

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2026-62-33>

УДК: 004.72

Тулашвілі Юрій Йосипович, д.пед.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-0780-9529>

Лук'янчук Юрій Анатолійович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-9690-6197>

Кошелюк Віктор Андрійович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-4136-5087>

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

КОРПОРАТИВНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДОКУМЕНТООБІГУ НА ЗАСАДАХ WEB 3.0

Тулашвілі Ю.Й., Лук'янчук Ю.А., Кошелюк В.А. Корпоративна інформаційна система документообігу на засадах WEB 3.0. У статті аналізується концепція нового покоління Інтернету Web3.0, яка базується на децентралізації інформаційних ресурсів, на криптовалютних токенах та на використанні технології блокчейн. Висвітлюється схема корпоративної інформаційної системи документообігу з використанням технології блокчейн, що забезпечує цілісність даних щодо обліку, збереження та перегляду документів установи. Особлива увага приділена визначенню ролей вузлів для підтримки надійності даних, які зберігаються в блокчейні. Наведено приклад побудови програмної реалізації інформаційної системи документообігу на основі технології блокчейн, що реалізує забезпечення децентралізації системи та цілісності даних. Для автоматизації процесу консенсусу система використовує динамічний консенсус на основі протоколу Візантійської відмовостійкості. Розроблено правила смарт-контракту для забезпечення функціональності корпоративної інформаційної системи документообігу для підрозділу закладу вищої освіти.

Ключові слова: технологія блокчейн, корпоративна інформаційна система документообігу, процес консенсусу, смарт-контракт.

Tulashvili Y., Lukianchuk Y., Kosheluk V. Corporate information system for document management based on WEB 3.0. The article analyzes the concept of the new generation of the Internet Web3.0, which is based on the decentralization of information resources, on cryptocurrency tokens and on the use of blockchain technology. The scheme of the corporate document management information system using blockchain technology is highlighted, which ensures the integrity of data regarding the accounting, storage and viewing of documents of the institution. Special attention is paid to defining the roles of nodes to maintain the reliability of data stored in the blockchain. An example of building a software implementation of the document management information system based on blockchain technology is given, which implements the provision of system decentralization and data integrity. To automate the consensus process, the system uses dynamic consensus based on the Byzantine Fault Tolerance protocol. Smart contract rules are developed to ensure the functionality of the corporate document management information system for a unit of a higher education institution.

Keywords: blockchain technology, corporate document management information system, consensus process, smart contract.

Постановка наукової проблеми. Технології Web 3.0 з кожним роком все більше опановують простори Internet. Поряд з цим процеси впровадження цифрових технологій, визнані як цифровізація, набувають широкого застосування у різних галузях діяльності людини. За своїм обсягом застосування цифрових форматів та технологій, що використовуються, процеси цифровізації набувають ознак інформаційно-документаційних потоків, основною метою яких є підвищення ефективності управління. Дії із створення сучасних документів, формування банків даних, їх збереження та обліку з використанням інформаційних процесів сьогодні впевнено можна віднести до сфери електронного документообігу. Галузь документообігу у сучасних установах набуває ознак інформаційних процесів, які ґрунтуються на технологіях хмарного зберігання та методах хмарних обчислень. Впровадження технології Web 3.0 у галузь документообігу дає можливість більш надійно зберігати інформацію, запобігати її викривленню та бути впевненим у достовірності оцифрованих документів.

У закладах освіти процеси діловодства регулюють усі навчальні та управлінські дії, регламентують впорядкованість збереження навчальних документів та облікової документації, терміни їх подання та зберігання. Тому, переведення на електронний документообіг діловодства у закладах освіти стає сьогодні актуальним завданням цифровізації засобами технології Web 3.0. Таким чином, постає наукова проблема вибору технологій та розробки архітектури для створення інформаційної системи документообігу для закладів освіти. Це ставить перед менеджментом освіти та науковцями ІТ галузі широке коло питань, що вимагають проведення досліджень та розробки нових моделей та прототипів щодо врегулювання аспектів документообігу із забезпеченням безпеки захисту інформації та доступу до відповідних даних. Одним з напрямків розв'язання цієї

проблеми є широке впровадження у процесах діловодства програмних засобів обробки інформації та збереження документів на основі технології блокчейн з можливістю масштабування інформаційної системи документообігу відповідно до широкої номенклатури справ у закладах освіти.

Аналіз досліджень. Web 3.0 розвивається на концепціях метавсесвіту, що ґрунтуються на засадах децентралізації, технологіях блокчейн, смартконтрактах, на штучному інтелекті, а також на передових методах шифрування, що дозволяє створювати прозорі цифрові економіки, коли право власності та контроль над даними належать користувачам мережі. У наукових джерелах Web3.0 описується як потенційна наступна фаза Internet, яка являє собою «децентралізований» Internet, що працює на базі технологій, пов'язаних з блокчейном. Блокчейн є основою децентралізованої системи, і він повертає цифровий суверенітет користувачам завдяки децентралізованій потужності блокчейну. Основною засадою Web3.0 є надання децентралізованої, а також уніфікованих консенсусних послуг оцінки даних [1].

