

УДК 378.147:004.75

Яланецький Валерій Анатолійович

старший викладач

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна

ORCID ID 0000-0001-6163-0258

v.yalanetskyi@gmail.com

ДИСТАНЦІЙНИЙ КУРС «ТЕХНОЛОГІЯ БЛОКЧЕЙН» ДЛЯ ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Анотація. У статті наводиться опис розроблення дистанційного курсу пілотного вибіркового освітнього компонента “Технологія блокчейн”, опис його структури та основних аспектів комп’ютерного практикуму. Курс розроблений з метою ліквідації дефіциту компетентностей у сфері блокчейн-технологій у Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”. Курс містить комплект презентацій та лекцій, методичні вказівки до лабораторних робіт з прикладами виконання мовами Python та Java і завдання до лабораторних робіт. Протягом створення пілотного курсу було вперше розроблено силабус дисципліни, наповнений її контент та запропоновано методику викладання дисципліни. Основний акцент дисципліни спрямований на практикум з програмування блокчейну сучасними інструментальними засобами та фреймворками. Програмне розроблення базових компонентів блокчейну максимально наближена до реального блокчейну Біткойн. Це генерує в студентів нові фахові уміння та навички задля майбутнього професійного розв’язання задач розгортання та обслуговування блокчейн екосистем у бізнесі, у виробництві та освіті. У статті наводяться фрагменти програмних рішень щодо розроблення компонентів блокчейну. Навчально-методичний матеріал розміщено з використанням хмаро орієнтованих технологій у кабінеті викладача Google Classroom, що інтегровано з платформою дистанційного навчання “Сікорський”. Така гнучка організація ресурсів надає змогу залежно від робочих програм факультетів обирати відповідні теми курсу та доповнювати теми необхідною нормативною документацією і варіантами завдань. У якості експерименту навчальну дисципліну було впроваджено, як вибіркочу в навчальний процес на факультеті інформатики та обчислювальної техніки. Отриманий результат застосування пілотного курсу в навчальному процесі свідчить про високий інтерес до сфери блокчейн серед студентства, що, своєю чергою, сприяє підвищенню якості майбутніх фахівців інженерного спрямування в галузі ІТ.

Ключові слова: блокчейн; технологія блокчейн; консенсус; інформаційні системи та технології.

1. ВСТУП

Постановка проблеми. Підвищення якості вищої освіти в Україні потребує пошуку нових та впровадження сучасних інноваційних рішень задля оптимальної за часом та ресурсами підготовки майбутніх компетентних фахівців у різних сферах людської діяльності, зокрема військових інженерних професій, з огляду на критичну ситуацію в Україні, коли молодь покидає рідні домівки, а з війни повертатимуться поранені з обмеженими можливостями. Однією зі стратегічних цілей забезпечення якісної освітньо-наукової діяльності, конкурентоспроможної вищої освіти, яка є доступною для різних груп населення, є сприяння використанню інноваційних технологій і новітніх засобів навчання в освітньому процесі, розвиток дослідницьких ІТ-інфраструктур. Це завдання задеклароване та опубліковане Кабінетом міністрів України у Стратегії розвитку вищої освіти в Україні від 23 лютого 2022 року [1]. Стратегія передбачає реформування системи освіти відповідно до нових викликів, що надасть

змогу зменшити деструктивні наслідки, спричинені повномасштабним вторгненням російської федерації на територію незалежної України.

Україна останніми роками динамічно розвивається в галузі цифрових технологій та діджиталізації державних послуг, зокрема Міністерство цифрової трансформації успішно оцифровує низку документів, довідок та послуг, що пришвидшує їх отримання, поширення, копіювання та мінімізує бюрократичні етапи їх оформлення. Пріоритетним напрямом є оптимізація та уніфікація десятків різнорідних централізованих локальних баз даних, між якими традиційно спостерігається плутанина та практично відсутня автоматизована синхронізація даних. Розв'язання цього питання лежить у площині розроблення єдиної децентралізованої бази даних на базі блокчейн. У законодавчій сфері технологія блокчейн також успішно впроваджена низкою розпоряджень та законотворчих ініціатив, зокрема в Україні з 2021 року легалізовані віртуальні цифрові активи [2]. Усі ці результативні активності бізнесу та державного сектору були б неможливі без опанування спеціалістами сучасних технологій, таких як блокчейн. У КПІ ім. Ігоря Сікорського у 2020 році оприлюднені концептуальні засади Стратегії розвитку університету на період 2020–2025 років задля досягнення мети якісної підготовки фахівців інженерних спеціальностей. В одному з пунктів Стратегії зазначені плани щодо покращення інформатизації управління університетом з використанням сучасних інформаційних технологій, але явно про необхідність впровадження в менеджмент університету децентралізованих сервісів на базі блокчейн мова не йде [3]. Традиційно усталена бюрократична система управління університетом не встигає за швидким розвитком інновацій у сфері ІТ, тому потрібно рухатися на декілька кроків попереду, проводити наукові дослідження, розробляти і впроваджувати інноваційні рішення в освітню ІТ-інфраструктуру.

Метою реформування освіти є підготовка таких майбутніх фахівців, зокрема інженерних спеціальностей, які можуть повною мірою бути залучені до професійної діяльності задля зміцнення обороноздатності держави, що починається із задач розроблення та обслуговування військової техніки і до створення інформаційних систем, наприклад, у галузі кібербезпеки. Реформування передбачає проведення чітких практичних досліджень та експериментів і отримання конкретних результатів щодо розгортання нових навчальних курсів, дисциплін, засобів навчання та контролю. Уже багато років поспіль онлайн-навчання є невіддільною частиною загальноосвітніх процесів у світі та Україні. Існує велика кількість навчальних платформ та онлайн-курсів, створених з використанням сучасних інформаційних систем та технологій як викладачами навчальних закладів, так і працівниками приватних компаній. Завдяки співпраці, а також можливості розгорнути навчальні центри приватним компаніям на локаціях університету, досягається певна синергія щодо освітніх процесів серед студентства та виробничих процесів у бізнесі. Бізнес зацікавлений у впровадженні своїх практичних результатів у навчальний процес і освітні програми задля підготовки університетом майбутніх високоякісних фахівців для себе. Так, ІТ-компанії, що працюють в інноваційній сфері блокчейн-технологій неабияк зацікавлені, аби університет готував для ринку праці відповідних випускників. Підготовка фахівців передбачає створення навчального курсу, себто плану навчання, його інтеграцію в освітню програму, розроблення методики навчання та завдань тощо. Такий інноваційний курс надає змогу реалізувати традиційні дидактичні функції: мотиваційну, навчальну, інформаційну, розвивальну й контролюючу. З використанням інформаційних систем та технологій ці функції набуватимуть нових практичних реалізацій та нових програмно-апаратних рішень, які потім можуть бути впроваджені в освітній процес.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковим дослідженням у галузі інноваційних процесів у сучасній освіті присвячені роботи В. Бикова та інших науковців.

