

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-85-10>

УДК:004.738.5

ПОЛТОРАЦЬКИЙ Максим

Херсонський державний університет

<https://orcid.org/0000-0001-9861-4438>

mpoltoratskyi@ksu.ks.ua

ОДИН З ПІДХОДІВ ДО СТВОРЕННЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В умовах стрімкого розвитку технологій, зокрема ШІ, виникає потреба у трансформації підходів в освіті, персоналізованій освітній інженерії. Важливим аспектом сучасної персоналізованої інженерії є дослідження можливостей побудови траєкторій навчання здобувача відповідно до його індивідуальних та кар'єрних уподобань.

Метою дослідження є розробка модулю архітектури персоналізованого освітнього середовища та алгоритму рекомендації курсів із засосуванням технологій Semantic Web, а також висвітлення питання застосування та місця децентралізованих технологій IPFS та Blockchain в сучасних персоналізованих системах для забезпечення цифрової ідентичності результатів навчання.

Особливу увагу приділено практичним аспектам реалізації алгоритму рекомендації курсів на основі мови запитів SPARQL, а також розширенню освітньої RDF-моделі. Представлено роль мови SHACL не лише для валідації моделей, а й у поєднанні з децентралізованими технологіями для забезпечення цифрової ідентичності.

Ключові слова: персоналізована освіта; персоналізовані освітні траєкторії; персоналізована освітня інженерія; персоналізовані системи навчання.

POLTORATSKYI Maksym

Kherson State University

ONE OF THE APPROACHES TO CREATING A PERSONALIZED EDUCATIONAL ENVIRONMENT

The rapid development of artificial intelligence and Semantic Web technologies is transforming modern higher education and creating the preconditions for the implementation of personalized learning environments. One of the key challenges is the construction of individual learning trajectories that take into account students' prior knowledge, acquired competences, and career aspirations. The purpose of this study is to design a module of a personalized educational environment architecture and to develop a course recommendation algorithm based on Semantic Web technologies, as well as to substantiate the role of decentralized solutions such as IPFS and blockchain in ensuring the digital identity and integrity of learning outcomes.

The proposed architecture integrates university learning management systems with a semantic course repository implemented through RDF models, SPARQL queries, and SHACL constraints. The recommendation mechanism analyses the correspondence between required job-related competences and the skills provided by courses, taking into account prerequisite relationships and previously acquired knowledge. This enables the automatic generation and dynamic adjustment of individualized learning paths aligned with selected professional profiles.

Special attention is paid to the validation of educational trajectories using SHACL rules and logical reasoning tools, which ensures compliance with academic standards and credit requirements. The study also explores the use of IPFS for decentralized storage of certificates and blockchain for recording content identifiers, which guarantees authenticity, immutability, and verifiability of educational documents. Such an approach supports academic mobility, interoperability between institutions, and transparency of learning achievements.

The implementation of the proposed model provides a high level of personalization, adaptability to learners' needs, and the possibility of continuous trajectory redesign during the learning process. In addition, it contributes to the development of a unified semantic standard for describing courses and competences, facilitating cross-institutional integration and lifelong learning scenarios.

Keywords: personalized education; personalized educational trajectories; personalized educational engineering; personalized learning systems.

Стаття надійшла до редакції / Received 22.12.2025

Прийнята до друку / Accepted 04.02.2026

Опубліковано / Published 05.03.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Полторацький Максим

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Розвиток технологій зокрема штучного інтелекту вносить значні корективи в побудову освітнього процесу. Зараз більшість фахівців звертають увагу на освітню інженерію з точки зору побудов персоналізованих траєкторій.

Значна кількість учених-педагогів стверджує, що такий підхід є більш ефективним для засвоєння нових навичок. Здобувачі більш мотивовані, оскільки освітня траєкторія побудована з дисциплін, які відповідають їхній кар'єрній меті. Побудова такого роду освітнього процесу вимагає розробки нових систем управління освітнім контентом. У цьому контексті дедалі більш актуальним стає ще один виклик для

класичної освіти — стрімкий розвиток генеративного ШІ та інтелектуальних агентів, які виступають у ролі персональних тьюторів і забезпечують можливість взаємодії зі студентами у зручний для них час. [1].

Особливо гостро це питання постає у сфері вищої освіти. Тому для ефективного впровадження штучного інтелекту в освітню діяльність адміністраціям університетів варто замислитися про впровадження регуляторних політик застосування ШІ в університетах[2,3].

Поява таких фреймворків як CrewAI[4] надає можливість розробникам розробляти складні мультиагентні середовища, де кожен агент взаємодіє в команді та відповідає за окрему дію. Прикладом може бути мережа з двох агентів, де один перевіряє результати тестів здобувачів, передає результати з неправильними відповідями до другого ШІ-агента, а той в свою чергу аналізує відповіді та рекомендує студенту теми (де були допущені помилки) для повторення.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Стрімкий розвиток штучного інтелекту вніс суттєві корективи в освітній менеджмент, змінюючи підходи до планування, організації та управління освітніми процесами.

Так, у роботі [5] автори представили дослідження, щодо впливу штучного інтелекту на адаптацію змісту відповідно до індивідуальних потреб здобувачів. Також автори підкреслюють, що впровадження штучного інтелекту в освітній процес супроводжується низкою етичних проблем, а також проблемами, пов'язаними з конфіденційністю даних. Це, в свою чергу, викликає необхідність ефективної підготовки вчителів для підтримки інтеграції технологій. Автори статті підкреслюють важливість розробки стандартів, щодо впровадження штучного інтелекту в процес навчання, а також в систему оцінювання.

