

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

КАФЕДРА ЕКОНОМІКИ, ПІДПРИЄМНИЦТВА
ТА БІЗНЕС-АДМІНІСТРУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Тема: Соціально-економічні переваги використання блокчейн-технологій:
бізнес та фінансова система

Спеціальність 051 «Економіка»
Освітня програма 6.051.00.06 «Економіка і бізнес»

Завідувач кафедри: _____ / О.І. Карінцева /

Керівник роботи: _____ / О.М. Маценко /

Виконавець: _____ / К.А. Древаль /
П.І.Б.

Група: _____ / Епн-71 /
шифр

Суми 2021

АНОТАЦІЯ

Загальний обсяг роботи складає 73 сторінки. До роботи увійшло 5 таблиць, 4 рисунка, 7 додатків та 60 позицій у списку використаної літератури.

Об'єктом роботи виступають соціально-економічні переваги використання блокчейн-технології як складової сучасної світової економічної тенденції. **Предметом** дослідження є соціально-економічні відносини щодо актуалізації та впровадження блокчейн-технології та її відгалужень у бізнесі.

Метою дипломної роботи є аналіз соціально-економічних переваг застосування блокчейн-технології в економічній сфері. Досягнення зазначеної мети передбачає постановку наступних **завдань**:

- 1) з'ясувати сутність та особливості блокчейн-системи;
- 2) визначити функціональні відгалуження блокчейн-технології;
- 3) зробити загальний SWOT-аналіз використання блокчейн-системи;
- 4) детермінувати області залучення смарт-контактів в економічній сфері;
- 5) дати визначення поняттю «децентралізовані застосунки» та їх застосуванню у фінансовому секторі в контексті вивчення платформи Ethereum;
- 6) провести регресійний аналіз залежності ціни криптовалюти Біткоїн від основних факторів впливу.

Для виконання визначених завдань у роботі використано **методи** дедукції для аналізу та систематизації теоретичних доробок у сфері використання блокчейн-технології, SWOT-аналіз для визначення сильних і слабких сторін, можливостей і загроз переходу на технологію блокчейн, а також регресійний аналіз для з'ясування ступеня визначення ціни біткоїна зовнішніми чинниками.

У першій частині роботи проаналізовано особливості та властивості блокчейн-технології; визначено головні класифікації системи та механізми її роботи. Більш того, детерміновано основні функціональні відгалуження блокчейн-технології, його головні способи застосування. Визначено механізми роботи смарт-контрактів.

У другій частині роботи проаналізовано за допомогою SWOT-аналізу переваги та недоліки використання блокчейн-технології та смарт-контрактів. Сформульовано основні сфери політико-економічного спрямування для використання смарт-контрактів. Досліджено функціональні особливості платформи Ефіріум та децентралізовані застосунки на його основі.

У третій частині досліджено роль криптовалюти в світовій економіці, а також сформовані переваги торгівлі цифровою валютою. Проведено аналіз багатофакторної регресивної моделі на прикладі залежності ціни Біткоїна від ціни Ефіріума, загальної кількості створених унікальних гаманців на платформі *Blockchain.com*, індексу *Dow Jones Industrial Average* та кількості активних біткоїн-адрес. Був зроблений висновок, що якщо всі чинники одночасно збільшаться на 1 %, ціна біткоїна збільшиться на 3,36 %. За результатами дослідження спрогнозовано, що ціна Біткоїна зросте на 11 % за умов наявності визначених залежностей та припущених прогнозних значень факторів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у дослідженні ступеня впливу різних зовнішніх чинників, як-от ціна Ефіріума чи індекс *Dow Jones Industrial Average*, на ціну криптовалюти Біткоїн, що дозволяє у подальшому зважати на ці чинники для побудови своїх прогнозів та торгових стратегій.

Практичне значення цієї кваліфікаційної роботи бакалавра полягає у використанні її результатів у курсах економетрики, інформаційної економіки та економіки підприємництва, а також для створення наукових робіт на суміжні теми.

Ключові слова: блокчейн, смарт-контракт, криптовалюта, Біткоїн, Ефіріум.

SUMMARY

The overall volume of the work amounts to 73 pages. The work includes five tables, four illustrations, seven appendices and 60 items in the reference list.

The **object** of the work is the social and economic benefits of blockchain technology use as an element of the modern global economic trend. The **subject** of the research is the social and economic relations concerning the actualization and implementation of blockchain technology and its extensions in business.

The **goal** of this diploma paper is to analyse the social and economic benefits of blockchain application in the economic domain. In order to achieve this aim, the following **objectives** were set:

- 1) to explore the essence and features of blockchain system;
- 2) to define the functional extensions of blockchain technology;
- 3) to carry out the general SWOT-analysis of blockchain system usage;
- 4) to determine the fields of application of smart contracts in the economic domain;
- 5) to define the notion of “decentralized applications” and their employment in the finance industry in the context of studying the Ethereum platform;
- 6) to make a regression analysis of the dependence of Bitcoin cryptocurrency price on the main impact factors.

In order to fulfil these objectives, we use the deduction **method** to analyse and classify theoretical insights in the field of blockchain technology application; SWOT-analysis is used to define strengths, weaknesses, opportunities and threats of the transition to blockchain technology; and regression analysis is carried out to determine the degree of determination of the Bitcoin price by external factors.

In the first section of this work, the peculiar features and properties of blockchain technology are analysed; the main classification systems and operating principles of the system are defined. Moreover, the basic functional extensions of blockchain technology and their main applications are determined. The operating principles of Smart contracts are identified.

In the second section advantages and disadvantages of blockchain and Smart contract technology uses are analysed with a help of SWOT analysis. The main politically- and economically-directed spheres of Smart contract uses are formulated. The functional aspects of the Ethereum platform and its decentralized applications were examined.

In the third section, the role of cryptocurrency in the global economy is explored and the benefits of cryptocurrency trading are formulated. The multivariate regression analysis on the example of the dependence of Bitcoin cryptocurrency price on the Ethereum price, the total number of unique *Blockchain.com* wallets created, Dow Jones Industrial Average index and the number of Bitcoin active addresses was carried out. It was concluded that if all factors simultaneously increase by 1%, the price of Bitcoin will increase by 3.36%. Following the results of the study, the price of Bitcoin is predicted to increase by 11% on conditions that defined relations and assumed predictive values of factors are present.

The **scientific novelty** of the results implies the study of the degree of various external factors influence, such as the Ethereum price or the Dow Jones index, on the price of cryptocurrency Bitcoin. This allows further considering these factors when building forecasting models and trading strategies.

The obtained results can be used in courses in econometrics, information economics and business economics, as well as in writing research papers on related topics.

Keywords: blockchain, Smart contact, cryptocurrency, Bitcoin, Ethereum.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЗАРОДЖЕННЯ ТА РОЗВИТКУ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЇ	9
1.1 Властивості та класифікація блокчейн-технології.....	9
1.2 Смарт-контракти як складова блокчейн-технології.....	12
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ СМАРТ-КОНТРАКТІВ В ЕКОНОМІЧНІЙ СФЕРІ.....	15
2.1 Можливості та загрози використання смарт-контрактів у фінансовому секторі.....	15
2.2 <i>Ethereum</i> як окрема платформа актуалізації смарт-контрактів.....	19
РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМЕТРИЧНІ ПІДХОДИ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСУ КРИПТОВАЛЮТИ	23
3.1. Криптовалюта як новий клас активів.....	23
3.2. Дослідження багатовфакторної регресійної моделі на прикладі курсу Біткоїна.....	26
ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	38
ДОДАТКИ.....	43

ВСТУП

З кожним роком популярність криптовалют, а з ними і блокчейну, збільшується. Цьому сприяє прозорість та легкодоступність системи, а також можливість швидко заробити великі гроші. Тим не менш особливий інтерес великих компаній, організацій та цілих країн викликає саме блокчейн-технологія, яка стоїть в основі нової валютної системи.

Простою мовою блокчейн (англ. *blockchain*) є децентралізованою базою даних транзакцій з рівноправними учасниками. Така система завдяки своїм властивостям може забезпечувати більшу незалежність та надійність порівняно з централізованими установами.

Блокчейн-технологію та її функціональні можливості в економічній сфері досліджували чимало зарубіжних та вітчизняних науковців. Зокрема С. Накамото першим у своїй роботі описав механізм роботи технології та запропонував способи реалізації блокчейну. Вагомим внеском до пояснення функціонування блокчейн-технології стала робота З. Чжена та ін. Питаннями нової економіки та ролі блокчейну в ній займалися науковці Дж. Янг Лі, В. Віріясіват та ін., які присвятили свою роботу вивченню взаємозв'язку блокчейн-технології з Інтернетом речей. М. Пунгоді та її колеги займалися прогнозуванням ціни криптовалюти Ефіріум. Серед вітчизняних академіків слід відзначити роботи І. Давидової, яка аналізувала перспективи розвитку технології в Україні та В. Бабанеко і О. Маценко та ін., де досліджено економічні перспективи для України у використанні блокчейн-технології як інструменту Євроінтеграції.

Зважаючи на значну кількість досліджень на тему блокчейну та цифрових валют, досі існує прогалина у дослідженні впливу різних зовнішніх факторів на ціни криптовалют, більшість з яких мають високу волатильність, тобто несуть за собою великі ризики. Це вимагає окремої уваги економістів, тож зумовлює **актуальність** вивчення блокчейн-технологій та криптовалют з економічної сторони.

Об'єктом роботи виступають соціально-економічні переваги використання блокчейн-технології як складової сучасної світової економічної тенденції. **Предметом** дослідження є соціально-економічні відносини щодо актуалізації та впровадження блокчейн-технології та її відгалужень у бізнесі.

Метою дипломної роботи є аналіз соціально-економічних переваг застосування блокчейн-технології в економічній сфері. Досягнення зазначеної мети передбачає постановку наступних **завдань**:

- 1) з'ясувати сутність та особливості блокчейн-системи;
- 2) визначити функціональні відгалуження блокчейн-технології;
- 3) зробити загальний SWOT-аналіз використання блокчейн-системи;
- 4) детермінувати області залучення смарт-контактів в економічній сфері;
- 5) дати визначення поняттю «децентралізовані застосунки» та їх застосуванню у фінансовому секторі в контексті вивчення платформи Ethereum;
- 6) провести регресійний аналіз залежності ціни криптовалюти Біткоїн від основних факторів впливу.

Для виконання визначених завдань у роботі використано **методи** дедукції для аналізу та систематизації теоретичних доробок у сфері використання блокчейн-технології, SWOT-аналіз для визначення сильних і слабких сторін, можливостей і загроз переходу на технологію блокчейн, а також регресійний аналіз для з'ясування ступеня визначення ціни біткоїна зовнішніми чинниками.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЗАРОДЖЕННЯ ТА РОЗВИТКУ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЇ

1.1 Властивості та класифікація блокчейн-технології

Наша економіка розвивається в умовах промислових революцій на шляху до сталого розвитку [7, 13, 34, 38]. Це безумовно впливає на відповідні існуючі технології й призводить до впровадження нових.

Основними перепонами на шляху до інформаційного та технологічного прогресу в економічній сфері є нестабільність, непрозорість та ненадійність сучасних фінансових систем. Головним чином їх підтримкою та розвитком займається держава та уряд. На заміну застарілим методам проведення фінансових операцій може прийти блокчейн-технологія.

У 2008 р. Сатоші Накамото, анонімний автор(и) статті [40], вперше запропонував протокол криптовалюти Біткоїн, і, відповідно, вперше реалізував ідею блокчейну. Блокчейн (англ. *blockchain*) – це система розподіленого реєстру (англ. *distributed ledger*), в якій інформація про транзакцію поширюється та перевіряється учасниками мережі рівноправних вузлів. Через те, що Біткоїн став найпопулярнішою та найбільш вдалою спробою актуалізації блокчейн-технології, поняття «біткоїн» та «блокчейн» іноді взаємозамінюються. Як зазначає в своїй книзі М. Свон, спочатку ці терміни позначали усю платформу блокчейн технології, що лежить в основі біткоїна, далі позначали протокол біткоїна і нарешті сьогодні можуть позначати і саму цифрову валюту Біткоїн (*BTC*) [49].

Базова сутність блокчейну полягає в тому, що її метою є покращання інформаційної безпеки та прозорості шляхом поширення зашифрованих даних між учасниками мережі (далі – ноди). Важливим пунктом роботи цієї системи є те, що жоден з учасників не може монополізувати інформацію. Як зазначають З. Чжень та його колеги, на відміну від класичної централізованої системи, блокчейн-ноди не в змозі фальсифікувати інформацію, оскільки ця сама інформація розподіляється та зберігається по всій системі.

Відповідно до того, хто має доступ до мережі блокчейн і кому надається дозвіл приймати участь у мережі блокчейн виділяють чотири типи блокчейну (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

Типи блокчейну

На основі доступу до блокчейну	На основі доступу до блокчейн даних
Інклюзивний (<i>permissionless</i>) блокчейн, що дозволяє приєднатись будь-кому	Відкритий блокчейн (<i>public</i>), що дозволяє всім, у кого є доступ, вносити зміни
Ексклюзивний (<i>permissioned</i>), що дозволяє приєднатись лише схваленим учасникам	Закритий блокчейн (<i>private</i>), що дозволяє лише визначеним учасникам писати або вносити зміни

Інклюзивний блокчейн відкритий для всіх, тож дозволяє кожному доєднуватися, проводити транзакції, а також брати участь у «майнінгу» або в протоколі консенсусу додавання нових блоків транзакції до блокчейну [57]. Чим більше в цій системі знаходиться нодів, тим менша можливість кібер-атак. Одним з найбільших недоліків інклюзивного блокчейну є потреба у великій обчислювальній потужності [51].

Ексклюзивний блокчейн у свою чергу створюють організації для власних бізнес-потреб. У такий спосіб можна проводити контроль за транзакціями, змінювати певні правила зі спільної згоди учасників, а також безпосередньо з'являється можливість відслідковувати імена нодів.

Розповсюдженою практикою вважається взаємозамінюваність термінів «інклюзивний» і «відкритий» та «ексклюзивний» і «закритий». Деякі науковці виділяють наступну класифікацію блокчейну: відкритий (*public*), закритий (*private*) та блокчейн-консорціум (*consortium blockchain*) [31]. На відміну від відкритого та закритого блокчейнів, блокчейн-консорціум обирає лише декілька нодів, яким надає доступ до системи [44].

Як стверджують вітчизняні дослідники, блокчейн використовує складну систему шифрування (ключів) [1, 7]. Зовні для проведення транзакції потрібний публічний (унікальна адреса гаманця) та приватний (такий, що надає право власності на кошти за адресою гаманця) шифрувальні ключі. Зсередини вносити правлення до вже створеного блоку також неможливо, бо коди (або хеш) всіх блоків у блокчейні пов'язані, і зміна в одному блоці призведе до недійсності інших. Хешем (англ. *hash*) ми називаємо унікальний код фіксованої довжини, що отримуємо в результаті введення інформації (букв та цифр). У своїй роботі за 2008 р. Сатоші Накамото запропонував [40] зображення процесу створення блоків, що показано на рис. 1.1.