Актуальним напрямом модернізації педагогічних систем В. Биков вважає формування і розвиток хмаро орієнтованих технологій, використання яких надасть змогу підвищити якість освіти та забезпечить реалізацію принципів відкритої освіти [4]. У роботі [5] авторами Камінським, Єрешко, Кириченко обґрунтовано роль цифрової трансформації вищої освіти в Україні в епоху Industrial 4.0. Доведено необхідність розроблення стратегії цифрової трансформації університетської освіти та формування нових інформаційно-комунікаційних компетентностей. Автори аналізують основні можливі напрямки трансформації освітніх послуг та супутніх бізнес-процесів. Пропонується використовувати технологію блокчейн для побудови модуля управління навчальним контентом, а також інтеграції таких модулів у різних університетах України. Інноваційні технології блокчейн мають запроваджуватися в освіті, відповідати сучасним політичним викликам та тотальній інформатизації суспільства, що характеризується масовим нарощуванням інформації в базах даних з усіх галузей життєдіяльності людства. Впровадженню технологій блокчейн в освітню сферу присвячена робота В. Курбацького [6]. Автором розглядається можливість використання технології блокчейну для формування суб'єктами освіти цифрового сліду в освітньому просторі. Уся активність суб'єктів може бути представлена у вигляді ланцюга цифрових блоків (блокчейн). Технологія блокчейн надасть можливість скласти загальне для всіх суб'єктів навчального процесу бачення нових моделей навчання та знайти системне рішення для їх реалізації. У роботі В. Толбанова [7] розглядається підхід, де блокчейн може бути використаний у межах автоматизованих систем управління деякими вищими навчальними закладами або групами навчальних закладів. Кожен учасник освітнього процесу може максимально безпечно зберігати свої персональні дані в блокчейні, а також надавати правдиву інформацію про свою кваліфікацію, поточний освітній здобуток та рейтинг.

Блокчейн в освітніх установах уже широко використовується в закордонних країнах та відкриває величезні можливості для його ефективного використання. Наприклад, у Японії, Сінгапурі, США, Гонконгу, Естонії, Великобританії цифрові інформаційні та онлайн-технології активно впроваджуються в освітній сфері [8]. Університет Нікосії став першим університетом, який з 2017 року приймає оплату за навчання в криптовалюти біткойн. Цей університет розробляє освітню блокчейн-систему, яка надасть змогу викладачам обмінюватися між собою інформацією про репутацію студентів. Серед закордонних авторів, які досліджують питання впровадження технологій блокчейн у сферу освіти, можна виділити науковців Майка Шарплеса та Джона Домініка, які запропонували [9] використовувати блокчейн для формування так званої “валюти знань”. Емісія такої цифрової валюти передбачає доведення виконаної інтелектуальної роботи, зокрема надання якісних освітніх послуг. Традиційний реєстр блокчейну зберігає фінансові криптовалютні транзакції. Блокчейн “криптовалюти знань” зберігає інтелектуальну цінність, репутації як викладачів, так і студентів. Серед науковців репутація вже давно є товаром, наприклад підбір персоналу частково ґрунтуються на репутації, що вимірюється через кількість цитувань та показник публікацій у періодичних виданнях, які внесені до наукометричних баз Scopus або Web of Science. У роботі [10] автори проєкту Edublocs впровадили блокчейн у модель оцінювання індивідуальних навчальних траєкторій кожного студента. Така система надає змогу студентам слідкувати за своїм життєвим циклом навчання, рейтингуванням та репутацією. Індійські дослідники запропонували в роботі [11] мультидисциплінарний підхід до освіти та створили блокчейн-модель мотивації та інтересів студентів до навчання, так звану SIBC (Student Interest Blockchain) систему. Це експертна система, коли студенти можуть обирати освітні компоненти згідно свого рейтингу, себто формувати власну траєкторію навчання. Єгипетський дослідник Еман Сайед [12] торкається важливого питання цифровізації результатів навчання. Зокрема автор

пропонує фреймворк з набору блокчейн-рішень, які надають змогу верифікувати рівень досягнутих компетентностей студентом, тобто підтвердити в дистанційному або онлайн режимі свій диплом про здобуту освіту. Революційні ідеї модернізації навчальних процесів засобами блокчейн-технологій розглядаються в роботах [13], [14]. Індійські дослідники пропонують інноваційну освітню екосистему у деяких освітніх установах та університетах, яка функціонує на смарт-контрактах у блокчейні, де викладачі створюють контент та набирають студентів на курс. Викладач засобами смарт-контракту орендує локацію для проведення занять. Оплата за курс “заморожується” окремими смарт-контрактами, і після завершення занять орендна плата перераховується власнику орендованої локації, а також миттєво перераховується заробітна плата викладачеві. Ведення поточного, календарного та інших контрольних заходів у такій освітній екосистемі виконується шляхом запису всіх конфіденційних активностей та набутих балів студента в децентралізований блокчейн. Інноваційний проєкт освітньої онлайн-системи NOVA розробили алжирські вчені [15]. Розроблена система онлайн-навчання використовує переваги блокчейну для підтримки та регулювання очікуваної якості освіти як цільового критерію. Автоматично виконується контроль справедливості оцінювання знань та дотримання розкладу проведення занять, що своєю чергою значно підвищує мотивацію викладачів та студентів до покращення освітніх показників. У спільній роботі [16] європейські науковці провели аналіз впровадження технологій блокчейн у декількох відкритих університетах Європи. У цих університетах використовуються такі пілотні блокчейн-платформи дистанційного навчання, як-от Tutellus, SGE та Edgecoin. Вони значно покращують та оптимізують менеджмент навчального процесу й освітню співпрацю викладачів зі студентами. З метою оцінити думку студентів щодо впливу технології блокчейн на успішність навчання також були проведені опитування 150 студентів закладів освіти в Сербії, Румунії та Португалії.

