УДК 378.147:004.9

**Віталій Мосійчук**
НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-3163-5629
*mvs@ros.kpi.ua*

# ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОРГАНІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ УНІВЕРСИТЕТУ ЗА ІНДИВІДУАЛЬНИМИ ОСВІТНІМИ ТРАЄКТОРІЯМИ

**Анотація.** У статті розглянуто проблему реалізації індивідуальних освітніх траєкторій здобувачів вищої освіти в умовах реформування системи вищої освіти України та впровадження студентоцентричної моделі навчання. Актуальність дослідження зумовлена законодавчо закріпленим правом студентів на вільний вибір не менше 25 % освітніх компонентів, а також потребою адаптації освітнього процесу до динамічних змін технологічного середовища, ринку праці та глобальних викликів. Показано, що традиційні інформаційні системи організації навчального процесу, орієнтовані на академічні групи та фіксовані навчальні плани, є недостатньо гнучкими для повноцінної підтримки індивідуальних освітніх траєкторій.

Запропоновано підхід до формалізації задачі формування індивідуальних освітніх траєкторій на основі моделі цілочисельного лінійного програмування, яка враховує вибір дисциплін, послідовність їх вивчення, обмеження навчального навантаження, пререквізити та ресурсні можливості закладу вищої освіти. На основі цієї моделі визначено вимоги до архітектури інформаційної системи організації навчального процесу, що базується на індивідуальних навчальних планах студентів і забезпечує наскрізне планування від освітньої програми до формування навчальних потоків та електронного розкладу.

На основі запропонованої моделі розроблено та впроваджено інформаційну систему автоматизації планування навчального процесу, що базується на індивідуальних навчальних планах студентів і підтримує широкий вибір дисциплін. Експериментальна апробація системи проведена на радіотехнічному факультеті КПІ імені Ігоря Сікорського та впроваджена на весь університет протягом 2021-2025 років. Результати показали високий рівень залученості студентів до вибору дисциплін (92 %) та підтвердили практичну придатність запропонованого підходу. Зроблено висновок про доцільність використання цифрових інформаційних систем як ключового інструменту реалізації індивідуальних освітніх траєкторій у сучасних закладах вищої освіти.

**Ключові слова:** індивідуальні освітні траєкторії; інформаційна система; планування навчального процесу; персоналізоване навчання; студентоцентричний підхід; якість вищої освіти.

## 1. ВСТУП

Вимога Закону України «Про вищу освіту» щодо забезпечення здобувачам вищої освіти права на вільний вибір в обсязі не менше ніж 25% навчальних дисциплін визначила курс на індивідуалізацію освітнього процесу в закладах вищої освіти (ЗВО). Індивідуальні освітні траєкторії (ІОТ) визнаються важливим інструментом адаптивності освітнього середовища та умовою підвищення якості вищої освіти. В умовах стрімких змін у технологіях та на ринку праці актуальність навчальних дисциплін може швидко змінюватися. На це також впливають глобальні виклики, зокрема пандемія COVID-19, широкомасштабне вторгнення російських військ в Україну та стрімке впровадження технологій штучного інтелекту. У таких умовах стає очевидним, що повний перелік дисциплін на чотири роки наперед, який визначається навчальним планом під час вступу здобувачів до ЗВО, є невиправданим. Натомість, більш доцільним є коректування траєкторій навчання відповідно до поточної зацікавленості та потреб студентів.

© Віталій Мосійчук, 2026. 

Більшість наявних інформаційних систем для ЗВО передбачали планування навчального процесу на рівні академічної групи, що було обумовлено історично і що було закладено в архітектуру більшості впроваджених інформаційних систем організації навчального процесу.

Для системи освіти України новим викликом стала поява закону щодо розвитку індивідуальних освітніх траєкторій та вдосконалення освітнього процесу *(Відомості Верховної Ради, 2024, № 29, ст. 204*). Відповідно до цього закону здобувачі мають право користуватися більш гнучкими темпами навчання. Студенти контрактної форми зможуть самостійно визначати тривалість навчання в університеті: закінчити 4-річну бакалаврську програму за три роки або поєднувати навчання з роботою і завершити необхідні 240 кредитів ЄКТС за 6-8 років. Останні наведені особливості потребують оцінки впливу на архітектуру інформаційних систем організації навчального процесу. Нові реалії потребують побудови інформаційних систем організації навчального процесу на основі індивідуальних навчальних планів студентів, які, своєю чергою, мають відповідати освітнім програмам, відповідати стандартам вищої освіти і в той же час забезпечувати гнучкість формування ІОТ.

**Постановка проблеми.** Проблема полягає у відсутності уніфікованих, інтегрованих інформаційних систем, здатних автоматизувати складні бізнес-процеси формування ІОТ у ЗВО, забезпечуючи до того ж прозорість, керування пререквізитами (навіть рекомендаційного характеру) та ефективне формування груп для вивчення дисциплін. Упровадження ІОТ неминуче призводить до потреби вирішення оптимізаційної задачі щодо організації планування навчального процесу, зокрема за критерієм економічної доцільності, уникнення дублювання та необхідності повторного викладання в навчальному році дисциплін без достатньої кількості слухачів, необхідності скорочення кількості освітніх програм.

Тому існує гостра необхідність у розробці та впровадженні функціональної інформаційної системи для забезпечення ІОТ, яка мінімізує організаційні ризики та повністю підтримує гнучкість навчального процесу відповідно до сучасних потреб.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз сучасних досліджень свідчить, що розвиток вищої освіти відбувається під впливом цифрової трансформації та переходу до студентоцентрованої моделі навчання, ключовим елементом якої є персоналізація освітнього процесу та формування індивідуальних освітніх траєкторій.

Концептуальні основи модернізації освітніх програм пов’язані з розширенням академічної свободи студентів і міждисциплінарністю навчання. Так, у дослідженні [1] обґрунтовується необхідність переходу від вузьких спеціалізацій до гнучких міждисциплінарних підходів і мікроспеціальностей як відповідь на виклики четвертої промислової революції.

Методологічні принципи проєктування індивідуальних освітніх траєкторій розкрито в роботі [2], де навчання розглядається як персоналізований процес, орієнтований на потреби та досвід здобувача освіти. Водночас цифровізація університетів визначається ключовою умовою реалізації таких підходів [3], а інформаційні системи підтримки навчання – технологічною основою персоналізації освітнього середовища [4]. Окремо слід зазначити створення консорціуму з 10 українських та 10 європейських університетів, що виконуються в межах проєкту Erasmus+ «Цифровий університет – проєкт «Відкрита українська ініціатива» (DigiUni), що досліджують особливості цифровізації навчального процесу для ЗВО України протягом 2023-2027 років [5].

Отже, на теоретичному рівні індивідуальні освітні траєкторії вже визначені як ключовий механізм реалізації студентоцентрованої освіти. Зокрема в оглядах [6] та [7],

а також у роботах [8], [9] та [10], [11] підтверджено, що IOT статистично значуще підвищують академічну успішність і залученість студентів у навчальний процес.

Практичні підходи до оновлення змісту освіти через модульність та адаптацію навчальних планів до потреб ринку праці розглянуто у [12], що підтверджує необхідність гнучких структур організації навчального процесу.

Окремо низка досліджень зосереджена на технологічній підтримці персоналізації навчання з використанням методів моделювання. Практичні аспекти модернізації змісту освіти за інженерними спеціальностями у світлі дуальної освіти висвітлено в роботі [12], де запропоновано використання методів картування процесів для модернізації освітніх програм з використання методів ощадливого виробництва (Lean Design) та швидке опанування практичних компетенцій через механізми безперервного зворотного зв'язку з ринком праці. У роботі [13] запропоновано керовану персоналізовану модель навчання, що поєднує адаптивні ресурси, інтерактивне оцінювання та цифрові інструменти моніторингу прогресу. У роботі [14] представлені алгоритми динамічного планування траєкторій для масових онлайн-курсів (MOOCs) на основі когнітивної діагностики в дослідженні прогресу слухачів. Система використовує динамічну модель засвоєння знань, яка оцінює результати тестів у поєднанні з поведінкою під час перегляду відео, щоб точно визначати прогалини в знаннях.

Окремо слід відзначити методи моделювання, що засновані на даних. У роботі [8] розроблено моделі персоналізованого навчання, що базуються на аналізі великих даних з метою оптимізації траєкторії засвоєння знань. Важливим напрямом є використання аналітики для управління освітнім процесом та підтримки прийняття рішень. У роботі [15] запропоновано «data-driven» підхід до адаптації навчального контенту на основі інтеграції педагогічних і контекстуальних даних. Дослідження [9] демонструє можливість прогнозування індивідуальних траєкторій через поведінкові метрики студентів, а в [16] розроблено моделі прогнозування успішності та рекомендації освітніх програм для зменшення ризику відрахування.