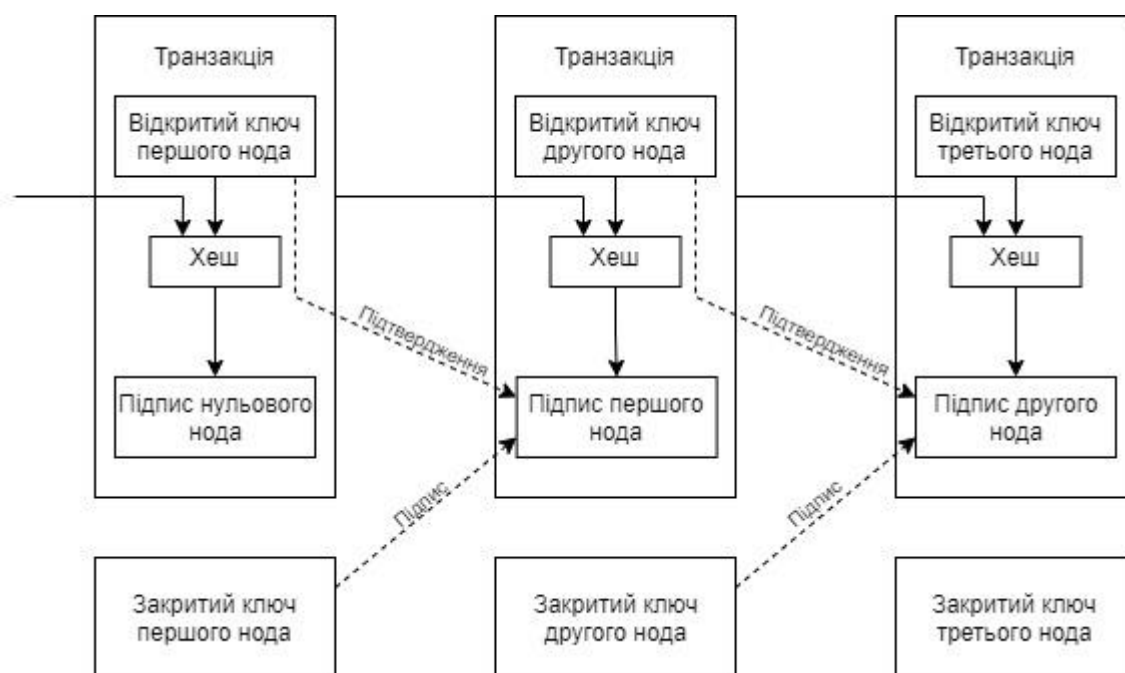


Рис. 1.1. Структура блокчейну

Кожен блок має свою криптографічну задачу, яку учаснику потрібно вирішити, щоб сформувати блок. На вирішення задачі йдуть операційні та капітальні ресурси. Вони складають частину перевірки, що забезпечує безпеку та фінансову цілісність у децентралізованій системі. Таке вирішення криптографічної задачі називають *Proof of Work (PoW)* або доказом виконання роботи [25].

Через те, що блокчейн-протокол консенсусу *Proof of Work* потребує багато обчислювальної потужності, а також, що швидкість підтвердження транзакцій уповільнюється через велику кількість учасників [31], з'явилися альтернативні протоколи відомі під назвами *Proof of Stake (PoS)* – доказ частки володіння, *Delegated Proof of Stake (DPoS)* – делегований доказ частки володіння та *Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)* – протокол консенсусу, стійкий до Візантійської Помилки. Протокол консенсусу *Proof of Stake* відрізняється від *Proof of Work* тим, що надає тим нодам, у яких більша частка володіння (тобто більше монет), пріоритетність у створенні блоків [45]. У свою чергу *Delegated Proof of Stake* передбачає делегування своїх повноважень певним нодам у групі [51]. Останній протокол консенсусу, *Practical Byzantine Fault Tolerance*, відрізняється від інших протоколів тим, що дозволяє назначати одного з учасників головним або лідером, який спілкується з усіма іншими нодами [32]. Такий протокол найчастіше застосовується на платформах з закритим блокчейном.

Отож блокчейн-технологія є складною та розгалуженою системою розподіленого реєстру, яка здатна забезпечити прозорість та безпечність проведення транзакцій. За роки існування блокчейну багато науковців та практиків удосконалили протоколи консенсусу, класифікували види блокчейну та створили нові криптовалюти – як засновані на запропонованій С. Накамото схемі підтвердження транзакцій, так і на нових протоколах консенсусу. У наступному підрозділі ми детальніше розглянемо практичне застосування згаданої технології.

1.1 Смарт-контракти як складова блокчейн-технології

Блокчейн-технологія надала багатьом користувачам доступ до децентралізованого проведення фінансових транзакцій і впродовж свого розвитку отримала додатковий функціонал у вигляді смарт-контрактів. Так, існування блокчейну розділяють приблизно на три етапи.

Блокчейн 1.0 – це початок існування блокчейн-технології, в основу якої покладено розвиток валютної системи, що спроможна надавати послуги оплати та переказу коштів за допомогою криптовалюти. Яскравим прикладом блокчейну 1.0 є Біткоїн.

Блокчейн 2.0 передбачає існування саморегулюючого договору або смарт-контракту, в який заковують заздалегідь визначені правила. Коли умови договору виконуються, проводиться відповідна операція. Функціонал такого рівня є в наявності на блокчейн-платформах *Ethereum* та *Hyperledger*.

Третій етап розвитку блокчейну (блокчейн 3.0) передбачає використання технології у всіх сферах життя. На сьогодні технології третього етапу включають у себе будь-які розробки, що виходять за межі криптовалюти [33], та, як наслідок, за межі смарт-контрактів.

Смарт-контракт (англ. *smart contract*) – це договір, що виконує себе автоматично на основі затверджених умов угоди між зацікавленими сторонами [57]. Такі договори представляють собою програмні коди, які заковують у блокчейн-систему.

Основними складниками смарт-контрактів можна вважати вхідні значення, адреса, функції та статус [16]. Зазвичай блокчейн відстежує статус смарт-контракту в реальному часі, активуючи його, коли досягаються певні умови [23]. Робочий механізм смарт-контрактів може мати вигляд як на рис. 2.1 [58]. До смарт-контракту тоді входять статус та значення, а також вводяться умови запуску контракту та порядок відповіді на виконання умов. Сторони контракту також погоджують джерела даних зовнішньої перевірки.

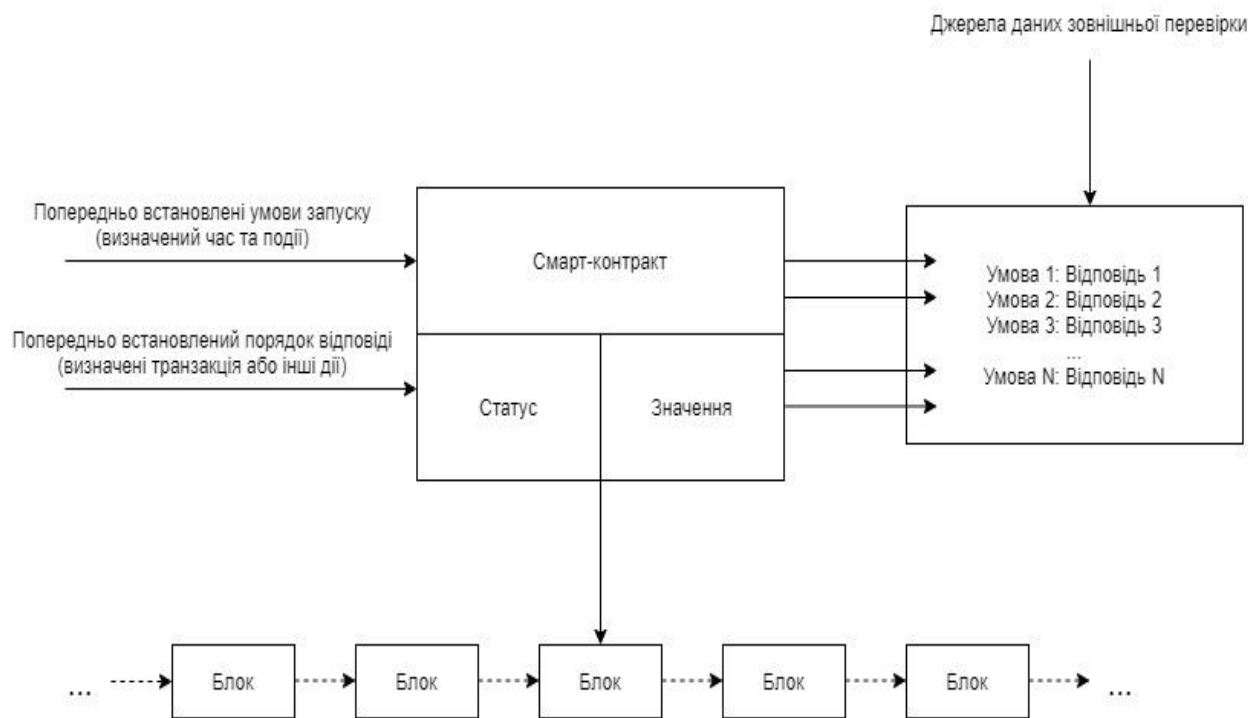


Рис. 2.1. Робочий механізм смарт-контрактів

Блокчейн-технології не стоять на одному місці. Прогресивність Блокчейну 2.0 дозволяє вже протягом кількох років багатьом компаніям застосовувати функціонал смарт-контрактів. І через те, що такі контракти виконуються автоматично, тобто не потребують нагляду за їх виконанням та подальшим ходом дій, їх використання розповсюдилося на різні сфери життя – від медицини до страхування. У наступному розділі ми ближче розглянемо приклади втілення блокчейн-технології та смарт-контрактів у життя.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ СМАРТ-КОНТРАКТІВ В ЕКОНОМІЧНІЙ СФЕРІ

2.1 Можливості та загрози використання смарт-контрактів у фінансовому секторі

Передові технології, створені змінювати звичайний стан речей, рідко одразу викорінюють усталені практики. З одного боку, цьому сприяє лише поступове адаптування людей до нових речей, з іншого боку, інновації потребують часу для випробування та виправлення усіх можливих проблем, які можуть виникати [5, 35, 36]. Тож не дивно, що блокчейн та його супутній функціонал, незважаючи на перспективність, все ще піддаються сумнівам і критиці [18].

Одним з допоміжних аналітичних інструментів оцінки можливостей та загроз певних технологій, продукції або навіть роботи цілих компаній є SWOT-аналіз, тобто порівняння сильних та слабких сторін з можливостями та загрозами [3, 10, 12]. Розглянемо таблицю 2.1, де ми аналізуємо блокчейн-технологію.

Таблиця 2.1

SWOT-аналіз блокчейн-технології

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
<ol style="list-style-type: none"> 1) децентралізованість; 2) прозорість; 3) надійність зберігання даних; 4) швидкість транзакцій; 5) зниження транзакційних витрат [9]. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) розмір блокчейна; 2) енерговитратність (неекологічність) [2, 6, 8, 34, 53]; 3) непідтвержені транзакції і мемпули; 4) масштабованість блокчейнів; 5) відсутність законодавчої основи [9].

Можливості:	Загрози:
1) проведення платежів з міжнародних розрахунків; 2) фінансування торгових операцій; 3) обробка ринків капіталу; 4) захист від відмивання грошей [50].	1) блокчейн «картелі»; 2) відсутність конфіденційності; 3) неможливість повністю контролювати свою «особистість» (якщо криптографічний ключ вкрадений, або скопійований, можна видавати себе за власника); 4) втрачений криптографічний ключ означає втрачений контроль над активами [59].

Перед тим як перейти до аналізу поєднання квадрантів SWOT-аналізу, потрібно зазначити, що означають деякі пункти таблиці 2.1. Мемпули – це механізм зберігання інформації про непідтверджені транзакції, тобто такий собі «зал очікування» для транзакцій, які ще не були додані до блоку [39]. У контексті слабких сторін блокчейн-технології мемпул означає затримку транзакцій, а тому збільшений час очікування. Під масштабованістю блокчейнів ми розуміємо здатність блокчейну пропускати певну кількість транзакцій у блоці. Один блок біткоїна, наприклад, дорівнює лише 1 МБ [9].

Як бачимо, перетин сильних сторін та можливостей дозволяє проводити платежі без посередників, що в свою чергу призведе до зниження транзакційних витрат, створює безпечні та прозорі умови проведення фінансових операцій. З іншого боку, перетин слабких сторін з можливостями означає: 1) обмежений розмір блокчейна змусить розробників продовжувати створювати нові криптовалюти; 2) з'являється можливість створення законодавства, яке дозволило б ефективно використовувати технологію.

Перетин сильних сторін та загроз означає: 1) рівноправність всіх учасників дозволить певним групам з коштами та обладнанням об'єднуватися та вирішувати криптографічні задачі швидше за інших, тим самим створюючи «картелі»; 2) хоча дані на блокчейні неможливо фальсифікувати, безанонімність учасників зробить систему вразливою до певних кібератак. А перетин слабких сторін з загрозами може призвести до того, що відсутність відповідного законодавства створить можливості маніпулювати криптовалютами ринками або блокчейн-системами, що становить загрозу фінансовим операціям; а також, що конкурентна боротьба блокчейн-картелів тільки сприятиме енерговитратності.

Можна казати, що переваги блокчейн-технології в середовищі, непридатному для їх ефективного використання, стають недоліками. Але якщо середовище дозволяє створювати успішні проекти, технологія одразу набирає перспективності. Чимало галузей економіки вже цікавляться функціями блокчейну, зокрема смарт-контрактами.

Логістичні фірми є одними з найбільш зацікавлених сторін у використанні смарт-контрактів у сфері налагодження каналів поставок, адже досі вони використовують у своїй роботі посередників для співпраці з постачальниками та замовниками. Основними проблемами вбачають затримки в проведенні фінансових транзакцій, що можуть займати декілька днів; у підписанні та виконанні угод; людський чинник також може порушувати злагоджену роботу. Смарт-контракти з функціоналом автоматичності, прозорості та децентралізованості забезпечили б швидку та більш надійну роботу всієї системи поставок. До проектів, що допомагають підприємствам відстежувати походження, історію продукції або права власності, відносять *Provenance.org* [43], які працюють на блокчейні *Ethereum*.

Іншим використанням смарт-контрактів може бути система голосування. Така технологія здатна працювати як на внутрішньо парламентському рівні (наприклад, щоб боротися з «кнопкодавством») або на державному, аби

протистояти втручанню інших країн у результати виборів [46]. У 2014 р. система блокчейну в голосуванні вперше була випробувана Данією [19].

Одним із найбільш сучасних способів застосування смарт-контрактів може стати Інтернет речей [7, 12, 36, 37, 38]. Наприклад, платформа *Slock.it* [47] пропонує автоматичну систему замків. Користувачі узгоджують суму депозиту, і коли потрібна сума сплачується, користувачі отримують доступ [58].

Смарт-контракти також можуть застосовуватися у сфері страхування. Страхові компанії часто стикаються з проблемами шахрайських схем, неповних джерел даних, забагато підписів тощо [56]. Смарт-контракти стануть у нагоді для забезпечення прозорості та повного контролю над даними, а також для автоматичного проведення виплат.

Цікавим застосуванням смарт-контрактів може бути так званий «ринок передбачень» (спекулятивні ринки, метою яких є створення прогнозів) з метою хеджування ризиків та максимізації прибутку [42]. Платформа *Augur* [14], наприклад, надає користувачам точний інструмент передбачення на основі технології блокчейн.

Проте технологія смарт-контрактів має недопрацювання та ставить ще багато викликів перед собою [58]. Найбільш відомим прикладом уразливості системи є випадок в організації *DAO* – децентралізована автономна організація у формі фонду венчурного капіталу, орієнтованого на інвесторів [52]. У 2016 р. хакерам вдалося завдяки помилці у так званому рекурсивному виклику перевести на свій акаунт близько 4 мільйонів Ефірів (*Ether*), на той час приблизно 50 мільйонів доларів США. Через це спільнота *Ethereum* вдалася до «хард-форку», тобто введення нового правила в систему блокчейн, що потребує оновлення програмного забезпечення (Хардфорк, 2021). Така радикальна зміна протоколу зробила всі попередні блоки та транзакції недійсними [58].