Мета дослідження. Метою роботи є розроблення вибіркового освітнього компонента “Технологія блокчейн” та відповідного дистанційного курсу, що створені на кафедрі інформаційних систем та технологій факультету інформатики та обчислювальної техніки в КПІ ім. Ігоря Сікорського та апробація викладання такої інноваційної навчальної дисципліни в університеті.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Тотальна цифровізація та діджиталізація бізнес-процесів продукують запити до нових компетентностей серед фахівців з інформаційних систем та технологій. Зокрема існує дефіцит у програмістах децентралізованих баз даних блокчейн, спеціалістів у галузі цифрових/віртуальних активів, смарт-контрактів та децентралізованих фінансів. Технологія блокчейн є інноваційною технологією, що стрімко розвивається останні 10 років та все глибше проникає, починаючи зі сфери економіки, фінансів, послуг та розваг, до освітньої й виробничої сфер. Без вивчення технологій блокчейн неможливо підготувати майбутнього фахівця інженерного спрямування в галузі інформаційних систем та технологій. Це вимагає додавання в наявні, часто-густо застарілі, освітні програми, у навчальні плани відповідні інноваційні курси та нові дисципліни, присвячені блокчейну.

Кількість вакансій блокчейн-фахівців стрімко зростає останніми роками. Також зростають і пошукові запити про навчання технології блокчейн. Здебільшого курси з блокчейну поширюються як дистанційні чи онлайн і дуже рідко в межах аудиторних годин для підготовки суто співробітників компанії. Зауважимо, що найкращі університети світу пропонують принаймні один курс з блокчейну та криптовалют. Подекуди це повноцінні курси, а десь це окремі теми, що є частинами інших дисциплін.

Наприклад, такий курс викладав чинний голова SEC (Комісія з цінних паперів та бірж у США) Гері Генслер (*Gary Gensler*) у Массачусетському технологічному інституті у 2018 році. Інформацію про кількість кредитів цього та інших курсів не оприлюднюється. Змістовне наповнення більшості закордонних курсів орієнтоване на сучасну фінансову грамотність майбутніх економістів та інвесторів. Вітчизняних освітніх компонентів із технології блокчейн на момент дослідження не існувало.

Відсутність інноваційного навчального курсу “Технологія блокчейн” як на факультеті, так і в КПІ ім. Ігоря Сікорського спонукала автора до створення такого курсу. Надалі розроблений курс було впроваджено в освітній процес на факультеті у 2020 році в якості вибіркової навчальної дисципліни (як освітній компонент) для декількох освітніх програм, зокрема “Інтегровані інформаційні системи”, “Інформаційні управляючі системи та технології” та “Інформаційне забезпечення робототехнічних систем”. Набуті компетентності та програмні результати вибіркового дисциплін в освітніх програмах не зазначаються.

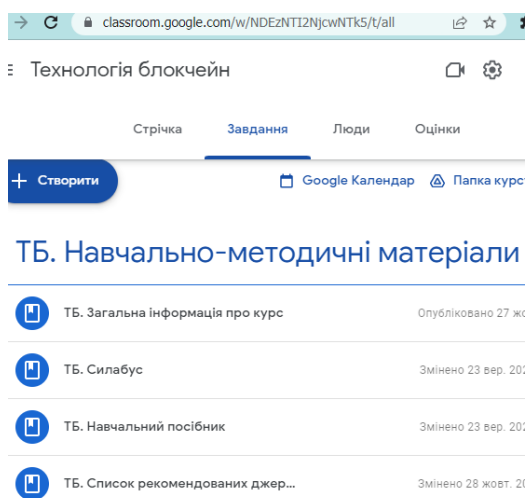
У межах цього курсу викладаються підходи, засоби та технології програмування розподілених баз даних типу блокчейн; теоретичні засади щодо архітектури, механіки роботи систем на базі блокчейн; токеноміка та цифровізація послуг, монетизація творчості та рейтингування соціуму, суверенна особистість та децентралізовані сертифікати. Результатом вивчення курсу є базові навички та вміння програмування та розгортання прототипу розподіленої бази даних типу блокчейн.

Упродовж розроблення пілотної навчальної дисципліни “Технологія блокчейн” було розглянуто підходи, засоби та платформи найкращих практик викладання такої дисципліни. Напрямок знань із технологій блокчейн є досить новим та термінологічно не сформованим, хоча відомо, що революційні інновації та знання значно швидше просуються аніж виходять академічні праці. З урахуванням світової пандемії, що збіглася з розробленням курсу, пріоритет ставився на викладання онлайн та дистанційний курс. Первинним документом, що надає опис освітнього компонента курсу, є навчальна програма, або силабус. Силабус містить таку інформацію: приналежність курсу до певної освітньої програми, авторів курсу, його структуру, теми аудиторних занять та перелік практичних робіт, заходи контролю та критерії оцінювання тощо.

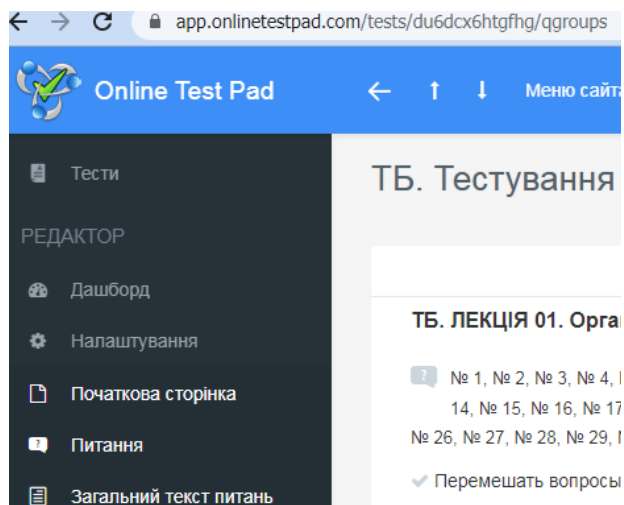
Експеримент практичного впровадження інноваційної дисципліни як освітнього компоненту розпочався з пропозиції до каталогу вибіркового дисциплін, потім розроблення експериментального силабусу та базового комплексу навчально-методичних матеріалів, які були апробовані та доопрацьовані протягом експерименту. Контент освітнього компонента курсу “Технологія блокчейн” поділяється на такі частини: лекції – теоретичний матеріал; лабораторні роботи – практичний матеріал та модульна контрольна робота – тести для контролю залишкових знань. Оскільки курс розроблявся за типовими вимогами університету до вибіркового дисциплін, то його обсяг мав вкластись у 120 годин, серед яких 36 годин виділяється на аудиторні лекційні заняття, 18 годин – лабораторний практикум (ЛР) та решта 66 годин на самостійну роботу студентів (СРС). З урахуванням ситуації неоголошеної війни із сусідом-агресором станом на кінець 2022 року найбільш прийнятним і практично єдиною можливою формою проведення освітнього процесу є дистанційна. Себто крім традиційних навчально-методичних матеріалів, що повною мірою розкривають навчальний курс, є також необхідність в обов'язковій розробці та сертифікації дистанційного курсу “Технологія блокчейн”.