Підтвердженням ефективності застосування штучного інтелекту під час формування персоналізованих освітніх траєкторій є робота [6]. Автори статті зазначають, що застосування персоналізованих технологій в освітньому менеджменті може покращити когнітивні навички та когнітивні характеристики здобувачів під час освоєння навчального матеріалу.

Підтвердженням важливості впровадження штучного інтелекту в персоналізовану освіту є стаття [7]. Автори роботи представили комплексний огляд літератури, а також платформ, що підтримують персоналізацію освітнього процесу та прийшли до висновку, що штучний інтелект відіграє ключову роль в адаптивних, персоналізованих середовищах та дає можливість адаптувати освітній контент до індивідуальних потреб здобувача. Впровадження чат-ботів на базі ШІ, а також віртуальний тьютерінг, може забезпечити побудову персоналізованих шляхів навчання гарантуючи, що кожен учень може навчатися в своєму власному темпі. Автори даної статті прийшли к цікавому висновку, що використання штучного інтелекту в формуванні спільних груп на основі сильних та слабких сторін здобувачів є ефективним підходом до формування персоналізованої освіти.

Розвиток та еволюція технологій спричиняє потребу безперервного навчання для фахівців із різних галузей, що робить парадигму навчання протягом усього життя (Life-Long Learning, 3L) надзвичайно важливою. Але ця концепція потребує також значних трансформацій, оскільки для кожного фахівця має формуватися своя персоналізована траєкторія навчання. Метою статті [8] є аналіз сучасного стану досліджень щодо розробки рішень на основі штучного інтелекту для проектування персоналізованих навчальних шляхів в концепції 3L. Авторами данної статті було зроблено системний аналіз публікацій за останні роки (2019-2024 роки). Вони прийшли до таких висновків:

- найбільша кількість наукових досліджень з цієї теми розроблена в Китаї, Індії та Сполучених Штатах;
- основна увага зосереджена на освітньому контексті на рівні вищої освіти з можливостями застосування в робочому контексті;
- переважає розробка адаптивних технологій навчання; однак, спостерігається зростаючий інтерес до застосування генеративних мовних моделей.

На наш погляд, важливим висновком є другий, оскільки саме він відображає важливість побудови персоналізованих траєкторій відштовхуючись від кар'єрних уподобань здобувача. Сучасна освіта має формувати освітню траєкторію відповідно до індивідуальних та кар'єрних уподобань та формувати освітні траєкторії через навчальні дисципліни, що надають конкретних необхідних навичок та спрямовують здобувача на досягнення особистісних та професійних цілей.

Продовжуючи вивчення досвіду закордонних колег, щодо питання впровадження штучного інтелекту в освітні установи та безпосередньо в персоналізоване навчання варто відмінити статтю [9]. Автори даної роботи провели дослідження щодо впровадження генеративних ШІ в освітній процес. Результати показали позитивний вплив генеративного ШІ на мотивацію та когнітивні навички здобувачів, однак водночас існують занепокоєння щодо ризику формування надмірної залежності та зниження самостійного мислення здобувачів. Ці виклики, підкреслює необхідність навчання вчителів застосування ШІ для забезпечення ефективного використання в педагогічному процесі.

Важливою та невід'ємною частиною персоналізованого навчання є правильний дизайн послідовності навчальних матеріалів. Автор статті [10] зосереджує свою увагу на вивчення елементів дизайну

персоналізованого навчання, зосереджує увагу на важливості формування правильної структури навчального контенту та послідовності навчальних матеріалів. У ході дослідження авторкою було проаналізовано статті за цим напрямком та виявлено низьку зрілість персоналізованого навчання у вищій освіті.

При формуванні сучасних освітніх траєкторій варто також зважати на такий компонент, як неформальна освіта. У статті [11] висвітлюється теоретичний аспект проектування персоналізованого освітнього середовища. Автори статті визначають компоненти персоналізованого освітнього середовища для фахівців з комп'ютерних наук у неформальній освіті.

У статті [12] представлено огляд підходів до навчання, а саме: персоналізації, індивідуалізації. Авторами статті зазначено ключову роль здобувача в освітньому процесі при персоналізованому навчанні. Автори статті демонструють розроблену індивідуальну освітню траєкторію навчальних курсів «Інженерна та комп'ютерна графіка» і «Нарисна геометрія, інженерна та комп'ютерна графіка». Автори відзначають ефективність застосування BYOD (Bring Your Own Device – Принеси свій власний пристрій) [13] методології та надають приклад індивідуальних освітніх траєкторій реалізованих на платформі Moodle.

Результати проведення огляду літератури вказуються на широкий інтерес до тематики освітньої інженерії в контексті побудови персоналізованих освітніх траєкторій, але з тим варто зазначити, що більшість досліджень складають теоретичні надбання.