Хоча повний потенціал технології блокчейну ще тільки починається розкриватися, але смарт-контракти вже надають свободу багатьом сферам бізнесу, адже її робочий механізм пришвидшує та опрозорює економічні процеси, які зазвичай не обходяться без посередників. Оперуючи на базі

блокчейну, смарт-контракти забезпечують високий рівень безпеки та автономності, що дозволяє впроваджувати систему в сфери страхування, транспортування тощо [10, 30]. Однак новітність смарт-контрактів та відсутність довготривалого випробування досвідом несуть за собою певну частку ризику, що вже позначилася на деяких відомих проєктах.

2.2 *Ethereum* як окрема платформа актуалізації смарт-контрактів

Платформа *Ethereum* або українською – Ефіріум, що її мережа запрацювала з 2015 р., на сьогоднішній день стала найпотужнішим майданчиком з надання послуг смарт-контрактів. Багато в чому платформа та однойменна криптовалюта були створені з метою покращення функцій блокчейну. Розробники зрозуміли, що технологія може дати світу більше, ніж звичайний обмін валют [17].

Ефіріум – це перш за все нова та розширена версія системи біткоїна, тобто таке програмне забезпечення, що збудоване поверх блокчейну біткоїна, але має власні особливості. Так, подібно до біткоїнів, Ефіріум також базується на комп'ютерах, що «добувають криптовалюту», але якщо учасники системи Біткоїн засвідчують головним чином транзакції, учасники системи Ефіріум засвідчують та запускають код [17].

Програміст В. Бутерін, який є співзасновником *Ethereum*, у своїй роботі, присвяченій поясненню технології, розповідає, що Ефіріум застосовує альтернативну блокчейн-технологію, а саме блокчейн з вбудованою тьюринг-повною мовою програмування, що дозволяє створювати смарт-контракти та децентралізовані застосунки [20].

Тож хоча Біткоїн і слугує основою для технології Ефіріум, її скриптова мова не підтримує, наприклад, цикли, тобто не дозволяє організовувати багаторазове виконання набору інструкцій. Завдяки розширеному функціоналу скриптової мови Ефіріум розробники продуктів на її базі можуть

встановлювати власні правила щодо власності, форматів транзакцій та функцій переходу станів [20]. Якщо казати простими словами, то тепер замість простого зберігання та пересилання коштів, клієнти також мають змогу збільшувати кількість власників одного рахунку, надавати доступ іншим особам, загалом встановлювати будь-які власні умови користування технологією.

Основним відгалуженням смарт-контрактів є децентралізовані застосунки (або англ. *DApps*). Децентралізовані застосунки часто називають ненадійними або такими, що мають рівноправних учасників. З-поміж звичайних застосунків їх відрізняє відсутність центрального сервера або якогось одного керівника, який би їх контролював, як у класичній моделі клієнт-сервер [17].

Технологія, що стоїть за децентралізованим застосунком (далі *DApps*), може бути описана наступним чином. Відомо, що звичайна комп'ютерна програма має власний інтерфейс (іншими словами інтерфейс користувача), тобто місце, де клієнти взаємодіють із системою. Тут можна виділити декілька різних майданчиків сполучення: завантажений на мобільний телефон додаток, веб-сайт або застосунок на робочий стіл комп'ютера. *DApps* також має свій інтерфейс і сьогодні він найчастіше представлений у формі веб-сайтів [17].

Головною відмінністю *DApps* від традиційного додатку є спосіб або джерело отримання даних. Іноді дані в застосунку постачає стороння організація. Наприклад, котирування акцій та зміни на ринку в застосунку «Акції» на iPhone постачає американська компанія *Yahoo*. В інших випадках користувачі власноруч заповнюють застосунок даними – це приклад соціальних мереж. У ситуації з *DApps* дані постачають і обробляють на базі блокчейн-системи, в якій беруть участь смарт-контракти. Тож, саме способи отримання, зберігання і обробки інформації відрізняє *DApps* від звичайних прототипних комп'ютерних програм.

До головних переваг децентралізованих застосунків відносять:

1) відсутність власників: код, завантажений на *Ethereum*, не можна прибрати, а також усі можливі особливості й функції доступні кожному;

2) відсутність цензури: жоден користувач не підлягає блокуванню, наприклад, як в звичайних соц. мережових додатках;

3) анонімна реєстрація: Ефіріум не вимагає реальних даних про користувачів;

4) вбудована оплата на основі криптовалюти Ефіру (*ETH*);

5) застосування криптографічних засобів і систем, що не дозволяють хакерам виконувати транзакції за інших людей;

б) децентралізовані застосунки не «падають», тобто вони постійно працюють і можуть вийти з ладу тільки, якщо вся платформа *Ethereum* «впаде»;

7) коди децентралізованих застосунків знаходяться у відкритому доступі, що дозволяє розробникам легко розширювати функціонал власних додатків [22].

Раніше ми вже зазначали головні сфери використання технології смарт-контрактів, але вважаємо за потрібне окремо систематизувати платформи на основі *Ethereum*, адже не всі вони відносяться до сфер загального використання смарт-контрактів. У книзі *Blockchain and Crypt Currency* Макото Яно та його колеги [17] класифікують децентралізовані застосунки за наступними фінансовими сферами застосування:

- 1) фандрейзинг або збір коштів (*ICO*) – наприклад, «громадське фінансування» проєктів на платформі *Gitcoin Grants* [27];
- 2) ринки, включаючи біржі – ринки передбачень типу *Polymarket* [41] або *Augur* [14];
- 3) постачальник ідентифікаторів – *Know Your Customer* (KYC), тобто «знай свого клієнта» та *Anti-money Laundering* (AML), тобто «протидія відмиванню грошей»;
- 4) фінансові послуги – анонімна оплата через платформи *Tornado cash* [54];
- 5) сек'юритизація активів;
- б) управління поставками;
- 7) гральний бізнес.

Ефіріум представляє собою відгалуження технології смарт-контактів, тому що є однією з платформ, на якій та здатна реалізуватися. Ефіріум, як представник Блокчейну 2.0, відрізняється від Біткоїна і навіть є його поліпшеною версією – засновники зазначають, що Ефіріум побудований на блокчейні біткоїна. Завдяки новим способам зберігання інформації, децентралізовані застосунки поступово завойовують терена інформаційного простору і вже налічують чимало прикладів у фінансовій сфері вдалого застосування своїх послуг.

РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМЕТРИЧНІ ПІДХОДИ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСУ КРИПТОВАЛЮТИ

3.1 Криптовалюта як новий клас активів

Сьогодні ще одною основною сферою застосування блокчейн-технології є криптовалюта. З того часу, як С. Накамото відкрив світу Біткоїн, популярність цифрових валют, які можуть забезпечити анонімність транзакцій, прозорість системи, низьку комісію, широкий вибір валют, а також головним чином – відсутність важеля контролю, неймовірно зростає.

Взагалі, **криптовалюта** з точки зору блокчейн-систем представляє собою «токени» (тобто певні одиниці обліку), що використовують у системі для надсилання значення та сплати за здійснені транзакції [26]. З іншого боку, криптовалюта – це децентралізований платіжний засіб, що використовує криптографічні функції для проведення фінансових транзакцій [24]. Хоча криптовалютою можна розраховуватися за звичайні покупки, розповсюдженим методом її використання є виведення через неї нецифрових грошей з фондової біржі, наприклад, для зниження комісії. Криптовалютою також можна торгувати – найчастіше на короткі періоди (адже криптовалюти волатильні), коли заздалегідь відомий напрямок ціни.

Проте криптовалюта має всі властивості звичайних грошей. Більш того, більшість криптовалют мають обмежену кількість токенів в обігу. Згідно з інформацією на сайті *Buybitcoinworldwide*, на сьогоднішній день залишилося лише приблизно 2 мільйони біткоїнів, які можна «добути» (тобто які з'являються в результаті додавання нових блоків до блокчейну біткоїна). Максимальний обсяг усіх біткоїнів складає 21 мільйон [29].

На січень 2021 року існує близько чотирьох тисяч різних криптовалют [21] та за деякими даними більш ніж двадцять тисяч криптовалютних ринків [26]. Звернемо увагу, що сукупна ринкова вартість усіх криптовалют на

березень 2021 року складає приблизно 1,7 трильйона доларів США [28] (рисунок 1.2).

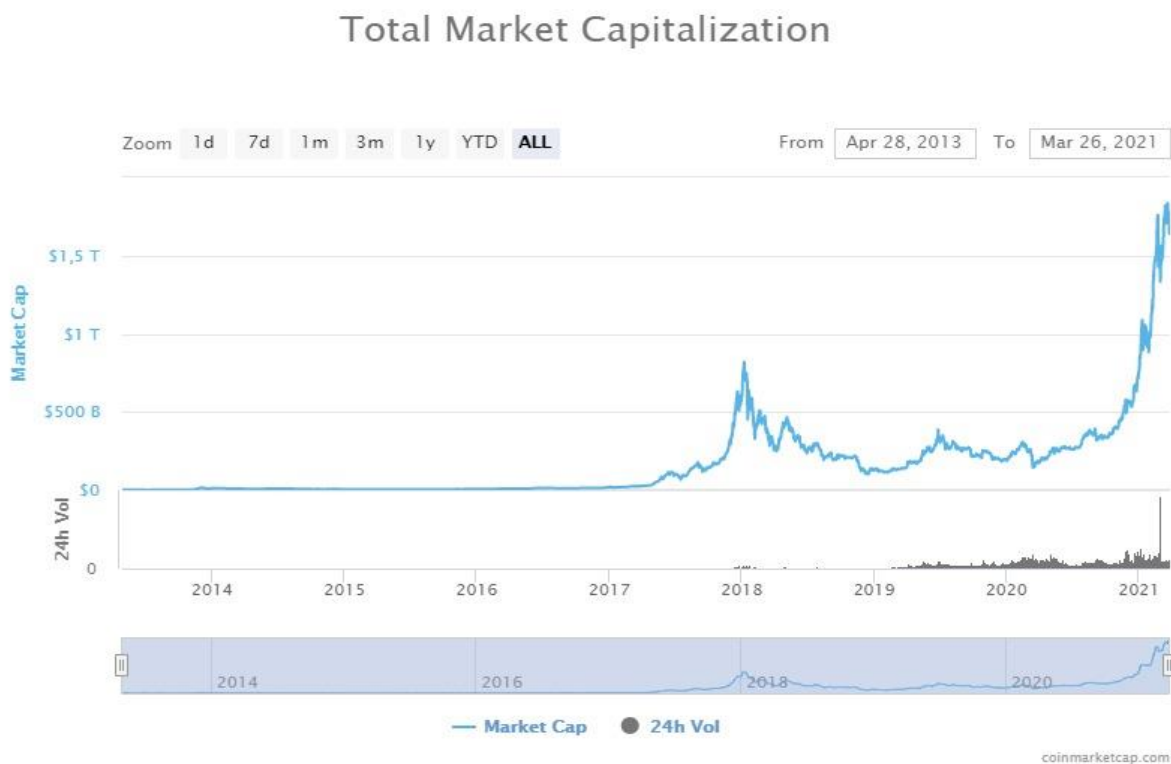


Рис. 1.2. Загальна ринкова капіталізація та об'єм криптовалютного ринку в доларах США



Рис.1.3. Частка від загальної ринкової капіталізації

Серед гігантів по найбільшій частці від загальної ринкової капіталізації [28] (рисунок 1.3) знаходяться зазначений раніше Біткоїн (*BTC*) та Ефіріум (*ETH*).

Так, одним із продуктивних шляхів отримання прибутку від роботи з криптовалютою є торгівля нею. Торгівля криптовалютою – це покупка або продаж криптовалют з метою отримання прибутку [26].

До основних переваг торгівлі криптовалютою відносять:

1. Висока волатильність. Криптовалюта може здійснювати великі коливання, викликані спекулянтами, за короткий проміжок часу та водночас надаючи можливість швидкого заробітку. Проте потрібно пам'ятати, що великі коливання несуть за собою не менші ризики.

2. Безперервність. Ринок криптовалют працює 24 години на добу, 7 днів на тиждень [26], що надає можливість трейдерам здійснювати ордери на продаж чи покупку в будь-який зручний для них час.

3. Транзакції між рівноправними учасниками. Важливою перевагою криптовалют є відсутність посередників і наступне зменшення витрат за обслуговування транзакцій [26].

4. Особливий статус учасників. Володіння деякими криптовалютами передбачає наявність таких вигод для учасників, як право голосу [26] або спеціальний доступ.

Криптовалюта поступово здобуває місце у фінансових системах різних країн. Своєю волатильністю, а також децентралізованістю вона заохочує все більше трейдерів та звичайних людей до торгів на своїх платформах. Хоча до її переваг відносять важливі недоліки звичайних торгових систем, торгівля криптовалютою є дуже ризикованою.

3.2 Дослідження багатофакторної регресійної моделі на прикладі курсу Біткоїна

У деяких країнах криптовалюта Біткоїн вже офіційно стала новим класом активів [48]. Інвестування у біткоїни може сприяти диверсифікації портфеля з метою зменшення несистематичного ризику. Інвестуючи в ризикований актив, інвестор, таким чином, збільшує очікувану прибутковість свого портфеля [55]. Проте висока волатильність такого активу означає, що інвестори постійно повинні відстежувати ціну криптовалюти. Зазвичай ціни цифрових валют прогнозують за допомогою технічного аналізу, тобто переглядають статистичні дані (наприклад, обсяг, тенденції) цієї ж криптовалюти з минулого для передбачення майбутньої ціни. Іншим способом аналізу ціни є проведення регресійного аналізу, який здатний виявити зв'язки одних величин з іншими та визначити ступінь детермінованості варіації залежної змінної незалежними змінними. Маючи побудовану модель залежності біткоїна від інших факторів, наприклад, ми можемо прогнозувати майбутню ціну.

У нашій роботі ми аналізуємо вплив на показник y факторів x_1 , x_2 , x_3 та x_4 , а саме залежність ціни біткоїна $y(i)$ від ціни криптовалюти Ефіріума $x_1(i)$, загальної кількості створених унікальних гаманців на платформі *Blockchain.com* $x_2(i)$, індекс *Dow Jones Industrial Average* $x_3(i)$, а також кількість активних біткоїн-адрес $x_4(i)$. Для більш зручних обчислень та результатів за показники y , x_1 та x_4 бралися їхні натуральні логарифми. Вихідні дані можна знайти в додатку А.

Для побудови регресії припустимо, що між ціною біткоїна y і факторами x_1 , x_2 , x_3 та x_4 існує лінійний зв'язок.

Запишемо рівняння регресії наступним чином:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + u, \quad (3.1)$$

$$\hat{y} = \hat{a}_0 + \hat{a}_1x_1 + \hat{a}_2x_2 + \hat{a}_3x_3 + \hat{a}_4x_4, \quad (3.2)$$

де y, \hat{y} – відповідно фактичні та розрахункові значення ціни біткоїна; x_1, x_2, x_3, x_4 – відповідно ціна Ефіріума, загальної кількості створених унікальних гаманців на платформі *Blockchain.com*, індекс *Dow Jones Industrial Average*, а також кількість активних біткоїн-адрес; a, a_1, a_2, a_3, a_4 та $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3, \hat{a}_4$ – параметри моделі, які потрібно оцінити та їх оцінки.

1. Насамперед знайдемо МНК-оцінки параметрів моделі 3.1. Побудуємо в *Excel* вектор-стовпець Y і матрицю X (Додаток Б).

Регресійні коефіцієнти розраховуватимемо за формулою:

$$\hat{a} = (X'X)^{-1}X'Y, \quad (3.3)$$

де X' – транспонована матриця X .