Значний масив досліджень присвячено інтелектуальним рекомендаційним системам з використанням технологій штучного інтелекту для адаптації освітніх стратегій. Наукова праця [7] є системним оглядом літератури, що досліджує стрімку еволюцію штучного інтелекту в персоналізованому навчанні за період з 2019 по 2024 роки. Автори аналізують перехід від простих систем на основі правил до сучасних генеративних моделей та адаптивних алгоритмів, які здатні швидко підлаштовувати освітній контент під унікальні потреби, темп та емоційний стан кожного студента. Автори визначають, що ШІ є фундаментальним драйвером розвитку студентоцентрованої освіти.

У роботах [10] та [17] запропоновані гібридні рекомендаційні системи з використанням генетичних алгоритмів для допомоги студентам у виборі вибіркових дисциплін. Автори поєднують методи фільтрації на основі вподобань схожих користувачів та аналізу змісту самих дисциплін, використовуючи широкий спектр даних – від попередніх оцінок до компетенцій викладачів. Автори підкреслюють, що студенти часто стикаються з труднощами через надмірний обсяг інформації та складність узгодження курсів з власними кар'єрними цілями та особистими навичками. Впровадження таких інструментів на основі штучного інтелекту не лише сприяє індивідуалізації навчання, але й допомагає закладам освіти краще адаптувати свої програми до реальних запитів сучасного ринку праці.

Зокрема у [18] досліджено агентні моделі з використанням Q-learning для адаптації навчання до стилів сприйняття інформації студентами. Модель рекомендації академічного шляху з урахуванням особистісних психологічних характеристик і рекурентних нейронних мереж представлена в [19]. Цікавим є дослідження [11] щодо

використання штучного інтелекту (ШІ) під час розробки та модернізації освітніх програм у вищій освіті на основі даних з ринку праці. У підсумку у статті пропонується комплексний підхід, що базується на поєднанні конструктивістської теорії навчання з передовими технологіями для створення більш адаптивної та студентоцентрованої освітньої екосистеми.

Отже, сучасні дослідження доводять ефективність цифрових інструментів персоналізації, однак слід зазначити, що вони здебільшого орієнтовані на неформальну та інформальну освіту, у якій відсутній ряд обмежень, що притаманний вищій освіті. Здебільшого вирішуються локальні задачі підтримки навчання або рекомендацій. У таких дослідженнях використовують алгоритми не стільки для формування індивідуальних освітніх траєкторій, скільки для підлаштування контенту до рівня знань та потреб кожного користувача в заданий момент часу.

Отже, актуальним науково-прикладним завданням є розроблення архітектури інформаційної системи організації навчального процесу, здатної забезпечити наскрізне планування та організацію навчального процесу на основі широкого вибору, моніторинг і підтримку індивідуальних освітніх траєкторій здобувачів вищої освіти.

Незважаючи на значну кількість досліджень, питання створення комплексних інформаційних систем, що здатні забезпечити наскрізне планування навчального процесу на основі індивідуальних навчальних планів студентів, залишається недостатньо опрацьованим. Разом із тим, організація навчального процесу у більшості ЗВО досі базується на робочих навчальних планах, що ускладнює реалізацію законодавчо визначених індивідуальних освітніх траєкторій і зумовлює потребу у визначенні оптимальної архітектури відповідних інформаційних систем.

**Метою дослідження** є формалізація вимог до архітектури інформаційної системи організації навчального процесу закладу вищої освіти, призначеної для забезпечення реалізації індивідуальних освітніх траєкторій здобувачів з урахуванням усталених традицій вищої школи та вимог національного регулятора.

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Концепція індивідуальних освітніх траєкторій ґрунтується на принципах студентоцентрованості, персоналізації навчання та забезпечення права здобувачів вищої освіти на вільний вибір частини освітніх компонентів. Під персоналізацією навчання розуміється змістова, методична та аналітична адаптація навчання до потреб, цілей і результатів конкретного студента, а індивідуалізація навчання – організаційне забезпечення навчання з урахуванням особливостей студента. Індивідуальна освітня траєкторія визначається як індивідуально сформований шлях навчання, що враховує здібності, інтереси, освітні потреби, мотивацію, попередній досвід та можливості студента.

Важливою основою формалізації навчального навантаження є кредитно-модульна система, запроваджена в межах Болонського процесу. Використання кредитів ЄКТС дозволяє кількісно оцінювати трудомісткість засвоєння освітніх компонентів та забезпечує порівнюваність освітніх результатів. Кількість кредитів дисципліни відображає сумарний обсяг аудиторної, практичної та самостійної роботи студента і виступає базовим параметром при формуванні індивідуальних навчальних планів.

Реалізація індивідуальних освітніх траєкторій нерозривно пов’язана з переходом від планування навчального процесу на рівні академічних груп до планування на основі індивідуальних навчальних планів студентів. Такий підхід потребує врахування сукупності нормативних, академічних та організаційних обмежень, що визначаються

стандартами вищої освіти, вимогами освітніх програм, а також автономією закладів вищої освіти.

Ключовим поняттям у межах дослідження є широкий вибір навчальних дисциплін. Вибір вважається широким у тому випадку, коли студент має реальну можливість як обрати, так і відмовитись від вивчення певного освітнього компонента без формальних або організаційних обмежень, що штучно звужують множину доступних альтернатив. Формальний вибір, за якого однаковий перелік дисциплін обирається всією академічною групою, не може розглядатися як реалізація принципу студентоцентрованості.

Важливим елементом структури освітніх програм є пререквізити, які визначають послідовність вивчення дисциплін відповідно до структурно-логічної схеми підготовки. Пререквізити можуть мати як обов'язковий, так і рекомендаційний характер та впливають на можливість вибору дисципліни на певному курсі або в конкретному семестрі. У контексті індивідуальних освітніх траєкторій пререквізити розглядаються як обмеження, що забезпечують академічну цілісність та якість освітнього процесу.

Суттєвим чинником реалізації персоналізованого навчання є цифровізація організації навчального процесу. Без використання інформаційних систем повноцінна підтримка індивідуальних навчальних планів, контроль дотримання обмежень, облік вибору дисциплін та формування навчальних потоків є організаційно складною або неможливою без наявності помилок. Тож інформаційні системи розглядаються як базова інфраструктурна складова реалізації ІОТ.

З позиції проєктування інформаційної системи реалізація індивідуальних освітніх траєкторій розглядається як результат взаємодії основних стейкхолдерів освітнього процесу – здобувачів вищої освіти, викладачів, адміністрації ЗВО, розробників освітніх програм, регуляторних органів та технологічних провайдерів (Рис. 1). Взаємодія цих суб'єктів формує сукупність вимог, обмежень і можливостей, які визначають архітектуру та функціональні характеристики інформаційної системи організації навчального процесу.

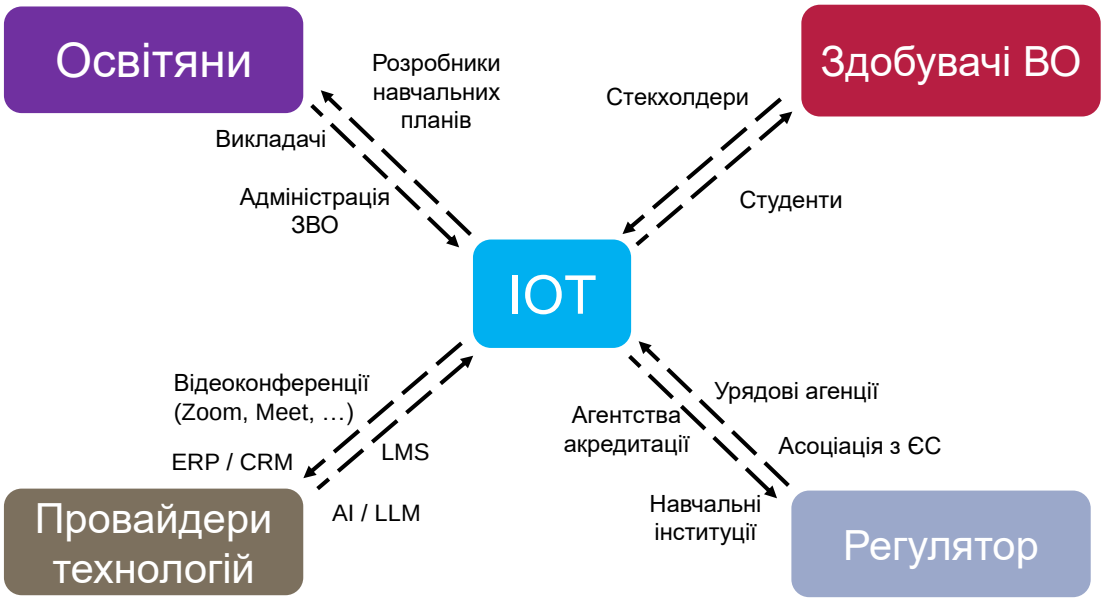



*Рис. 1. Фактори впливу на персоналізацію навчання*

Отже, теоретичні засади дослідження ґрунтуються на поєднанні концепцій студентоцентрованості, індивідуальних освітніх траєкторій, кредитно-модульної системи, управління пререквізитами та цифрової трансформації освітніх процесів, що в

сукупності формують основу для подальшої формалізації та експериментальної реалізації інформаційної системи на основі IOT.

