

БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГІЇ: ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ В АГРАРНОМУ БІЗНЕСІ

Мирний Назар Володимирович*, аспірант
Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»

*ORCID 0009-0000-4002-5227

© Мирний Н.В., 2025

Стаття отримана редакцією 14.03.2025 р.
The article was received by editorial board on 14.03.2025

Вступ. Україна грає суттєву і важливу роль в світовому виробництві сільськогосподарської продукції, але існує ряд проблем, які уповільнюють темпи розвитку цього сектору, а саме: кліматичні зміни, війна, економічна нестабільність, і, як наслідок, скорочення інвестицій, високий рівень корупції та бюрократичні перепони, недостатня інфраструктура та рівень якості продукції відносно міжнародних стандартів. Україна здавна відома як «житниця Європи» завдяки наявності великих запасів чорноземів, що вирізняються своєю родючістю. Однією з ключових галузей країни є аграрний сектор. Лише за 2020 рік було експортовано товарів агропромислового комплексу більше ніж на 22.2 мільярдів доларів США, що становить 45% від загального експорту країни [32]. Окрім значної ролі в економіці країни аграрний сектор забезпечує продовольчу безпеку.

Перелічені вище причини спонукають до пошуку нових та технологічних рішень. Все більше країн починають активно займатися інтеграцією блокчейн технологій та їх розвитком. Технології блокчейн вже активно використовуються або розробляються в таких секторах: фінанси, освіта, логістика, охорона здоров'я, роздрібна торгівля, енергетика, інформаційні технології, кібербезпека та аграрний сектор. Лише у 2022 році уряд та компанії США витратили 4.2 мільярди доларів США на розробки блокчейн рішень [3]. Якщо проаналізувати 100 кращих блокчейн токенів на ринку, то їх капіталізація становить приблизно 2.67 трильйона доларів США [33].

Блокчейн надає перевагу порівняно з централізованими рішеннями, які можуть змінюватися із центру, і дозволяє виконувати задачі навіть тоді, коли певна операція може бути відхилена або недоступна для редагування даних в іншому місці. Блокчейн в аграрному секторі може бути надійним джерелом інформації про фінансово-економічний та господарський стан ферм. Саме за допомогою блокчейн технологій, за ствердженням фахівців, можна отримувати та зберігати не тільки інформацію про товари та продукцію, а також про самих фермерів, якісний та кількісний стан тварин, земель, насіння, розвиток сільськогосподарських культур та про природні зміни. Крім цього, це можуть бути систем планування ресурсів підприємств, а також маркетинг, фінанси, людські ресурси тощо.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Останніми часом все більше зарубіжних вчених звертають увагу на перспективи та розвиток блокчейн технологій.

Аналіз наукової літератури щодо застосування блокчейн-технологій у сільському господарстві дозволив виокремити основні напрями досліджень зарубіжними та вітчизняними науковцями. Основні напрямки розвитку та застосування блокчейн технологій в аграрному бізнесі для відстежування інформації, підвищенню безпеки продуктів, використання даних для застосування в «розумному землеробстві» розглядає Хан Сюн в співавторстві з іншими вченими [6]. Вони приділяють увагу можливості зниження витрат на транзакції та переваги індексного страхування.

Андреас Сендрос та інші визначають сферу сільського господарства, де використовується технології блокчейну, поєднання їх з зовнішніми базами даних, причини використання та різноманітність сільськогосподарської продукції, а також рівень зрілості відповідних підходів [11].

Дослідження про використання блокчейн-технологій у сфері інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ) для електронного сільського господарства (e-agriculture) провели Ю-Пінг Лін та інші автори [28]. Вони розглядають, як блокчейн може покращити ефективність та прозорість управління даними в аграрному секторі, а також пропонують модель ІКТ-системи для сільського господарства з блокчейн-інфраструктурою.

Чижевська М.Б. та інші зазначає про активний розвиток технології блокчейн у найближчі роки, про великий потенціал цієї технології, зокрема у вирішенні проблеми вільного доступу на енергоринок невеликим виробникам. Це не потребуватиме великої обчислювальної потужності, а натомість може принести значну економію енергоресурсів, суттєво впливаючи на скорочення енергетичної бідності [35].

Питання перспективи використання блокчейну для управління виробничими процесами сільськогосподарських підприємств, зокрема в умовах забезпечення продовольчої безпеки проаналізували в своїх працях Вакуленко В.Л. та Сметан Д.С. [36].

Отже, не дивлячись на актуальність питання і, відповідно, зацікавленість науковців, застосування в аграрному секторі цих технологій потребує подальших розвідок та додаткових аргументацій.

Метою статті є аналіз можливостей впровадження блокчейну в аграрний сектор, його потенційні переваги для підвищення прозорості, ефективності та безпеки ланцюгів постачання, а також перспективи розвитку цієї технології в сільському господарстві.

Основний матеріал і результати. Блокчейн - це криптографічна технологія, яка використовує мережу вузлів для безпечного запису даних у децентралізовану базу даних, яка була створена в 2008 році для першої криптовалюти біткоїн. З того часу почався активний розвиток, охоплюючи сотні платформ, тисячі криптовалют, десятки тисяч децентралізованих програм, мільйони смарт-контрактів, сотні мільйонів облікових записів користувачів і мільярди транзакцій. Після 12 років з моменту заснування кількість транзакцій Bitcoin зросла в 15 тисяч, в 7.6 тисяч разів для Ethereum і в 2.2 тисяч разів для EOSIO [9].