Окремо обчислюємо показники $X', X'X, (X'X)^{-1}$ та $(X'X)^{-1}X'$ (Додаток В). Підставляємо отримані результати у формулу 3.3, отримуємо результати, зазначені в таблиці 3.1:

Таблиця 3.1

Регресійні коефіцієнти

$\hat{a}_0=$	-22,13224
$\hat{a}_1=$	1,510925
$\hat{a}_2=$	0,00039
$\hat{a}_3=$	4,89833
$\hat{a}_4=$	0,234228

Отже функція регресії з урахуванням знайдених оцінок коефіцієнтів моделі набуває вигляду:

$$y = -22,13224 + 1,511x_1 + 0,00039x_2 + 4,89833x_3 + 0,234228x_4 \quad (3.4)$$

2. Другим кроком перевірмо адекватність отриманої моделі:

а) обчислимо залишки моделі $u_i = y_i - \hat{y}_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, де y_i – задані спостереження, а \hat{y}_i визначені за формулою (3.4) при заданих спостереженнях x_1, x_2, x_3, x_4 .

Виконаємо обчислення значень \hat{y}_i у вигляді матриці за формулою $\hat{Y} = Xa$, де \hat{Y} – вектор значень \hat{y}_i , $i = 1, 2, \dots, n$ (Додаток Г).

б) визначимо відносну похибку розрахованих значень регресії (див. Додаток Г) за формулою:

$$\delta_i = \frac{\hat{u}_i}{y_i} * 100\%, \quad (3.5)$$

де \hat{u}_i – залишки моделі.

Тоді середнє значення відносної похибки за формулою:

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n} \quad (3.6)$$

має наступний вигляд: $\delta_{cp} = -0,00116$.

в) обчислимо середньоквадратичну похибку дисперсії залишків (див. табл. 3.2) наступним чином:

$$\hat{S}_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-m-1}}. \quad (3.7)$$

Отримуємо: $\hat{S} = 0,197571$.

Чим менша стандартна похибка S , тим краще функція регресії відповідає дослідним даним [4].

г) а також визначимо коефіцієнт детермінації, іншими словами оцінимо загальний вплив незалежних змінних на залежну змінну:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}. \quad (3.8)$$

Перед цим окремо розраховуємо невідомі нам елементи, а саме: квадрат залишків (u^2) (Додаток Г), сума квадратів залишків $\sum_{i=1}^n u_i^2 = 4,49$, середнє значення $y = 9,37689$, подвоєна різниця y та \hat{y} (Додаток Г) та сума цієї подвоєної різниці $(Y - Y_{cp})^2 = 56,39$. Тоді отримуємо: $R^2 = 0,92039$.

Наш коефіцієнт наближається до одиниці, що свідчить про те, що варіація залежної змінної Y (ціна біткоїна) визначається варіацією незалежних змінних.

д) розглянемо далі вибірковий коефіцієнт множинної кореляції за формулою:

$$R = \sqrt{R^2}. \quad (3.9)$$

Отримуємо: $R = 0,95937$.

Високий коефіцієнт кореляції свідчить про тісний лінійний зв'язок незалежних факторів x_1, x_2, x_3, x_4 із залежною змінною y .

3. На третьому етапі ми перевіримо статистичну значущість наших результатів:

а) обчислимо F-статистику за формулою:

$$F_{\text{експ}} = \frac{R^2}{1-R^2} \frac{n-m-1}{m}. \quad (3.10)$$

Тоді $F_{\text{експ.}} = 317,93531$.

Знайдемо табличне значення F-статистики $F(m, n - m - 1, \alpha)$:

$$F(4; 110; 0,05) = 2,45421339. \quad (3.11)$$

Оскільки $F_{\text{експ}} > F(4; 110; 0,05)$, нульова гіпотеза відхиляється, тобто коефіцієнти регресії є значущими;

б) обчислимо t-статистику за формулою:

$$t = \frac{R\sqrt{n-m-1}}{\sqrt{1-R^2}}. \quad (3.12)$$

Отримуємо: $t = 39,66148$.

Знайдемо відповідне табличне значення t-розподілу з $(n - m - 1) = 110$ ступенями свободи і рівнем значущості $\alpha = 0,05$: $t_{\text{табл.}}(\alpha/2, n-m-1)$;

$$t_{\text{табл.}}(0,025, 110) = 1,9817653. \quad (3.13)$$

Оскільки $|t| > t_{\text{табл.}}(0,025, 110)$, можна зробити висновок про достовірність коефіцієнта кореляції, який характеризує тісноту зв'язку між залежною та незалежними змінними моделі.

Окреслимо тепер довірчі межі для множинного коефіцієнта кореляції $R(0,05; 110)$ (див. Таблицю 3.2):

$$(R - \Delta R; R + \Delta R), \quad (3.14)$$

$$\text{де } \Delta R = t_{\frac{\alpha}{2}, k} \frac{1-R}{\sqrt{n}}.$$

Розрахунок ΔR можемо спостерігати в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Довірчі межі для множинного коефіцієнта кореляції R

$\Delta R =$	0,007508495
$R - \Delta R =$	0,951861248
$R + \Delta R =$	0,966878237

Тоді: $(R - \Delta R; R + \Delta R) = (0,951861248; 0,966878237)$.

в) перевіримо значущість окремих елементів регресії і визначимо t -статистику:

$$t_j = \frac{a_j}{\sqrt{\sigma_u^2 c_{jj}}} = \frac{a_j}{S_{a_j}} \quad (j = 0, 1, \dots, m), m = 4, \quad (3.15)$$

де c_{jj} – діагональний елемент матриці $(X'X)^{-1}$; S_{a_j} – стандартизована похибка оцінки параметра моделі. Перед цим розраховуємо невідомі нам елементи, а саме: c_{jj} та S_{a_j} (Додаток Д).

Отримуємо наступні результати: $t_0 = -8,671326898$, $t_1 = 7,968198681$, $t_2 = 7,135073488$, $t_3 = 4,364479556$, $t_4 = 1,295798308$. Порівняємо отримані дані t -статистики з табличним показником при $k = n - m - 1 = 110$ ступенях свободи і рівні значущості $\alpha = 0,05$: $t_{табл.}(0, 025, 110) = 1,9817653$.

Оскільки $|t_0| > t_{табл.}$, $|t_1| > t_{табл.}$, $|t_2| > t_{табл.}$, $|t_3| > t_{табл.}$, $|t_4| < t_{табл.}$, тож оцінки \hat{a}_0 , \hat{a}_1 , \hat{a}_2 та \hat{a}_3 є значущими, а \hat{a}_4 не є значущою.

Обчислимо відношення:

$$\delta_{a_j} = S_{a_j} / a_j * 100\%. \quad (3.16)$$

Показники виглядають наступним чином: $\delta_{a_0} = -11,5\%$, $\delta_{a_1} = 12,5\%$, $\delta_{a_2} = 14\%$, $\delta_{a_3} = 22\%$, $\delta_{a_4} = 77\%$ й означають, що оцінки a_0 , a_1 , a_2 – незміщені, а оцінка a_4 – зміщена.

г) обчислимо значення граничного внеску j -го регресора у коефіцієнт детермінації у таблиці 3.3 (тобто визначимо, на яку величину зменшиться частковий коефіцієнт детермінації, якщо j -й фактор буде виключений з рівняння) (Лещинський, 2008):

$$\Delta R_j^2 = \frac{(1-R^2)t_j^2}{n-m-1}, \quad (3.17)$$

де $t_j^2 = S_{a_j} / a_j$.

Граничний внесок j-ого регресора в коеф. детермінації

ΔR_0^2	0,052052219
ΔR_1^2	0,043952991
ΔR_2^2	0,035242364
ΔR_3^2	0,013186607
ΔR_4^2	0,001162366

д) визначимо коефіцієнт детермінації, скоригований за Тейлом:

$$\bar{R}_T^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-m-1}. \quad (3.18)$$

Отримуємо: $\bar{R}_T^2 = 0,917495406$.

Обчислимо коефіцієнт детермінації, скоригований за Аемією:

$$\bar{R}_A^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n+m+1}{n-m-1}. \quad (3.19)$$

Отримуємо: $\bar{R}_A^2 = 0,913153059$.

Висновок: із виключенням змінної із рівняння втрачається один ступінь свободи, тоді з двох варіантів рівнянь, які мають однакові інші критерії якості, перевага віддається рівнянню з більшим значенням скоригованого коефіцієнта детермінації (при включенні додаткового регресора \bar{R}_T^2 відображує втрату ступеня свободи більше чітко, ніж \bar{R}_A^2 , тобто $\bar{R}_T^2 > \bar{R}_A^2$) [4].

4. Обчислюємо коефіцієнти еластичності за формулою:

$$\alpha_i = \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_i} \cdot \frac{\bar{x}_i}{\bar{y}}. \quad (3.20)$$

Отримуємо наступні коефіцієнти: $\alpha_1=2,852209125$, $\alpha_2 = 0,021152967$, $\alpha_3 = 0,144615449$, $\alpha_4 = 0,342319134$. Такі результати означають, що ціна біткоїна збільшиться на 2,85 %, якщо загальна кількість унікальних гаманців збільшиться на 1 %; ціна біткоїна збільшиться на 0,021 %, якщо ціна Ефіріума збільшиться на 1 %; ціна біткоїна збільшиться на 0,15 %, якщо індекс DJIA збільшиться на 1 %; та ціна біткоїна збільшиться на 0,34%, якщо кількість активних біткоїн-адрес збільшиться на 1 %.

Загальна еластичність Y від усіх факторів x_i розраховується за формулою 3.21:

$$\alpha = \sum_{i=1}^m \alpha_i \quad (3.21)$$

та дорівнює $\alpha = 3,360296676$.

Загальна еластичність показує, що ціна біткоїна збільшиться на 3,36%, якщо одночасно збільшити на 1% усі фактори (кіл-сть унікальних гаманців, ціну Ефіріума, індекс DJIA та кіл-сть активних біткоїн-адрес).

5. Знайдемо довірчі інтервали для математичного сподівання \hat{y} і для кожного спостереження $X_i = (x_{1(i)}, x_{2(i)}, x_{3(i)}, x_{4(i)})$ (див. Додаток Е):

$$\left(\hat{y}_i - t_{\frac{\alpha}{2}, k} \hat{S}_u \sqrt{X_i' (X'X)^{-1} X_i}; \quad \hat{y}_i + t_{\frac{\alpha}{2}, k} \hat{S}_u \sqrt{X_i' (X'X)^{-1} X_i} \right), \quad (3.22)$$

де \hat{S}_u – незміщена оцінка дисперсії залишків.

6. Побудуємо довірчі інтервали для параметрів регресії. Довірчі інтервали для параметрів a обчислюються так:

$$\left(\hat{a} - t_{\frac{\alpha}{2}, k} \hat{S}_u \sqrt{\sigma_u^2 c_{jj}}; \quad \hat{a} + t_{\frac{\alpha}{2}, k} \hat{S}_u \sqrt{\sigma_u^2 c_{jj}} \right), \quad (3.23)$$

де c_{jj} – діагональний елемент матриці $(X'X)^{-1}$; $\hat{S}_u = 0,197571$; $t_{табл.}(0, 025, 110) = 1,9817653$.

Отримаємо: $a_0 \in (-27,190; -17,074)$, $a_1 \in (1,135; 1,887)$, $a_2 \in (0,00028; 0,00050)$, $a_3 \in (2,6742; 7,1225)$, $a_4 \in (-0,124; 0,592)$.

7. Обчислимо прогнозні значення за допомогою Excel-функції – ПРЕДСКАЗ (таблиця 3.4) і знайдемо межі довірчого інтервалу для математичного сподівання значення $y_{пр}$:

а) для розрахунку прогнозних значень $y_{pi} = Y_{пр}$ у рівняння (3.4):

$$y = -22,13224 + 1,511x_1 + 0,00039x_2 + 4,89833x_3 + 0,234228x_4 \quad (3.24)$$

б) підставимо прогнозні значення факторів $x_{1пр} = 18,0522$, $x_{2пр} = 1291,41$; $x_{3пр} = 30645,39$; $x_{4пр} = 13,9539$, тоді отримуємо: $y_{пр} = 10,416$.

в) знайдемо межі інтервального прогнозу індивідуального значення (для $k = n - m - 1 = 110$ ступенів свободи та обраного рівня значущості $\alpha = 0,05$) за формулою:

$$\hat{Y}_{пр} - t_{\frac{\alpha}{2}} \hat{S}_u \sqrt{1 + X'_{пр} (X'X)^{-1} X_{пр}} \leq \hat{Y}_{пр} \leq \hat{Y}_{пр} + t_{\frac{\alpha}{2}} \hat{S}_u \sqrt{1 + X'_{пр} (X'X)^{-1} X_{пр}}, \quad (3.25)$$

де $\hat{Y}_{пр} = 10,416$; $t_{\frac{\alpha}{2}}(0,025; 110) = 1,9817653$; $\hat{S}_u = 0,197571$; $X_{пр} = (18,0522; 1291,41; 30645,39; 13,9539)$. Отримуємо інтервальний прогноз індивідуального значення: $(5,34; 15,49)$.

г) знайдемо межі довірчого інтервалу для математичного сподівання значення $y_{пр}$ за формулою:

$$\hat{Y}_{пр} - t_{\frac{\alpha}{2}} \hat{S}_u \sqrt{X'_{пр} (X'X)^{-1} X_{пр}} \leq M(Y_{пр}) \leq \hat{Y}_{пр} + t_{\frac{\alpha}{2}} \hat{S}_u \sqrt{X'_{пр} (X'X)^{-1} X_{пр}}. \quad (3.26)$$

Отримуємо довірчий інтервал для математичного сподівання нашого прогнозного значення: (5,36; 15,47).

Отож у результаті оцінювання параметрів за МНК ми отримали оцінки $\hat{a}_0 = -22,13224$, $\hat{a}_1 = 1,511$, $\hat{a}_2 = 0,00039$, $\hat{a}_3 = 4,89833$, $\hat{a}_4 = 0,234228$. Оцінка $\hat{a}_1 = 1,511$ означає, що за незмінних умов збільшення (зменшення) кількості створених унікальних гаманців збільшить (зменшить) ціну біткоїна на 1,511 позначки. Аналогічно з \hat{a}_2 , \hat{a}_3 та \hat{a}_4 . При цьому ціна біткоїна збільшиться на 2,85 %, якщо загальна кількість унікальних гаманців збільшиться на 1 %; на 0,021 %, якщо ціна Ефіріума збільшиться на 1 %; на 0,15 %, якщо індекс DJIA збільшиться на 1 %; та на 0,34%, якщо кількість активних біткоїн-адрес збільшиться на 1 %. Якщо одночасно збільшити на 1 % усі чинники, ціна біткоїна збільшиться на 3,36 %. Маючи наступні залежності, а також наступні припущені прогнозні значення факторів $x_{1пр} = 18,0522$, $x_{2пр} = 1291,41$; $x_{3пр} = 30645,39$; $x_{4пр} = 13,9539$, можна казати, що прогнозне значення ціни Біткоїна становитиме 10,416 (ріст 11 % від попередньої значення).

ВИСНОВКИ

Неспинний світ технологій надає людству можливість постійно модернізувати своє життя. Ненадійність, керованість, схильність до кібератак та інші недоліки сучасних економічних інформаційних систем також створює необхідне середовище для розквіту блокчейну. Блокчейн-технологія вже дуже скоро може прийти на зміну застарілим фінансовим системам, пропонуючи децентралізований характер свого механізму.

У першій частині дипломної роботи нам вдалося ознайомитися з сутністю роботи блокчейну та дізнатися, як він зашифровує та зберігає дані про транзакції. Було встановлено, що блокчейн може класифікуватися за різними критеріями, зокрема на основі доступу до блокчейну (інклюзивний та ексклюзивний), а також на основі доступу до блокчейн даних (відкритий та закритий). Був зроблений висновок, що основним функціональним відгалуженням блокчейн-технології можна вважати смарт-контракти.

Далі ми проаналізували перспективи використання блокчейн-технології за допомогою визначення слабких і сильних сторін, а також можливостей та загроз. До основних недоліків потрапили такі аспекти, як обмежений розмір блокчейна, що призводить до уповільнення проходження транзакцій, а також безанонімність учасників та створення «блокчейн-картелів». Основними плюсами можна вважати можливості створення нових криптовалют, безпечніше та прозоріше середовище проведення фінансових операцій тощо. Перспективи блокчейн-технології були підтверджені існуванням низки проєктів у різних сферах економіки, які вже успішно оперують у цій системі.

