

**Луфференко С.Л.**

<https://orcid.org/0009-0002-1691-6438>

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

**Щербина І.С.**

<https://orcid.org/0009-0004-8373-7522>

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ОСВІТНЬОЇ ТРАЄКТОРІЇ ЯК ЗАДАЧА ОПТИМІЗАЦІЇ

*В умовах цифровізації освіти та розвитку інтелектуальних освітніх систем актуальною відається задача формування для кожного здобувача освіти індивідуальної освітньої траєкторії. Традиційні освітні програми в загальному випадку відсутні механізми врахування індивідуальних особливостей кожного здобувача освіти, а також немає механізмів адаптації освітньої програми в разі відмінних показників здобувача освіти у вивченні окремих освітніх компонентів. Усі ці причини ведуть до необхідності використання методів, що відносяться до інформаційних систем, математичного моделювання та оптимізації для формування індивідуальної освітньої траєкторії. Мета дослідження – розроблення математичної моделі формування індивідуальної освітньої траєкторії, що є випадком задачі оптимізації, що відображає процес управління навчальним процесом у вузці або закладі освіти. Індивідуальна освітня траєкторія у випадку такого моделювання вважається послідовністю освітніх компонентів (навчальних модулів), що мають передусім сприяти досягненню відомих освітніх компетентностей з мінімізацією витрат часу чи максимізацією ефективності навчання. В дослідження викладено спосіб формування індивідуальної освітньої траєкторії на основі математичної моделі. У моделі вивчається орієнтований граф освітніх компонентів. Вершинами графа є освітні компоненти (навчальні дисципліни), а ребрами визначаються логічні залежності між даними компонентами. Задача формування індивідуальної освітньої траєкторії викликає задачу оптимізації з метою визначення оптимальної послідовності вивчення освітніх компонентів із врахуванням обмежень, що відносяться до передумов вивчення окремих освітніх дисциплін. Розроблено математичну модель формування індивідуальної освітньої траєкторії. В моделі використовуються математичні змінні, визначена функція цілі та встановлені обмеження відносно можливих витрат часу, ефективності навчання, рівня сформованості освітніх компетентностей та інших вимог до відомого досвіду вивчення окремих освітніх компонентів. Математична модель дозволяє визначити оптимальний маршрут вивчення освітніх компонентів, враховуючи індивідуальні характеристики кожного здобувача освіти. Результати дослідження можуть бути використані в інформаційних системах підтримки прийняття рішень у сфері освіти, електронному навчанні або у платформах адаптивного навчання для автоматизованого формування індивідуальних освітніх траєкторій кожного здобувача освіти.*

**Ключові слова:** індивідуальна освітня траєкторія, математична модель, оптимізація, освітні інформаційні системи, адаптивне навчання, персоналізація навчання.

**Постановка проблеми.** Наявність сучасних цифрових платформ, адаптивних систем навчання та інтелектуальних рекомендаційних сервісів дозволяє досить високий рівень персоналізації освітнього процесу. Проте, до сьогодні відсутній універсальний формалізований підхід до вирішення задачі індивідуальної освітньої траєкторії. Системи і платформи, які існують на сьогодні, забезпечують персоналізацію окремими дисциплінами чи рекомендують навчальні матеріали

для здобувачів освіти. А також здійснюють аналіз успішності кожного окремого здобувача освіти. Проблема в тому, що вони не вирішують задачу одночасного вирішення багатьох параметрів, які можуть бути визначені для кожного окремого здобувача освіти: цілі, властивості, взаємозв'язок між компонентами освітнього процесу, обсяг навчання, часові обмеження та темп здобувача освіти. Індивідуальна освітня траєкторія має відповідати певним освітнім цілям, що встановлено



для здобувача освіти, вимогам до його освітніх компетентностей, обмеженням часу, відокремленості вивчення окремих дисциплін. Щоб вирішити таку задачу, можна побудувати математичну модель для відображення вказаної задачі і встановлення критерії оптимізації. Тільки така модель дозволяє перейти від ідеї персоналізації освіти до побудови алгоритму формування для кожного окремого здобувача освіти оптимального маршруту навчання.