## 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Методика передбачає формалізацію задачі формування індивідуальних траєкторій навчання у вигляді математичної моделі та експериментальну реалізацію її особливостей в інформаційній системі організації навчального процесу в КПІ імені Ігоря Сікорського.

Для забезпечення умов широкого вибору дисциплін забезпечено можливість вивчення дисциплін з каталогу на різних курсах навчання. Також важливим є врахування вимог рівномірності навчального навантаження і ступеня персоналізації освітньої траєкторії, що прийнято в ЗВО.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проблему формування персоналізованих траєкторій навчання доцільно сформулювати як модель лінійного програмування зі змішаним цілочисельним складом з подальшою реалізацією в інформаційній системі. Бінарні змінні рішення моделі вказують на те, чи записується студент на певний курс у даному семестрі. Цільова функція максимізує загальну корисність для студента з урахуванням вимог навчальної програми та обмежень навчального навантаження, пререквізитів та обмежень місткості курсу. Методи цілочисельного лінійного програмування (ILP – Integer Linear Programming) як клас математичних оптимізаційних задач добре підходять для задачі персоналізації навчання, зокрема моделювання рішень щодо вибору дисциплін та їх послідовності вивчення. Вибір обумовлений тим, що рішення мають дискретний характер за рахунок цілочисельних змінних, зокрема той чи інший курс вивчається або не вивчається.

### 4.1. Формалізація задачі формування IOT

Задача формування індивідуальної освітньої траєкторії студента передбачає:

- вибір підмножини дисциплін для вивчення;
- визначення порядку (семестру) їх вивчення;
- обмеження щодо обов’язкових освітніх компонентів навчального плану;
- виконання пререквізитів, академічних та ресурсних обмежень.

### 4.1. Цільова функція та обмеження

Максимізацію сумарної корисності траєкторій навчання індивідуальним освітнім запитам студентів можливо сформулювати у вигляді цільової функції:

$$\max \sum_{s\in S}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} u_{s,c}\ x_{s,c,t}, \qquad (1)$$

де $u_{s,c}$ – корисність дисципліни $c$ для студента $s$,
$S$ – множина студентів $s$,
$C$ – множина всіх дисциплін $c$,
$T = \{1, 2, \dots, T_{max}\}$ – множина семестрів $t$,
$x_{s,c,t}$ – основна бінарна змінна:

$$x_{s,c,t} = \{1, \quad \text{якщо студент } s \text{ вивчає дисципліну } c \text{ в семестрі } t, 0, \text{ не вивчає}\}. \quad (2)$$

Ця змінна одночасно кодує факт вибору дисципліни, вивчення її, позицію в послідовності.

Множини

$M \subseteq C$ – множина обов'язкових дисциплін.

$P \subseteq C \times C$ – множина пар пререквізитів.

Параметри

$N_c$ – кількість кредитів дисципліни $c$.

$W_{s,t}^{max}$ – допустиме навчальне навантаження студента $s$ у семестрі $t$.

$M_{c,t}$ – місткість дисципліни $c$ у семестрі $t$.

$P(c)$ – фіксований семестр для обов'язкової дисципліни $c$.

$B$ – константа.

Відповідно до цільової функції в інформаційній системі слід реалізувати освітні траєкторії, які максимально відповідають індивідуальним освітнім запитам студентів за умови виконання всіх обмежень.

Студент може пройти дисципліну не більше одного разу. Кожну дисципліну студент проходить не більше одного разу під час навчання (у межах моделі):

$$\forall \mathrm{s} \in \mathrm{S}, \forall \mathrm{c} \in \mathrm{C}: \quad \sum_{t \in T} x_{s,c,t} \leq 1. \quad (3)$$

Кожна обов'язкова дисципліна має бути в траєкторії студента:

$$\forall \mathrm{s} \in \mathrm{S}, \forall \mathrm{c} \in \mathrm{M}: \quad \sum_{t \in T} x_{s,c,t} = 1. \quad (4)$$

Деякі дисципліни мають строго визначений семестр у навчальному плані. Фіксований семестр для обов'язкових дисциплін (4) визначається як:

$$\forall \mathrm{s} \in \mathrm{S}, \forall \mathrm{c} \in \mathrm{M}, \mathrm{P(c)}: \quad x_{s,c,t} = 0, \forall t \neq P(c) \quad (5)$$

Обмеження навчального навантаження, що запобігає перевантаженню студента в окремих семестрах.

$$\forall \mathrm{s} \in \mathrm{S}, \forall \mathrm{t} \in \mathrm{T}: \quad \sum_{c \in C} N_c \, x_{s,c,t} = 1 \quad (6)$$

Обмеження кількості місць на дисципліні, що враховує ресурсні обмеження університету (викладачі, лабораторії).

$$\forall \mathrm{c} \in \mathrm{C}, \forall \mathrm{t} \in \mathrm{T}: \quad \sum_{t \in T} x_{s,c,t} \leq M_{c,t}. \quad (7)$$

Пререквізити (послідовність вивчення), якщо студент хоче вивчати дисципліну $c$, то дисципліна $c'$ має бути вивчена перед цим:

$$\forall \mathrm{s} \in \mathrm{S}, \forall (\mathrm{c}', \mathrm{c}) \in \mathcal{P}: \quad \sum_{t \in T} t \, x_{s,c',t} \leq \sum_{t \in T} t \, x_{s,c,t} + B\left(1 - \sum_{t \in T} x_{s,c,t}\right), \quad (8)$$

Константа $B$ – деактивує обмеження, якщо дисципліна $c$ не була обраною.

У моделі передбачається конкуренція за місця. У разі коли дисципліни мають обмеження на кількість місць – навчатись будуть ті хто першими її обрали. Також можна розглядати інші механізми розподілу (рейтинг, аукціон, лотерея, матриця відповідності). Тоді модель оптимізації слід доповнити додатковим правилом обраного механізму.

Також можливо врахувати інші обмеження, такі як розклад, фіксовані позиції щодо можливості вивчення тієї чи іншої дисципліни для оптимізації кількості студентів у потоках тощо.

### 4.2. Вимоги до інформаційної системи організації навчального процесу

Слід зазначити, що основні обмеження, які були розглянуті в моделі лінійного програмування, а зокрема (4), (5), (6), (8), реалізуються в межах складання навчальних планів, зокрема на основі регулюючих документів конкретного ЗВО. Тому в інформаційній системі доцільно реалізувати цифрові копії навчальних планів, що визначають траєкторію навчання за замовчуванням, зокрема тих, у яких будуть вказані вибіркові освітні компоненти для вибору дисциплін.

Вимога унікальності вибору (3) та неможливості вивчення однієї і тієї ж дисципліни декілька разів нескладно реалізується на рівні баз даних з використанням спеціальних індексів, а також в інтерфейсі, у якому раніше обрані дисципліни позначаються відповідним кольором та стають неактивними в інтерфейсі без можливості здійснити вибір студентом повторно. Але для цього обов'язковою умовою є наявність каталогу/довідника всіх дисциплін, у якому кожна дисципліна буде мати свій власний унікальний ідентифікатор.