Тому в даній статті буде висвітлено практичні аспекти побудови сучасного персоналізованого освітнього середовища, а також важливість застосування децентралізованих технологій в таких середовищах.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є представлення модулю архітектуру персоналізованого освітнього середовища та алгоритму рекомендації курсів з використанням технологій Semantic Web, а також децентралізовані технології IPFS [14] та Blockchain для забезпечення цифрової ідентичності результатів навчання.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У цьому розділі представлено короткий опис архітектури персоналізованого освітнього середовища та алгоритмів рекомендації курсів, що лежать в основі побудови індивідуальних освітніх траєкторій. На рис. 1 зображено архітектуру персоналізованого освітнього середовища, що складається з наступних складових:

1. LMS (Learning Management System) системи управління освітнім контентом різних університетів;
2. Освітній репозиторій курсів (ОРК), реалізований на основі моделей Semantic Web;
3. IPFS — децентралізована мережа, яка дозволяє зберігати й передавати файли через peer-to-peer-з'єднання без залежності від єдиного централізованого сервера [14]. Документи зберігаються на вузлах (нодах), що підключені до IPFS-мережі;
4. Інтерфейс для роботи з блокчейн-реєстром.

Також варто зазначити, що в LMS-системі передбачено два компоненти:

- компонент формування індивідуальної освітньої траєкторії;
- компонент роботи з IPFS та блокчейн-реєстром.

Усі інші компоненти було спеціально опущено з міркувань узагальнення, а також як такі, що не є предметом безпосереднього аналізу.

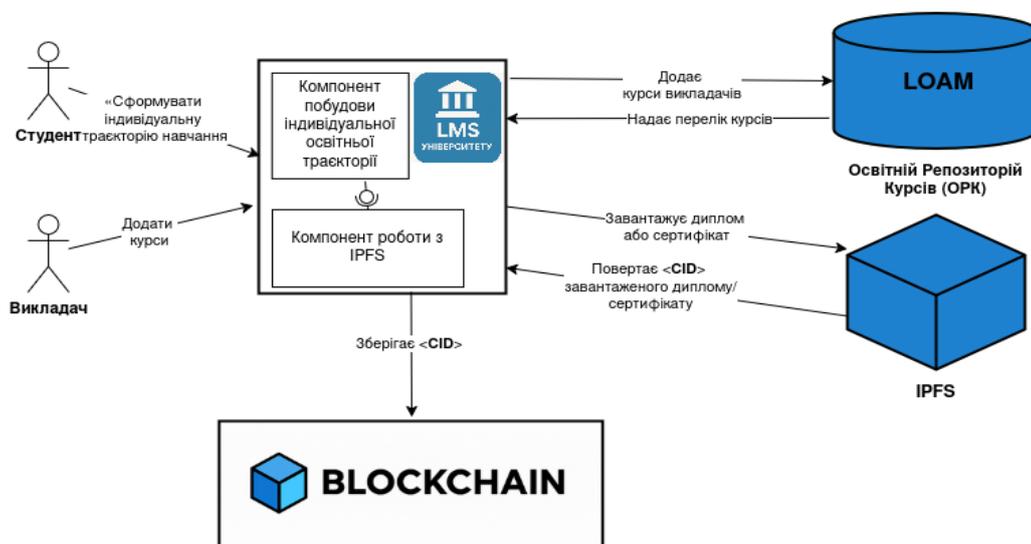


Рис. 1. Фрагмент архітектури персоналізованого освітнього середовища

LMS університету виступає в ролі інтерфейсу для доступу до репозиторію курсів. На основі доступних курсів будується персоналізована траєкторія навчання здобувачів. Кожен здобувач ініціює процес побудови персональної освітньої траєкторії шляхом запиту на формування навчального плану з урахуванням бажаної професійної спеціалізації. До репозиторію можуть підключатися різні університети. Така архітектура також включає концепцію відкритої освіти, що дає змогу здобувачам формувати навчальні плани з урахуванням найкращих практик різних університетів.

Викладач взаємодіє із системою через LMS свого університету: додає до ОРК власні курси, оновлює або редагує наявний контент. Після завершення курсу здобувач отримує сертифікат про проходження навчання та набуття відповідних навичок. Сертифікат зберігається в IPFS.

Формування персоналізованої освітньої траєкторії здійснюється на основі кар'єрних вподобань здобувача. Загальний процес формування персоналізованої освітньої траєкторії складається з таких компонентів:

1. RDF[15]-сховище (освітній репозитарій курсів)
 - містить курси, навички, зв'язки між ними, а також правила (N3 Logic Rules[16]), що керують логікою вибору. Докладніше з моделлю, що взята за основу, можна ознайомитися в попередній роботі [17].
2. RDF-reasoner (EYE)[18]
 - EYE-reasoner використовується для побудови тестів і перевірки коректності формування освітньої траєкторії. Формально цей компонент використовується для підтвердження правильності побудови траєкторії.
3. Python-модуль
 - програмний модуль для побудови персоналізованої траєкторії. Алгоритм рекомендації курсів базується на мові запитів SPARQL[19]. Нижче буде представлено фрагмент реалізації цього запиту.
4. SHACL[20]-обмеження
 - валідацію RDF-графу згідно з освітніми стандартами та нормами.