Одним із лідерів у розвитку блокчейн технологій є Сполучені Штати, де розташовано більше 48% блокчейн-стартапів світу. Мережа обслуговування блокчейн (МОБ) для стабільного розвитку цієї технології розроблена в Китаї. Швейцарія створила сприятливе середовище для блокчейн-бізнесів завдяки ліберальній адміністративній та податковій політиці. У місті Цуг, яке стало блокчейн-центром, працює понад 450 компаній та асоціацій. Незабаром блокчейн планується застосовувати в соціальному, медичному та страховому секторах Швейцарії [3]. За ствердженням фахівців впровадження блокчейн в державні операції сприятиме більш ефективним і прозорим державним послугам [7].

Першочергова ціль створення блокчейну була проблема подвійної витрати, тобто повторного продажу (відчуження) одних і тих самих активів. Йдеться про системи електронних платежів, яким властива можливість копіювання поточного стану, що дозволяє робити кілька платежів одного й того самого стартового положення [2].

Основне призначення блокчейн технологій полягає в записі транзакцій у децентралізованій одноранговій мережі з використанням розподіленої бази даних. Це вирішує проблему довіри до однієї сутності, оскільки кілька вузлів працюють разом, підтримуючи розподілену книгу всіх минулих транзакцій. Зміни даних здійснюються за протоколом прийняття консенсусних рішень, де більшість залучених сторін погоджуються. Будь-яка зміна одного запису тягне за собою зміну всіх наступних, що практично унеможливорює зміну даних. Ключова концепція блокчейн – це технологія P2P (Peer-to-Peer), яка дозволяє будь-яким двом партнерам спілкуватися між собою без посередників. Чим більше мережа P2P є розподіленою, масштабованою, автономною та безпечною, тим вона більш цінна.

Досить важливим питанням є переваги чи недоліки використання блокчейну в різних процесах в порівнянні з іншими існуючими централізованими рішеннями, адже зараз часто намагаються реалізовувати традиційні процеси саме за допомогою блокчейн технологій. Слід зазначити, що в даний момент централізовані рішення набагато популярніші в світі, вони є традиційними, що значно полегшує їх інтеграцію в підприємства, або між підприємствами. Це також стосується ціни, тому що впровадження блокчейн рішень буде на даному етапі коштувати дорожче. Тим не менш, блокчейн рішення і застосунки на їх базі активно розвиваються, і можливо з часом, коли технології на їх основі будуть більш поширені та розвинені в світі, то і ціна впровадження буде більше дешевою. Централізовані рішення можуть обробляти та зберігати інформацію, в тому числі і ту, яка відноситься до аграрного

сектору. Нами представлена порівняльна характеристика відносно інформації, яку може зберігатися на блокчейн-платформі та централізованих системах (таблиця 1), а також блокчейн та централізовані технології (таблиця 2), які вже використовуються в аграрному секторі.

Таблиця 1

**Інформація, яка зберігається в блокчейн
або в централізованих системах для аграрного сектору**

Блокчейн інформація	Спільна інформація	Централізована інформація
IPFS (розподілена файлова система) хеш	Дані IP	Мультимедіа
Публічні ключі IP (IoT public keys)	Інформація про продукцію	Приватні дані
Токени (Tokens)	Інформація про фермерів	Хеш
Транзакції	Інформація про тварин	Облікові дані
Хеш даних (Data hash)	Інформація про насіння	Рейтинг репутації
	Інформація про техніку	Дані RFID (радіочастотна ідентифікація)
	Дані ERP (Планування ресурсів підприємства)	Дані GIS (геоінформаційна система)
	Записи про сільськогосподарські землі	Журнал транзакцій

Джерело: сформовано автором на основі [11]

У таблиці наведено спільні та відмінні типи даних, які можуть зберігатися або оброблятися за допомогою блокчейн-технологій та централізованих систем. Однією з ключових відмінностей є робота з транзакціями: блокчейн забезпечує відкритий доступ до транзакцій, що дозволяє їх перегляд усіма учасниками мережі, тоді як у централізованих системах доступ до таких даних може бути обмежений певним колом осіб або обмежуватися лише окремими деталями транзакцій.

Як блокчейн, так і централізовані системи здатні зберігати та обробляти значну кількість подібної інформації, зокрема дані про продукцію, фермерів, тварин тощо. Водночас слід зазначити, що швидкість обробки простих даних є вищою в централізованих системах. Це зумовлено децентралізованою природою блокчейну, що ускладнює та сповільнює виконання операцій.

Централізовані системи залишаються більш традиційними та ефективними для застосування у сферах, які вимагають високої швидкості обробки даних та централізованого контролю з боку адміністратора. Натомість блокчейн є оптимальним рішенням для створення незмінних, децентралізованих записів, що відіграє критично важливу роль у таких галузях, як криптовалюти, смарт-контракти та інші технологічні застосування, де довіра та прозорість є визначальними факторами.