Нам також вдалося ознайомитися з платформою та однойменною криптовалютою Ефіріум, яка надає можливості створювати децентралізовані застосунки, які від звичайних відрізняються способом отримання та зберігання інформації. Аналіз галузевої літератури показав, що децентралізовані застосунки можуть використовуватися у низці сфер, зокрема у зборах коштів, у ринках передбачень, у сфері фінансових послуг, сек'юритизації активів тощо.

У третьому розділі ми визначили, що таке криптовалюта та її сучасна роль у фінансовій системі. Була продемонстрована загальна ринкова капіталізація крипто валютного ринку, визначені найбільш популярні криптовалюти, якими стали *Bitcoin* та *Ethereum*. Ми також визначили основні переваги торгівлі цифровими валютами, а саме висока волатильність, безперервність, транзакції між рівноправними учасниками та особливий статус учасників.

Останній підрозділ був присвячений регресійному аналізу ціни криптовалюти Біткоїн. Дослідження показало наявність детермінованості ціни Біткоїна такими чинниками, як ціною Ефіріума, загальною кількістю створених унікальних гаманців на платформі *Blockchain.com*, індекс *Dow Jones Industrial Average*, а також кількість активних біткоїн-адрес. Було встановлено, що ціна біткоїна збільшиться на 2,85 %, якщо загальна кількість унікальних гаманців збільшиться на 1 %; на 0,021 %, якщо ціна Ефіріума збільшиться на 1 %; на 0,15 %, якщо індекс DJIA збільшиться на 1 %; та на 0,34%, якщо кількість активних біткоїн-адрес збільшиться на 1 %. Якщо одночасно збільшити на 1 % усі чинники, ціна біткоїна збільшиться на 3,36 %. Наявні залежності, а також прогнозні значення факторів $X_{1пр}$, $X_{2пр}$, $X_{3пр}$ та $X_{4пр}$ можна казати, що прогнозне значення ціни Біткоїна становитиме 10.416, що означає ріст на 11% від попередньої значення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у дослідженні ступеня впливу різних зовнішніх чинники, як-от ціна Ефіріума чи індекс *Dow Jones Industrial Average*, на ціну криптовалюти Біткоїн, що дозволяє у подальшому зважати на ці чинники для побудови своїх прогнозів та торгових стратегій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Давидова І. Технологія блокчейн: перспектива розвитку в Україні. Часопис цивілістики. 2017. Вип. 26. С. 38–41.
2. Економіка енергетики : підручник / за ред. Л. Г. Мельника, І. М. Сотник. – Суми: Університетська книга, 2015. – 378 с. (<https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/45315>)
3. Економіка підприємства : підручник / за заг. ред. д.е.н., проф. Л. Г. Мельника. - Суми : Університетська книга, 2012. - 864 с
4. Лещинський О. Л. Економетрія: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.: / Лещинський О.Л., Рязанцева В. В., Юнькова О. О. Київ: ДП "Видавничий дім «Персонал», 2008. 208 с.
5. Маценко О. М., Іващенко І. Ю. Вплив інноваційного розвитку на економічні процеси. *Економічні проблеми сталого розвитку* : тези доповідей науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів та студентів факультету економіки та менеджменту присвяченої дню науки в Україні, 19–23 квітня 2010 р. Суми : СумДУ, 2010. Ч.І. С. 102–103.
6. Маценко О. М., Пронікова Ж. С. Еколого-економічні ризики суспільства споживання. *Економічні проблеми сталого розвитку* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції імені проф. Балацького О.Ф., м. Суми, 11-12 травня 2016 р.: у 2-х т. / за заг. ред. О. В. Прокопенко. Суми : СумДУ, 2016. Т.1. С. 89–91.
7. Мельник, Л., Ковальов, Б. (2020). Проривні технології в економіці і бізнесі (Досвід ЄС та практика України у світлі III, IV, і V промислових революцій. Сумський державний університет, с. 180. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/79621>
8. Мотиваційні механізми дематеріалізаційних та енерго-ефективних змін національної економіки : монографія / за заг. ред. доктора екон. наук, проф. І. М. Сотник. – Суми : Університетська книга, 2016. – 368 <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80197>

9. Ріт Ю. Преимущества и недостатки технологии блокчейн. *Magazine Decenter*. URL: <https://magazine.decenter.org/ru/1-blokchein-i-kriptoalyuty/2-preimushstva-i-nedostatki-tekhnologii-blokchein> (дата звернення: 23.05.21).
10. Сотник І. Підприємництво, торгівля та біржова діяльність / І. Сотник, Л. Таранюк. – К.: Універсальна книга, 2018. – 572с. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80114>
11. Хардфорк. *BitcoinWiki*. URL: <https://ru.bitcoinwiki.org/wiki/Хардфорк> (дата звернення: 20.04.21).
12. Экономика и бизнес: учебник / под ред. д.э.н., проф. Л. Г. Мельника, д.э.н., доц. А. И. Каринцевой. – Сумы : Университетская книга, 2018. – 608 с. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80201>
13. Экономика развития: учебное пособие / под ред. д.-ра экон. наук, проф. Л. Г. Мельника, канд. экон. наук А. Вик. Кубатко. Сумы : «Университетская книга», 2017. 352 с. https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/80184/1/%d0%adkonomyka_razvytyia.pdf
14. Augur.net. URL: <https://www.augur.net/> (дата звернення: 19.04.21).
15. Babenko, V., Matsenko, O., Voronenko, V., Nikolaiev, S., & Kazak, D. (2020). Economic prospects for cooperation the European Union and Ukraine in the use of blockchain technologies. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series: International Relations. Economics. Country Studies. Tourism* (12), P. 8–17.
16. Bahga, A., Madisetti, V. K. Blockchain Platform for Industrial Internet of Things. *Journal of Software Engineering and Applications*. 2016. Vol. 09, No. 10. P. 533–546.
17. Blockchain and Crypt Currency Building a High Quality Marketplace for Crypt Data / ed. Yano, M., Dai, C., Masuda, K., et al. Singapore: Springer Open, 2020. 150 p.
18. Bloomberg, J. Eight Reasons To Be Skeptical About Blockchain. *Forbes*. URL: <https://www.forbes.com/sites/jasonbloomberg/2017/05/31/eight-reasons-to-be-skeptical-about-blockchain/?sh=37b987e5eb19> (дата звернення: 23.05.21).

19. Borchgrevink, J. Blockchain Voting Used By Danish Political Party. *CCN*. URL: <https://www.ccn.com/blockchain-voting-used-by-danish-political-party/> (дата звернення: 20.04.21).
20. Buterin, V. A next-generation smart contract and decentralized application platform. *Ethereum*. January, 2014. P. 1–36.
21. Conway, L. The 10 Most Important Cryptocurrencies Other Than Bitcoin. *Investopedia*. URL: <https://www.investopedia.com/tech/most-important-cryptocurrencies-other-than-bitcoin/> (дата звернення: 20.05.21).
22. Decentralized Applications (Dapps). Ethereum-powered tools and services. *Ethereum*. URL: <https://ethereum.org/en#what-are-dapps> (дата звернення: 05.04.21).
23. Delmolino, K., Arnett, M., Kosba, A., et al. Step by Step towards Creating a Safe Smart Contract: Lessons and Insights from a Cryptocurrency Lab. *International Conference on Financial Cryptography and Data Security*. 2016. P. 1–15.
24. Doran, M. Information Security Reading Room A Forensic Look at Bitcoin Cryptocurrency. *SANS Institute*. 2015. P. 34.
25. Eyal, I. Blockchain Technology : Cryptocurrency Dreams to Finance and Banking. *Computer- IEE Computer Society*. 2017. P. 38–49.
26. Fang, F., Ventre, C., Basios, M., et al. Cryptocurrency Trading: A Comprehensive Survey. *eprint arXiv:2003.11352*. 2020. P. 1–30.
27. Gitcoin.co. URL: <https://gitcoin.co/> (дата звернення: 19.04.21).
28. Global Cryptocurrency Charts. *CoinMarketCap*. URL: <https://coinmarketcap.com/charts/> (дата звернення: 19.04.21).
29. How Many Bitcoins Are There Now in Circulation? *BuyBitcoinWorldwide*. URL: <https://www.buybitcoinworldwide.com/how-many-bitcoins-are-there/> (дата звернення: 05.04.21).
30. Kubatko, O. V., Chortok, Y. V., Honcharenko, O. S., Nechyporenko, R. M., & Moskalenko, I. M. (2019). Studying Features of Vehicle Type Selection by Trade and Logistics Enterprise. Mechanism of economic regulation. – 2019. – №3. – С. 73–82. <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76448>

31. Lee, J. Y. A decentralized token economy: How blockchain and cryptocurrency can revolutionize business. *Business Horizons*. 2019. Vol. 62, No. 6. P. 773–784.

32. Lemieux, V. L. A typology of blockchain recordkeeping solutions and some reflections on their implications for the future of archival preservation. *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2017*. 2017. No. 1. P. 2271–2278.

33. Maesa, D. D. F., Mori, P. Blockchain 3.0 applications survey. *Journal of Parallel and Distributed Computing*. 2020. Vol. 138. P. 99–114.

34. Melnyk L., Sommer H., Kubatko O., Rabe M., Fedyna S. (2020). The economic and social drivers of renewable energy development in OECD countries. *Problems and Perspectives in Management*, 18(4), 37-48. doi:10.21511/ppm.18(4).2020.04

35. Melnyk L.G., Kubatko O. The impact of green-innovations on environmental quality and energy resource consumption. *International economic relations and sustainable development : monograph / edited by Dr. of Economics, Prof. O. Prokopenko, Ph.D in Economics T. Kurbatova. – RudaŚląska :Drukarnia i Studio GraficzneOmnidium, 2017. – 272 p. ISBN 978-83-61429-11-1*

36. Melnyk, L., Dehtyarova, I., Kubatko, O., Karintseva, O., & Derykolenko, A. (2019). Disruptive technologies for the transition of digital economies towards sustainability. *Economic Annals-XXI*, 179(9-10), 22-30. doi:<https://doi.org/10.21003/ea.V179-02>

37. Melnyk, L., Derykolenko, O., Kubatko, O., & Matsenko, O. (2019). Business models of reproduction cycles for digital economy. *CEUR Workshop Proceedings*, 2393, 269–276.

38. Melnyk, L., Matsenko, O., Dehtyarova, I. & Derykolenko, O. (2019). The formation of the digital society: social and humanitarian aspects. *Digital economy and digital society*. T. Nestorenko& M. Wierzbik-Strońska (Ed.). Katowice: Katowice School of Technology. [in Ukrainian].URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74570>

39. Mempool. *Academy* *Binance*. URL: <https://academy.binance.com/en/glossary/mempool> (дата звернення: 23.05.21).
40. Nakamoto, S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System: URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (дата звернення: 14.03.21).
41. Polymarket.com. URL: <https://polymarket.com/> (дата звернення: 19.04.21).
42. Prediction market. *Wikipedia. The Free Encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Prediction_market (дата звернення: 19.04.21).
43. Provenance.org. URL: <https://www.provenance.org/> (дата звернення: 19.04.21).
44. Rennock, M. J. W., Cohn, A., Butcher, J. R. Blockchain Technology Regulatory and Investigations. *The Journal Litigation*. March, 2018. P. 34–44.
45. Reyna, A., Martín, C., Chen, J., et al. On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*. 2018. Vol. 88, No. 2018. P. 173–190.
46. Russian interference in the 2016 United States elections. *Wikipedia. The Free Encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Russian_interference_in_the_2016_United_States_elections (дата звернення: 20.04.21).
47. Slock.it. URL: <https://www.blockchains.com/> (дата звернення: 25.04.21).
48. Sozzi, B. Bitcoin is officially a new asset class: Goldman Sachs. *Yahoo Finance*. URL: <https://finance.yahoo.com/news/bitcoin-is-officially-a-new-asset-class-goldman-sachs-103540636.html> (дата звернення: 25.05.21).
49. Swan, M. Blockchain: Blueprint for a new economy: *O'Reilly Media, Inc*. 2015. 123 p.
50. Talin, B. Blockchain – 28 Opportunities And Applications Of Distributed Ledger Technology (DLT). *MoreThanDigital*. URL: <https://morethandigital.info/en/blockchain-possibilities-applications-use-cases-distributed-ledger-technology/> (дата звернення: 17.05.21).

51. Thakur, S., Kulkarni, V. Blockchain and Its Applications – A Detailed Survey. *International Journal of Computer Applications*. 2017. Vol. 180, No. 3. P. 29–35.
52. The DAO (organization). *Wikipedia. The Free Encyclopedia*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/The_DAO_\(organization\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_DAO_(organization)) (дата звернення: 20.04.21).
53. The effects of the management of natural energy resources in the European Union / V. Voronenko, B. Kovalov, D. Horobchenko, P. Hrycenko // *Journal of Environmental Management and Tourism*. – Craiova: ASERS Publishing, 2017. – Vol. 8, Issue Number 7(23), P. 1410-1419. Available at: <https://journals.aserspublishing.eu/jemt/article/view/1777>
54. Tornado.cash: URL: <https://tornado.cash/> (дата звернення: 19.04.21).
55. Trautmat, L. J., Dorman, T. Bitcoin as Asset Class. 2018. P. 51.
56. Viriyasitavat, W., Xu, L. Da, Bi, Z., et al. Blockchain and Internet of Things for Modern Business Process in Digital Economy - The State of the Art. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*. 2019. Vol. 6, No. 6. P. 1420–1432.
57. Wang, H., Chen, K., Xu, D. A maturity model for blockchain adoption. *Financial Innovation*. 2016. Vol. 2, No. 1.
58. Wang, S., Yuan, Y., Wang, X., et al. An Overview of Smart Contract: Architecture, Applications, and Future Trends. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*. 2018. No. 5. P. 108–113.
59. Wayner, P. The hidden dangers of blockchain: An essential guide for enterprise use. *Techbeacon*. URL: <https://techbeacon.com/security/hidden-dangers-blockchain-essential-guide-enterprise-use> (дата звернення: 17.05.21).
60. Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., et al. An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends. *Proceedings - 2017 IEEE 6th International Congress on Big Data, BigData Congress 2017*. 2017. P. 557–564.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1

Вихідні дані регресивної моделі $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + u$

Дата	(y) Ціна біткоїна	(x ₁) Загальна кількість створених унікальних гаманців на Blockchain.com	(x ₂) Ціна Ethereum	(x ₃) Dow Jones Industrial Average	(x ₄) Кількість активних біткоїн-адрес
01.03.2019	8,242672132	17,33546828	134,82	26026,32	13,49220545
08.03.2019	8,258381011	17,34181226	136,81	25450,24	13,47514194
15.03.2019	8,26238868	17,34720975	131,37	25848,87	13,48583219
22.03.2019	8,287732227	17,35257826	134,8	25502,32	13,49091136
29.03.2019	8,296139954	17,35783127	137,31	25928,68	13,54703878
05.04.2019	8,491998453	17,36736682	157,04	26424,99	13,69213768
12.04.2019	8,527066292	17,38007318	165,54	26412,3	13,55799034
19.04.2019	8,571029649	17,3903811	173,61	26559,54	13,58127825
26.04.2019	8,543295542	17,40412759	154,25	26543,33	13,55299318
03.05.2019	8,595242529	17,42030163	160,97	26504,95	13,59676607
10.05.2019	8,725781731	17,43817008	170,99	25942,37	13,57264378
17.05.2019	8,964450064	17,45080462	260,33	25764	13,71791868
24.05.2019	8,975105262	17,46388047	245,99	25585,69	13,66579055
31.05.2019	9,022448128	17,47542453	253,27	24815,04	13,55352612
07.06.2019	8,941881674	17,48296206	243,54	25983,94	13,66401884
14.06.2019	9,018782693	17,49008823	255,81	26089,61	13,84813359
21.06.2019	9,165332546	17,49728987	271,83	26719,13	13,641544
28.06.2019	9,313462685	17,50473995	296,11	26599,96	13,82382192
05.07.2019	9,362676836	17,50922829	293,15	26922,12	13,61774719
12.07.2019	9,334692009	17,51411755	267,73	27332,03	13,71833424