Далі розглянемо реалізацію алгоритму рекомендацій та побудови персоналізованої траєкторії курсів відповідно до кар'єрних вподобань здобувачів. Сутність здобувача розглядаємо як клас у Notation3 [21]. Під час реєстрації здобувач вказує свої кар'єрні вподобання, а також опціонально може зазначити свої набуті базові компетентності.

```
ex:Alice a ex:Student ;
    ex:acquiredSkills ex:A2, ex:Business_Process_Modeling,
    ex:Microsoft_Access, ex:Python_Language ;
    ex:careerAspir ex:Business_Analyst, ex:Software_Architect .
```

У цьому прикладі здобувачка Еліс прагне опанувати навички, необхідні для таких професій, як бізнес-аналітик та архітектор програмного забезпечення. Також зазначено, що вона вже має такі компетентності:

- A2 (рівень володіння англійською або інша умовна навичка);
- Моделювання бізнес-процесів (Business Process Modeling);
- Використання Microsoft Access;
- Мова програмування Python.

```
ex:Bob a ex:Student ;
    ex:acquiredSkills ex:A2, ex:Microsoft_Access,
    ex:Python_Language ;
    ex:careerAspir ex:Software_Architect .
```

Здобувач Боб має набуті навички:

- A2 (рівень володіння англійською або інша умовна навичка),
- Використання Microsoft Access,
- Мова програмування Python.

Його кар'єрне прагнення - архітектор програмного забезпечення .

Як і сутність здобувача, дисципліна — клас у синтаксис Notation3. Важливо зазначити, що в моделі, окрім кількості кредитів, зазначено також навички або компетентності, які здобувач набуде після проходження курсу, а також компетентності, якими здобувач повинен володіти для запису на цей курс. Нижче наведений спрощений фрагмент представлення дисципліни в семантиці мови Notation3.

```
ex:Requirements_Engineering a ex:Subject ;
    rdfs:label "Requirements Engineering" ;
    ex:credits 60 ;
    ex:toProvide ex:Requirement_Engineering .
```

```
ex:Software_Engineering a ex:Subject ;
rdfs:label "Software Engineering" ;
ex:credits 60 ;
ex:requires ex:Requirement_Engineering ;
ex:toProvide ex:UML_Modeling .
```

Використання такого підходу унеможливорює запис на курс Software Engineering без попереднього освоєння курсу Requirements Engineering, оскільки ця дисципліна надає навички Requirement Engineering, яка є базовою та необхідною для успішного засвоєння матеріалу курсу Software Engineering.

Кар'єрні вподобання здобувача, тобто бажана посада, представлена як клас з атрибутом, що вказує на множину компетентностей та навичок, необхідних саме для цієї спеціалізації. Частина навичок взята з ESCO[22]. Нижче представлено фрагмент моделі, у якому професія Software Architect описана як екземпляр класу JobOffer. У властивості ex:necessary зазначено перелік навичок та компетентностей, необхідних для цієї спеціалізації:

```
ex:Software_Architect a ex:JobOffer ;
rdfs:label "Software_Architect" ;
ex:necessary ex:C4_Model,
ex:Communication_English_Skills,
ex:Data_Modeling, ex:ETL_Processes,
ex:Python_For_Data, ex:Python_Language,
ex:Requirement_Engineering, ex:SQL_Knowledge, ex:UML_Modeling .
```

На основі семантичного графу за допомогою SPARQL-запиту можна побудувати рекомендаційну систему, яка формуватиме персональну освітню траєкторію для кожного здобувача з урахуванням вже набутих навичок і тих, які ще потрібно йому опанувати.

Варто зазначити, що зв'язок ?subj ex:requires ?recSkill винесено в оператор OPTIONAL, оскільки існують екземпляри класу Subject, у яких цей зв'язок відсутній. Нижче наведений відповідний запит:

```
SELECT ?std ?subj
WHERE {
  ?std a ex:Student ;
    ex:careerAspir ?careerTarget ;
    ex:acquiredSkills ?acqSkill .
  ?careerTarget ex:necessary ?necSkill .
  ?subj a ex:Subject ;
    ex:toProvide ?provSkill .

  OPTIONAL {
    ?subj ex:requires ?recSkill .
  }

  FILTER (?necSkill=?provSkill)
  FILTER (!BOUND(?recSkill) || ?acqSkill = ?recSkill)
}
```

Результат роботи алгоритму рекомендації курсів представлено нижче. Як бачимо, окрім раніше зазначених навичок, здобувачка Alice набула також низку додаткових навичок відповідно до кар'єрних уподобань. Також наведено список дисциплін, які забезпечують формування цих навичок.

```
ex:Alice a ex:Student ;
ex:careerAspir ex:Business_Analyst, ex:Software_Architect ;
ex:acquiredSkills ex:A2, ex:ArchiMate_Language,
ex:B1, ex:B2, ex:Business_Process_Modeling,
ex:C4_Model, ex:Communication_Advanced_English_Skills,
ex:Communication_English_Skills, ex:Data_Modeling,
ex:ETL_Processes, ex:Microsoft_Access,
ex:PowerBI, ex:Python_For_Data, ex:Python_Language,
ex:Requirement_Engineering, ex:SQL_Knowledge, ex:UML_Modeling ;
```

ex:enrolTo ex:Advanced_English, ex:Data_Modeling_Principles,
ex:ETL_Tools_and_Techniques, ex:English,
ex:Enterprise_Architecture_with_ArchiMate,
ex:PowerBI_for_Business, ex:Python_for_Data_Analysis,
ex:Requirements_Engineering, ex:SQL_Fundamentals,
ex:Software_Engineering, ex:System_Engineering .

Нижче наведено графічне представлення множини навичок, зазначених в атрибуті acquiredSkills, яке є графічним еквівалентом моделі, представленої вище в синтаксисі Notation3.