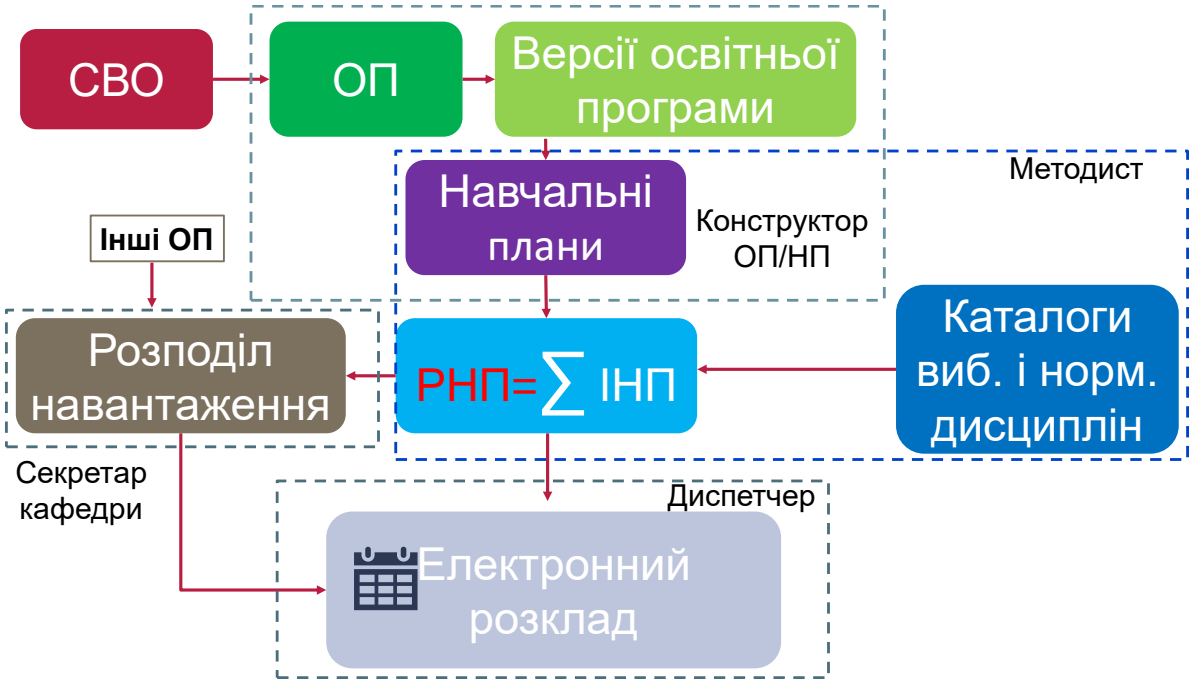
Окрім реалізації ІОТ для ЗВО важливим є забезпечення наскрізного планування навчального процесу від освітньої програми до електронного розкладу, що має наступні переваги:

- спрощення підтримання інформації в актуальному стані;
- відсутність потреби у повторному введені інформації;
- відсутність людського фактору та помилок за рахунок недостатньої кількості інформації на попередніх етапах планування;
- відмова на етапі процесу планування від паперових документів та електронних документів без контролю версій;
- перевірки на наявність помилок та врахування обмежень;
- оптимізація за рахунок узгодження освітніх компонент з різних освітніх програм для можливості навчання разом.

Тому доцільним є створення конструктора ОП/НП, з можливістю друку за затвердженим у ЗВО шаблоном. Всі зміни до НП слід проводити в інформаційній системі з подальшим друком документів, що гарантуватиме актуальність цифрової копії навчальних планів.

### 4.3. Архітектура інформаційної системи

Для реалізації ІОТ реалізовано структуру інформаційної системи (Рис. 2). Розроблення освітніх програм та навчальних планів здійснюється в конструкторі ОП/НП, у якому вводяться всі компетентності, результати навчання, освітні компоненти, структура навчального навантаження та зв'язки з каталогом дисциплін. З конструктора є можливість друку готових документів планів, які підписуються та зберігаються навчальним відділом. У цьому разі головними є цифрові копії документів, всі зміни спочатку вносяться в інформаційну систему, а потім роздруковуються документи. Проте оскільки можливості інформаційних технологій дозволяють набагато швидше знаходити і переглядати плани в цифровому вигляді, ніж у паперовому, потреба в паперовому варіанті максимально зменшується, фактично залишаючись лише для архіву.




СВО – стандарт вищої освіти за спеціальністю;
ОП – освітня програма;
НП – навчальний план;
РНП – робочий навчальний план;
ІНП – індивідуальний навчальний план студента.

*Рис. 2. Узагальнена логічно-функціональна архітектура інформаційної системи*

На Рис. 2 подано узагальнену логічно-функціональну архітектуру системи, у якій центральним елементом є модуль конструктора ОП/НП (Рис. 3), що забезпечує введення освітніх компонентів, компетентностей, результатів навчання, і структурно-логічної схеми послідовності вивчення нормативних дисциплін, структури аудиторного навантаження. Даний модуль реалізовує обмеження моделі (4), (5) та (8). Модуль каталогу дисциплін забезпечує обмеження моделі (3) щодо відстеження освітніх компонент в ІОТ студента та зберігає опис освітніх компонентів (силабусів).

На Рис. 3 показано фрагмент конструктора ОП/НП, у якому забезпечується встановлення відповідності між освітніми компонентами освітньої програми та елементами навчального плану. Така відповідність є принциповою для збереження логічного зв'язку між змістом освітньої програми, переліком дисциплін, обсягом кредитів, формами контролю та семестрами викладання. У межах інформаційної системи кожен освітній компонент розглядається не лише як позиція навчального плану, а як структурований об'єкт, пов'язаний з результатами навчання, компетентностями, пререквізитами та каталогом дисциплін. Це дозволяє уникнути дублювання даних, забезпечити узгодженість між освітньою програмою і навчальним планом, а також створити основу для подальшого автоматизованого формування індивідуальних навчальних планів здобувачів.

Обмеження навчального навантаження, що запобігає перевантаженню студента реалізовано у розділі «семестровка» конструктора ОП/НП (рис. 4), у якому прораховується навчальне навантаження на тиждень з урахуванням кількості тижнів в семестрі відповідно до графіка начального процесу. Отже, конструктор ОП/НП виконує

не лише функцію введення даних, а й функцію попередньої валідації навчального плану для формування ІОТ студентів.

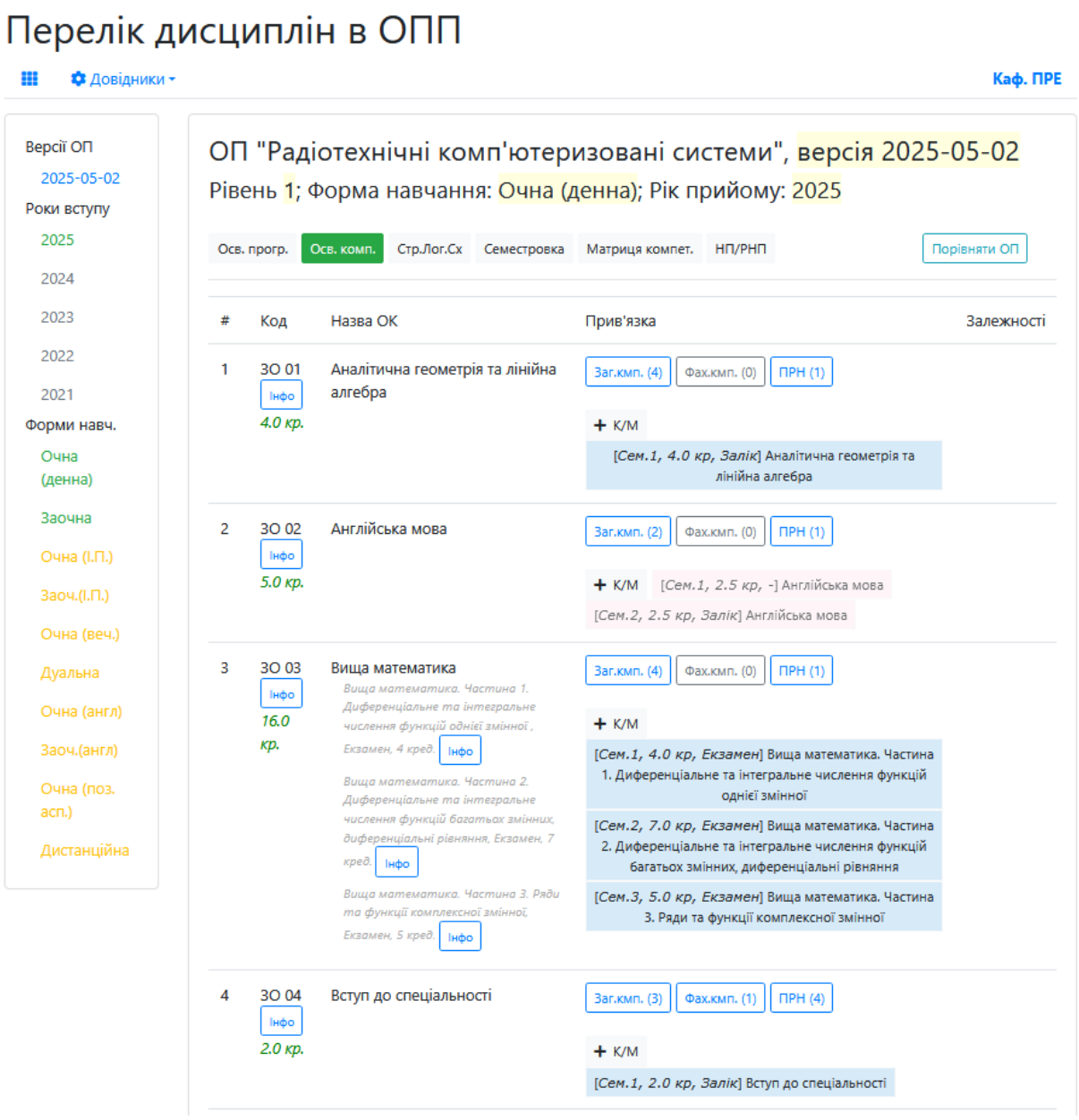



*Рис. 3. Конструктор ОП/НП: відповідність освітніх компонентів ОП елементам НП*

У структурі інформаційної системи на Рис. 2 важливим елементом є версії освітніх програм, оскільки кожна освітня програма та навчальний план на її основі щороку може змінюватися. Цей процес має назву модернізації ОП та є вимогою регулятора під час акредитації.