Продовження таблиці А.1

Дата	(у) Ціна біткоїна	(х ₁) Загальна кін-сть створених унікальних гаманців на Blockchain.com	(х ₂) Ціна Ethereum	(х ₃) Dow Jones Industrial Average	(х ₄) Кількість активних біткоїн-адрес
19.07.2019	9,268925268	17,51844084	224,24	27154,2	13,51600688
26.07.2019	9,192932734	17,52360423	219,68	27192,45	13,53356931
02.08.2019	9,210869232	17,52783795	217,31	26485,01	13,56174155
09.08.2019	9,377333378	17,53185925	219,21	26287,44	13,52758712
16.08.2019	9,248266016	17,53525864	187,37	25886,01	13,44918924
23.08.2019	9,226327888	17,5393227	193,73	25628,9	13,58019953
30.08.2019	9,157781013	17,54303364	168,96	26403,28	13,49970606
06.09.2019	9,266372819	17,54706629	174,98	26797,46	13,57967303
13.09.2019	9,24925046	17,55155982	181,29	27219,52	13,54335532
20.09.2019	9,232445249	17,55546328	220,45	26935,07	13,50285387
27.09.2019	9,000015558	17,55859407	166,7	26820,25	13,46040153
04.10.2019	9,012357616	17,56242304	175,13	26573,72	13,4769758
11.10.2019	9,057438579	17,56506169	192,2	26816,59	13,49640524
18.10.2019	8,994428112	17,57017775	176,39	26770,2	13,42348523
25.10.2019	8,9173938	17,57389275	161,07	26958,06	13,57921211
01.11.2019	9,119475398	17,57775664	181,57	27347,36	13,58618921
08.11.2019	9,129833973	17,58158251	187,07	27681,24	13,49199541
15.11.2019	9,066120056	17,58502485	184,72	28004,89	13,54667641
22.11.2019	8,937578439	17,59054477	160,52	27875,62	13,60307819
29.11.2019	8,90791143	17,59553243	150,41	28051,41	13,5078176
06.12.2019	8,909071752	17,60029093	147,83	28015,06	13,51975061
13.12.2019	8,880484002	17,60489124	144,51	28135,38	13,50009957
20.12.2019	8,874527718	17,60489124	127,27	28455,09	13,47552696
27.12.2019	8,879571242	17,60489124	125,26	28645,26	13,46752348

Продовження таблиці А.1

Дата	(у) Ціна біткоїна	(х1) Загальна кількість створених унікальних гаманців на Blockchain.com	(х2) Ціна Ethereum	(х3) Dow Jones Industrial Average	(х4) Кількість активних біткоїн-адрес
03.01.2020	8,847286555	17,610775	127,06	28634,88	13,47612528
10.01.2020	8,962993776	17,610775	137,49	28823,77	13,57294461
17.01.2020	9,072415341	17,61818734	163,94	29348,1	13,53771017
24.01.2020	9,034091141	17,6289721	162,67	28989,73	13,50491872
31.01.2020	9,163781117	17,63287117	186,26	28256,03	13,55789072
07.02.2020	9,144541323	17,63798078	211,29	29102,51	13,67462533
14.02.2020	9,231915936	17,64169241	266,25	29398,08	13,49944959
21.02.2020	9,172792179	17,64558571	259,71	28992,41	13,55515178
28.02.2020	9,080687164	17,64885825	228,59	25409,36	13,5895004
06.03.2020	9,113673072	17,65207699	229,41	25864,78	13,60033518
13.03.2020	8,665649403	17,65573676	127,29	23185,62	13,56937981
20.03.2020	8,748473152	17,66026064	140,81	19173,98	13,50811273
27.03.2020	8,813066623	17,66523254	136,62	21636,78	13,64046646
03.04.2020	8,83208568	17,66990445	142,51	21052,53	13,53366608
10.04.2020	8,89861421	17,67514493	170,9	23719,37	13,51381475
17.04.2020	8,877183832	17,68052581	174,07	24242,49	13,65198995
24.04.2020	8,930894952	17,68527303	189,04	23775,27	13,70471418
01.05.2020	9,078826372	17,69076584	210,62	23723,69	13,7585867
08.05.2020	9,200358721	17,69649687	212,97	24331,32	13,76729988
15.05.2020	9,185771002	17,70207216	203,77	23685,42	13,7059769
22.05.2020	9,120541477	17,70969541	200,29	24465,16	13,58899257
29.05.2020	9,159838343	17,71548122	216,52	25383,11	13,65467492
05.06.2020	9,191297196	17,72040824	243,41	27110,98	13,72529478
12.06.2020	9,133548956	17,72553156	230,51	25605,54	13,73055924

Продовження таблиці А.1

Дата	(у) Ціна біткоїна	(х ₁) Загальна кількість створених унікальних гаманців на Blockchain.com	(х ₂) Ціна Ethereum	(х ₃) Dow Jones Industrial Average	(х ₄) Кількість активних біткоїн-адрес
19.06.2020	9,148320277	17,73015014	231,81	25871,46	13,76662384
26.06.2020	9,132663114	17,73593815	232,57	25015,55	13,74755394
03.07.2020	9,115787905	17,74096298	226,72	25827,36	13,75924704
10.07.2020	9,130879328	17,74635532	241,79	26075,3	13,79937305
17.07.2020	9,119734908	17,7522652	233,09	26671,95	13,65811378
24.07.2020	9,171327157	17,75757768	275,81	26469,89	13,89394644
31.07.2020	9,316403441	17,76386549	336,21	26428,32	13,87514646
07.08.2020	9,375585283	17,76988399	395,09	27433,48	13,86603541
14.08.2020	9,371793183	17,77460797	426,52	27931,02	13,90078969
21.08.2020	9,378723573	17,78031575	414,89	27930,33	13,90227707
28.08.2020	9,332745598	17,7847642	381,53	28653,87	13,89262159
04.09.2020	9,279205769	17,78943737	399,87	28133,31	13,82356404
11.09.2020	9,243873789	17,79347111	367,13	27665,64	13,77667617
18.09.2020	9,299916873	17,79821567	389,32	27657,42	13,78735488
25.09.2020	9,275468719	17,8028451	348,99	27173,96	13,9536207
02.10.2020	9,271115571	17,80808076	352,03	27682,81	13,80378407
09.10.2020	9,29629786	17,8128485	350,95	28586,9	13,82273937
16.10.2020	9,350497888	17,81894524	378,24	28606,31	13,80378913
23.10.2020	9,48346728	17,82538596	417,63	28335,57	13,80201287
30.10.2020	9,508051733	17,83104637	386,09	26501,6	13,70779839
06.11.2020	9,643714378	17,83733819	416,51	28323,4	13,89701957
13.11.2020	9,696051859	17,85492364	462,34	29479,81	13,81740776
20.11.2020	9,795616109	17,88171281	473,57	29263,48	13,98308474
27.11.2020	9,751932418	17,89995629	520,83	29910,37	13,90926498

Продовження таблиці А.1

Дата	(у) Ціна біткоїна	(х ₁) Загальна к-сть створених унікальних гаманців на Blockchain.com	(х ₂) Ціна Ethereum	(х ₃) Dow Jones Industrial Average	(х ₄) Кількість активних біткоїн-адрес
04.12.2020	9,876349114	17,91601942	615,41	30218,26	13,88684841
11.12.2020	9,817901341	17,9260565	564,39	30046,37	13,88792238
18.12.2020	10,03871663	17,93709733	645,08	30179,05	13,9923471
25.12.2020	10,07001377	17,95008494	612,57	30199,87	13,84105841
01.01.2021	10,27888925	17,96096006	741,12	30606,48	13,81168826
08.01.2021	10,58944671	17,97218809	1251,05	31097,97	14,02721776
15.01.2021	10,55674616	17,98188116	1177,34	30814,26	14,0015751
22.01.2021	10,32895723	17,99165014	1117,48	30996,98	13,90925406
29.01.2021	10,41655726	18,00056382	1354,96	29982,62	14,00901848
05.02.2021	10,52557499	18,00995683	1628,47	31148,24	14,04382154
12.02.2021	10,76850394	18,01817126	1781,58	31458,4	13,95470625
19.02.2021	10,85376436	18,02895581	1936,72	31494,32	14,03584376
26.02.2021	10,78500898	18,03843888	1524,18	30932,37	13,92965052
05.03.2021	10,78434777	18,0475134	1528,57	31496,3	13,96772422
12.03.2021	10,96191584	18,05313261	1822,23	32778,64	13,98482624
19.03.2021	10,9679067	18,05856244	1790,53	32627,97	13,96578316
26.03.2021	10,86233707	18,06521935	1598,26	33072,88	13,9056885
02.04.2021	10,98503184	18,0709956	1968,17	33153,21	13,91623514
09.04.2021	10,9661429	18,07820452	2069,66	33800,6	14,01686729
16.04.2021	11,05637951	18,08279952	2538,06	34200,67	13,74926498
23.04.2021	10,85832685	18,08836386	2424,22	34043,49	13,9262645
30.04.2021	10,88294649	18,09352299	2760,33	33874,85	13,92566815
07.05.2021	10,94347889	18,09781354	3541,93	34777,76	13,98802754

Додаток Б

Таблиця Б.1

Побудовані вектор-стовпець Y і матриця X

В.с.У	Матриця X				
8,242672	1	17,33547	134,82	26026,32	13,49221
8,258381	1	17,34181	136,81	25450,24	13,47514
8,262389	1	17,34721	131,37	25848,87	13,48583
8,287732	1	17,35258	134,8	25502,32	13,49091
8,29614	1	17,35783	137,31	25928,68	13,54704
8,491998	1	17,36737	157,04	26424,99	13,69214
8,527066	1	17,38007	165,54	26412,3	13,55799
8,57103	1	17,39038	173,61	26559,54	13,58128
8,543296	1	17,40413	154,25	26543,33	13,55299
8,595243	1	17,4203	160,97	26504,95	13,59677
8,725782	1	17,43817	170,99	25942,37	13,57264
8,96445	1	17,4508	260,33	25764	13,71792
8,975105	1	17,46388	245,99	25585,69	13,66579
9,022448	1	17,47542	253,27	24815,04	13,55353
8,941882	1	17,48296	243,54	25983,94	13,66402
9,018783	1	17,49009	255,81	26089,61	13,84813
9,165333	1	17,49729	271,83	26719,13	13,64154
9,313463	1	17,50474	296,11	26599,96	13,82382
9,362677	1	17,50923	293,15	26922,12	13,61775
9,334692	1	17,51412	267,73	27332,03	13,71833
9,268925	1	17,51844	224,24	27154,2	13,51601
9,192933	1	17,5236	219,68	27192,45	13,53357

В.с. Y	Матриця X				
9,210869	1	17,52784	217,31	26485,01	13,56174
9,377333	1	17,53186	219,21	26287,44	13,52759
9,248266	1	17,53526	187,37	25886,01	13,44919
9,226328	1	17,53932	193,73	25628,9	13,5802
9,157781	1	17,54303	168,96	26403,28	13,49971
9,266373	1	17,54707	174,98	26797,46	13,57967
9,24925	1	17,55156	181,29	27219,52	13,54336
9,232445	1	17,55546	220,45	26935,07	13,50285
9,000016	1	17,55859	166,7	26820,25	13,4604
9,012358	1	17,56242	175,13	26573,72	13,47698
9,057439	1	17,56506	192,2	26816,59	13,49641
8,994428	1	17,57018	176,39	26770,2	13,42349
8,917394	1	17,57389	161,07	26958,06	13,57921
9,119475	1	17,57776	181,57	27347,36	13,58619
9,129834	1	17,58158	187,07	27681,24	13,492
9,06612	1	17,58502	184,72	28004,89	13,54668
8,937578	1	17,59054	160,52	27875,62	13,60308
8,907911	1	17,59553	150,41	28051,41	13,50782
8,909072	1	17,60029	147,83	28015,06	13,51975
8,880484	1	17,60489	144,51	28135,38	13,5001
8,874528	1	17,60489	127,27	28455,09	13,47553
8,879571	1	17,60489	125,26	28645,26	13,46752
8,847287	1	17,61078	127,06	28634,88	13,47613
8,962994	1	17,61078	137,49	28823,77	13,57294
9,072415	1	17,61819	163,94	29348,1	13,53771
9,034091	1	17,62897	162,67	28989,73	13,50492
9,163781	1	17,63287	186,26	28256,03	13,55789

В.с. Y	Матриця X				
9,144541	1	17,63798	211,29	29102,51	13,67463
9,231916	1	17,64169	266,25	29398,08	13,49945
9,172792	1	17,64559	259,71	28992,41	13,55515
9,080687	1	17,64886	228,59	25409,36	13,5895
9,113673	1	17,65208	229,41	25864,78	13,60034
8,665649	1	17,65574	127,29	23185,62	13,56938
8,748473	1	17,66026	140,81	19173,98	13,50811
8,813067	1	17,66523	136,62	21636,78	13,64047
8,832086	1	17,6699	142,51	21052,53	13,53367
8,898614	1	17,67514	170,9	23719,37	13,51381
8,877184	1	17,68053	174,07	24242,49	13,65199
8,930895	1	17,68527	189,04	23775,27	13,70471
9,078826	1	17,69077	210,62	23723,69	13,75859
9,200359	1	17,6965	212,97	24331,32	13,7673
9,185771	1	17,70207	203,77	23685,42	13,70598
9,120541	1	17,7097	200,29	24465,16	13,58899
9,159838	1	17,71548	216,52	25383,11	13,65467
9,191297	1	17,72041	243,41	27110,98	13,72529
9,133549	1	17,72553	230,51	25605,54	13,73056
9,14832	1	17,73015	231,81	25871,46	13,76662
9,132663	1	17,73594	232,57	25015,55	13,74755
9,115788	1	17,74096	226,72	25827,36	13,75925
9,130879	1	17,74636	241,79	26075,3	13,79937
9,119735	1	17,75227	233,09	26671,95	13,65811
9,171327	1	17,75758	275,81	26469,89	13,89395
9,316403	1	17,76387	336,21	26428,32	13,87515
9,375585	1	17,76988	395,09	27433,48	13,86604

В.с. Y	Матриця X				
9,371793	1	17,77461	426,52	27931,02	13,90079
9,378724	1	17,78032	414,89	27930,33	13,90228
9,332746	1	17,78476	381,53	28653,87	13,89262
9,279206	1	17,78944	399,87	28133,31	13,82356
9,243874	1	17,79347	367,13	27665,64	13,77668
9,299917	1	17,79822	389,32	27657,42	13,78735
9,275469	1	17,80285	348,99	27173,96	13,95362
9,271116	1	17,80808	352,03	27682,81	13,80378
9,296298	1	17,81285	350,95	28586,9	13,82274
9,350498	1	17,81895	378,24	28606,31	13,80379
9,483467	1	17,82539	417,63	28335,57	13,80201
9,508052	1	17,83105	386,09	26501,6	13,7078
9,643714	1	17,83734	416,51	28323,4	13,89702
9,696052	1	17,85492	462,34	29479,81	13,81741
9,795616	1	17,88171	473,57	29263,48	13,98308
9,751932	1	17,89996	520,83	29910,37	13,90926
9,876349	1	17,91602	615,41	30218,26	13,88685
9,817901	1	17,92606	564,39	30046,37	13,88792
10,03872	1	17,9371	645,08	30179,05	13,99235
10,07001	1	17,95008	612,57	30199,87	13,84106
10,27889	1	17,96096	741,12	30606,48	13,81169
10,58945	1	17,97219	1251,05	31097,97	14,02722
10,55675	1	17,98188	1177,34	30814,26	14,00158
10,32896	1	17,99165	1117,48	30996,98	13,90925
10,41656	1	18,00056	1354,96	29982,62	14,00902
10,52557	1	18,00996	1628,47	31148,24	14,04382
10,7685	1	18,01817	1781,58	31458,4	13,95471