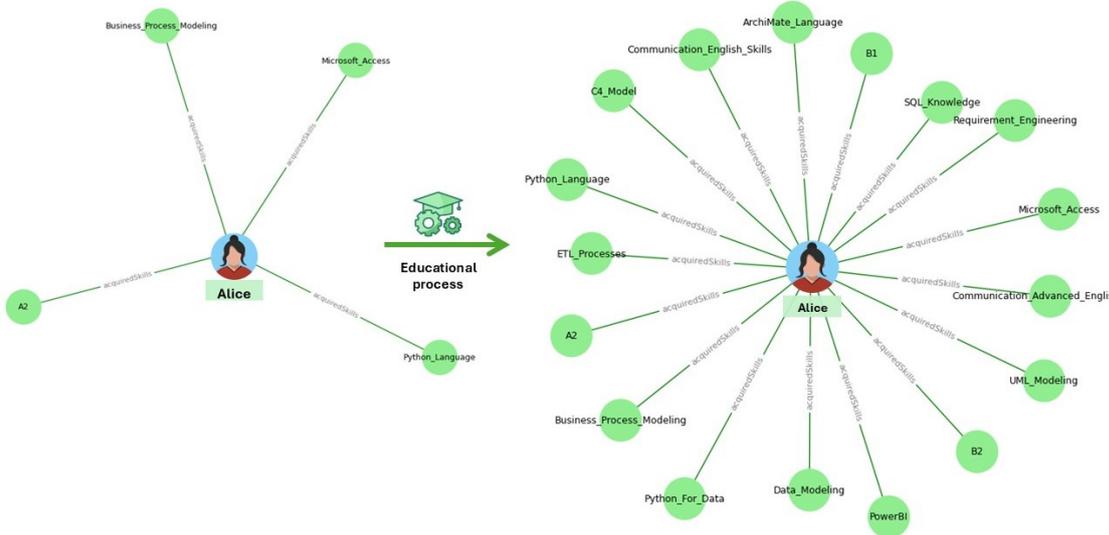


Рис. 2. Граф навичок здобувачки Alice

На Рис.2-(а) відображено початкові навички здобувачки Alice. Застосувавши описаний вище алгоритм рекомендацій, після освоєння всіх курсів здобувачка Alice набула множини навичок (Рис. 2-(б)), що відповідає двом професійним напрямкам: Business Analyst та Software Architect. Це, до речі, узгоджується з її базовими початковими кар'єрними вподобаннями.

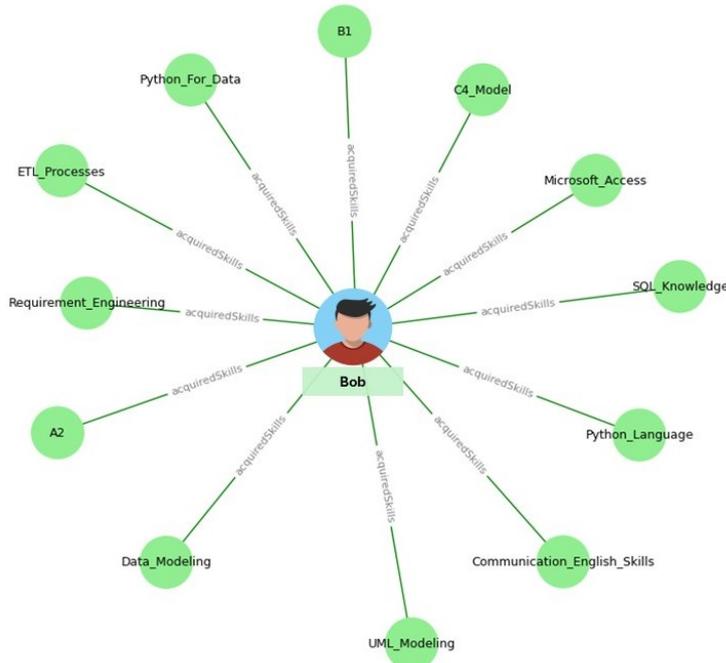


Рис. 3. Граф навичок здобувача Bob

Варто зазначити, що здобувач Bob має значно менше набутих навичок (у порівнянні з здобувачкою Alice), оскільки він визначив лише одне кар'єрне вподобання — Software Architect. Алгоритми рекомендації курсів сформували освітню траєкторію відповідно до побажань здобувача.

Використання такого підходу дозволить не тільки будувати, але й перебудувати в процесі навчання освітні траєкторії у відповідності до побажань здобувача, враховуючи вже набуті навички.

Крім того, стає можливим аналіз освітніх траєкторій на досяжність, а також спрощується підхід до валідації освітніх моделей за допомогою мов SHACL та SPARQL. Формально ми за допомогою такого SHACL-коду перевіряємо RDF-граф на валідність.

Підхід до валідації освітніх моделей описано у роботі [23]. Нижче наведено код мовами SHACL та SPARQL, який перевіряє, чи прослухав здобувач 240 годин освітнього контенту:

```
ex:StudentEnrolCreditShape
  a sh:NodeShape ;
  sh:targetClass ex:Student ;
  sh:sparql [
    a sh:SPARQLConstraint ;
    sh:message "Student enrolled in courses with total credit != 240!" ;
    sh:select \"\"\"
    SELECT ?this
    WHERE {
      {
        SELECT ?this (SUM(?crd) AS ?total)
        WHERE {
          ?this ex:enrolTo ?subj .
          ?subj ex:credits ?crd .
        }
        GROUP BY ?this
      }
    }
    FILTER(?total!=240)
  ] .