Таблиця 2

**Блокчейн та централізовані технології які використовуються в аграрному секторі
для зберігання інформації**

Централізовані технології	Блокчейн технології
IPFS	Ethereum
SQL/T-SQL (MySQL/MsSql/Postgresql)	Hyperledger Fabric
Distributed database	Hyperledger sawtooth
QLDB	BigchainDB
BigchainDB	IOTA
Cloud	NEO
MongoDB	Corda
CosmoDB	Polkadot
BigQuery	Multichain
OurSql	Custom

Джерело: сформовано автором на основі [11]

В таблиці перелічено централізовані системи та блокчейн-технології, які можуть використовуватися в аграрному бізнесі для обробки, зберігання інформації про ферму, транзакції тощо.

Можна стверджувати, що в аграрному секторі за допомогою блокчейн технологій можна збирати інформацію про: товари та продукцію, фермерів, тварин, земель сільськогосподарського призначення, насіння та стан розвитку культури. Ця інформація може бути використана для систем планування ресурсів підприємств: продажі, маркетинг, фінанси, людські ресурси тощо.

Блокчейн допомагає відстежувати походження харчових продуктів, створюючи надійні ланцюжки поставок і зміцнюючи довіру між виробниками та споживачами. Він є надійним способом зберігання даних, що полегшує використання технологій для розумнішого сільського господарства. Блокчейн має потенціал кардинально змінити використання даних в цій галузі. Незважаючи на наявність ідей, залишається питання, щодо відстеження та моніторингу продукції, довіри в ланцюгу постачання, оплати праці виробників і сталості виробництва. Блокчейн має потенціал вирішити ці проблеми, забезпечуючи більшу безпеку для існуючих і нових рішень.

Однією з важливих частин технології блокчейн стала можливість укладання контрактів без залучення посередників. Смарт-контракти використовують блокчейн для завершення транзакцій у режимі реального часу з меншими витратами і вищим рівнем безпеки. Вони підтримують децентралізовані автономні організації (DAO), де транзакції контролюються без центральної влади за погодженими правилами. Смарт-контракти автоматизують бізнес-логіку, програмують активи, знижують ризик і витрати, підвищуючи ефективність бізнес-процесів. Вони дозволяють автоматично виконувати умови угод у децентралізованому середовищі після задоволення необхідних умов. Смарт-контракти мають переваги перед стандартними контрактами, зокрема зменшення ризику, низькі витрати на обслуговування та адміністрування, підвищення ефективності бізнес-процесів. Крім того, вони дозволяють здійснювати транзакції між ненадійними сторонами без необхідності прямого контакту, довіри до третіх сторін і комісійних зборів посередника.

Створення смарт-контрактів дуже відрізняється від загальних форм розробки і має ряд унікальних особливостей. Розробники повинні гарантувати безпеку коду для смарт-контрактів через незмінність блокчейн та конфіденційну природу цифрової інформації, якою вони часто керують, а блокчейн має відповідати стандартам безпеки, масштабованості та продуктивності. Життєвий цикл продукту та процес розробки програмного забезпечення для смарт-контрактів і додатків на основі блокчейну повинні враховувати унікальні обмеження та функції, яких вимагає технологія блокчейн. Необхідно ідентифікувати та досліджувати всі ці зміни в програмних продуктах і процесах, щоб побудувати повну сукупність знань на основі розробки програмного забезпечення блокчейн [5].

Смарт-контракти вже використовують в контекстах, що можуть корисно вплинути. Зокрема, смарт-контракти можуть автоматично виконувати оплату, якщо операції здійснені згідно з вказаними вимогами.

Отже, переваги смарт-контракту:

Автоматизація: Смарт-контракти дозволяють автоматично виконувати угоду без необхідності контролювання кожних транзакцій вручну;

Прозорість: Блокчейн забезпечує прозорість, оскільки всі учасники мережі мають перевірити умови контракту;

Безпека: Дані в смарт-контрактах надійно захищені криптографією, що дозволяє уникнути шахрайства.

Крім цього держава може використовувати смарт-контракти для збирання податку з аграріїв. Вони можуть оптимізувати процеси збору, зіставляючи дані з транзакціями доходів і обчислюючи податки та соціальне страхування. Система автоматично може перераховувати частину зарплату та податкові платежі відповідним одержувачам. Це може збільшити автоматизацію процесів, швидкість та безпеку. Вони не лише звичайні в бізнесі та торгівлі, але й відіграють важливу роль у багатьох інших сферах людської взаємодії. Технологія смарт-контрактів є багатообіцяючою, але вона все ще знаходиться в зародковому стані, тому є багато недоліків, які потрібно вирішити, наприклад, відсутність потужних можливостей обробки даних та ефективного управління смарт-контрактами з боку основних систем блокчейну, відсутність складної мови розробки контрактів та ефективних технік сканування та обробки вразливостей, низька ремонтпридатність, кілька потенційних вразливостей безпеки смарт-контрактів тощо [5].

Для успішного застосування смарт-контрактів в аграрному бізнесі необхідно вирішити питання високоякісних даних, сприятливих політик та регуляції, щоб забезпечити максимальну ефективність смарт-контрактів [7].

До основних сфер призначення блокчейн-технологій відносять: сільськогосподарське страхування, розумне землеробство, ланцюг постачання продовольства, реєстрація землі та транзакції сільськогосподарської продукції.