У своїй праці «Blockchain disruption and smart contracts» Lin William Cong та Zhiguo He визначають блокчейн як технологію розподіленої книги, що керована децентралізовано [2]. На їх думку блокчейн є книгою децентралізованих даних, обмін якими виконується безпечними каналами. Блокчейн є децентралізованим оцифрованим реєстром. Він підтримується усіма комп'ютерами інформаційної системи. Блокчейн забезпечує багато функцій, таких як розподілене зберігання даних, анонімність, обфускацію даних (захищеність від перегляду та підробки), спільні книги, автономно підтримує постійно зростаючий список загальнодоступних записів у блоках інформації.

На думку авторів [3] технології блокчейн відіграють ключову роль у епоху Web3.0 та створюють умови для інтеграції з іншими передовими технологічними галузями.

Авторами [4] детально розкривається сутність корпоративного блокчейну. Корпоративний блокчейн визначається як система бази даних або бухгалтерська книга. Корпоративні блокчейни, які відображають інноваційні аспекти блокчейну, являють собою набір протоколів, що не належать жодній особі та використовують криптографічні методи для забезпечення конфіденційності та секретності корпоративних даних.

Низка авторів вивчають роботу корпоративних інформаційних систем з використанням технології блокчейн на різних напрямках бізнесу. Так, Don Tapscott та Alex Tapscott, автори книги «Blockchain Revolution», звертають увагу на потенційні можливості технології блокчейн для зміни фінансової системи та різних аспектів бізнесу, включаючи моделі корпоративних систем [5]. У своїй книзі «Blockchain and the Law: The Rule of Code» Primavera De Filippi та Aaron Wright досліджують правові аспекти використання блокчейн технологій у корпоративних структурах [6]. Автор книги «The Business Blockchain: Promise, Practice, and Application of the Next Internet Technology» William Mougayar досліджує різноманітні аспекти впровадження блокчейн технологій у бізнесі, включаючи можливості для корпоративних інформаційних систем [7]. Skinner K. у своїй книзі «ValueWeb: How FinTech Firms are Using Bitcoin Blockchain and Mobile Technologies to Create the Internet of Value» розглядає вплив технології блокчейн на фінансову систему та можливості для розвитку корпоративних фінансових структур [8].

На думку авторів [9] блокчейни мають потенціал для перетворення майбутньої установи в оцифровану децентралізовану мережу зацікавлених сторін. Вони стверджують, що блокчейни можуть полегшити форму нової організації без вищого керівництва чи організаційної ієрархії. Корпоративні системи на основі блокчейни створюють можливості для нових типів організації розвиватися на основі розподіленої децентралізованої інформаційної структури. Підкреслюється важливість смарт-контрактів для впровадження системи регулювання довіри у середині корпоративної системи.

Мета дослідження полягає у тому, щоб проаналізувати стан розвитку корпоративних систем на засадах Web3.0, в основі яких покладено децентралізація та технологію блокчейн, запропонувати архітектуру універсальної децентралізованої корпоративної інформаційної системи для закладу освіти у вигляді розподілених вузлів, що було б достатньою для обліку та контролю за обігом документів.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Автономія закладів освіти актуалізує питання менеджменту організацій, управління й адміністрування зростаючого об'єму інформації, що задекларована документальним чином. Відповідно зростає й потреба у безперешкодному доступі до такої інформації, влучного

трактування її змісту, компактного документування фактів, мобільного візування та відкритого доступу за умови чіткої організації процесів документування [10].

З цією метою, на сучасному етапі розвитку електронного документообігу широкого застосування набуває технологія блокчейн, що є одним з компонентів Web3.0. Технологія блокчейн успішно може використовуватись для підтвердження авторства, цілісності та автентичності документів, що має значення для забезпечення безпеки електронного документообігу.

Потенційно технологія блокчейн може бути адаптована для здійснення будь-яких операцій, так чи інакше пов'язаних з реєстрацією, обліком або передачею різних активів (фінансових, матеріальних і нематеріальних). Зберігання інформації про електронні документи у блокчейні дозволяє забезпечити їх незмінний стан та запобігти від недозволених змін. Це дає змогу уникнути фальсифікації чи видалення документів, що є серйозним внеском у забезпечення довіри до електронного документообігу [11].

Хмарне архівування електронних документів у мережі взаємопов'язаних серверів гарантує їх зберігання, цілодобовий доступ та кібербезпеку. За бажанням зацікавлених осіб розрізнені масиви архівної облікової інформації вилучаються з електронних архівів і об'єднуються для відображення документа в традиційному вигляді як набору певних реквізитів [12].

Універсальні платформи документообігу на базі блокчейну успішно вирішують ці проблеми. Крім того, технологія розподіленого реєстру – чудовий інструмент, який забезпечує збереження та незмінність будь-якого документа у будь-який момент часу. Блокчейн має високий потенціал для покращення документообігу з кількох причин [13]:

- використання ЕЦП (електронного цифрового підпису) та комп'ютерних алгоритмів замість паперових документів та ручної обробки даних багаторазово прискорює документообіг;
- виключає посередників під час здійснення угод. Завдяки смарт-контрактам бізнес може відмовитися від послуг третіх осіб, які перевіряють учасників угоди, гарантують переказ грошей та підтверджують законність угоди;
- забезпечується зниження витрат. Чим менше посередників (наприклад, нотаріусів, ріелторів, банків тощо), тим нижча частка адміністративних витрат у собівартості послуг;
- ймовірність помилки системи через людський фактор зведена до мінімуму, а система загалом забезпечує високий рівень прозорості;
- зводиться до мінімуму паперова робота та виключається ризик втрати документів.