```

Враховуючи це правило, система не надасть здобувачу дозволу на формування диплому, якщо він прослухав менше ніж 240 годин освітнього контенту. Лише після підтвердження, що граф є валідним, тобто здобувач прослухав необхідну кількість годин, система збереже сформований диплом або сертифікат у IPFS, а CID (Content Identifier) [24] цього документа буде записано до блокчейн-мережі. За потреби можливо розширити систему валідації відповідно до встановлених вимог. Нижче розглянемо процес взаємодії персоналізованої системи з IPFS та блокчейном. На рис. 4, представлено загальну схему роботи децентралізованого протоколу IPFS[25].

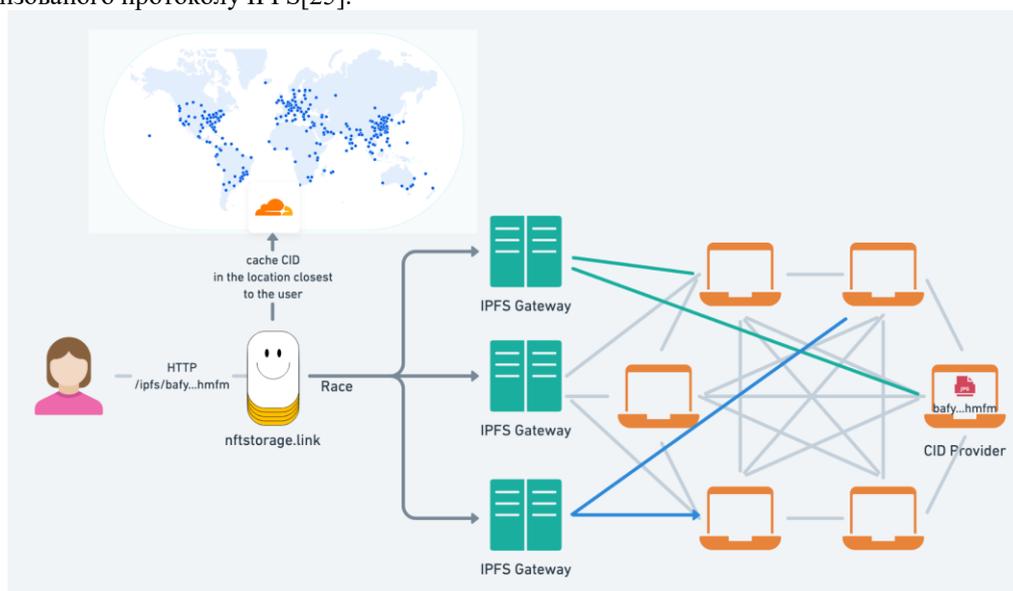


Рис. 4 Схема роботи IPFS [25]

Сертифікат розбивається на фрагменти, кожен з яких хешується; далі обчислюється загальний хеш. Кожен фрагмент зберігається на вузлі, через який файл було завантажено до мережі. Кожен файл ідентифікується за допомогою CID — унікального хешу вмісту документа. Інші вузли можуть завантажити цей файл і зберігати його копії (реплікація), якщо був запит за відповідним CID. У разі зміни вмісту документа формується новий CID, що унеможливує несанкціоноване редагування — наприклад, підробку сертифіката про завершення курсу.

Множина сертифікатів формує диплом. Збереження диплома відбувається аналогічно, проте CID такого документа може також бути збережений у блокчейн-реєстрі, що гарантує незмінність і цифрову ідентичність. Крім того, подібний принцип може бути використаний для зберігання CID:

- навчальних матеріалів,
- результатів тестування.

Також варто зазначити, що перед формуванням диплома та його записом до блокчейн-мережі необхідно перевірити, чи відповідає документ не лише кваліфікаційним рамкам, а й чинним освітнім стандартам.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

У статті представлено досвід використання технологій Semantic Web для побудови алгоритмів рекомендацій курсів відповідно до кар'єрних уподобань і спеціалізації здобувача, а також децентралізованих технологій для забезпечення цифрової ідентичності та незмінності сертифікатів курсів і дипломів.

Впровадження такого типу архітектури персоналізованого освітнього середовища надає низку переваг:

1. Персоналізація: формування навчального маршруту під конкретного здобувача на основі кар'єрних уподобань та наявних знань.

Алгоритми рекомендацій дозволяють побудувати персональну освітню траєкторію для здобувача з урахуванням його кар'єрних уподобань і спеціалізації. Застосування таких алгоритмів робить систему більш гнучкою, оскільки вона може адаптуватися до індивідуальних потреб кожного здобувача, враховуючи його освітні цілі, темп навчання та особисті інтереси.

2. Прозорість та підтвердження цифрової ідентичності документів

Застосування децентралізованих технологій IPFS та Blockchain вирішує питання цифрової ідентичності та гарантує незмінність сертифікатів, права власності на освітні матеріали та результати навчання (сертифікати навчання та дипломи).

3. Використання єдиного стандарту

Використання єдиного стандарту для опису курсів сприятиме сумісності навчальних програм між різними університетами, спрощуючи формування індивідуальних освітніх траєкторій, які включають курси з різних закладів, а також полегшуючи академічну мобільність здобувачів та викладачів.

У подальших дослідженнях планується розробити формальну модель за допомогою мови формальної специфікації Alloy для перевірки узгодження та коректності траєкторії навчання. Також планується розглянути можливості використання фреймворку CrewAI для створення систем персоналізованих чат-ботів для підтримки навчання.