Сільськогосподарське страхування. Важливим фінансовим інструментом є страхування. Екстремальні погодні умови загрожують сільському господарству, ставлячи під загрозу продовольчу безпеку. Це впливає на рослинництво та тваринництво, і зміна клімату може посилити ці умови. Фермери можуть застрахуватися перед сезоном та отримати компенсації у разі неврожаїв через погодні ризики. Аграрне страхування на базі блокчейн-технологій, з ключовими подіями та виплатами, прописаними у смарт-контракті, яке пов'язане з мобільними гаманцями та погодними даними від сенсорів на полі та метеостанцій, сприяє швидким виплатам у разі посухи або затоплення. Дані про погоду та інші джерела, як-от інформація про ріст рослин можна автоматично інтегрувати для ефективнішого визначення індексу та виплат. Автоматичні потоки даних забезпечують надійні локальні дані для контракту, усуваючи потребу в інспекціях. Дешеві схеми аграрного страхування розглядаються як механізми соціального захисту для постраждалих від повеней чи засух. Проте, незважаючи на переваги, рівень впровадження страхових продуктів залишається низьким серед сільських бідних. За сприятливої політики державного управління, грантів чи інвестицій можливо стимулювати перехід до сучасних технологій.

Вже існують перші прототипи контрактів смарт-індексу в страхуванні. Зокрема, Швейцарська компанія Etherics вже надає страхування врожаю за допомогою блокчейн технології, яка забезпечує виплати на основі даних про погодні умови в DIP токени (Decentralized Insurance Protocol). Постачальник страхових послуг в США, компанія WorldCover надає індексні страхові контракти дрібним фермерам в Гані на основі блокчейн Ethereum. Компанія Arbol пропонує контракт, який може включати премію, виплату та погодні умови, які ініціюють виплату. Загалом, проект Arbol створений для підприємств, які піддаються впливу погодних умов і покладаються на певний рівень співпраці з елементами для нормальної роботи, створення стійкості до зміни клімату є необхідністю для майбутнього успіху та виживання [7].

Розумне сільське господарство. В основі аграрних продовольчих систем лежать важливі дані та інформація про природні ресурси, які підтримують усі форми сільського господарства. Від етапу вирощування до кінцевого продажу культури має пройти ще ряд етапів як збір, обробка та інші етапи. Дані та інформація переходять від вхідних ресурсів до виходу через різні етапи доданої вартості[6].

Технологія блокчейн може служити для зберігання даних та інформації, яку різні учасники та зацікавлені сторони генерують протягом усього процесу доданої вартості, від насіння до продажу, виробництва сільськогосподарської продукції. Це гарантує, що дані та інформація є прозорими для залучених учасників і зацікавлених сторін, а всі записані дані є незмінними. Блокчейн – це база даних, яка містить пакети транзакцій і дій, пов'язаних із продуктом, із мітками часу.

Лін та інші автори пропонують структуру розумного сільського господарства на основі блокчейн. Агенти, які пов'язані з продукцією від плантації до продажу, можуть отримати доступ до даних, що зберігаються в блокчейн [28]. Також, автори пропонують модель електронного сільського господарства на базі блокчейн ІКТ для використання на регіональному рівні, яка забезпечує доступ учасників до інформації про якість води [28]. Асоціації зрошення сільськогосподарських угідь на Тайвані використовують блокчейн для колективного архівування даних і кращої взаємодії з громадськістю. Кожна асоціація діє як «державна юридична особа» та публікує власні дані та інформацію про управління зрошенням у блокчейн, до якого має доступ громадськість. Прозорість викликає внесок громадськості в управління зрошенням і збільшує її зусилля щодо покращення використання водних ресурсів [6]. Блокчейн технології цього типу можуть значно полегшити збирання інформації будь-якого типу, будь то процеси вирощування, транспортування товару або збір інформації про цикли росту культури або техніки, яка для цього використовується. Це дасть змогу більш детально аналізувати процеси та приймати необхідні рішення задля збільшення виробництва або зменшення витрат.

Великі фермери можуть бути залучені до розумного сільського господарства на основі блокчейн, якщо отримають від цього вигоду. В такому випадку було б доцільно зробити більше доступними технології блокчейн для дрібних фермерів, аби вони й надалі могли продовжувати свою діяльність.

Ланцюг поставок їжі або продукції. З розвитком світової торгівлі ланцюги поставок стали складнішими та довшими. Блокчейн може допомогти покращити відносини між виробниками та споживачами, забезпечуючи достовірну інформацію про виробництво та продаж продукції. Прикладом

цього є інцидент 2006 року в Сполучених Штатах, коли партія шпинату, що містила бактерію E.Coli, була розповсюджена в 26 штатах і заразила 205 людей, 3 з яких померли, а на з'ясування причин цих обставин пішло більше ніж 3 тижні [23]. Блокчейн ускладнює доступ шахраїв до ринку та покращує якість продукції. Для регуляторних органів блокчейн надає надійну інформацію для ефективного регулювання. Прозорість даних, від ДНК тварин до залишків пестицидів, допомагає виявляти незадекларовані операції та ринкові тренди.