В.с. Y	Матриця X				
10,85376	1	18,02896	1936,72	31494,32	14,03584
10,78501	1	18,03844	1524,18	30932,37	13,92965
10,78435	1	18,04751	1528,57	31496,3	13,96772
10,96192	1	18,05313	1822,23	32778,64	13,98483
10,96791	1	18,05856	1790,53	32627,97	13,96578
10,86234	1	18,06522	1598,26	33072,88	13,90569
10,98503	1	18,071	1968,17	33153,21	13,91624
10,96614	1	18,0782	2069,66	33800,6	14,01687
11,05638	1	18,0828	2538,06	34200,67	13,74926
10,85833	1	18,08836	2424,22	34043,49	13,92626
10,88295	1	18,09352	2760,33	33874,85	13,92567
10,94348	1	18,09781	3541,93	34777,76	13,98803

Додаток В

Таблиця В.1

Транспонована матриця X

№	1	2	3	4	5
X'=	1	1	1	1	1
	17,33546828	17,34181226	17,34720975	17,35257826	17,357831
	134,82	136,81	131,37	134,8	137,31
	26026,32	25450,24	25848,87	25502,32	25928,68
	13,49220545	13,47514194	13,48583219	13,49091136	13,547039

№	6	7	8	9	10	11
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,3673668	17,38007	17,39038	17,40413	17,4203	17,43817
	157,04	165,54	173,61	154,25	160,97	170,99
	26424,99	26412,3	26559,54	26543,33	26504,95	25942,37
	13,6921377	13,55799	13,58128	13,55299	13,59677	13,57264

№	12	13	14	15	16	17
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,4508	17,46388	17,47542	17,48296	17,49009	17,49729
	260,33	245,99	253,27	243,54	255,81	271,83
	25764	25585,69	24815,04	25983,94	26089,61	26719,13
	13,71792	13,66579	13,55353	13,66402	13,84813	13,64154

№	18	19	20	21	22	23
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,50474	17,50923	17,51412	17,51844	17,5236	17,52784
	296,11	293,15	267,73	224,24	219,68	217,31
	26599,96	26922,12	27332,03	27154,2	27192,45	26485,01
	13,82382	13,61775	13,71833	13,51601	13,53357	13,56174

Продовження таблиці В.1

№	24	25	26	27	28	29
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,53186	17,53526	17,53932	17,54303	17,54707	17,55156
	219,21	187,37	193,73	168,96	174,98	181,29
	26287,44	25886,01	25628,9	26403,28	26797,46	27219,52
	13,52759	13,44919	13,5802	13,49971	13,57967	13,54336

№	30	31	32	33	34
X'=	1	1	1	1	1
	17,55546	17,5585941	17,56242304	17,5650617	17,57017775
	220,45	166,7	175,13	192,2	176,39
	26935,07	26820,25	26573,72	26816,59	26770,2
	13,50285	13,46040153	13,4769758	13,4964052	13,42348523

№	35	36	37	38	39	40
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,57389	17,57776	17,58158	17,58502	17,59054477	17,59553
	161,07	181,57	187,07	184,72	160,52	150,41
	26958,06	27347,36	27681,24	28004,89	27875,62	28051,41
	13,57921	13,58619	13,492	13,54668	13,60307819	13,50782

№	41	42	43	44	45	46
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,60029	17,60489	17,60489	17,60489	17,61078	17,61078
	147,83	144,51	127,27	125,26	127,06	137,49
	28015,06	28135,38	28455,09	28645,26	28634,88	28823,77
	13,51975	13,5001	13,47553	13,46752	13,47613	13,57294

Продовження таблиці В.1

№	47	48	49	50	51	52
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,61819	17,62897	17,63287	17,63798	17,64169	17,64559
	163,94	162,67	186,26	211,29	266,25	259,71
	29348,1	28989,73	28256,03	29102,51	29398,08	28992,41
	13,53771	13,50492	13,55789	13,67463	13,49945	13,55515

№	53	54	55	56	57	58
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,64886	17,65208	17,65574	17,66026	17,66523	17,6699
	228,59	229,41	127,29	140,81	136,62	142,51
	25409,36	25864,78	23185,62	19173,98	21636,78	21052,53
	13,5895	13,60034	13,56938	13,50811	13,64047	13,53367

№	59	60	61	62	63	64
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,67514	17,68053	17,68527	17,69077	17,6965	17,70207
	170,9	174,07	189,04	210,62	212,97	203,77
	23719,37	24242,49	23775,27	23723,69	24331,32	23685,42
	13,51381	13,65199	13,70471	13,75859	13,7673	13,70598

№	65	66	67	68	69	70
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,7097	17,71548	17,72041	17,72553	17,73015	17,73594
	200,29	216,52	243,41	230,51	231,81	232,57
	24465,16	25383,11	27110,98	25605,54	25871,46	25015,55
	13,58899	13,65467	13,72529	13,73056	13,76662	13,74755

Продовження таблиці В.1

№	71	72	73	74	75	76
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,74096	17,74636	17,75227	17,75758	17,76387	17,76988
	226,72	241,79	233,09	275,81	336,21	395,09
	25827,36	26075,3	26671,95	26469,89	26428,32	27433,48
	13,75925	13,79937	13,65811	13,89395	13,87515	13,86604

№	77	78	79	80	81	82
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,77461	17,78032	17,78476	17,78944	17,79347	17,79822
	426,52	414,89	381,53	399,87	367,13	389,32
	27931,02	27930,33	28653,87	28133,31	27665,64	27657,42
	13,90079	13,90228	13,89262	13,82356	13,77668	13,78735

№	83	84	85	86	87	88
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,80285	17,80808	17,81285	17,81895	17,82539	17,83105
	348,99	352,03	350,95	378,24	417,63	386,09
	27173,96	27682,81	28586,9	28606,31	28335,57	26501,6
	13,95362	13,80378	13,82274	13,80379	13,80201	13,7078

№	89	90	91	92	93	94
X'=	1	1	1	1	1	1
	17,83734	17,85492	17,88171	17,89996	17,91602	17,92606
	416,51	462,34	473,57	520,83	615,41	564,39
	28323,4	29479,81	29263,48	29910,37	30218,26	30046,37
	13,89702	13,81741	13,98308	13,90926	13,88685	13,88792

Продовження таблиці В.1

№	95	96	97	98	99	100
X' =	1	1	1	1	1	1
	17,9371	17,95008	17,96096	17,97219	17,98188	17,99165
	645,08	612,57	741,12	1251,05	1177,34	1117,48
	30179,05	30199,87	30606,48	31097,97	30814,26	30996,98
	13,99235	13,84106	13,81169	14,02722	14,00158	13,90925

№	101	102	103	104	105	106
X' =	1	1	1	1	1	1
	18,00056	18,00996	18,01817	18,02896	18,03844	18,04751
	1354,96	1628,47	1781,58	1936,72	1524,18	1528,57
	29982,62	31148,24	31458,4	31494,32	30932,37	31496,3
	14,00902	14,04382	13,95471	14,03584	13,92965	13,96772

№	107	108	109	110	111	112
X' =	1	1	1	1	1	1
	18,05313	18,05856	18,06522	18,071	18,0782	18,0828
	1822,23	1790,53	1598,26	1968,17	2069,66	2538,06
	32778,64	32627,97	33072,88	33153,21	33800,6	34200,67
	13,98483	13,96578	13,90569	13,91624	14,01687	13,74926

№	113	114	115
X =	1	1	1
	18,08836	18,09352	18,09781
	2424,22	2760,33	3541,93
	34043,49	33874,85	34777,76
	13,92626	13,92567	13,98803

Таблиця В.2

Добуток транспонованої матриці X' та матриці X

$X'X=$	115	2035,612208	58556,98	3183636,48	1575,9741
	2035,612208	36037,10871	1048292,711	56398169,04	27899,679
	58556,98	1048292,711	77898167,92	1782837747	811182,5
	3183636,48	56398169,04	1782837747	89002795278	43661505
	1575,974121	27899,67949	811182,4963	43661504,59	21600,959

Таблиця В.3

Обернений добуток $X'X$

$(x'x)^{-1}=$	166,8907697	-8,36149010	0,002100436	6,69351	-1,590622
	-8,36149010	0,921124332	-9,47546	-8,83729	-0,558256
	0,002100436	-9,47546	7,6358	-8,75251	-1,6
	6,69351	-8,83729	-8,75251	3,22688	3,37
	-1,59062221	-0,55825620	-1,60364	3,36961	0,8370575

Таблиця В.4

Обернений добуток $X'X$ помножений на транспоновану матрицю X'

№	1	2	3	4	5
$(x'x)^{-1} * x' =$	2,504677038	2,444393384	2,397514145	2,328554467	2,2291645
	-0,16825266	-0,14798083	-0,151984313	-0,14713717	-0,177638
	2,39528	2,88194	2,42321	2,69371	2,2
	1,08689	-8,51285	4,38565E-07	-7,55465	5,709
	0,032104874	0,014054136	0,020210869	0,021293638	0,0654464

Продовження таблиці В.4

№	6	7	8	9	10	11
$(x'x)^{-1}x'$	1,99329778	2,117436	2,02101	1,90931	1,715991	1,588344
	-0,2561122	-0,17021	-0,17578	-0,14535	-0,15519	-0,12124
	1,5931E-05	1,76E-05	1,56E-05	1,34E-05	1,2E-05	1,64E-05
	1,9643E-06	1,69E-06	2,01E-06	2E-06	1,69E-06	-3,8E-07
	0,18143009	0,061907	0,075566	0,044521	0,072011	0,041494

№	12	13	14	15	16	17
$(x'x)^{-1}x'$	1,427336	1,358863	1,404616	1,223642	0,904045	1,24822
	-0,19759	-0,15351	-0,07409	-0,13824	-0,23655	-0,12167
	2,13E-05	2,13E-05	2,94E-05	1,59E-05	1,23E-05	1,06E-05
	-1,8E-06	-2,4E-06	-5,1E-06	-1,2E-06	-1E-06	7,44E-07
	0,154551	0,103787	0,002995	0,091825	0,241801	0,064808

№	18	19	20	21	22	23
$(x'x)^{-1}x'$	0,939013	1,244617	1,017784	1,20021	1,122084	0,989542
	-0,21781	-0,1012	-0,15407	-0,03144	-0,03639	-0,04175
	9,89E-06	9,72E-06	2,12E-06	3,19E-06	1,74E-06	6,89E-06
	1,42E-07	1,1E-06	2,63E-06	2,33E-06	2,46E-06	1,68E-07
	0,212797	0,037951	0,119964	-0,05117	-0,03927	-0,01825

№	24	25	26	27	28	29
$(x'x)^{-1}x'$	1,001011	1,003541	0,75732	0,854131	0,732244	0,793944
	-0,01741	0,036054	-0,03167	0,012187	-0,03279	-0,01271
	8,93E-06	1,1E-05	1,12E-05	3,47E-06	-1,2E-06	-4,2E-06
	-5,3E-07	-1,6E-06	-2,5E-06	1,73E-07	1,38E-06	2,64E-06
	-0,04918	-0,11633	-0,00912	-0,07791	-0,01319	-0,04606

Продовження таблиці В.4

№	30	31	32	33	34
$(x'x)^{-1}x'$	0,888941	0,809704668	0,752530479	0,75167352	0,788570797
	0,012301	0,044991707	0,040645859	0,028466	0,07579461
	1,52E-06	-1,194E-06	9,78851E-07	-4,05E-07	-5,21626E-07
	1,33E-06	1,38724E-06	4,89677E-07	1,1072E-06	1,02611E-06
	-0,08286	-0,119321913	-0,107804108	-0,0932055	-0,156861902

№	35	36	37	38	39	40
$(x'x)^{-1}x'$	0,490201	0,515912	0,667649	0,568617	0,373265113	0,473616
	-0,00793	-0,01365	0,03899	0,008998	0,013968872	0,04321
	-6,2E-06	-8,5E-06	-9,9E-06	-1,4E-05	-1,62185E-05	-1,7E-05
	1,79E-06	2,83E-06	3,79E-06	4,85E-06	4,6126E-06	5,19E-06
	-0,02827	-0,02479	-0,10575	-0,06175	0,017275302	-0,09958

№	41	42	43	44	45	46
$(x'x)^{-1}x'$	0,406994	0,400866	0,42514	0,446378	0,386585	0,267133
	0,041497	0,055956	0,068482	0,07146	0,071999	0,015291
	-1,8E-05	-1,9E-05	-2,3E-05	-2,5E-05	-2,5E-05	-2,8E-05
	5,06E-06	5,43E-06	6,6E-06	7,23E-06	7,13E-06	7,68E-06
	-0,09222	-0,11114	-0,13132	-0,13793	-0,13404	-0,0531

№	47	48	49	50	51	52
$(x'x)^{-1}x'$	0,351852	0,287179	0,170758	0,051586	0,434414	0,272368
	0,034649	0,066176	0,044444	-0,02587	0,067523	0,044218
	-3E-05	-2,8E-05	-2,1E-05	-2,9E-05	-2,5E-05	-2,3E-05
	9,07E-06	7,82E-06	5,23E-06	7,73E-06	8,11E-06	6,85E-06
	-0,08698	-0,12055	-0,07901	0,015732	-0,13375	-0,08933

№	53	54	55	56	57	58
$(x'x)^{-1}x'$	-0,11483	-0,12677	-0,50196	-0,68245	-0,7785	-0,67442
	0,06267	0,055484	0,109489	0,18203	0,091355	0,159885
	5,26E-06	8,55E-07	1,67E-05	5,34E-05	2,89E-05	3,57E-05
	-4,5E-06	-3E-06	-1,1E-05	-2,4E-05	-1,6E-05	-1,8E-05
	-0,06312	-0,0557	-0,08292	-0,1383	-0,02939	-0,12169

Продовження таблиці В.4

№	59	60	61	62	63	64
$(\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'=$	-0,44853	-0,67163	-0,79502	-0,88477	-0,90094	-0,91257
	0,149537	0,072433	0,050082	0,023478	0,018301	0,06425
	1,44E-05	7,3E-06	1,12E-05	1,2E-05	6,13E-06	1,15E-05
	-9,7E-06	-8E-06	-9,7E-06	-1E-05	-8,2E-06	-1E-05
	-0,14079	-0,02801	0,013078	0,054743	0,059004	0,00449

№	65	66	67	68	69	70
$(\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'=$	-0,74535	-0,80267	-0,78406	-0,96314	-1,03859	-1,11235
	0,130018	0,08903	0,036326	0,052633	0,034281	0,05775
	5,6E-06	-2,8E-06	-1,7E-05	-5,8E-06	-9,1E-06	-1,8E-06
	-7,8E-06	-5E-06	3,13E-07	-4,5E-06	-3,7E-06	-6,5E-06
	-0,09737	-0,04557	0,010943	0,012189	0,039868	0,020373

№	71	72	73	74	75	76
$(\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'=$	-1,13091	-1,19158	-0,99464	-1,33797	-1,23656	-1,08144
	0,049231	0,028178	0,108033	-0,02099	-0,01006	-0,01389
	-1E-05	-1,2E-05	-1,6E-05	-1,6E-05	-1,1E-05	-1,6E-05
	-3,9E-06	-3,2E-06	-1,3E-06	-2,3E-06	-3E-06	-3,6E-07
	0,027723	0,058143	-0,06306	0,130628	0,110399	0,098807