Література

1. Spivakovsky, M. Poltoratskyi, O. Lemeshchuk, V. Denysenko, I. Karpov, and Y. Revenko, "Algorithms for Using Online Tutoring as a Tool for Personalization of Learning in an Online Educational Environment," in *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications*. ICTERI 2024, V. Ermolayev et al., Eds., vol. 2359, Cham: Springer, 2025, pp. 178–193, https://doi.org/10.1007/978-3-031-81372-6_13
2. O. Spivakovsky, S. Omelchuk, V. Kobets, N. Valko, and D. S. Malchykova, "Institutional policies on artificial intelligence in university learning, teaching and research," *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 97, no. 5, pp. 181–202, 2023, <https://doi.org/10.33407/itlt.v97i5.5395>
3. Загальні політики використання штучного інтелекту в навчанні, викладанні й дослідженнях у Херсонському державному університеті. 2023. [Електронний ресурс]. Доступно за покликанням: <https://www.kspu.edu/FileDownload.ashx?id=00653012-555c-46b2-bb64-05ba9bf26773>
4. CrewAI: The Leading Multi-Agent Platform. [Online]. Available: <https://www.crewai.com>
5. Merino-Campos, "The Impact of Artificial Intelligence on Personalized Learning in Higher Education: A Systematic Review," *Trends in Higher Education*, vol. 4, no. 2, p. 17, 2025.
6. Hooshyar, X. Weng, P. J. Sillat, K. Tammets, M. Wang, and R. Hämmäläinen, "The effectiveness of personalized technology-enhanced learning in higher education: A meta-analysis with association rule mining," *Computers & Education*, vol. 223, p. 105169, 2024.

7. Lagos-Castillo, A. Chiappe, M. S. Ramirez-Montoya, and D. F. B. Rodríguez, “Mapping the Intelligent Classroom: Examining the Emergence of Personalized Learning Solutions in the Digital Age,” *Contemporary Educational Technology*, vol. 17, no. 1, 2025.
8. K. Bayly-Castaneda, M. S. Ramirez-Montoya, and A. Morita-Alexander, “Crafting personalized learning paths with AI for lifelong learning: a systematic literature review,” in *Frontiers in Education*, vol. 9, p. 1424386, Aug. 2024, Frontiers Media SA.
9. X. Wang, X. Xu, Y. Zhang, S. Hao, and W. Jie, “Exploring the impact of artificial intelligence application in personalized learning environments: thematic analysis of undergraduates’ perceptions in China,” *Humanities and Social Sciences Communications*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2024.
10. L. Zhong, “A systematic review of personalized learning in higher education: learning content structure, learning materials sequence, and learning readiness support,” *Interactive Learning Environments*, vol. 31, no. 10, pp. 7053–7073, 2023.
11. С. Лисенко, “Теоретичні засади проектування персоналізованого освітнього середовища фахівців комп’ютерного профілю в умовах неформальної освіти,” *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*, no. 83, pp. 8–17, 2024.
12. Г. В. Локарева and Е. А. Бажміна, “ПЕРСОНАЛІЗАЦІЯ В ОСВІТІ: УПРАВЛІННЯ СТУДЕНТАМИ ВЛАСНОЮ ТРАЄКТОРІЄЮ НАВЧАННЯ ЗАСОБАМИ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ”, *ITLT*, vol. 86, no. 6, pp. 187–207, Dec. 2021, <https://doi.org/10.33407/itlt.v86i6.4103>
13. K. Yasar and R. Chouffani, “BYOD (bring your own device),” *TechTarget*, Jan. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/BYOD-bring-your-own-device>
14. InterPlanetary File System (IPFS). [Online]. Available: <https://ipfs.tech/>
15. “Resource Description Framework (RDF),” W3C Semantic Web Standards. [Online]. Available: <https://www.w3.org/RDF/>
16. T. Berners-Lee, “Notation 3 Logic,” W3C Design Issues, Aug. 2005. [Online]. Available: <https://www.w3.org/DesignIssues/N3Logic>
17. М. Полторацький, “МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОЇ ОСВІТНЬОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ SEMANTIC WEB”, *ITLT*, vol. 110, no. 6, pp. 254–270, Dec. 2025, <https://doi.org/10.33407/itlt.v110i6.6039>
18. “Euler Yet another proof Engine (EYE),” EYE Reasoner. [Online]. Available: <https://eyereasoner.github.io/eye/eulersharp.sourceforge.net+4>
19. S. Harris and A. Seaborne, “SPARQL 1.1 Query Language,” W3C Recommendation, Mar. 21, 2013. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/sparql11-query/>
20. H. Knublauch and D. Kontokostas, “Shapes Constraint Language (SHACL),” W3C Recommendation, Jul. 20, 2017. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/shacl/>
21. “Notation3: Knowledge Graph Language for the Semantic Web,” Notation3.org. [Online]. Available: <https://notation3.org/>
22. “European Skills, Competences, Qualifications and Occupations (ESCO),” European Commission, [Online]. Available: <https://esco.ec.europa.eu/enesco.ec.europa.eu>
23. M. Poltoratskyi and O. Konnova, “USE OF SEMANTIC WEB TECHNOLOGIES FOR VALIDATION OF EDUCATIONAL MODELS,” *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 106, no. 2, pp. 94–106, May 2025, <https://doi.org/10.33407/itlt.v106i2.5985>
24. “Content Identifiers (CIDs),” IPFS Documentation, [Online]. Available: <https://docs.ipfs.tech/concepts/content-addressing/>
25. J. Reitsma, “A practical explainer: IPFS Gateways,” *IPFS Blog*, Jun. 30, 2022. [Online]. Available: <https://blog.ipfs.tech/2022-06-30-practical-explainer-ipfs-gateways-2/>