Компанія Tian створила рішення-систему для відстеження ланцюга поставок сільськогосподарських продуктів з використанням технології радіочастотної ідентифікації (RFID) [30]. Гарантується, що записи про виробництво, обробку та інші складові в ланцюжку є надійними та справжніми. Каро та ін. [34] запропонували систему відстеження на основі блокчейн, яка безперебійно пов'язана з пристроями IP, які надають цифрові дані про виробництво та споживання. Відстеження досягається за допомогою блокчейн-платформ Ethereum і Hyperledger Sawtooth [6]. У жовтні 2016 року гігант роздрібною торгівлі Wal-Mart, Університет Цінхуа та IBM застосували блокчейн-систему Hyperledger для управління ланцюгом постачання харчових продуктів, досліджуючи китайський ланцюг постачання свинини та ланцюжок постачання манго в США як пілот для вивчення методів практичного застосування та переваг технологія блокчейн. У серпні 2017 року 10 найбільших у світі постачальників продуктів харчування та товарів народного споживання (FMCG), включаючи Wal-Mart, Nestle, Dole і Golden Food, уклали партнерство з IBM, інтегрувавши блокчейн у свій ланцюжок поставок, щоб неправильну поведінку постачальників продуктів харчування можна було виявити швидше. У цьому співробітництві блокчейн-платформа IBM розроблена, щоб допомогти харчовим компаніям покращити видимість і відстежуваність своїх ланцюжків поставок і зробити їжу безпечнішою.

Обмеження застосування пояснюється важкістю доступності технологій. Застосування технології блокчейн потребує широкої участі та співпраці залучених сторін у ланцюжку постачання харчових продуктів, що є важливим для повноцінного виконання своєї ролі

Електронна торгівля сільськогосподарською продукцією. Розвиток технологій впливає на форму і види торгівлі сільськогосподарською продукцією, зокрема мова йде про електронну торгівлю. Однак зазначимо, що аграрний бізнес стикається з рядом проблем: 1) Інформацію про продукцію нелегко відтворити; 2) Готівкові платежі, високий рівень корупції, що ускладнює прозорість фінансових операцій, а також ризики фінансової безпеки; 3) Високі операційні витрати через обробку невеликих замовлень роздрібною торгівлі, які вимагають час.

Вирішення цих проблем пропонується через застосування блокчейн технологій, а саме: 1) Дані шифрують закритим ключем, тому інформація залишається в безпеці; 2) Блокчейн моніторинг може бути більш ефективним в порівнянні з традиційним завдяки зниженню витрат на сигнали, де кожна ланка в ланцюзі постачання є «блоком» інформації з перевагами видимості, агрегації, валідації, автоматизації та стійкості; 3) Блокчейн забезпечує цифрове платіжне рішення з нульовими ставками, і використання криптовалют у транзакціях сільськогосподарської продукції значно знижує трансакційні витрати; 4) Споживачі можуть уникати підривок і повернути свою довіру до електронної комерції; 5) Блокчейн може значно зменшити трансакційні витрати на ринку.

Подібні технології вже застосовує китайська Old Farmer's Shopping Mall на практиці і може надавати клієнтам всю інформацію про виробництво. Перед розміщенням товарів детально записується інформація про посів, полив, удобрення та дегельмінтизацію. Вони також надають базові знання про виробника, логістику, дні зберігання та температуру, клієнт може отримати всю цю інформацію, відскакувавши QR код. Ці методи можуть допомогти уникнути неякісних товарів або виробників-шахраїв, а також збільшити довіру споживачів до продукції або компанії.

Реєстрація землі. У реєстрації земельних ділянок впровадження блокчейн-технологій може забезпечити незмінний реєстр земельних записів. Програма розвитку ООН (UNDP) в Індії працює з партнерами, щоб зробити реєстрацію земель більш надійною. На високому рівні цей проект буде фіксувати та постійно записувати кожен транзакцію під час продажу нерухомості. Це означає, що ви досягаєте майже реального часу відстеження та прозорості щодо стану нерухомості [25]. Шведська земельна служба Lantmäteriet реалізувала пілотний проект реєстрації земель та нерухомості на блокчейн. Вони стверджують, що це забезпечує безпеку та надійність цифрових оригіналів і може зменшити державні витрати на сотні мільйонів доларів. Республіка Грузія експериментує з використанням мережі біткоїн для перевірки правильності і відповідності урядових транзакцій, пов'язаних з нерухомістю [7].

