overview-of-the-blockchain-industry-in-Ukraine.pdf> (accessed 15 January 2025).