Упродовж створення навчального курсу “Технологія блокчейн” були оглянуті сучасні інформаційно-комп'ютерні технології, що автоматизують освітні активності викладача і студента та обрано такі платформи: Google Classroom (Рис. 1, а) для

розгортання контенту дистанційного курсу та Online Test Pad для проведення контрольних заходів у вигляді тестів (Рис. 1, б). Поточний, календарний та семестровий контроль виконуються засобами інформаційної системи університету “Електронний кампус” (Рис. 1, в).



а) Google Classroom



б) Online Test Pad

The screenshot shows the "Електронний кампус" (Electronic Campus) system interface. It displays course information for the 2021-2022 academic year (1 semester), for the course "Технологія блокчейн, Бакалавр, Денна" (Blockchain Technology, Bachelor, Day). The group is IA-91, and the course is worth 6 LP (48 credits) + MKP (52). Below this, there is a "Журнал" (Journal) tab with a "Фільтр" (Filter) section. The main table shows student performance:

№	ПІБ студента	Σ за КМ	Оцінка	20-10 2021 Лабораторне заняття	20-10 2021 Лабораторне заняття
1	X [Redacted]	62	E	6	7
2	X [Redacted]	60	E	6	8

в) Електронний кампус

Рис 1. Засоби дистанційної роботи з дисципліни “Технологія блокчейн”

Поточною формою навчання, з урахуванням пандемії COVID-19 та воєнного часу, є онлайн-формат. Лекційний матеріал розроблено та подається у вигляді стислих презентацій на заняттях за розкладом у режимі онлайн засобами Zoom. Викладач

розкриває тему, коментуючи презентацію та наприкінці заняття надсилає її в Telegram. Для тих студентів, що не в змозі відвідати заняття за розкладом, ведеться відеозапис лекції, який також надається згодом. Такі навчальні онлайн-активності викладача схожі з традиційними очними, але відмічати присутніх складно та довго. Для студентів, які не в змозі відвідувати онлайн-заняття за розкладом, розгорнуто дистанційний курс на платформі Google Classroom, де є можливість самостійно в зручний час ознайомитись із лекційним матеріалом та успішно опрацювати матеріали освітнього компонента.

Основний акцент курсу “Технологія блокчейн” ставиться на вивченні фундаментального блокчейну Біткойн [17], який з 2009 року вже багато років поспіль є взірцем надійності та децентралізації. Меншою мірою в курсі увага приділяється альтернативним блокчейнам на кшталт Ефіріум та іншим, позаяк їх децентралізація досі знаходиться під великим питанням. Лекції курсу поділяються на два розділи: “Фундаментальні засади блокчейну” та “Сучасний розвиток блокчейну”. Перший розділ розкриває такі основні теми: історія та мотивація появи технології блокчейн, структури блокчейнів, хешування, транзакції, майнінг (видобуток монет), консенсуси, оптимізація, приватність тощо. Другий розділ містить теми про надбудови блокчейну Біткойн, блокчейн Ефіріум та цифрову суверенну особистість. Контрольні тестові завдання сформовані здебільшого з теоретичного матеріалу лекцій.

Виконувати лабораторні ЛР курсу можна за будь-якої форми навчання (очна, заочна, дистанційна, онлайн, асинхронна тощо), головне – наявність робочого місця: комп'ютера (власного чи аудиторного в університеті) та необхідного програмного забезпечення. Курс ЛР містить 6 практичних робіт та умовно поділяється на три частини: перші чотири ЛР – розроблення примітиву блокчейну та його тестування; п'ята ЛР – вивчення тестового блокчейну Біткойн та шоста ЛР – розгортання та тестування прикладу смарт-контракту в мережі Ефіріум.

Розроблення примітивів та компонентів блокчейну передбачає знання з вищої математики, програмування, криптографії та мережевих технологій, тому вибірково навчальна дисципліна “Технологія блокчейн” надається студентам для прослуховування на третьому курсі навчання в університеті. Фундаментальні знання з технології блокчейн, що має опанувати студент або слухач курсу полягають у розумінні архітектури, структури, функціоналу мережі блокчейну Біткойн, зокрема вкрай важливі такі питання: створення блоків, емісії монет (шляхом майнінгу) вузлами мережі (майнери), додавання транзакцій (внутрішній хешчейн) у блок, поєднання блоків з транзакціями в ланцюг (зовнішній хешчейн) згідно з мережевим механізмом консенсусу. Усі ці питання вирішуються і вивчаються саме в перших 4 ЛР освітнього компонента. Ресурсовитратний процес створення блоків у блокчейні Біткойн необхідний для децентралізованого, надійного і безпечного підтвердження мережею пакету транзакцій. Майнінг, своєю чергою, – це доповнений функціонал створення блоків, що передбачає емісію нових цифрових монет (окремою транзакцією) у блокчейні Біткойн. У публічній токеноміці Біткойну передбачено фіксовану емісію монет, тому майнінг у майбутньому зупиниться.

Структура блоку на базі open-source блокчейну Біткойн (у форматі JSON) має такі поля: *index* – висота (номер) блоку в ланцюгу, *timestamp* – часова мітка створення блоку, *transactions* – транзакції блоку, *Nonce* – шуканий параметр створення блоку та *previous_hash* – хеш попереднього блоку в ланцюгу. Практичні завдання до лабораторних робіт полягають у розробці простого функціоналу блокчейну згідно з наданими у курсі методичними рекомендаціями, де наводяться типові модулі, які треба застосувати в самостійній роботі протягом виконання завдання лабораторного циклу.