Висновки. Використання блокчейн-технологій у майбутньому може суттєво допомогти вирішити нагальні існуючі проблеми в аграрному секторі, але на даний момент їх повноцінне використання поки неможливе в Україні через невелику кількість існуючих рішень та непопулярність використання технології в порівнянні з централізованими рішеннями, відсутність необхідних технологій та знань серед фермерів, а також дорожню ціну використання. Потенційно такі напрямки, як ланцюги поставки їжі, страхування, електронна торгівля, смарт-контракти, збір даних про стан ферми або підприємства, могли б значно покращити виробництво та торгівлю продукцією, зробити більш прозорими для клієнтів етапи виробництва, зменшити видатки на торгівлю та збільшити довіру до самого виробника. Крім цього можна поставити питання, чи не могли б для вирішення таких проблем бути застосовані традиційні централізовані системи, які так само можуть збирати або аналізувати інформацію. Якби в операціях з державними ресурсами або майном використовували блокчейн-технології, це могло б збільшити безпеку і прозорість операцій через децентралізований принцип його роботи, а також допомогти виявляти відхилення від норм на основі аналізу транзакцій або операцій. Також, враховуючи, що блокчейн-технології ще тільки перебувають на стадії розвитку, але вже мають великі перспективи, було б доцільно розвивати цей напрям в Україні, залучати інвестиції та впроваджувати їх у соціальні або виробничі цілі, а також розширювати інфраструктуру для їх подальшого, більш економічно вигідного впровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Блокчейн. Wikipedia. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Блокчейн#:~:text=Блокчейн%20\(англ.,%2C%20подані%20як%20хеш-дерево](https://uk.wikipedia.org/wiki/Блокчейн#:~:text=Блокчейн%20(англ.,%2C%20подані%20як%20хеш-дерево)
2. Подвійна витрата. Wikipedia. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Подвійна_витрата?form=MG0AV3
3. Top 10 Countries Leading Blockchain Technology In The World. Blockchain Council. URL: <https://www.blockchain-council.org/blockchain/top-10-countries-leading-blockchain-technology-in-the-world/>
4. The Best Countries for Crypto Mining in 2025. BeInCrypto. URL: <https://beincrypto.com/learn/best-countries-mine-cryptocurrency/>
5. Smart Contracts in Blockchain Technology: A Critical Review. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2078-2489/14/2/117>
6. Blockchain Technology for Agriculture: Applications and Rationale. Frontiers. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/blockchain/articles/10.3389/fbloc.2020.00007/full>
7. E-agriculture in action: Blockchain for agriculture. FAO. URL: <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1200090/>
8. The rise and fall of cryptocurrencies: defining the economic and social values of blockchain technologies, assessing the opportunities, and defining the financial and cybersecurity risks of the Metaverse. SpringerOpen. URL: <https://jfin-swufe.springeropen.com/articles/10.1186/s40854-023-00537-8>
9. Understanding the Evolution of Blockchain Ecosystems: A Longitudinal Measurement Study of Bitcoin, Ethereum, and EOSIO. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/355234434_Understanding_the_Evolution_of_Blockchain_Ecosystems_A_Longitudinal_Measurement_Study_of_Bitcoin_Ethereum_and_EOSIO
10. Initial Coin Offerings (ICOs): Why do they succeed? SpringerOpen. URL: <https://jfin-swufe.springeropen.com/articles/10.1186/s40854-021-00317-2>
11. Blockchain Applications in Agriculture: A Scoping Review. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/16/8061>
12. Initial Coin Offerings: Risk or Opportunity? Frontiers. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/artificial-intelligence/articles/10.3389/frai.2020.00018/full>
13. A Survey on the Scalability of Blockchain Systems. SpringerOpen. URL: <https://jwcn-eurasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-020-01685-6?form=MG0AV3>
14. The Role of Blockchain in Supply Chain Management. ScienceDirect. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121001945?via%3Dihub=&form=MG0AV3>
15. Blockchain Security Issues and Challenges. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2073-431X/11/2/24?form=MG0AV3>
16. Szabo, N. The idea of smart contracts. Nick Szabo's Pap. Concise Tutor. 1997. P. 199.
17. Sklaroff, J.M. Smart contracts and the cost of inflexibility. Univ. Pa. Law Rev. 2017. P. 263.
18. Exploring the Application of Smart Contracts in Blockchain Technology. Emerald Insight. URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ijcs-03-2019-0010/full/html?form=MG0AV3>
19. Decentralized Applications (DApps). Investopedia. URL: <https://www.investopedia.com/terms/d/decentralized-applications-dapps.asp>
20. Ningyu He, Lei Wu, Haoyu Wang, Yao Guo, and Xuxian Jiang. Characterizing Code Clones in the Ethereum Smart Contract Ecosystem. International Conference on Financial Cryptography and Data Security. Springer, 2020.
21. Analysis of Smart Contract Ecosystem. ACM Digital Library. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3412569.3412579?form=MG0AV3>

22. Applications and Impacts of Blockchain in Various Sectors. ScienceDirect. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065245819300257?via%3Dihub=&form=MG0AV3>
23. Impact of Blockchain on Modern Technologies. CDC. URL: https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/14/10/07-1341_article?form=MG0AV3
24. Eight Practical Blockchain Use Cases. ICTWorks. URL: <https://www.ictworks.org/eight-practical-blockchain-use-cases/?form=MG0AV3#W7bQjxMzaLI>
25. Security and Scalability of Bitcoin's Blockchain. SSRN. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3131250&form=MG0AV3
26. Karame, G. On the security and scalability of bitcoin's blockchain. Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. New York, NY: Association for Computing Machinery, P. 1861–1862.
27. Environmental Impact of Blockchain Technology. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3298/4/3/50?form=MG0AV3>
28. Public Health and Blockchain Technology. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/8/1627?form=MG0AV3>
29. Tian, F. An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. Proceedings of the 2016 13th international conference on service systems and service management (ICSSSM). Piscataway, NJ: IEEE, 1–6.
30. Чорнозем. Wikipedia. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Чорнозем?form=MG0AV3>
31. Agribusiness in Ukraine. 2021. The Infographics Report: Ukrainian Agribusiness. URL: https://agribusinessinukraine.com/get_file/id/the-infographics-report-ukrainian-agribusiness-2021.pdf
32. Coin market. URL: <https://coinmarketcap.com/coins/?form=MG0AV3&form=MG0AV3>
33. Caro, M. P., Ali, M. S., Vecchio, M., and Giaffreda, R. Blockchain-based traceability in agri-food supply chain management: a practical implementation. Proceedings of the 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture-Tuscany (IOT Tuscany). Tuscany : Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 1–4.
34. Чижевська М., Романовська Н., Рамський А., Венгер В., Десятко А. Подвійний вплив технологій криптоіндустрії на енергетичну бідність. Матеріали семінару CEUR, 2023. 3421. С. 293–299.
35. Управління виробничими процесами сільськогосподарських підприємств з використанням блокчейн технологій в умовах забезпечення продовольчої безпеки. URL: https://www.researchgate.net/publication/380450095_UPRAVLINNA_VIROBNICIMI_PROCESAMI_SILSKOGOSPODARSKIH_PIDPRIEMSTV_Z_VIKORISTANNAM_BLOKCEJN_TEHNOLOGIJ_V_UMOVAN_ZABEZPECENNA_PRODOVOLCOI_BEZPEKI