Далі на основі індивідуальних навчальних планів є можливість формувати навчальні потоки з подальшим формуванням електронного розкладу. Відповідно, у навчальному потоці можуть бути студенти з різних НП та спеціальностей, у разі, якщо вони обрали одну і ту ж дисципліну.

### 4.4. Реалізація IOT на основі широкого вибору

На першому етапі впровадження інформаційної системи сформовано єдиний каталог освітніх компонентів, що містить як нормативні, так і вибіркові дисципліни чотирьох освітніх програм радіотехнічного факультету. Кожній дисципліні присвоєно унікальний ідентифікатор (код), що уніфікує її представлення в інформаційній системі та навчальній документації. Наприклад, дисципліна «статистична радіотехніка» має шифр RE-14 (Рис. 5) та супроводжується розширеною карткою дисципліни, що містить опис, силабус і перелік пререквізитів.

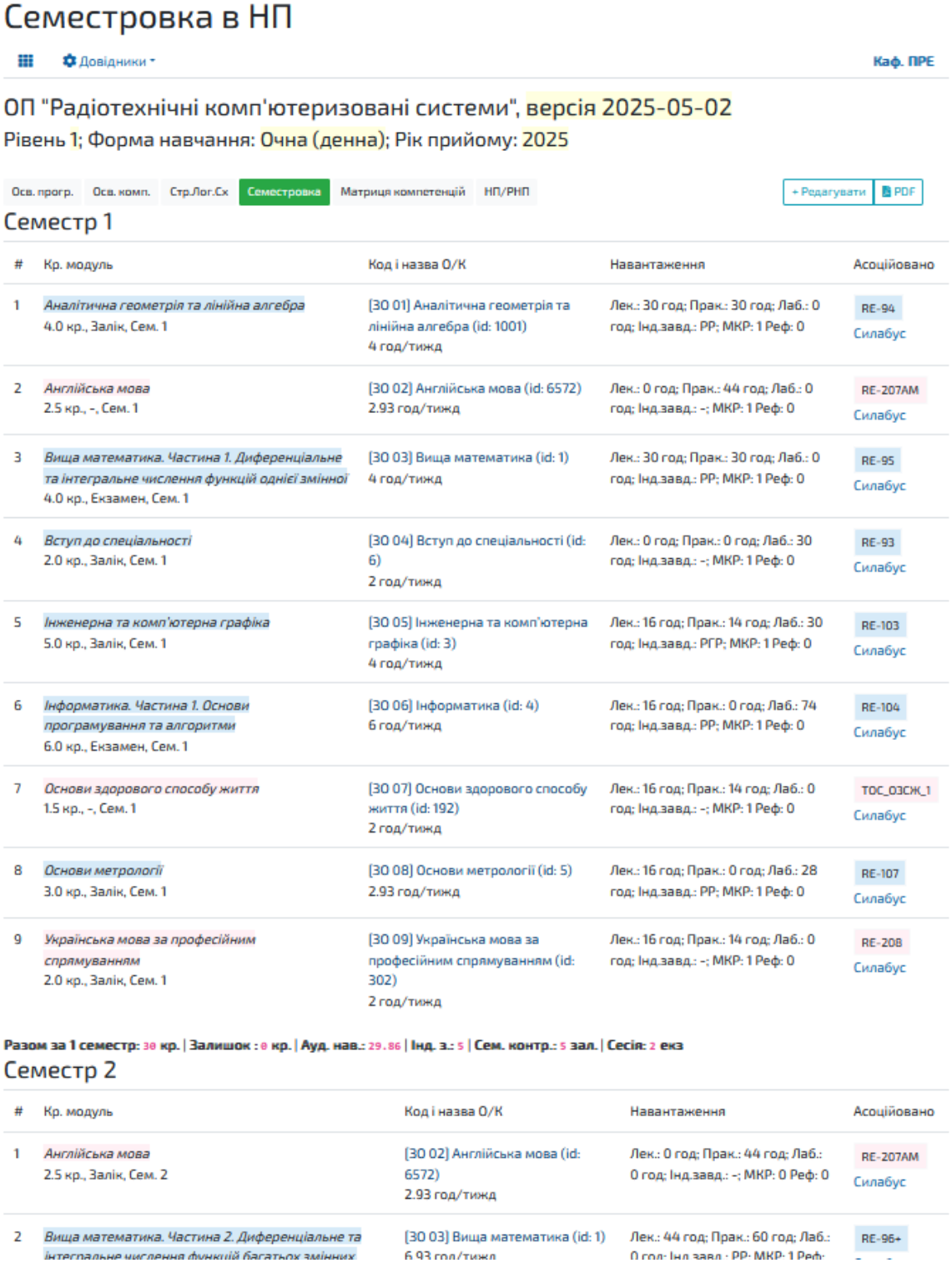



*Рис. 4. Конструктор НП у відображенні освітніх компонент за семестрами*

У межах дослідження було реалізовано механізм формування індивідуальних освітніх траєкторій здобувачів вищої освіти шляхом надання широкого та структурованого вибору навчальних дисциплін. Реалізація зазначеного підходу здійснювалась поетапно на основі оновленої в 2020 році інформаційної системи автоматизації бізнес-процесів планування навчального процесу з персональними кабінетами студентів, викладачів та методистів (https://work.rtf.kpi.ua).

Зазначені пререквізити мають рекомендаційний характер і можуть не враховуватись здобувачами вищої освіти за умови прийняття ними відповідальності за якісне засвоєння навчального матеріалу. До того ж при розробленні вибіркових дисциплін рекомендовано мінімізувати залежність від інших освітніх компонентів.

## RE-14 Статистична радіотехніка

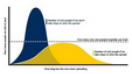
| | |
|---|---|
| **RE- <код>** | RE-14 |
| **Емблема у форматі 600x300px** |  |
| **Категорія** | Радіотехнічні кола та сигнали |
| **Кафедра** | ТОР |
| **Викладачі** | Лаб - 2019 : Літвінцев Сергій Миколайович<br>Лек - 2019 : Літвінцев Сергій Миколайович<br>Прак - 2019 : Літвінцев Сергій Миколайович |
| **Чи можливе викладання англійською** | Так |
| **Пререквізити, вимоги до початку вивчення** | Для засвоєння курсу дуже допоможуть знання з:<br>- математика (розділи інтегральне обчислення, статистика);<br>- основи теорії кіл;<br>- сигнали та процеси в радіотехніці;<br>- користування Exel, MathCad, MatLAB. |
| **Розширений опис дисципліни** | Всі люди слухають прогноз погоди, дивляться кіно про гру на біржі, та знають про криві, що пояснюють для чого потрібен карантин при короновірусі (див. рис.).<br>В курсі "Статистична радіотехніка" розглядається новий підхід, за допомогою якого зовсім по новому вирішується задача обробки сигналів, та їх проходження через різні пристрої та системи.<br>Після проходження курсу студент отримає знання про:<br>1. Основи теорії статистики по відношенню до радіотехніки.<br>2. Використання статистики для опису та обробки результатів експериментів.<br>3. Кореляційна обробка сигналів.<br>4. Що таке випадкові сигнали, і як створювати для них математичний опис.<br>5. Які бувають шуми, і як їх враховувати при проходженні сигналів.<br>6. Проходження випадкових сигналів через лінійні та нелінійні кола.<br>7. Що таке оптимальна фільтрація та для чого потрібен оптимальний фільтр.<br>Новий підхід до обрахунку сигналів, що отримано в цьому курсі, дозволить слухачам обробляти результати будь-яких експериментів. Створювати системи виявлення сигналів, засновані на кореляційній обробці, з урахуванням існуючих шумів та завад. Наприклад системи зв'язку в Wi-Fi діапазоні з урахуванням завад від базових станцій мобільних операторів, або визначення сигналу відбитого від дрону, про тому, що існує спеціально створена завада, та ін. Також студент зможе розраховувати проходження сигналів з урахуванням шумів. |
| **Опис матеріально-технічного забезпечення дисципліни** | Лабораторні роботи виконуються в спеціалізованій лабораторії 322-17. Організовано 7 робочих місць. Кожне місце облаштоване різноманітними генераторами, осцилографом, вольтметрами. Також на робочому місці створено базовий блок, який дозволяє підключати до нього шість різноманітних блоків, за допомогою яких можливо проводити дослідження випадкових сигналів. Підготовлено три шестигодинних лабораторних роботи. |