У дослідженнях блокчейн визначається як сучасний вдосконалений механізм бази даних, що забезпечує організацію відкритого обміну інформацією у рамках будь-якої бізнес-мережі. Акцент ставиться на тому, що база даних блокчейну зберігає дані в блоках, пов'язаних між собою в ланцюжок у хронологічній послідовності. Цей ланцюжок не можна видаляти або змінювати без консенсусу, тобто без дотримання правил узгодження з боку мережі. В результаті ви можете використовувати технологію блокчейн для створення незмінного або безстрокового реєстру для відстеження замовлень, платежів, рахунків та інших транзакцій [14].

Вузол є важливою частиною блокчейну. Без вузлів неможливо реалізувати технологію блокчейну, оскільки вузли (nodes) виконують роль зберігання даних блокчейну та підтримки цілісності та надійності даних. Вузли блокчейну є частиною мережі блокчейн, яка перевіряє транзакції, підтримує консенсус і записує історію блокчейну. Вони гарантують, що кожен активний учасник мережі має ідентичну та актуальну копію даних мережі. На найпростішому рівні це комп'ютерна система або апаратний пристрій, на якому працює програмне забезпечення мережі для виконання роботи та забезпечення її безпеки.

Завданням вузлів є підтримка надійності даних, що зберігаються в блокчейні [15]. Чим більше вузлів має блокчейн, тим більш децентралізованим він стає і, таким чином, стає стійким до таких загроз, як системні збої або відключення електроенергії. Коли новий фрагмент даних у вигляді блоку додається до блокчейну, вузол передає цей блок іншим вузлам у мережі. Вузли зазвичай класифікуються на такі категорії:

- full node – кожен учасник може утримувати свій вузол з повною копією блокчейну;
- light nodes – легкі клієнти не зберігають повних копій блокчейна, а взаємодіють із мережею, використовуючи повні вузли. Легкі вузли зазвичай містять заголовок блоку, який дозволяє підтримувати та перевіряти дійсність попередніх транзакцій;
- witness nodes – повні вузли, що можуть записувати транзакції до блокчейн у корпоративних системах та примати участь у консенсусі (валідації блоків).

Усі вузли пов'язані один з одним. При такому наборі елементів архітектура мережі блокчейн є більш стійкою. Повні вузли підключаються до мережі блокчейн і завантажують блокчейн. Ця початкова синхронізація може зайняти деякий час залежно від розміру блокчейну та вашого інтернет-з'єднання. Після синхронізації вузли починають перевіряти транзакції та блоки.

Одним з важливих етапів технології блокчейн є використання алгоритмів консенсусу для досягнення єдності серед всіх учасників-вузлів щодо стану кожної транзакції та реєстру транзакцій.

Кожен вузол-валідатор (witness nodes) перевіряє, що транзакції та блоки відповідають правилам та протоколам мережі. Наприклад, вузол перевірить, що транзакція має правильні цифрові підписи, а відправник має відповідні права на створення блоку. Після того, як вузол-валідатор перевірів блок на консенсус, він додає його до своєї копії блокчейну та надсилає блок іншим вузлам мережі на валідацію. Цей безперервний процес перевірки та трансляції гарантує, що всі вузли погоджуються зі станом блокчейну, а мережа є безпечною та надійною. На рисунку 1 зображено підключення вузла-валідатора до мережі блокчейн і завантаження блокчейн [15].