References

1. Spivakovsky, M. Poltoratskyi, O. Lemeshchuk, V. Denysenko, I. Karpov, and Y. Revenko, “Algorithms for using online tutoring as a tool for personalization of learning in an online educational environment,” in *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications. ICTERI 2024*, V. Ermolayev et al., Eds., vol. 2359. Cham: Springer, 2025, pp. 178–193. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81372-6_13
2. O. Spivakovsky, S. Omelchuk, V. Kobets, N. Valko, and D. S. Malchykova, “Institutional policies on artificial intelligence in university learning, teaching and research,” *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 97, no. 5, pp. 181–202, 2023. <https://doi.org/10.33407/itlt.v97i5.5395>
3. Kherson State University, General policies on the use of artificial intelligence in learning, teaching and research at Kherson State University, 2023. [Online]. Available: <https://www.kspu.edu/FileDownload.ashx?id=00653012-555c-46b2-bb64-05ba9bf26773>
4. CrewAI, “The leading multi-agent platform.” [Online]. Available: <https://www.crewai.com>
5. Merino-Campos, “The impact of artificial intelligence on personalized learning in higher education: A systematic review,” *Trends in Higher Education*, vol. 4, no. 2, p. 17, 2025.
6. Hooshyar, X. Weng, P. J. Sillat, K. Tammets, M. Wang, and R. Hämäläinen, “The effectiveness of personalized technology-enhanced learning in higher education: A meta-analysis with association rule mining,” *Computers & Education*, vol. 223, p. 105169, 2024.
7. Lagos-Castillo, A. Chiappe, M. S. Ramirez-Montoya, and D. F. B. Rodríguez, “Mapping the intelligent classroom: Examining the emergence of personalized learning solutions in the digital age,” *Contemporary Educational Technology*, vol. 17, no. 1, 2025.

8. K. Bayly-Castaneda, M. S. Ramirez-Montoya, and A. Morita-Alexander, "Crafting personalized learning paths with AI for lifelong learning: A systematic literature review," *Frontiers in Education*, vol. 9, p. 1424386, Aug. 2024.
9. X. Wang, X. Xu, Y. Zhang, S. Hao, and W. Jie, "Exploring the impact of artificial intelligence application in personalized learning environments: Thematic analysis of undergraduates' perceptions in China," *Humanities and Social Sciences Communications*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2024.
10. L. Zhong, "A systematic review of personalized learning in higher education: Learning content structure, learning materials sequence, and learning readiness support," *Interactive Learning Environments*, vol. 31, no. 10, pp. 7053–7073, 2023.
11. S. Lysenko, "Theoretical foundations for designing a personalized educational environment for computer specialists in non-formal education," *Problems of Engineering Pedagogical Education*, no. 83, pp. 8–17, 2024.
12. H. V. Lokarjeva and E. A. Bazhmina, "Personalization in education: Managing students' learning trajectories using digital technologies," *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 86, no. 6, pp. 187–207, Dec. 2021. <https://doi.org/10.33407/itlt.v86i6.4103>
13. K. Yasar and R. Chouffani, "BYOD (bring your own device)," *TechTarget*, Jan. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/BYOD-bring-your-own-device>
14. InterPlanetary File System (IPFS). [Online]. Available: <https://ipfs.tech>
15. "Resource Description Framework (RDF)," W3C Semantic Web Standards. [Online]. Available: <https://www.w3.org/RDF/>
16. T. Berners-Lee, "Notation 3 Logic," *W3C Design Issues*, Aug. 2005. [Online]. Available: <https://www.w3.org/DesignIssues/N3Logic>
17. M. Poltoratskyi, "Modeling a personalized educational system based on Semantic Web technologies," *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 110, no. 6, pp. 254–270, Dec. 2025. <https://doi.org/10.33407/itlt.v110i6.6039>
18. "Euler Yet another proof Engine (EYE)," *EYE Reasoner*. [Online]. Available: <https://eyereasoner.github.io/eye/eulerssharp.sourceforge.net>
19. S. Harris and A. Seaborne, "SPARQL 1.1 Query Language," *W3C Recommendation*, Mar. 21, 2013. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/sparql11-query/>
20. H. Knublauch and D. Kontokostas, "Shapes Constraint Language (SHACL)," *W3C Recommendation*, Jul. 20, 2017. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/shacl/>
21. "Notation3: Knowledge graph language for the Semantic Web." [Online]. Available: <https://notation3.org>
22. European Commission, "European Skills, Competences, Qualifications and Occupations (ESCO)." [Online]. Available: <https://esco.ec.europa.eu>
23. M. Poltoratskyi and O. Konnova, "Use of Semantic Web technologies for validation of educational models," *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 106, no. 2, pp. 94–106, May 2025. <https://doi.org/10.33407/itlt.v106i2.5985>
24. "Content Identifiers (CIDs)," *IPFS Documentation*. [Online]. Available: <https://docs.ipfs.tech/concepts/content-addressing/>
25. J. Reitsma, "A practical explainer: IPFS gateways," *IPFS Blog*, Jun. 30, 2022. [Online]. Available: <https://blog.ipfs.tech/2022-06-30-practical-explainer-ipfs-gateways-2/>