*Рис. 5. Опис дисципліни з каталогу*

Другим етапом стало нормативне та організаційне забезпечення вибору. Було прийнято рішення щодо уніфікації обсягу та структури вибіркових дисциплін і розроблено «Положення про порядок реалізації студентами радіотехнічного факультету права на вільний вибір навчальних дисциплін». Відповідно до положення про вільний вибір всі дисципліни фахового каталогу мають уніфікований обсяг у 4 кредити ЄКТС та єдину структуру розподілу навчального навантаження (лекції – 18 годин, лабораторні або практичні заняття – 36 годин, навчальний проєкт (розрахункова робота), модульний

контроль, залік). Мінімальна чисельність студентів для формування навчальної групи встановлена на рівні 15 осіб.

Для участі у виборі дисциплін студентам необхідно було пройти реєстрацію з підтвердженням електронної пошти, здійснити прив'язку облікового запису до профілю здобувача та отримати доступ до персонального кабінету вибору дисциплін. Інтерфейс системи забезпечує перегляд переліку освітніх компонентів, детальний опис дисциплін, а також контроль обмежень і пререквізитів (Рис. 6-7).

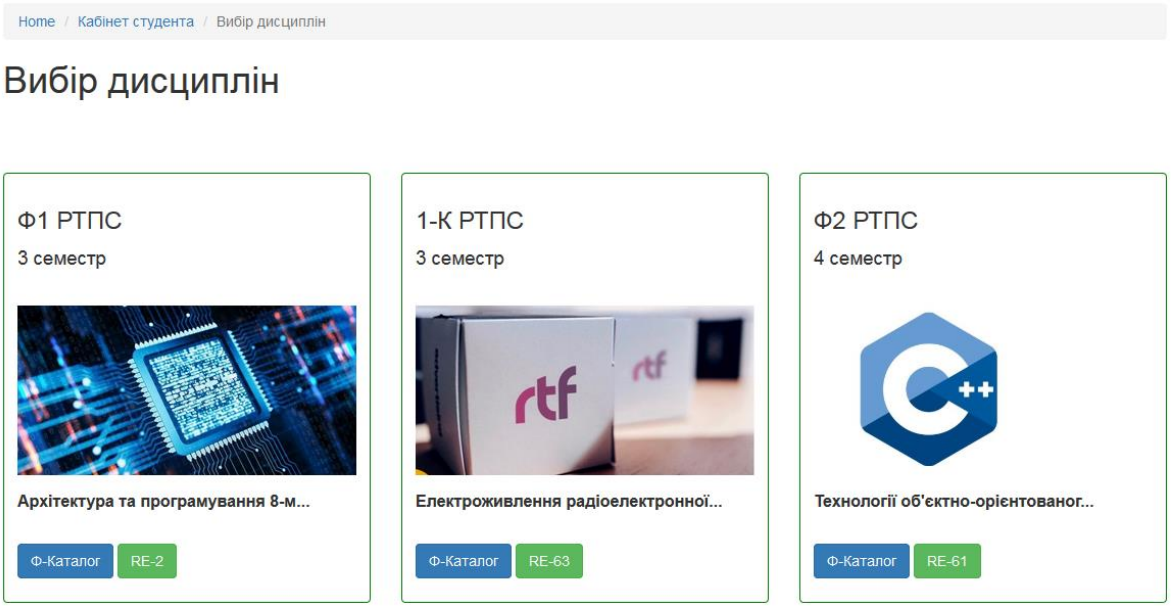
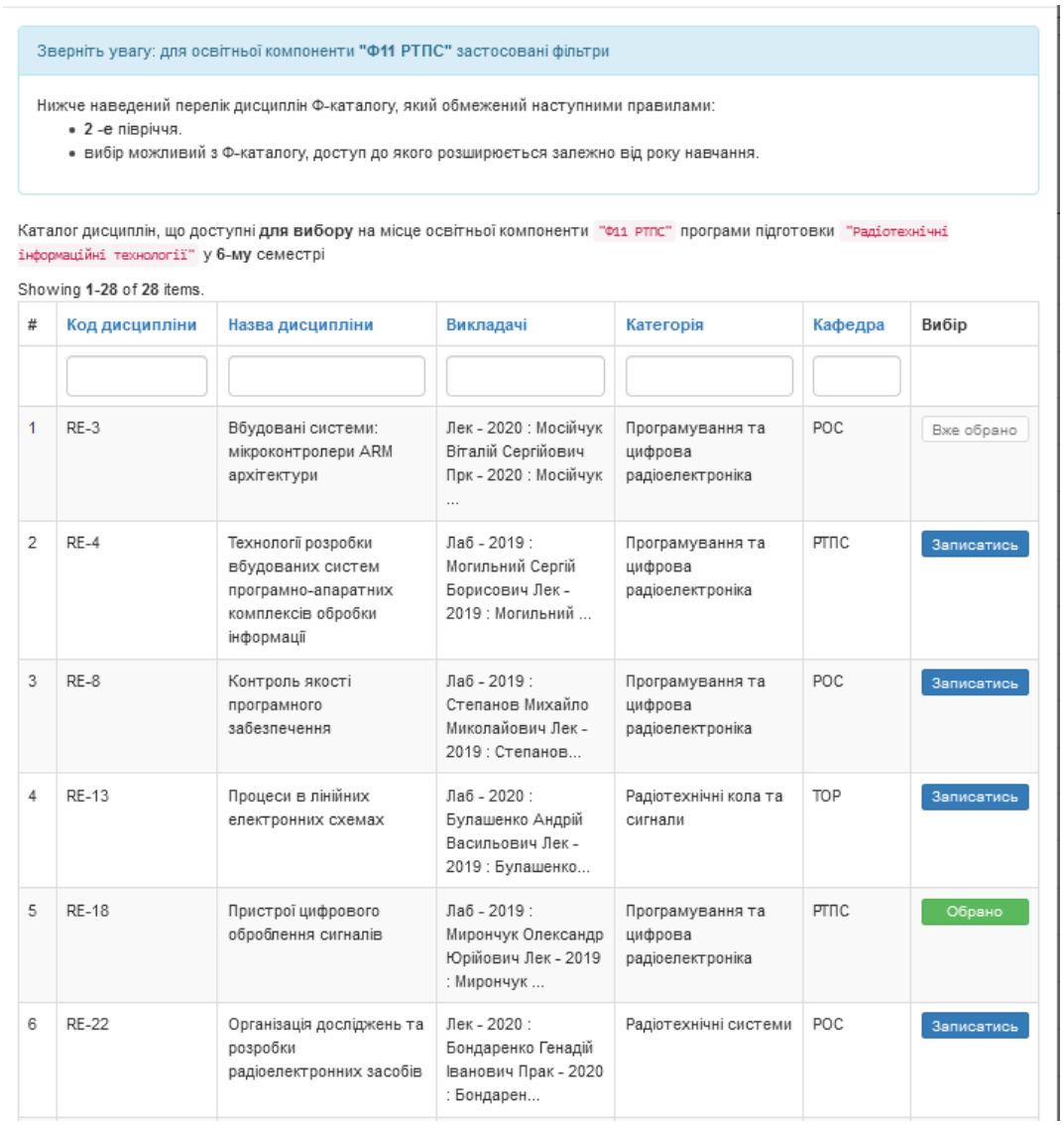



*Рис. 6. Перелік освітніх компонент з НП для вибору дисциплін в кабінеті студента*

За результатами першого туру широкого вибору виявлено проблему наявності неукомплектованих груп із чисельністю менше встановленого мінімуму. Дисципліни, за якими не було сформовано групи, відображено в системі окремим маркером. Для розв'язання цієї проблеми було запроваджено другий тур вибору, у межах якого студентам надано можливість долучитися до вже сформованих груп з інформуванням про можливість повторного вибору дисциплін відповідно до власних освітніх преференцій у наступному навчальному році.