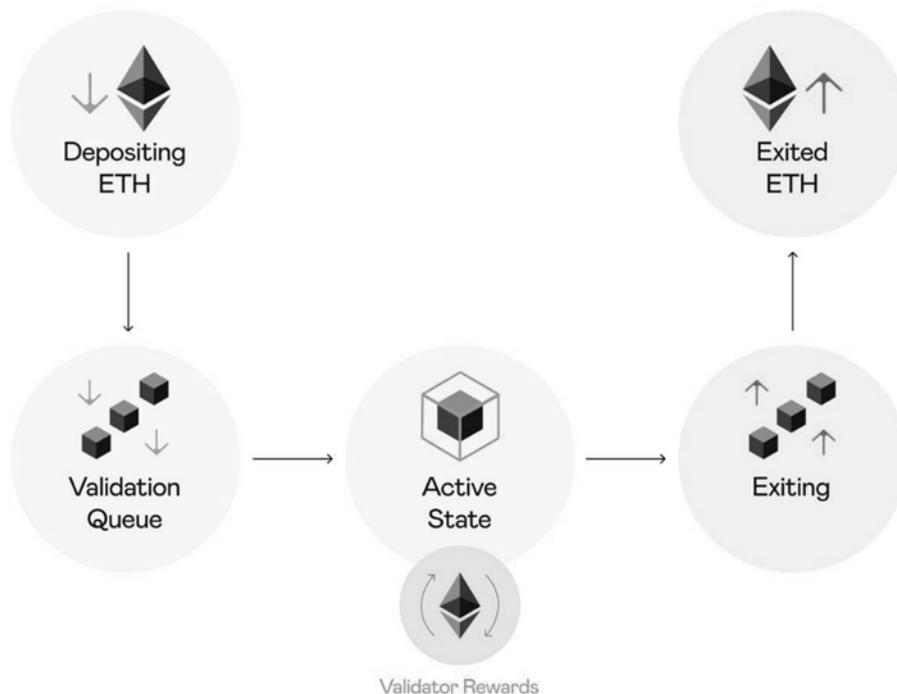


Рис. 1. Підключення вузла-валідатора до мережі блокчейн і завантаження блокчейн [15]

Запропонована авторами статті у попередніх роботах схема корпоративної інформаційної системи документообігу [16, 17] з використанням технології блокчейн ґрунтується на забезпеченні децентралізації системи та цілісності даних щодо збереження та перегляду документів підрозділу установи. Для автоматизації процесу консенсусу за допомогою смарт-контракту система застосовує алгоритм динамічної згоди, який використовує протокол консенсусу, який отримав назву Візантійська відмовостійкість (BFT) [18]. Вузол, що здійснює транзакцію отримує права на створення блоку та надсилає іншим вузлам-валідаторам його на погодження консенсусу, після чого новий блок додається до блокчейну.

Вузли, що мають права на створення блоку, взаємодіють також зі сховищем даних (Data storage repository), що дає можливість підтримувати цілісність блокчейну та отримувати інформацію щодо оновлення документів в корпоративній інформаційній системі.

Запропонована схема корпоративної інформаційної системи документообігу (рис. 2) базується на структурі блокчейну, яка зосереджена на взаємодії з Data storage repository.

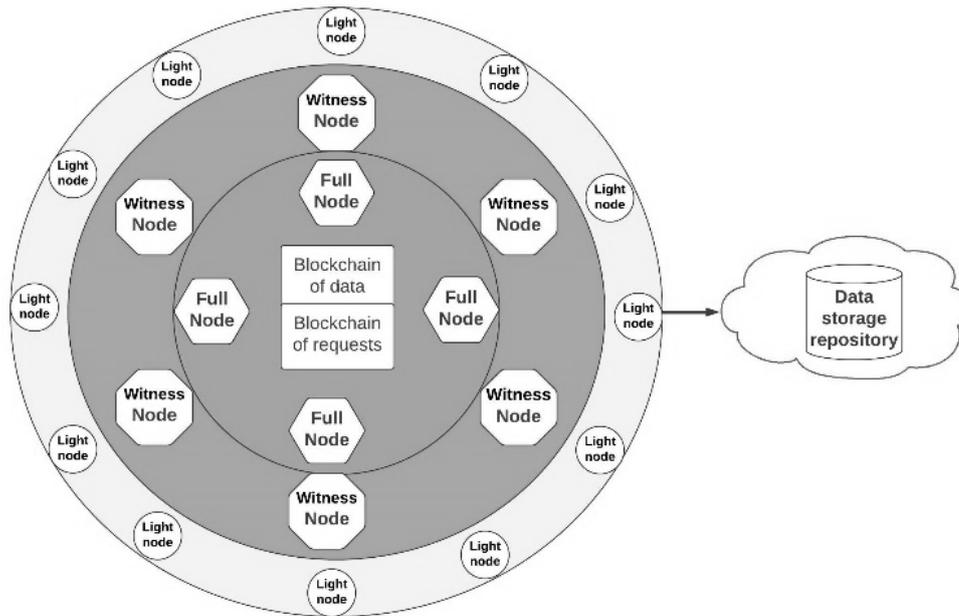


Рис. 2. Схема корпоративної інформаційної системи документобігу ЗВО
 Джерело: власна розробка авторів.

Запропонована нами схема корпоративної інформаційної системи використовує техніку, яка базується на функції залучення постачальників даних, які є користувачами системи мережі до рішення консенсусу (Witness Node), що усуває будь-яке адміністративне втручання. Консенсусні протоколи BFT як основна частина блокчейну безпосередньо гарантують поєднання таких властивостей:

- безпека, коли будь-які дві безпомилкові репліки приймають рішення, то обидві приймають те саме рішення [19];
- живучість яка полягає в тому, щоб протокол консенсусу досягав прогресу в поточному перегляді та переходив до нового перегляду, що означає, що клієнти зрештою отримують відповіді на свої запити [20].

Запропонована структура корпоративної інформаційної системи документобігу використовує блокчейн для автоматизації процесу консенсусу за допомогою смарт-контракту (правил надання права на транзакцію). Вузол, що здійснює транзакцію повинен за певними правилами, які визначені у таблиці правил, провести її за погодженням між іншими вузлами, після чого створюється новий блок та додається до блокчейну. В залежності від того, яка транзакція відбулась – запит даних чи завантаження документу до хмарного сховища, буде сформований блок до блокчейну запитів чи блок до блокчейну даних (рис. 3).