Приклад методу для реалізації функціоналу створення нових блоків за алгоритмом Proof of Work (PoW) має такий код мовою Python:

```

def zva_mine(self):
    # Lets pretend block header is this random string
    # header = str(getrandbits(32))
    # if self.zva_index == 1:
    #     header = "test"
    zva_proof = self.zva_mine_block(self.zva_current)
    print(f"Mined new block »{self.zva_index} with nonce {zva_proof}")
    self.zva_new_block(self.nonce)

```

Контент блоку серіалізується, а потім хешується функцією *sha256*. Алгоритм PoW передбачає ресурсозатратні обчислення задля досягнення цільового хешу. Але остаточний мережевий консенсус водночас ще не досягнуто. Тому найважливіше, що потрібно засвоїти протягом курсу “Технологія блокчейн”, – це засвоєння принципу роботи механізму консенсусу (не плутати з первинним обчисленням хешів згідно алгоритму PoW), позаяк саме цим механізмом відбувається узгодження роботи вузлів, що підтверджують транзакції користувачів без будь-якого посередника.

Задля наочної імітації роботи механізму консенсусу на стаціонарному локальному комп'ютері студенту необхідно встановити відповідний мережевий програмний інструмент Postman. За допомогою Postman є можливість у межах ЛР ініціалізувати два та більше незалежних мережевих вузлів блокчейну. Надалі на кожному із цих вузлів необхідно вручну створити нові блоки. Наведемо приклад розгортання та налаштування двох локальних вузлів на різних портах 5000 та 5001 шляхом виконання мережевих GET-команд. Спочатку потрібно створити по одному блоку на цих вузлах. У результаті кожен вузол міститиме свій локальний ланцюг. Далі необхідно створити ще один другий блок на вузлі з портом 5001.

Вузол на порті 5001 в результаті матиме ланцюг з двох блоків (Рис. 2). Вузол на порті 5000 досі містить ланцюг лише з одного блоку (Рис. 3). Важливо звернути увагу на параметр *timestamp* у блоці, який є унікальним та несе інформацію про часову мітку створення блоків.

```

2   "chain": [
3     {
4       "index": 1,
5       "previous_hash": "TSS",
6       "proof": 1062002,
7       "timestamp": 1653316268.1601214,
8       "transactions": []
9     },
10    {
11      "index": 2,
12      "previous_hash": "5b227287fbbf0bcd5a37fcec29282ee38811c2c9f87774fcd6094f5b96c23a91",
13      "proof": 240,
14      "timestamp": 1653316312.1666167,
15      "transactions": [
16        {
17          "amount": 1,
18          "block index": 2,
19          "recipient": "c5533e56a56c4adcb1b902f99be51dd5",
20          "sender": "0"
21        }
22      ]
23    }
24  ],
25  "length": 2

```

Рис 2. Ланцюг з двох блоків (вузол на порті 5001)

Перший блок кожного вузла створювався незалежно один від одного тож має свій час створення *timestamp*. Надалі тільки один з перших блоків буде додано до глобального ланцюга блокчейну, інший скасовується та його транзакції (у даному прикладі блок містить одну транзакцію, що відповідає за винагороду майнеру) розформовуються.

```
1
2   "chain": [
3     {
4       "index": 1,
5       "previous_hash": "TSS",
6       "proof": 1062002,
7       "timestamp": 1653316255.7130854,
8       "transactions": []
9     }
10  ],
11  "length": 1
12
```

Рис 3. Ланцюг з одного блоку (вузол на порті 5000)

Далі потрібно викликати метод на вузлі 5000, який застосовує алгоритм консенсусу, аби створений другий блок (на вузлі 5001) з'явився в ланцюгу вузла на порті 5000. У результаті кожен вузол міститиме свій локальний ланцюг.

Тож потім необхідно виконати узгодження (консенсус) та синхронізацію цих локальних ланцюгів, тобто обрати найдовший серед них (Рис. 4). Найдовший і буде вважатися блокчейном. Оскільки фундаментальна особливість блокчейну саме й полягає в ідентичності ланцюгів на всіх вузлах екосистеми блокчейн.

```
1
2   "message": "Our chain was replaced",
3   "new_chain": [
4     {
5       "index": 1,
6       "previous_hash": "TSS",
7       "proof": 1062002,
8       "timestamp": 1653316268.1601214,
9       "transactions": []
10    },
11    {
12      "index": 2,
13      "previous_hash": "5b227287fbbf0bcd5a37fcec29282ee38811c2c9f87774fcd6094f5b96c23a91",
14      "proof": 240,
15      "timestamp": 1653316312.1666167,
16      "transactions": [
17        {
18          "amount": 1,
19          "block index": 2,
20          "recipient": "c5533e56a56c4adcb1b902f99be51dd5",
21          "sender": "0"
22        }
23      ]
24    }
25  ]
26
```

Рис 4. Застосування консенсусу (вузол на порті 5000)

По завершенні виконання методу узгодження на вузлі з портом 5000 буде записано ланцюг з двох блоків з першого вузла (на порті 5001) із скасуванням створення його першого блоку, позаяк другий вузол (порт 5001) містить найдовший ланцюг між двома вузлами. Як тільки це сталося, два вузли набули статусу синхронізованого блокчейну з

єдиним ланцюгом і готові до конкурентного створення наступного блоку та оновлення глобального ланцюга блокчейну.

Наприкінці одна з практичних ЛР навчальної дисципліни “Технологія блокчейн” орієнтована на здобуття практичних навичок та вмінь розгортання простих смарт-контрактів на платформі Ефіріум. Найпростішим прикладом ідеї побудови смарт-контракту на блокчейні, що вирішує просту задачу у виборчій сфері (обрання делегатів, голів підрозділів, декана тощо) є децентралізований сервіс таємного голосування [18].