На завершальному етапі у 2020 році проведено тестування інформаційної системи та організовано вибір дисциплін на наступний навчальний рік студентами першого курсу чотирьох освітніх програм радіотехнічного факультету (111 студентів). У 2021 році тестування розширено до 3 факультетів, на яких вибір дисциплін здійснили 935 студентів. Протягом 2022 створено 389 цифрових копій освітніх програм та 1509 навчальних планів 2019-2022 років вступу. На основі цифрових навчальних планів в інформаційній системі реалізовано процес вибору дисциплін студентами та забезпечено автоматичне формування 22639 індивідуальних планів студентів та 1867 робочих навчальних планів на 2022/2023 навчальний рік. У процедурі вибору протягом визначеного терміну беруть участь у середньому 92 % студентів. Здобувачі, які з різних причин не здійснили вибір у визначений термін, зараховуються до вже сформованих навчальних груп. Починаючи з 2025 року розроблена та апробована інформаційна система доступна для всіх ЗВО України на основі ліцензії з трансферу технологій.



Зверніть увагу: для освітньої компоненти **"Ф11 РТПС"** застосовані фільтри

Нижче наведений перелік дисциплін Ф-каталогу, який обмежений наступними правилами:

- **2** -е півріччя.
- вибір можливий з Ф-каталогу, доступ до якого розширюється залежно від року навчання.

Каталог дисциплін, що доступні **для вибору** на місце освітньої компоненти `"Ф11 РТПС"` програми підготовки `"Радіотехнічні інформаційні технології"` у **6-му** семестрі

Showing **1-28** of **28** items.

| # | Код дисципліни | Назва дисципліни | Викладачі | Категорія | Кафедра | Вибір |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | RE-3 | Вбудовані системи: мікроконтролери ARM архітектури | Лек - 2020 : Мосійчук Віталій Сергійович Прк - 2020 : Мосійчук ... | Програмування та цифрова радіоелектроніка | РОС | Вже обрано |
| 2 | RE-4 | Технології розробки вбудованих систем програмно-апаратних комплексів обробки інформації | Лаб - 2019 : Могильний Сергій Борисович Лек - 2019 : Могильний ... | Програмування та цифрова радіоелектроніка | РТПС | Записатись |
| 3 | RE-8 | Контроль якості програмного забезпечення | Лаб - 2019 : Степанов Михайло Миколайович Лек - 2019 : Степанов... | Програмування та цифрова радіоелектроніка | РОС | Записатись |
| 4 | RE-13 | Процеси в лінійних електронних схемах | Лаб - 2020 : Булашенко Андрій Васильович Лек - 2019 : Булашенко... | Радіотехнічні кола та сигнали | ТОР | Записатись |
| 5 | RE-18 | Пристрої цифрового оброблення сигналів | Лаб - 2019 : Мирончук Олександр Юрійович Лек - 2019 : Мирончук ... | Програмування та цифрова радіоелектроніка | РТПС | Обрано |
| 6 | RE-22 | Організація досліджень та розробки радіоелектронних засобів | Лек - 2020 : Бондаренко Генадій Іванович Прак - 2020 : Бондарен... | Радіотехнічні системи | РОС | Записатись |

*Рис. 7. Перелік дисциплін, що пропонується студентам за вибірковим освітнім компонентом з урахуванням обмежень та жорстких пререквізитів*

Отримані результати підтверджують ефективність використання інформаційної системи для реалізації індивідуальних освітніх траєкторій на основі широкого вибору та демонструють її практичну придатність для планування навчального процесу в умовах гнучких освітніх моделей.

## 5. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Реалізація повноцінного права на вибір, яке передбачає гнучкість у часі та можливість відмовитись від вивчення деяких дисциплін, вимагає значних організаційних зусиль. Як показав досвід впровадження вибірковості у великих технічних ЗВО, організація цього процесу неможлива без «оцифрування» та автоматизації планування навчального процесу за допомогою інформаційних систем. Отримані результати підтверджують доцільність використання запропонованої моделі та архітектури інформаційної системи для реалізації персоналізованих освітніх стратегій та адаптації освітнього процесу до індивідуальних потреб і особливостей студентів.

У разі повноцінної реалізації ІОТ, коли студенти можуть не лише обирати вибіркові дисципліни, а й обирати послідовність вивчення та темп навчання, актуальними стають рекомендаційні системи, коректна розробка яких можлива на основі доступних даних. Тому формування наборів даних (датасетів) з деперсоналізацією даних може бути цінним для подальших досліджень у науковій спільноті та може мати прикладне значення для розробників інформаційних систем.

Новий підхід до планування навчального процесу покращує прозорість планування навчального процесу та забезпечує можливість коригування траєкторії навчання здобувачів вищої освіти відповідно до поточної зацікавленості та потреб.

## ДЕКЛАРАЦІЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ТЕХНОЛОГІЙ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПРОЦЕСІ НАПИСАННЯ СТАТТІ

Під час підготовки цього рукопису автор використовував інструмент Semantic Scholar та Perplexity AI для розширеного пошуку релевантних наукових публікацій за темою дослідження. Інструменти Grammarly та DeepL застосовувались для редагування та вдосконалення окремих формулювань тексту. Усі знайдені джерела, запропоновані формулювання та результати мовного редагування були перевірені. Автор несе повну відповідальність за зміст цієї публікації.

## КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів щодо підготовки, подання та публікації цієї статті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ


[1] C. Xue, T. Yang, and M. Umair, “Approaches and Reforms in Undergraduate Education for Integration of Major and General Education: A Comparative Study among Teaching, Teaching-Research, and Research Universities in China,” *Sustainability*, Vol. 15, No. 2, p. 1251, 2023, doi: 10.3390/su15021251.

[2] О. Аніщенко, С. М. Прийма, Ю. В. Рогушина, and А. Я. Гладун, "Індивідуальні освітні траєкторії: андрагогічні тренди в умовах цифровізації суспільства," *Освіта дорослих: теорія, досвід, перспективи*, 2024. Том 26, № 2. doi: 10.35387/od.2(26).2024.9-25.

[3] О. І. Тимошенко and С. М. Ягодзінський, "Діджиталізація університетів в умовах сучасних викликів," in Proc. Conf., 2024. [Електронний ресурс]. Доступно: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:271234209

[4] Т. В. Серденко and Т. Т. Рейс, "Персоналізація навчання за допомогою інформаційних систем," *Вісник Херсонського національного технічного університету*, № 2(93), Ч. 2, 2025, doi: 10.35546/kntu2078-4481.2025.2.2.41.

[5] Цифровий університет – проєкт «Відкрита українська ініціатива» (DigiUni) DigiUni: Digital University – Open Ukrainian Initiative. Проєкт міжнародної програми Європейського Союзу Erasmus+. [Електронний ресурс]. Доступно: https://eufordigital.eu/uk/discover-eu/digital-university-open-ukrainian-initiative-digiuni-project/

[6] E. du Plooy, D. Casteleijn, D. Franzsen, “Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement,” *Heliyon*, Vol. 10, Iss. 21, p. e39630, 2024, DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e39630

[7] A. Fortuna *et al*., “Artificial intelligence in personalized learning: A global systematic review of current advancements and shaping future opportunities,” *Social Sciences & Humanities Open*, vol. 12, p. 102114, 2025, doi: 10.1016/j.ssaho.2025.102114.

[8] Z. Hu, “Data-driven innovative models of personalized teaching,” *Discover Education*, Vol. 4, 364, 2025, doi: 10.1007/s44217-025-00815-w.

[9] Z. Gao, H. Yan, J. Liu *et al.*, "Tracing distinct learning trajectories in introductory programming course: a sequence analysis of score, engagement, and code metrics for novice computer science vs. math cohorts," *International Journal of STEM Education*, vol. 12, 27, 2025, doi: 10.1186/s40594-025-00546-2.

[10] A. Esteban, A. Zafra, and C. Romero, "Helping university students to choose elective courses by using a hybrid multi-criteria recommendation system with genetic optimization," *Knowledge-Based Systems*, vol. 194, p. 105385, 2020, doi: 10.1016/j.knosys.2019.105385.

[11] T. S. Chu and M. Ashraf, "Artificial intelligence in curriculum design: a data-driven approach to higher education innovation," *Knowledge*, vol. 5, no. 3, p. 14, 2025, doi:10.3390/knowledge5030014.

[12] A. A. Alogla, "Engineering curriculum redesign for sustainable careers: a process mapping approach in higher education," *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture*, 2025, doi: 10.1007/s43995-025-00229-7.

[13] Y. Chen, L. Ma, P. Pirzada, K.K. Chai, "Evaluating a guided personalised learning model in undergraduate engineering education: a data-driven approach to student-centred pedagogy," *Education Sciences*, Vol. 15, No. 7, p. 925, 2025, doi:10.3390/educsci15070925.