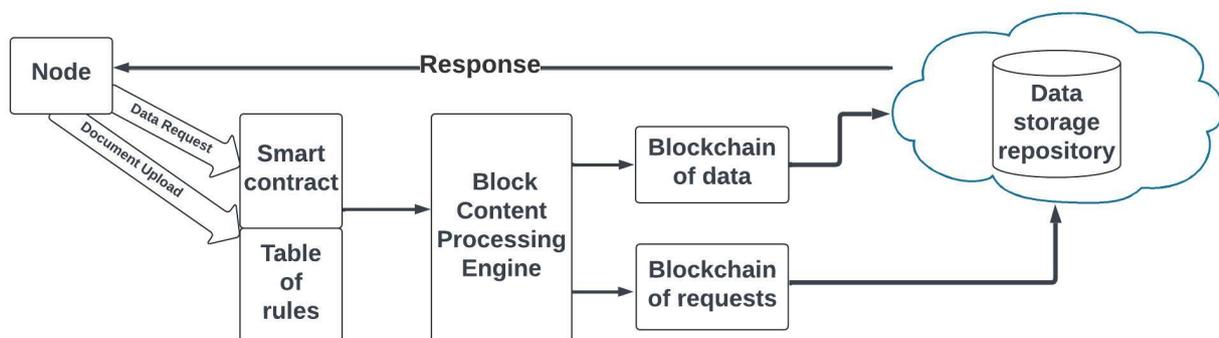


Рис. 3. Процес взаємодії вузлів в системі
 Джерело: власна розробка авторів.

Вузли взаємодіють між собою та сховищем даних, що дає можливість підтримувати цілісність мережі та отримувати інформацію щодо оновлення документів в корпоративній інформаційній системі шляхом синхронізації даних (блокчейну) на поточний стан.

Впровадження смарт-контракту для формування блокчейну запитів схоже на формування блокчейну даних. Вузол-свідок-лідер надає доступ до документа іншим вузлам.

Запропонована корпоративна інформаційна система документообігу з використанням технології блокчейн реалізує смарт-контракт за такою послідовністю формування блокчейну даних (blockchain of data) :

а) light node (студент, який здає у архів роботу) реєструється та заходить у систему;
б) light node обирає witness node (викладача, що перевіряє роботу) та співпрацює з ним до повної готовності документу;

в) light node передає witness node документ. Право включення інформації щодо документу у блокчейн та його архівування отримує виключно witness node, який згідно до Istanbul BFT стає лідером, а саме вузлом-ініціатором;

г) witness node-лідер формує блок інформації, генерує первинний криптографічний хеш поточного блоку та відправляє їх до witness nodes, що приймають участь у консенсусі;

д) witness nodes мають на своєму гаджеті автономний кабінет у вигляді нативного додатку, у якому зберігається повна копія блокчейну. Вони перевіряють надісланий блок інформації на відповідність криптографічного хешу з попереднього блоку та генерують свій криптографічний хеш поточного блоку;

е) кожен witness nodes надсилає свій криптографічний хеш поточного блоку witness node-лідеру, який перевіряє його на відповідність до первинного криптографічного хешу поточного блоку. Отримавши $2/3 n + 1$ вірних відповідей від witness node у системі надсилається СОММІТ для включення поточного блоку до блокчейну усіма повними вузлами;

ж) witness node-лідер завантажує готовий документ до сховища та відбувається синхронізація blockchain of data.

Реалізація смарт-контракту формування блокчейну запитів (blockchain of requests) :

а) light node (студент, який надає запит до архіву робіт) реєструється та заходить у систему;
б) light node обирає witness node (викладача, що архівував роботу), який стає witness node-лідером, та надсилає запит на перегляд документу;

в) witness node-лідер отримує право на генерацію свого криптографічного хешу нового блоку щодо запиту на документ у блокчейн та надсилає іншим witness nodes;

г) кожен witness nodes після валідації надсилає свій криптографічний хеш поточного блоку witness node-лідеру, який перевіряє його на відповідність до первинного криптографічного хешу поточного блоку. Отримавши $2/3 n + 1$ вірних відповідей від witness node у системі надсилається СОММІТ для включення поточного блоку до blockchain of requests усіма повними вузлами;

д) witness node-лідер надає доступ до документу.

Взаємодія вузлів між собою та сховищем даних дозволяє підтримувати цілісність мережі та отримувати інформацію про оновлення документів та їх перегляд у корпоративній інформаційній системі шляхом синхронізації блокчейну з поточним станом.

На рисунках 4 та 5 подана програмна реалізація корпоративної інформаційної системи документообігу кафедри комп'ютерних наук.