Інноваційний курс “Технологія блокчейн” в університеті впроваджувався вперше, тому викликав неабиякий інтерес до себе, а також прискіпливий аналіз його контенту, процесу викладання та контролю знань. Не обійшлося і без критики, що тільки більше мотивує до покращення та вдосконалення навчальної дисципліни. Оскільки навчальна дисципліна “Технологія блокчейн” є вибірковою і викладання відбувалось одноосібно єдиним викладачем на кафедрі та факультеті, провести порівняльний аналіз якості викладання наразі не є можливим. Серед більшості студентів, які обрали цей інноваційний курс, є незначна частина дійсно мотивованих та зацікавлених у вивченні дисципліни. Переважна більшість студентів обрали курс заради цікавості і не ставили за мету глибоко вивчати його та працювати в майбутньому в цій сфері. Перший 2020/2021 навчальний рік викладання курсу значно відрізнявся від наступного навчального 2021/2022 року. Правовий режим воєнного стану в Україні вніс свої незворотні корективи і в освітній процес також. Навчання перейшло суто до онлайн форми навчання і опанування навчальних дисциплін набуло формату здебільшого самостійної роботи студентів з консультацією за потребою у викладачів. Показники якості викладання курсу та інших дисциплін сильно розмились під впливом маси факторів. Тож про порівняння результатів навчання студентів, їх оцінка впровадженого інноваційного дистанційного курсу наразі мова не йде. Але достатній рівень підготовки ІТ-фахівців забезпечується.

Навесні 2022 року навчальний процес у закладах освіти, зокрема в київській політехніці, набув нових форм, більшість студентів обрала асинхронну форму навчання. Опанування дисципліни “Технологія блокчейн” студентами здебільшого виконувалось суто самостійно за наданими матеріалами на платформі дистанційного навчання Google Classroom шляхом віддаленого доступу до інформаційних навчально-методичних матеріалів. На початку нового 2022/2023 навчального року адміністрацією університету було прийнято рішення повернутися до традиційних форм навчання. Але з початку жовтня 2022 року через регулярні бомбардування російською федерацією енергетичної інфраструктури України спостерігається гострий дефіцит електроенергії, що призвело до термінового запровадження в Україні віялового відключення споживачів електроенергії. З огляду на таку критичну ситуацію дистанційна форма навчання залишилась практично єдиною, що може повною мірою задовольнити якісний навчальний процес, себто, викладання курсів викладачами та їх опанування студентами.

Головним інноваційним результатом розроблення освітнього компонента “Технологія блокчейн” є практичний курс лабораторних ЛР, що були рекомендовані факультетом до виконання в навчальному процесі на кафедрі. Загалом експериментальний навчально-методичний матеріал до практичних робіт курсу доопрацьовувався два роки, у результаті було видано працю “Основи технології блокчейн. Комп'ютерний практикум” [19], що у 2021/2022 навчальному році була рекомендована Методичною радою КПП ім. Ігоря Сікорського як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 126 “Інформаційні системи та технології”.

Наступним кроком після публікації електронного посібника “Основи технології блокчейн” було виконання процедури сертифікації дистанційного курсу “Технологія блокчейн”, попередньо розміщеного на хмаро орієнтованій платформі Google Classroom.

Обов'язковими структурними елементами дистанційного курсу є: силабус, теми та текстові матеріали лекцій, практичні роботи, завдання до них та контрольні заходи. Для студентів, що навчаються не за розкладом, а опановують дистанційний курс, кожна лекція містить наприкінці просте практичне завдання, яке необхідне та достатнє для доведення викладачу виконаної роботи щодо опанування матеріалу певної лекції. Практичні лабораторні роботи дистанційного курсу повністю відповідають роботам традиційної дисципліни, що викладається за розкладом. Модульна контрольна та залікова роботи базуються на тестуванні. Рейтингування балами практичних робіт та модульної контрольної роботи також ідентичні. Процедура здобуття загального рейтингового балу та отримання залікової оцінки цілком відповідає силабусу як для дистанційного курсу, так і згідно навчального плану.

3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дистанційний курс “Технологія блокчейн” був розроблений на кафедрі інформаційних систем та технологій з метою заповнення пробілу компетентностей в освітніх програмах майбутніх фахівців з інженерних спеціальностей університету. Поява цього нового навчального курсу викликала неабиякий інтерес до нього та підвищила мотивацію до його прослуховування серед студентства. На перших порах курс був у вигляді чернетки, тож вимагав багато часу та зусиль, аби довести його до пристойного вигляду. Цей процес триває і дотепер, курс постійно вдосконалюється, оновлюється та модернізується, позаяк сфера блокчейн технологій знаходиться на гребні інновацій.

У якості експерименту курс “Технологія блокчейн” було впроваджено як вибірково дисципліну в навчальний процес на факультеті інформатики та обчислювальної техніки. Отриманий результат застосування пілотного курсу в навчальному процесі засвідчив високий інтерес до сфери блокчейн серед студентства, а також підвищення якості підготовки майбутніх фахівців інженерного спрямування в галузі ІТ. Із урахуванням як пандемії 2020 року, так і неоголошеної війни 2022 року, більшість студентів усе ж таки обрали шлях самостійного опанування курсу в дистанційній формі на платформі Google Classroom без відвідування занять за розкладом університету. Курс, що розташований на платформі Google Classroom, інтегровано до платформи дистанційного навчання “Сікорський”.

Вивчення інноваційної навчальної дисципліни “Технологія блокчейн” дає можливість студентам отримати глибокі теоретичні знання, практичні вміння та навички, що задовольняють запити сучасного бізнесу у сфері ІТ. Доволі успішний досвід розроблення і впровадження в навчальний процес університету інноваційної пілотної навчальної дисципліни “Технологія блокчейн” свідчить про те, що проблема дефіциту подібних курсів є актуальною, знаходиться в стадії наукових досліджень, пошуку нових методик викладання та подання навчально-методичного матеріалу в дистанційних курсах.

Технології блокчейн надають можливості проектування інформаційних систем, які зможуть зберігати всю освітню діяльність, наприклад, учня чи студента в незмінній, надійній, безпечній та децентралізованій базі даних. Подальші дослідження та експерименти з модернізації навчального курсу “Технологія блокчейн” лежать у площині пошуку блокчейн месенджерів для комунікації зі студентами з певним функціоналом заохочень та набуття репутації протягом опанування навчальної дисципліни. Наступним етапом дослідження планується обрати оптимальну блокчейн-екосистему з відповідними фреймворками, за допомогою яких вдасться розгорнути навчальний контент курсу в децентралізованому сховищі. Оскільки блокчейн-індустрія представлена широким спектром конкурентних блокчейн-екосистем, особлива увага у