[14] B. Jiang, X. Li, S. Yang, Y. Kong, W. Cheng, C. Hao; Q. Lin, "Data-driven personalized learning path planning based on cognitive diagnostic assessments in MOOCs," *Applied Sciences*, Vol. 12, No. 8, p. 3982, 2022, doi: 10.3390/app12083982.

[15] S. E. Sigalov, A. Hershkovitz, A. Cohen, and R. Nachmias, "Trusting the data: an updated framework for teachers' data-driven decision-making (DDDM) in higher education," *Education and Information Technologies*, 2025, doi: 10.1007/s10639-025-13819-8.

[16] A. Kord, A. Aboelfetouh, and S.M. Shohieb, "Academic course planning recommendation and students' performance prediction multi-modal based on educational data mining techniques," *Journal of Computing in Higher Education*, 2025, doi: 10.1007/s12528-024-09426-0.

[17] B. Shivangini, and A. Md. Irfan, "Leveraging Recommender Systems for Course Selection in Higher Education: A Pathway to Informed DecisionMaking," Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Artificial Intelligence for Sustainable Development (RAISD 2025), p. 333-340, 2025, doi: 10.2991/978-94-6463-787-8_27.

[18] Н. Аксак, А. О. Татарников, and М. В. Кушнарьов, "Агентна модель персоналізованого навчання в NetLogo з використанням Q-learning," *Applied Questions of Mathematical Modeling*, Том 8, № 1, 2025. doi: 10.32782/mathematical-modelling/2025-8-1-1.

[19] A. V, S. Elayidom M, "Recurrent academic path recommendation model for engineering students using MBTI indicators and optimization enabled recurrent neural network," *Scientific Reports*, vol. 15, p. 24361, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-08804-7.

*Матеріал надійшов до редакції 16.02.2026 р.*

## INFORMATION SYSTEM FOR ORGANIZING THE UNIVERSITY EDUCATIONAL PROCESS BASED ON INDIVIDUAL LEARNING PATHWAYS

**Vitalii Mosiichuk**
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-3163-5629
*mvs@ros.kpi.ua*

**Abstract.** The article discusses the problem of implementing individual educational trajectories for higher education seekers in the context of reforming the higher education system in Ukraine and introducing a student-centered learning model. The relevance of the study is determined by the legally enshrined right of students to freely choose at least 25% of educational components, as well as the need to adapt the educational process to dynamic changes in the technological environment, the labour market and global challenges. It is shown that traditional information systems for organizing the educational process, focused on academic groups and fixed curricula, are not flexible enough to fully support individual educational trajectories.

An approach to formalizing the task of forming individual educational trajectories based on an integer linear programming model is proposed, which takes into account the choice of disciplines, the sequence of their study, restrictions on the academic load, prerequisites and the resource capabilities of the higher education institution. Based on this model, requirements for the architecture of the information system for organizing the educational process have been defined,

which is based on individual student curricula and provides end-to-end planning from the educational programme to the formation of educational streams and electronic timetables.
Based on the proposed model, an information system for automating the planning of the educational process has been developed and implemented, which is based on individual student curricula and supports a wide range of disciplines. The system was tested at the Radio Engineering Faculty of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute and was implemented throughout the university between 2021 and 2025. The results showed a high level of student engagement in the choice of disciplines (92 %) and confirmed the practical applicability of the proposed approach. It was concluded that the use of digital information systems is a key tool for implementing individual educational trajectories in modern higher education institutions.

**Keywords:** individual educational trajectories; information system; educational process planning; personalized learning; student-centered approach; quality of higher education.

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

[1] C. Xue, T. Yang, and M. Umair, “Approaches and Reforms in Undergraduate Education for Integration of Major and General Education: A Comparative Study among Teaching, Teaching-Research, and Research Universities in China,” *Sustainability*, Vol. 15, No. 2, p. 1251, 2023, doi: 10.3390/su15021251. (in English)

[2] O. Anishchenko, S. M. Pryima, Yu. V. Rogushina, and A. Ya. Gladun, "Personalised Educational Trajectories: Andragogical Trends in the Setting of Society’s Digitalisation," *Adult education: theory, experience, prospects*, 2024. Vol 26, No 2, doi: 10.35387/od.2(26).2024.9-25. (in Ukrainian)

[3] O. I. Tymoshenko and S. M. Yahodzinskyi, "Digitalization of universities in the face of modern challenges," in Proc. Conf., 2024. [Online]. Available: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:271234209 (in Ukrainian)

[4] T. V. Serdenko and T. T. Reis, "Personalization of learning through information systems," *Visnyk of Kherson National Technical University*, No 2(93), Iss. 2, 2025, doi: 10.35546/kntu2078-4481.2025.2.2.41. (in Ukrainian)

[5] Digital University – Open Ukrainian Initiative. European Union International Program Project Erasmus+. [Online]. Available: https://eufordigital.eu/uk/discover-eu/digital-university-open-ukrainian-initiative-digiuni-project/

[6] E. du Plooy, D. Casteleijn, D. Franzsen, “Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement,” *Heliyon*, Vol. 10, Iss. 21, p. e39630, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e39630. (in English)

[7] A. Fortuna *et al*., “Artificial intelligence in personalized learning: A global systematic review of current advancements and shaping future opportunities,” *Social Sciences & Humanities Open*, vol. 12, p. 102114, 2025, doi: 10.1016/j.ssaho.2025.102114. (in English)

[8] Z. Hu, “Data-driven innovative models of personalized teaching,” *Discover Education*, Vol. 4, 364, 2025, doi: 10.1007/s44217-025-00815-w. (in English)

[9] Z. Gao, H. Yan, J. Liu *et al.*, “Tracing distinct learning trajectories in introductory programming course: a sequence analysis of score, engagement, and code metrics for novice computer science vs. math cohorts,” *International Journal of STEM Education*, vol. 12, 27, 2025, doi: 10.1186/s40594-025-00546-2. (in English)

[10] A. Esteban, A. Zafra, and C. Romero, “Helping university students to choose elective courses by using a hybrid multi-criteria recommendation system with genetic optimization,” *Knowledge-Based Systems*, vol. 194, p. 105385, 2020, doi: 10.1016/j.knosys.2019.105385. (in English)

[11] T. S. Chu and M. Ashraf, “Artificial intelligence in curriculum design: a data-driven approach to higher education innovation,” *Knowledge*, vol. 5, no. 3, p. 14, 2025, doi: 10.3390/knowledge5030014. (in English)

[12] A. A. Alogla, “Engineering curriculum redesign for sustainable careers: a process mapping approach in higher education,” *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture*, 2025, doi: 10.1007/s43995-025-00229-7. (in English)

[13] Y. Chen, L. Ma, P. Pirzada, K.K. Chai, “Evaluating a guided personalised learning model in undergraduate engineering education: a data-driven approach to student-centred pedagogy,” *Education Sciences*, Vol. 15, No. 7, p. 925, 2025, doi: 10.3390/educsci15070925. (in English)

[14] B. Jiang, X. Li, S. Yang, Y. Kong, W. Cheng, C. Hao, and Q. Lin, “Data-driven personalized learning path planning based on cognitive diagnostic assessments in MOOCs,” *Applied Sciences*, Vol. 12, No. 8, p. 3982, 2022, doi: 10.3390/app12083982 .(in English)

[15] S. E. Sigalov, A. Hershkovitz, A. Cohen, and R. Nachmias, “Trusting the data: an updated framework for teachers’ data-driven decision-making (DDDM) in higher education,” *Education and Information Technologies*, 2025, doi: 10.1007/s10639-025-13819-8. (in English)
[16] A. Kord, A. Aboelfetouh, and S.M. Shohieb, “Academic course planning recommendation and students’ performance prediction multi-modal based on educational data mining techniques,” *Journal of Computing in Higher Education*, 2025, doi: 10.1007/s12528-024-09426-0. (in English)
[17] B. Shivangini, and A. Md. Irfan, “Leveraging Recommender Systems for Course Selection in Higher Education: A Pathway to Informed Decision Making,” Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Artificial Intelligence for Sustainable Development (RAISD 2025), p. 333-340, 2025, doi: 10.2991/978-94-6463-787-8_27. (in English)
[18] N. H. Aksak, A. O. Tatarnikov, and M. V. Kushnaryov, "An Agent-Based Model for Personalized Learning in NETLOGO Using Q-Learning," *Applied Questions of Mathematical Modeling*, Vol. 8, No 1, 2025. doi: 10.32782/mathematical-modelling/2025-8-1-1. (in Ukrainian)
[19] A. V, S. Elayidom M, “Recurrent academic path recommendation model for engineering students using MBTI indicators and optimization enabled recurrent neural network,” *Scientific Reports*, vol. 15, p. 24361, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-08804-7. (in English)

This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.