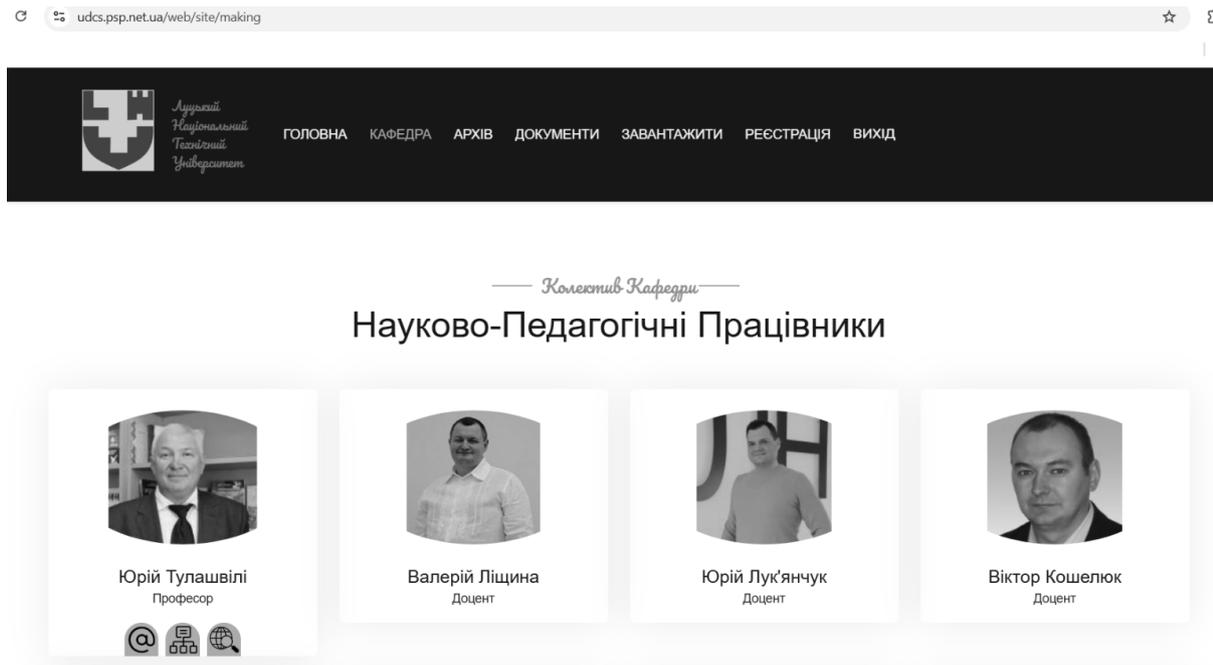


Рис. 4. Програмна реалізація вузла системи для студентів
Джерело: власна розробка авторів.

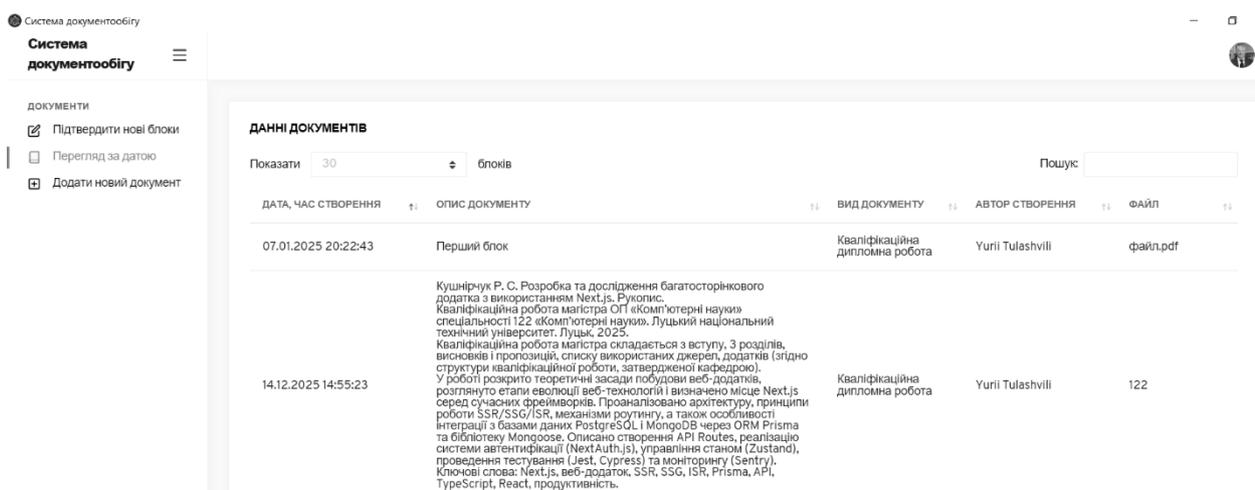


Рис. 5. Програмна реалізація witness node викладача
Джерело: власна розробка авторів.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Запропонована схема корпоративної інформаційної системи документообігу з використанням технології блокчейн забезпечує децентралізацію та цілісність даних щодо збереження та перегляду документів установи. Для автоматизації процесу консенсусу за допомогою смарт-контракту система застосовує алгоритм динамічної згоди, який ґрунтується на протоколі консенсусу BFT. Взаємодія вузлів в системі відбувається згідно смарт-контракту, умови якого викладені у таблиці правил.

У подальшому впровадження та дослідження корпоративної інформаційної системи документообігу передбачає порівняльне дослідження ефективності алгоритмів динамічної згоди, протоколів BFT для розробки ефективніших і результативних методів захисту механізмів блокчейну.