виборі приділятиметься відкритим публічним open-source проектам, таким як: Polkadot, Cosmos, Near тощо. Наприклад, блокчейн Near Protocol позиціонує себе як екосистему для масового користувача з короткими, комфортними назвами облікових записів, великою кількістю готових прикладів блокчейн-рішень та безкоштовними онлайн-курсами вивчення блокчейну Near Protocol. У перспективі є амбітні плани розробити та впровадити в університеті децентралізований сервіс підтримки навчального процесу на заміну централізованої системи “Електронний кампус”. У майбутніх дослідженнях планується розкрити тему глибокого використання технологій блокчейн для наскрізної автоматизації освітніх та навчальних процесів, починаючи з початкової школи до випускника зі ступенем *PhD*. Результатом впровадження блокчейн-технологій в освітню сферу стане автоматизація процесів та надання освітніх послуг, що призведе до епохи цифрових смарт-контрактів та *paperless*-угод, значної економії матеріальних та, що особливо важливо, енергетичних ресурсів. Економічну стабільність зможуть зберегти ті освітні заклади та університети, які перейдуть на інноваційні автоматизовані блокчейн-інфраструктури та залишаться конкурентоспроможними в бурхливому світі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Кабінет міністрів України (2022, Лют.23). *Розпорядження № 286-р, Про схвалення Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022-2032 роки*. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/286-2022-%D1%80#Text>. Дата звернення: Жовт.30, 2022.
- [2] Верховна Рада України (2022, Лют.17). *Закон України про віртуальні активи* [Електронний ресурс]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2074-20>. Дата звернення: Жовт.30, 2022.
- [3] Стратегія розвитку Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського на 2020-2025 роки. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://kpi.ua/files/2020-2025-strategy.pdf>. Дата звернення: Жовт.30, 2022.
- [4] В. Биков, Д. Мікуловський, О. Моравчик, С. Светський, М. Шишкіна, "Використання хмаро орієнтованої платформи відкритого навчання та досліджень для співробітництва у віртуальних колективах", *Інформаційні технології і засоби навчання*, т. 76, ном. 2, – с. 304-320, 2020. doi: 10.33407/itlt.v76i2.3706.
- [5] O. Kaminsky, Y. Yereshko and S. Kyrychenko, "Digital transformation of university education in Ukraine: trajectories of development in the conditions of new technological and economic order", *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 64, no. 2, pp. 128-137, 2018. doi: 10.33407/itlt.v64i2.2083.
- [6] В. Курбацкий, "Технология блокчейн как основа формирования цифрового образовательного следа", *Международ. науч.-практ. конф., Минск, 2020*. Ч. 1. с. 274-277. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/250711>. Дата звернення: Жовт.30, 2022.
- [7] А. Толбанов, "Використання технології блокчейн для E-Learning", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, том. 61, ном. 1, с. 110-113, 2018. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/6254/1/1.pdf>. Дата звернення: Жовт.30, 2022.
- [8] В. Кузнецова, И. Бондаренко, "Блокчейн в образовании", *Россия: тенденции и перспективы развития*. 2018. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://cyberleninka.ru/article/n/blokcheyn-v-obrazovanii/viewer>. Дата звернення: Жовт.30, 2022.
- [9] M. Sharples, J. Domingue, "The Blockchain and Kudos: A Distributed System for Educational Record, Reputation and Reward", in *EC-TEL 2016: Adaptive and Adaptable Learning*. pp. 490-496, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-45153-4_48.
- [10] P. R. Vargas, C. L. Soriano, "Blockchain in the university: A digital technology to design, implement and manage global learning itineraries", *Digital Education Review*, iss. 35, pp. 130-150, 2019. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1220160.pdf>. Дата звернення: Жовт.30, 2022.
- [11] Sriramudu, Chaitanya Palli, J. Adarshavathi, Pasupuleti Sivakumar, "A Proposed Blockchain Model to Enhance Student Knowledge", *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol. 44, pp. 107-115, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-37051-0_12.
- [12] E. Sayed, Blockchain Solutions in Education: "A New Cross-Education Blockchain-Based Framework", in *ACM International Conference Proceeding Series, ICSIE*. pp. 229-234, 2020. doi: 10.1145/3436829.3436872.
- [13] V.Sivasubramanian, V. Brindha Devi, M. Meenaloshini, T. Ahath Khan, "Decentralized Classroom Using Blockchain", *Lecture Notes in Electrical Engineering. IVC14.0*, vol. 355, pp. 247-256, 2021. doi:

- 10.1007/978-981-16-1244-2_21.
- [14] V. Sudha, R. Kalaiselvi R., D. Sathya, "Blockchain Based Student Information Management System", in *International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation, ICAECA*, 2021. doi: 10.1109/ICAECA52838.2021.9675515.
- [15] A. Cheriguene, T. Kabache, C. Abdelaziz Kerrache, Carlos T. Calafate, J. Carlos Cano, "NOTA: a novel online teaching and assessment scheme using Blockchain for emergency cases", *Education and Information Technologies*, vol. 27, iss. 1, pp. 115-132, 2022. doi: 10.1007/s10639-021-10629-6.
- [16] V. Kuleto, Rocsana Bucea-Manea-țoniș, Radu Bucea-Manea-țoniș Milena P. Ilić, Oliva M. D. Martins, M. Ranković, Ana Sofia Coelho, "The Potential of Blockchain Technology in Higher Education as Perceived by Students in Serbia, Romania, and Portugal", *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, iss. 2, art. num. 749, 2022. doi: 10.3390/su14020749.
- [17] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System". 2008. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Дата звернення: Жовт.30, 2022.
- [18] В. Яланецький, Л. Лашин, "Веб-сервіс таємного голосування на блокчейні", *Інтернет конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення»*. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-679/>. Дата звернення: Жовт.30, 2022.
- [19] В. Яланецький, "Основи технології блокчейн. Комп'ютерний практикум: навч. посіб. для студентів спеціальностей 126 «Інформаційні системи та технології»", 2022. – 89 с. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/47876/1/Osnovy.pdf>. Дата звернення: Жовт.30, 2022.

Матеріал надійшов до редакції 05.11.2022р.