REFERENCES:

1. Blokchein [Blokchein]. Available at: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Блокчейн#:~:text=Блокчейн%20\(англ.,%2C%20подані%20як%20хеш-дерево](https://uk.wikipedia.org/wiki/Блокчейн#:~:text=Блокчейн%20(англ.,%2C%20подані%20як%20хеш-дерево)
2. Podviina vytrata [Additional payment]. Available at: https://uk.wikipedia.org/wiki/Подвійна_витрата?form=MG0AV3
3. Top 10 Countries Leading Blockchain Technology In The World. Blockchain Council. Available at: <https://www.blockchain-council.org/blockchain/top-10-countries-leading-blockchain-technology-in-the-world/>
4. The Best Countries for Crypto Mining in 2025. BeInCrypto. Available at: <https://beincrypto.com/learn/best-countries-mine-cryptocurrency/>
5. Smart Contracts in Blockchain Technology: A Critical Review. MDPI. Available at: <https://www.mdpi.com/2078-2489/14/2/117>
6. Blockchain Technology for Agriculture: Applications and Rationale. Frontiers. Available at: <https://www.frontiersin.org/journals/blockchain/articles/10.3389/fbloc.2020.00007/full>
7. E-agriculture in action: Blockchain for agriculture. FAO. Available at: <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1200090/>
8. The rise and fall of cryptocurrencies: defining the economic and social values of blockchain technologies, assessing the opportunities, and defining the financial and cybersecurity risks of the Metaverse. SpringerOpen. Available at: <https://jfin-swufe.springeropen.com/articles/10.1186/s40854-023-00537-8>
9. Understanding the Evolution of Blockchain Ecosystems: A Longitudinal Measurement Study of Bitcoin, Ethereum, and EOSIO. ResearchGate. Available at: https://www.researchgate.net/publication/355234434_Understanding_the_Evolution_of_Blockchain_Ecosystems_A_Longitudinal_Measurement_Study_of_Bitcoin_Ethereum_and_EOSIO
10. Initial Coin Offerings (ICOs): Why do they succeed? SpringerOpen. URL: <https://jfin-swufe.springeropen.com/articles/10.1186/s40854-021-00317-2>
11. Blockchain Applications in Agriculture: A Scoping Review. MDPI. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/16/8061>
12. Initial Coin Offerings: Risk or Opportunity? Frontiers. Available at: <https://www.frontiersin.org/journals/artificial-intelligence/articles/10.3389/frai.2020.00018/full>
13. A Survey on the Scalability of Blockchain Systems. SpringerOpen. Available at: <https://jwcn-eurasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-020-01685-6?form=MG0AV3>
14. The Role of Blockchain in Supply Chain Management. ScienceDirect. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121001945?via%3Dihub=&form=MG0AV3>