Список бібліографічного опису

1. Savani N. Understanding Web 3.0: Opportunities and Challenges for Developers. *International Journal of Computer Trends and Technology*. 2024. Т. 71, № 1. С. 72–76. URL: <https://doi.org/10.14445/22312803/ijctt-v72i1p112> (дата звернення: 10.02.2025).
2. Cong L. W., He Z. *Blockchain Disruption and Smart Contracts*. Cambridge, MA : National Bureau of Economic Research, 2018. URL: <https://doi.org/10.3386/w24399> (дата звернення: 10.02.2025).
3. Integration and innovation of blockchain in Web3.0: current status and standardization prospects / J. Xiangjuan та ін. *World Wide Web*. 2024. Т. 28, № 1. URL: <https://doi.org/10.1007/s11280-024-01319-7> (дата звернення: 10.02.2025).
4. Zetlin-Jones A., Routledge B. What is a corporate blockchain? 2019. Режим доступу: <https://www.ibm.com/blog/what-is-a-corporate-blockchain> (дата звернення: 10.02.2025).
5. *The Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World*. New York : Penguin USA, Inc. in New York, 2016.
6. *Blockchain and the law: The rule of code* / ред. Wright, Aaron (Writer on law), author. Harvard University Press, 2018. 300 с.
7. Mougayar W., Buterin V. *Business Blockchain: Promise, Practice, and Application of the Next Internet Technology*. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2016. 208 с.
8. *Valueweb: How Fintech firms are using mobile and blockchain technologies to create the Internet of Value*. Marshall Cavendish International (Asia) Pte Ltd, 2016. 424 с.
9. Jayasuriya Daluwathumullagamage D., Sims A. Blockchain-Enabled Corporate Governance and Regulation. *International Journal of Financial Studies*. 2020. Т. 8, № 2. С. 36. URL: <https://doi.org/10.3390/ijfs8020036> (дата звернення: 10.02.2025).
10. Удовиченко І., Удовиченко В. Актуальні тенденції діловодства та документообігу в галузі менеджменту закладів загальної середньої освіти. *New pedagogical thought*. 2024. Т. 118, № 2. С. 17–24. URL: <https://doi.org/10.37026/2520-6427-2024-118-2-17-24> (дата звернення: 10.02.2025).
11. Ковальська Л. А., Котов К. Р. Блокчейн технології і безпека цифрового документообігу. Інформація та соціум. 2023. С. 153–157. URL: <https://jias.donnu.edu.ua/article/view/14627> (дата звернення: 10.02.2025).
12. Open document flow based on blockchain technology for cyber security of the accounting system / V. Muravskiy та ін. *Herald of Economics*. 2022. № 4. С. 156. URL: <https://doi.org/10.35774/visnyk2021.04.156> (дата звернення: 10.02.2025).
13. Паплінський В. В., Устенко С. В. Використання технології блокчейн для захищеного ведення документообігу. Експериментальні та теоретичні дослідження в контексті сучасної науки : матеріали конф. Чернігів : Молодіжна наукова ліга, 2023. С. 60–62. URL: <https://archive.liga.science/index.php/conference-proceedings/article/download/404/406/413> (дата звернення: 10.02.2025).
14. Блокчейн: чому це зручно, швидко та прогресивно. *Factor. Media*. 2022. URL: https://i.factor.ua/ukr/promo/blokchejn-chomu-ce-zruchno-shvidko-ta-progresivno.html?srsltid=AfmBOoqSieJlsNlp2uetcFs2SPLqJ4xrTCqnk_oHDyEkbv38zx2KPLT3 (дата звернення: 10.02.2025).
15. Swann A. Setting up a Blockchain Node. *Volet Blog*. 2025. URL: <https://volet.com/blog/post/setting-up-a-blockchain-node-01jhak7wcg8sq9ze6d0cedaw8z/> (дата звернення: 10.02.2025).
16. Тулашвілі Ю.Й., Лук'янчук Ю.А. Перспективи розвитку технології blockchain у корпоративних інформаційних системах // Комп'ютерне моделювання та програмне забезпечення інформаційних систем і технологій. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2024. – С. 293–297.
17. Тулашвілі Ю., Лук'янчук Ю. Алгоритми консенсусу у Blockchain корпоративних системах / Ю. Тулашвілі, Ю. Лук'янчук // Моделювання, керування та інформаційні технології : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. – Рівне : Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2024. – С. 212–215.
18. Wang G., Nixon M. SoK: Essentials of BFT Consensus for Blockchains. 2023 Fifth International Conference on Blockchain Computing and Applications (BCCA), м. Kuwait, Kuwait, 24–26 жовт. 2023 р. 2023. URL: <https://doi.org/10.1109/bcca58897.2023.10338868> (дата звернення: 10.02.2025).
19. Lamport L. The part-time parliament. *Concurrency: the Works of Leslie Lamport*. 2019. URL: <https://doi.org/10.1145/3335772.3335939> (дата звернення: 10.02.2025).
20. LU, Yuan; LU, Zhenliang; TANG, Qiang. Bolt-dumbo transformer: Asynchronous consensus as fast as the pipelined bft. In: *Proceedings of the 2022 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*. 2022. p. 2159-2173. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.09425> (дата звернення: 10.02.2025).