"BLOCKCHAIN TECHNOLOGY" DISTANCE COURSE FOR ENGINEERING SPECIALTIES

Valerii A. Yalanetskyi

Senior Lecturer

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID ID 0000-0001-6163-0258

v.yalanetskyi@gmail.com

Abstract. The article describes the development of the distance course of the pilot selective educational component "Blockchain Technology", a description of its structure and the main aspects of the computer workshop. The course was developed to eliminate the shortage of competencies in the field of blockchain technologies at the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". The course includes a set of presentations and lectures, methodological guidelines for laboratory work with examples of implementation in the Python and Java languages, and tasks for laboratory work. During the creation of the pilot course, the syllabus of the discipline was developed for the first time, its content was filled, and the method of teaching the discipline was proposed. The main emphasis of the discipline is aimed at practical training in blockchain programming with modern tools and frameworks. The software development of the basic components of the blockchain is as close as possible to the real Bitcoin blockchain. This generates new professional skills and abilities in students for the future professional solution of deployment and maintenance of blockchain ecosystems in business, production and education. The article provides fragments of software solutions for the development of blockchain components. Educational and methodical materials are uploaded using cloud-based technologies in the teacher's account Google Classroom, which is integrated with the "Sikorsky" distance-learning platform. Such a flexible organization of resources makes it possible, depending on the work programs of the faculties, to choose appropriate course topics and supplement the topics with the necessary regulatory documentation and task options. As an experiment, the educational discipline was implemented as a selective one into the educational process at the Faculty of Informatics and Computer Engineering. The application of the pilot course in the educational process yielded a high level of interest in the field of Blockchain among students, as well as an increase in the quality of future IT engineering specialists.

Keywords: blockchain; blockchain technology; consensus; information systems and technologies.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] Cabinet of Ministers of Ukraine (2022/11/23). *Order №286-p, On the approval of the Strategy for the Development of Higher Education in Ukraine for 2022-2032*. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/286-2022-%D1%80#Text>. Accessed on: Oct.30, 2022 (in Ukrainian)
- [2] Verkhovna Rada of Ukraine (2022/11/17). *Law of Ukraine on Virtual Assets*. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2074-20>. Accessed on: Oct.30, 2022 (in Ukrainian)
- [3] Development strategy of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute for 2020-2025. [Online]. Available: <https://kpi.ua/files/2020-2025-strategy.pdf>. Accessed on: Oct.30, 2022 (in Ukrainian)
- [4] V. Bykov, D. Mikulovsky, O. Moravchyk, S. Svetsky, M. P Shishkina, "Using a cloud-based platform of open learning and research for cooperation in virtual teams", *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 76, no. 2, pp. 304-320, 2020. doi: 10.33407/itlt.v76i2.3706. (in Ukrainian)
- [5] O. Kaminsky, Y. Yereshko and S. Kyrychenko, "Digital transformation of university education in Ukraine: trajectories of development in the conditions of new technological and economic order", *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 64, no. 2 pp. 128-137, 2018. doi: 10.33407/itlt.v64i2.2083.(in English)
- [6] V. Kurbatsky, "Blockchain technology as the basis for creating a digital educational footprint", in *International scientific and practical conf.*, Mynsk, 2020. [Online]. Available: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/250711>. Accessed on: Oct.30, 2022 (in Russian)
- [7] A. Tolbanov, "Using blockchain technology for E-Learning", *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, vol. 61, num. 1, pp. 110-113, 2018. [Online]. Available: <https://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/6254/1/1.pdf>. Accessed on: Oct.30, 2022 (in English)
- [8] V. Kuznetsova, I. Bondarenko, "Blockchain in Education", *Russia: Trends and Development Prospects*, 2018. [online]. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/blokcheyn-v-obrazovanii/viewer>. Accessed on: Oct.30, 2022 (in Russian)
- [9] M. Sharples, J. Domingue, "The Blockchain and Kudos: A Distributed System for Educational Record, Reputation and Reward", in *EC-TEL 2016: Adaptive and Adaptable Learning*. pp. 490-496, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-45153-4_48. (in English)
- [10] P. R. Vargas, C. L. Soriano, "Blockchain in the university: A digital technology to design, implement and manage global learning itineraries", *Digital Education Review*, iss. 35, pp. 130-150, 2019. [Online]. Available: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1220160.pdf>. Accessed on: October 30, 2022 (in English)
- [11] Sriramudu, Chaitanya Palli, J Adarshavathi, Pasupuleti Sivakumar, "A Proposed Blockchain Model to Enhance Student Knowledge", *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol. 44, pp. 107-115, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-37051-0_12. (in English)
- [12] E. Sayed, "Blockchain Solutions in Education: A New Cross-Education Blockchain-Based Framework", in *ACM International Conference Proceeding Series, ICSIE*. pp. 229-234, 2020. doi: 10.1145/3436829.3436872. (in English)
- [13] V. Sivasubramanian, V. Brindha Devi, M. Meenaloshini, T. Ahath Khan, "Decentralized Classroom Using Blockchain", *Lecture Notes in Electrical Engineering. IVC14.0*, vol. 355, pp. 247-256, 2021. doi: 10.1007/978-981-16-1244-2_21. (in English)
- [14] V. Sudha, R. Kalaiselvi R., D. Sathya, "Blockchain Based Student Information Management System", in *International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation, ICAECA*, 2021. doi: 10.1109/ICAECA52838.2021.9675515. (in English)
- [15] A. Cheriguene, T. Kabache, C. Abdelaziz Kerrache, Carlos T. Calafate, J. Carlos Cano, "NOTA: a novel online teaching and assessment scheme using Blockchain for emergency cases", *Education and Information Technologies*, vol. 27, iss. 1, pp. 115-132, 2022. doi: 10.1007/s10639-021-10629-6. (in English)
- [16] V. Kuleto, Rocsana Bucea-Manea-țoniș, Radu Bucea-Manea-țoniș Milena P. Ilić, Oliva M. D. Martins, M. Ranković, Ana Sofia Coelho, "The Potential of Blockchain Technology in Higher Education as Perceived by Students in Serbia, Romania, and Portugal", *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, iss. 2, art. num. 749, 2022: doi: 10.3390/su14020749. (in English)
- [17] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System". 2008. [Online]. Available: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Accessed on: October 30, 2022 (in English)
- [18] V. Yalanetskyi, L. Lashin, "Web service of secret voting on the blockchain", in *Internet Conference Information society: technological, economic and technical aspects of formation* [Online]. Available: <http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-679/>. Accessed on: October 30, 2022 (in Ukrainian)
- [19] V. Yalanetskyi, "Basics of blockchain technology. Computer workshop: teaching manual for students of specialties 126 «Information systems and technologies»", 2022. 89p. [Online]. Available: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/47876/1/Osnovy.pdf>. Accessed on: October 30, 2022 (in Ukrainian)