15. Blockchain Security Issues and Challenges. MDPI. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-431X/11/2/24?form=MG0AV3>
16. Szabo, N. (1997) The idea of smart contracts. Nick Szabo's Pap. Concise Tutor. P. 199.
17. Sklaroff, J. M. (2017) Smart contracts and the cost of inflexibility. Univ. Pa. Law Rev. P. 263.
18. Exploring the Application of Smart Contracts in Blockchain Technology. Emerald Insight. Available at: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ijcs-03-2019-0010/full/html?form=MG0AV3>
19. Decentralized Applications (DApps). Investopedia. Available at: <https://www.investopedia.com/terms/d/decentralized-applications-dapps.asp>
20. Ningyu He, Lei Wu, Haoyu Wang, Yao Guo, and Xuxian Jiang (2020) Characterizing Code Clones in the Ethereum Smart Contract Ecosystem. International Conference on Financial Cryptography and Data Security. Springer.
21. Analysis of Smart Contract Ecosystem. ACM Digital Library. Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3412569.3412579?form=MG0AV3>
22. Applications and Impacts of Blockchain in Various Sectors. ScienceDirect. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065245819300257?via%3Dihub=&form=MG0AV3>
23. Impact of Blockchain on Modern Technologies. CDC. Available at: https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/14/10/07-1341_article?form=MG0AV3
24. Eight Practical Blockchain Use Cases. ICTWorks. Available at: <https://www.ictworks.org/eight-practical-blockchain-use-cases/?form=MG0AV3#.W7bQjxMzaLI>
25. Security and Scalability of Bitcoin's Blockchain. SSRN. Available at: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3131250&form=MG0AV3
26. Karame, G. On the security and scalability of bitcoin's blockchain. Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. New York, NY: Association for Computing Machinery, pp. 1861–1862.
27. Environmental Impact of Blockchain Technology. MDPI. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3298/4/3/50?form=MG0AV3>
28. Public Health and Blockchain Technology. MDPI. Available at: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/8/1627?form=MG0AV3>
29. Tian, F. An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. Proceedings of the 2016 13th international conference on service systems and service management (ICSSSM). Piscataway, NJ: IEEE, 1–6.
30. Chornozem [Black soil]. Wikipedia. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Чорнозем?form=MG0AV3>
31. Agribusiness in Ukraine. (2021). The Infographics Report: Ukrainian Agribusiness. Available at: https://agribusinessinukraine.com/get_file/id/the-infographics-report-ukrainian-agribusiness-2021.pdf
32. Coin market. Available at: <https://coinmarketcap.com/coins/?form=MG0AV3&form=MG0AV3>
33. Caro, M. P., Ali, M. S., Vecchio, M., and Giaffreda, R. Blockchain-based traceability in agri-food supply chain management: a practical implementation. Proceedings of the 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture-Tuscany (IOT Tuscany). Tuscany: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1–4.
34. Chyzhevska, M., Romanovska, N., Ramskyi, A., Venger, V., Desiatko, A. (2023) Podviinyi vplyv tekhnolohii kryptoinzhenerii na enerhetychnu bidnist [Dual Impact of Crypto Industry Technologies on the Energy Poverty]. CEUR Workshop Proceedings, 3421, pp. 293–299.
35. Upravlinnia vyrobnychymy protsesamy silskohospodarskykh pidpriemstv z vykorystanniam blokchein tekhnolohii v umovakh zabezpechennia prodovolchoi bezpeky [Management of production processes of agricultural enterprises using blockchain technologies in the context of ensuring food security]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/380450095_UPRAVLINNA_VIROBNICIMI_PROCESAMI_SILSKOGOSPODARSKIH_PIDPRIEMSTV_Z_VIKORISTANNAM_BLOKCEJN_TEHNOLOGIJ_V_UMOVAN_ZABEZPECENNA_PRODOVOLCOI_BEZPEKI

УДК 338.439.658

JEL Q14, Q15

Мирний Назар Володимирович, аспірант, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». **Блокчейн технології: перспективи використання в аграрному бізнесі.**

У статті досліджуються перспективи використання блокчейн технологій у аграрному бізнесі України. Розглянуто можливості використання блокчейн технологій для вирішення низки проблем аграрного сектору України. Також, представлено порівняння блокчейн і централізованих рішень в аграрному бізнесі. Запропоновані рішення включають прозорість транзакцій, ефективність управління даними та підвищення безпеки через використання блокчейну в таких сферах: страхування, ланцюги постачання, електронна торгівля, реєстрація землі. У статті акцентується увага на потребі стимулювання розвитку блокчейн-технологій через інвестиції в інфраструктуру, освітні програми для фермерів та розробку доступних рішень. Інновації, такі як смарт-контракти, платформи для електронної комерції та автоматизовані системи управління, можуть значно покращити ефективність аграрного бізнесу та забезпечити його сталий розвиток.

Ключові слова: блокчейн-технології, аграрний бізнес, ефективність, смарт-контракти, децентралізована система.

UDC 338.439.658

JEL Q14, Q15

Nazar Myrnyi, Postgraduate Student, National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”. **Blockchain technologies: prospects for use in the agricultural business.**

This study focuses on harnessing blockchain's transformative potential to address long-standing issues such as climate change, infrastructural deficiencies, corruption, and economic instability. Recognizing the agricultural sector's role in ensuring food security and economic prosperity, this work outlines blockchain's advantages in fostering transparency, security, and operational efficiency. The article highlights blockchain applications across various domains, including agricultural insurance, which safeguards against weather-induced risks, and supply chain management, where traceability enhances product safety and consumer confidence. Furthermore, it delves into electronic commerce, proposing decentralized platforms for secure and efficient transactions, and land registration systems that ensure immutable and transparent record-keeping. Comparative analysis with centralized systems underscores blockchain's unique capabilities, such as decentralization and enhanced security, alongside its long-term cost benefits. Innovations such as smart contracts, e-commerce platforms, and automated management systems can significantly enhance the efficiency of agricultural businesses and ensure their sustainable development. Despite the potential, the adoption of blockchain in Ukraine faces significant barriers, such as technological accessibility and the high costs of implementation. The author emphasizes the importance of investment in infrastructure, targeted education programs for farmers, and the development of affordable solutions. Innovations like smart contracts, automated data management, and advanced agricultural platforms are presented as pivotal to achieving sustainable growth in this sector. By integrating blockchain into agriculture, this research envisions a future where the industry leverages cutting-edge technology to enhance productivity, reduce operational costs, and establish Ukraine as a leader in agricultural innovation on the global stage.

Keywords: blockchain technology, agricultural business, efficiency, smart contracts, decentralized system.