References

1. Savani N. Understanding Web 3.0: Opportunities and Challenges for Developers. *International Journal of Computer Trends and Technology*. 2024. Vol. 71, no. 1. P. 72–76. URL: <https://doi.org/10.14445/22312803/ijctt-v72i1p112> (date of access: 10.02.2025).
2. Cong L. W., He Z. *Blockchain Disruption and Smart Contracts*. Cambridge, MA : National Bureau of Economic Research, 2018. URL: <https://doi.org/10.3386/w24399> (date of access: 10.02.2025).
3. Integration and innovation of blockchain in Web3.0: current status and standardization prospects / J. Xiangjuan et al. *World Wide Web*. 2024. Vol. 28, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1007/s11280-024-01319-7> (date of access: 10.02.2025).
4. Zetlin-Jones, A., Routledge, B. What is a corporate blockchain? 2019. Available at: <https://www.ibm.com/blog/what-is-a-corporate-blockchain> (accessed: 10.02.2025).

5. The Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World. New York : Penguin USA, Inc. in New York, 2016.
6. Blockchain and the law: The rule of code / ed. by Wright, Aaron (Writer on law), author. Harvard University Press, 2018. 300 p.
7. Mougayar W., Buterin V. Business Blockchain: Promise, Practice, and Application of the Next Internet Technology. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2016. 208 p.
8. Valueweb: How Fintech firms are using mobile and blockchain technologies to create the Internet of Value. Marshall Cavendish International (Asia) Pte Ltd, 2016. 424 p.
9. Jayasuriya Daluwathumullagamage D., Sims A. Blockchain-Enabled Corporate Governance and Regulation. International Journal of Financial Studies. 2020. Vol. 8, no. 2. P. 36. URL: <https://doi.org/10.3390/ijfs8020036> (date of access: 10.02.2025).
10. Udovychenko I., Udovychenko V. Aktualni tendentsii dilovodstva ta dokumentoobihu v haluzi menedzhmentu zakladiv zahalnoi serednoi osvity. New pedagogical thought. 2024. Vol. 118, no. 2. P. 17–24. URL: <https://doi.org/10.37026/2520-6427-2024-118-2-17-24> (date of access: 10.02.2025).
11. Kovalska L. A., Kotov K. R. Blockchain technologies and security of digital document management. Information and Society. 2023. P. 153–157. URL: <https://jias.donnu.edu.ua/article/view/14627> (accessed: 10.02.2025).
12. Open document flow based on blockchane technology for cyber security of the accounting system / V. Muravskiy et al. Herald of Economics. 2022. No. 4. P. 156. URL: <https://doi.org/10.35774/visnyk2021.04.156> (date of access: 10.02.2025).
13. Paplinskyi V. V., Ustenko S. V. The use of blockchain technology for secure document management. Experimental and Theoretical Research in the Context of Modern Science : conference proceedings. Chernihiv : Molodizha Naukova Liha, 2023. P. 60–62. URL: <https://archive.liga.science/index.php/conference-proceedings/article/download/404/406/413> (accessed: 10.02.2025).
14. Blockchain: why it is convenient, fast, and progressive / Factor. Media. – 2022. – Available at: https://i.factor.ua/ukr/promo/blokchejn-chomu-ce-zruchno-shvidko-ta-progresivno.html?srsId=AfmBOoqSieJlsNlp2uetcFs2SPLqJ4xrTCqnk_oHDyEkbv38zx2KPLT3. – Accessed: 10.02.2025.
15. Swann A. Setting up a Blockchain Node [Electronic resource] / Alex Swann. – Volet Blog, 2025. – Available at: <https://volet.com/blog/post/setting-up-a-blockchain-node-01jhak7wgcg8sq9ze6d0cedaw8z/>. – Accessed: 10.02.2025.
16. Tulashvili Y. Y., Lukianchuk Y. A. Prospects for the development of blockchain technology in corporate information systems // Computer Modeling and Software of Information Systems and Technologies. – Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, 2024. – P. 293–297.
17. Tulashvili Yu., Lukianchuk Yu. Consensus Algorithms in Corporate Blockchain Systems / Yu. Tulashvili, Yu. Lukianchuk // Modeling, Management and Information Technologies: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference. – Rivne : National University of Water Management and Nature Resources Use, 2024. – P. 212–215.
18. Wang G., Nixon M. SoK: Essentials of BFT Consensus for Blockchains. 2023 Fifth International Conference on Blockchain Computing and Applications (BCCA), Kuwait, Kuwait, 24–26 October 2023. 2023. URL: <https://doi.org/10.1109/bcca58897.2023.10338868> (date of access: 10.02.2025).
19. Lamport L. The part-time parliament. Concurrency: the Works of Leslie Lamport. 2019. URL: <https://doi.org/10.1145/3335772.3335939> (date of access: 10.02.2025).
20. LU, Yuan; LU, Zhenliang; TANG, Qiang. Bolt-dumbo transformer: Asynchronous consensus as fast as the pipelined bft. In: Proceedings of the 2022 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. 2022. p. 2159–2173. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.09425> (date of access: 10.02.2025).

Історія статті:

Отримано: 07.02.2026 Доопрацьовано: 23.02.2026 Прийнято до друку: 23.03.2026 Опубліковано: 29.03.2026