№	77	78	79	80	81	82
$(\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'=$	-1,0769	-1,15147	-1,19494	-1,1205	-1,17971	-1,19031
	-0,03632	-0,03078	-0,02453	0,021192	0,058318	0,054697
	-1,9E-05	-2E-05	-2,9E-05	-2,3E-05	-2,1E-05	-1,9E-05
	9,37E-07	9,87E-07	3,57E-06	1,67E-06	3,92E-07	1,33E-07
	0,124925	0,12317	0,113383	0,0525	0,011367	0,017299

№	83	84	85	86	87	88
$(\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'=$	-1,61056	-1,37556	-1,38733	-1,34954	-1,33596	-1,42243
	-0,02576	0,057921	0,043843	0,057281	0,062865	0,139871
	-2,1E-05	-2,4E-05	-3,2E-05	-3,1E-05	-2,6E-05	-1,1E-05
	-1,1E-06	4,59E-07	3,35E-06	3,11E-06	1,84E-06	-3,9E-06
	0,154372	0,02615	0,039677	0,01998	0,014175	-0,06796

Продовження таблиці В.4

№	89	90	91	92	93	94
$(\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'=$	-1,59018	-1,43692	-1,91534	-1,8079	-1,68729	-1,89159
	0,021051	0,067131	0,000164	0,047984	0,063612	0,078611
	-2,9E-05	-3,6E-05	-3,8E-05	-4,1E-05	-3,7E-05	-4,1E-05
	1,74E-06	4,88E-06	3,91E-06	5,39E-06	5,41E-06	5,21E-06
	0,087042	0,01024	0,133713	0,061197	0,032053	0,028109

№	95	96	97	98	99	100
$(\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'=$	-1,97164	-1,90649	-1,65347	-0,98621	-1,20028	-1,24862
	0,021667	0,120985	0,131624	-0,03102	0,001719	0,066314
	-3,8E-05	-4E-05	-3,4E-05	-4,1E-06	-7,8E-06	-1,3E-05
	4,87E-06	5,06E-06	5,14E-06	2,24E-06	1,87E-06	2,87E-06
	0,108106	-0,02525	-0,05783	0,108297	0,082508	0,000797

№	101	102	103	104	105	106
$(\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'=$	-1,05093	-0,53231	-0,11689	-0,00786	-0,82237	-0,91184
	0,005292	-0,0417	-0,00164	-0,05201	0,06006	0,041764
	1,12E-05	2,04E-05	3E-05	3,93E-05	1,35E-05	7,41E-06
	-2,5E-06	-1,2E-06	-1,7E-06	-3E-06	-1,3E-06	4,07E-07
	0,07518	0,095075	0,013544	0,072964	-0,01479	0,01213

№	107	108	109	110	111	112
$(\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'=$	-0,28338	-0,37516	-0,7093	0,007975	0,044136	1,441993
	-0,00177	0,018202	0,072169	0,035842	-0,02903	0,07667
	1,78E-05	1,65E-05	-1,8E-06	2,51E-05	2,49E-05	6,1E-05
	1,93E-06	1,67E-06	4,71E-06	1,68E-06	2,85E-06	-8,8E-08
	0,019031	0,000518	-0,05027	-0,05057	0,028232	-0,20571

№	113	114	115
$(\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'=$	0,864292	1,516793	3,083864
	-0,00484	-0,03011	-0,14301
	5,03E-05	7,7E-05	0,000127
	4,12E-07	-3,1E-06	-7,1E-06
	-0,05888	-0,06771	-0,03014

Додаток Г

Таблиця Г.1

\hat{Y} -вектор значень \hat{y}_i , залишки моделі (\hat{u}_i) відносна похибка значень регресії (δ_i)

\hat{y}	\hat{u}_i	δ_i
8,547975776	-0,3053	-3,571648446
8,526121204	-0,26774	-3,140234422
8,554187477	-0,2918	-3,411180754
8,547849542	-0,26012	-3,043073155
8,590795301	-0,29466	-3,429896034
8,671185456	-0,17919	-2,066464893
8,661652234	-0,13459	-1,553813744
8,693037264	-0,12201	-1,403509631
8,698846568	-0,15555	-1,788179912
8,734274873	-0,13903	-1,591801793
8,731968797	-0,00619	-0,070855342
8,811150199	0,1533	1,739839427
8,804376789	0,170728	1,939131825
8,76061042	0,261838	2,988806656
8,851345881	0,090536	1,022847757
8,915193474	0,103589	1,161940222
8,914761897	0,250571	2,810738541
8,972333622	0,341129	3,802010455
8,94547413	0,417203	4,663841176
8,986598413	0,348094	3,87347448
8,920088192	0,348837	3,910690885
8,932100624	0,260832	2,920165388
8,90952025	0,301349	3,382325575
8,898658719	0,478675	5,379177626
8,853365734	0,3949	4,460453735
8,880075863	0,346252	3,899201201
8,895111815	0,262669	2,952961176
8,94158858	0,324784	3,63228789
8,963003203	0,286247	3,193653399
8,960735471	0,27171	3,032226305
8,928960435	0,071055	0,795782716
8,929835842	0,082522	0,924113003
8,956919528	0,100519	1,122250233
8,939138691	0,055289	0,618509484
8,984461641	-0,06707	-0,746487039
9,018988615	0,100487	1,114169081
9,02120339	0,108631	1,204169543

Продовження таблиці Г.1

\hat{y}	\hat{u}_i	δ_i
9,054150349	0,01197	0,132201329
9,059942531	-0,12236	-1,350605612
9,049838361	-0,14193	-1,568281388
9,057037592	-0,14797	-1,633711221
9,0639859	-0,1835	-2,024516581
9,067175126	-0,19265	-2,124668435
9,073832664	-0,19426	-2,14089712
9,084930089	-0,23764	-2,615799267
9,120923201	-0,15793	-1,731507014
9,159856453	-0,08744	-0,954612243
9,150421905	-0,11633	-1,271315846
9,141970792	0,02181	0,238573564
9,228246999	-0,08371	-0,907059338
9,228710909	0,003205	0,034728871
9,225221782	-0,05243	-0,568328909
9,050579859	0,030107	0,332656088
9,080608314	0,033065	0,364124924
8,907873781	-0,24222	-2,719216547
8,709121871	0,039351	0,451839823
8,866638795	-0,05357	-0,604199327
8,822357979	0,009728	0,110261918
8,967315719	-0,0687	-0,766132377
9,034669267	-0,15749	-1,743123401
9,037136866	-0,10624	-1,17561475
9,063934188	0,014892	0,164301546
9,105313326	0,095045	1,043845398
9,064151577	0,121619	1,341762922
9,085107362	0,035434	0,390024178
9,16052032	-0,00068	-0,007444734
9,279617186	-0,08832	-0,951763293
9,209824823	-0,07628	-0,828201056
9,238782509	-0,09046	-0,979157501
9,201431832	-0,06877	-0,74736974
9,249249147	-0,13346	-1,442941361
9,284810428	-0,15393	-1,657880908
9,286489845	-0,16675	-1,795672427
9,356498676	-0,18517	-1,979068513
9,383087426	-0,06668	-0,710682762
9,462218842	-0,08663	-0,915573405
9,514111139	-0,14232	-1,495861816
9,518519431	-0,1398	-1,468672301
9,545425503	-0,21268	-2,22808198
9,517956494	-0,23875	-2,508424214

Продовження таблиці Г.1

\hat{y}	\hat{u}_i	δ_i
9,477407264	-0,23353	-2,464107197
9,495318394	-0,1954	-2,05787224
9,501865704	-0,2264	-2,382658229
9,500789806	-0,22967	-2,417422553
9,556297948	-0,26	-2,720719767
9,572652234	-0,22215	-2,320718856
9,584049775	-0,10058	-1,049478009
9,468414717	0,039637	0,418623572
9,623329501	0,020385	0,211827699
9,705749719	-0,0097	-0,099918705
9,778810277	0,016806	0,171859682
9,83918047	-0,08725	-0,886741052
9,910123966	-0,03377	-0,3408116
9,897246867	-0,07935	-0,801692901
9,97631878	0,062398	0,625459652
9,948862028	0,121152	1,217744693
10,02840633	0,250483	2,497734047
10,31856564	0,270881	2,625181434
10,28459508	0,272151	2,646201148
10,26336362	0,065594	0,639104427
10,34301981	0,073537	0,71098626
10,52900204	-0,00343	-0,032548593
10,59537486	0,173129	1,634006151
10,69286647	0,160898	1,504721749
10,49409535	0,290914	2,772164852
10,5460574	0,23829	2,259520858
10,73575814	0,226158	2,106583425
10,71977313	0,248134	2,314727778
10,66265216	0,199685	1,872750876
10,82187857	0,163153	1,507624344
10,92758698	0,038556	0,352831038
11,0739058	-0,01753	-0,158266555
11,07172721	-0,2134	-1,927435155
11,20204946	-0,3191	-2,84861241
11,57182837	-0,62835	-5,429993137

Додаток Г

Таблиця Г.1

Квадрат залишків (u^2) та квадрат різниці ($(Y-Y_{cp})^2$)

u^2	$(Y-Y_{cp})^2$
0,09321	1,286444
0,071685	1,251056
0,085147	1,242107
0,067661	1,186258
0,086822	1,168014
0,032108	0,783028
0,018113	0,722195
0,014886	0,649406
0,024196	0,694875
0,01933	0,610968
3,83E-05	0,423938
0,023501	0,170104
0,029148	0,161429
0,068559	0,125627
0,008197	0,18923
0,010731	0,128239
0,062786	0,044755
0,116369	0,004023
0,174058	0,000202
0,121169	0,00178
0,121687	0,011656
0,068033	0,033839
0,090811	0,027562
0,229129	1,99E-07
0,155946	0,016543
0,11989	0,022668
0,068995	0,048007
0,105485	0,012213
0,081937	0,016291
0,073826	0,020863
0,005049	0,142032
0,00681	0,132882
0,010104	0,102047
0,003057	0,146275
0,004498	0,211134
0,010098	0,066261
0,011801	0,061035
0,000143	0,096576

Продовження таблиці Г.1

u^2	$(Y-Y_{cp})^2$
0,014973	0,192992
0,020143	0,219938
0,021894	0,218851
0,033673	0,246416
0,037113	0,252365
0,037738	0,247323
0,056474	0,280477
0,024942	0,171308
0,007646	0,092703
0,013533	0,117509
0,000476	0,045414
0,007007	0,053985
1,03E-05	0,021017
0,002749	0,041655
0,000906	0,087734
0,001093	0,069282
0,058673	0,505859
0,001549	0,394904
0,00287	0,317894
9,46E-05	0,296809
0,00472	0,228745
0,024802	0,249703
0,011287	0,198909
0,000222	0,08884
0,009034	0,031162
0,014791	0,036525
0,001256	0,065713
4,65E-07	0,04711
0,0078	0,034444
0,005818	0,059213
0,008183	0,052243
0,004729	0,059645
0,017812	0,068173
0,023695	0,06052
0,027807	0,066127
0,034288	0,042255
0,004447	0,003658
0,007505	1,69E-06
0,020254	2,59E-05
0,019543	3,37E-06
0,045233	0,001948
0,057002	0,009542
0,054538	0,017693

Продовження таблиці Г.1

u^2	$(Y-Y_{cp})^2$
0,038182	0,005924
0,051256	0,010286
0,05275	0,011188
0,0676	0,006495
0,049353	0,000696
0,010117	0,011359
0,001571	0,017204
0,000416	0,071197
9,4E-05	0,101866
0,000282	0,175334
0,007612	0,140659
0,001141	0,249462
0,006296	0,194494
0,003893	0,438018
0,014678	0,480425
0,062742	0,813608
0,073377	1,470301
0,074066	1,392067
0,004303	0,906438
0,005408	1,080914
1,17E-05	1,319484
0,029974	1,936597
0,025888	2,181166
0,084631	1,982807
0,056782	1,980946
0,051147	2,512316
0,06157	2,531343
0,039874	2,206562
0,026619	2,586129
0,001487	2,525734
0,000307	2,820695
0,04554	2,194664
0,101827	2,268215
0,394823	2,45421

Додаток Д

Таблиця Д.1

Діагональний елемент матриці $(X'X)^{-1}$ та його корінь

C_{jj}		Корінь
c ₀	166,8907697	12,91862
c ₁	0,921124332	0,959752
c ₂	7,6358E-08	0,000276
c ₃	3,22688E-09	5,68E-05
c ₄	0,837057509	0,914908

Таблиця Д.2

Стандартизована похибка оцінки параметра моделі

Стандартизована похибка оцінки параметра моделі	
S ₀	2,552347031
S ₁	0,189619367
S ₂	5,45947E-05
S ₃	1,12232E-05
S ₄	0,180759534

Додаток Е

Таблиця Е.1

Довірчі інтервали для математичного сподівання \hat{y} і для кожного спостереження $X_i = (x_{1(i)}, x_{2(i)}, x_{3(i)}, x_{4(i)})$

7,928318	9,167633
7,906464	9,145779
7,93453	9,173845
7,928192	9,167507
7,971138	9,210453
8,051528	9,290843
8,041995	9,28131
8,07338	9,312695
8,079189	9,318504
8,114617	9,353932
8,112311	9,351626
8,191493	9,430808
8,184719	9,424034
8,140953	9,380268
8,231688	9,471003
8,295536	9,534851
8,295104	9,534419
8,352676	9,591991
8,325817	9,565132
8,366941	9,606256
8,300431	9,539746
8,312443	9,551758
8,289863	9,529178
8,279001	9,518316
8,233708	9,473023
8,260418	9,499733
8,275454	9,514769
8,321931	9,561246
8,343346	9,582661
8,341078	9,580393
8,309303	9,548618
8,310178	9,549493
8,337262	9,576577
8,319481	9,558796
8,364804	9,604119
8,399331	9,638646
8,401546	9,640861
8,434493	9,673808

Продовження таблиці Е.1

8,440285	9,6796
8,430181	9,669496
8,43738	9,676695
8,444328	9,683643
8,447518	9,686833
8,454175	9,69349
8,465273	9,704588
8,501266	9,740581
8,540199	9,779514
8,530764	9,770079
8,522313	9,761628
8,60859	9,847904
8,609053	9,848368
8,605564	9,844879
8,430922	9,670237
8,460951	9,700266
8,288216	9,527531
8,089464	9,328779
8,246981	9,486296
8,202701	9,442015
8,347658	9,586973
8,415012	9,654327
8,417479	9,656794
8,444277	9,683592
8,485656	9,724971
8,444494	9,683809
8,46545	9,704765
8,540863	9,780178
8,65996	9,899275
8,590167	9,829482
8,619125	9,85844
8,581774	9,821089
8,629592	9,868907
8,665153	9,904468
8,666832	9,906147
8,736841	9,976156
8,76343	10,00274
8,842561	10,08188
8,894454	10,13377
8,898862	10,13818
8,925768	10,16508
8,898299	10,13761
8,85775	10,09706
8,875661	10,11498

Продовження таблиці Е.1

8,882208	10,12152
8,881132	10,12045
8,936641	10,17596
8,952995	10,19231
8,964392	10,20371
8,848757	10,08807
9,003672	10,24299
9,086092	10,32541
9,159153	10,39847
9,219523	10,45884
9,290467	10,52978
9,277589	10,5169
9,356661	10,59598
9,329205	10,56852
9,408749	10,64806
9,698908	10,93822
9,664938	10,90425
9,643706	10,88302
9,723362	10,96268
9,909345	11,14866
9,975717	11,21503
10,07321	11,31252
9,874438	11,11375
9,9264	11,16571
10,1161	11,35542
10,10012	11,33943
10,04299	11,28231
10,20222	11,44154
10,30793	11,54724
10,45425	11,69356
10,45207	11,69138
10,58239	11,82171
10,95217	12,19149