Створення математичної моделі індивідуальної освітньої траєкторії є актуальною науковою задачею, оскільки дозволяє встановити аналітичні залежності між окремими параметрами траєкторії: самими навчальними компонентами, їх ваговими коефіцієнтами, часом вивчення та досягненням результатів навчання. Розв'язання поставленої задачі дозволить виробити інформаційні системи підтримки прийняття рішень у сфері освіти та автоматизації формування індивідуальних освітніх траєкторій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема індивідуальної освітньої траєкторії в дослідженні Федонюка А. та ін. [1, с. 135] вивчалась в контексті створення адаптивної системи рекомендацій вибіркового освітніх компонентів для студентів. Встановлено можливість створення індивідуального освітнього плану на основі визначення освітніх інтересів студентів. Полторацький М. розглядає можливість створення персоналізованої освітньої системи, яка будується на технологіях Semantic Web [2, с. 255]. Meng L. та ін. досліджують можливість створення персоналізованого навчального маршруту на основі діагностики здобувача освіти [3, с. 123]. Ма У. та ін. [4, с. 6] вивчають можливість створення методу рекомендації навчального маршруту, який використовував багатоалгоритмічний підхід. У праці Лі С. та ін. [5, с. 7] використовується алгоритм мурашиної оптимізації для створення персоналізованого навчального маршруту для вивчення освітніх компонентів у режимі онлайн. У вказаних наукових роботах розглядається головне завдання для рекомендації освітніх компонентів, а формулювання задачі математичної оптимізації освітньої траєкторії вони не розглядали.

Важливий напрям досліджень пов'язаний із використанням графових моделей подання освітніх знань. Так, запропоновано рекомендаційну систему на основі графа знань, що дозволяє аналізувати взаємозв'язки між освітніми об'єктами та навчальними активностями [6, с. 2]. В інших джерелах [7, с. 110; 8, с. 3] також застосовується

графове подання структури навчального контенту, яке забезпечує можливість врахування передумов вивчення дисциплін та логічних залежностей між навчальними модулями. Проте зазначені моделі здебільшого орієнтовані на рекомендацію навчальних матеріалів, а не на формалізоване визначення оптимальної освітньої траєкторії в межах освітньої програми.

Подальший розвиток досліджень у цьому напрямі пов'язаний із використанням методів машинного навчання та нейромережових моделей. У подальшому передбачається їх активне застосування для розв'язання відповідних задач. У роботі Chen Y.-H. та ін. представлені рекомендації визначення навчального маршруту для платформ MOOCs на основі LSTM-мережі [9, с. 41]. Інші наукові результати відокремили спеціальну динамічну рекомендаційну систему навчання на базі модифікованої LSTM-моделі [10, с. 3]. У дослідженні Ма Д. та ін. [11, с. 5] представлено визначення освітнього маршруту на основі deep Q-networks. Індивідуальна освітня траєкторія визначається науковцями Halдар S., Zhou L.-Y. та ін. шляхом використання методів підкріплювального навчання та графових моделей на основі поєднання knowledge graph і reinforcement learning [12, с. 3481; 13, с. 2]. Sun Y. та ін. дослідили використання комбінованих алгоритмів оптимізації та нейромережових моделей у встановленні ефективного маршруту вивчення дисциплін [14, с. 6; 15, с. 4].

Таким чином, аналіз наведених досліджень свідчить про значний розвиток рекомендаційних систем і алгоритмів персоналізації навчання в інформаційних системах освіти. Водночас більшість існуючих підходів орієнтована на побудову рекомендаційних алгоритмів або використання методів машинного навчання для вибору освітніх ресурсів. При цьому питання формалізації індивідуальної освітньої траєкторії у вигляді математичної моделі оптимізації, яка б одночасно враховувала структуру освітньої програми, передумови вивчення дисциплін, часові обмеження та індивідуальні характеристики здобувача освіти, залишається недостатньо дослідженим. Саме ця обставина зумовлює необхідність подальших досліджень у напрямі розроблення математичної моделі індивідуальної освітньої траєкторії як задачі оптимізації в інформаційних системах управління навчальним процесом.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є розроблення математичної моделі індивідуальної освітньої траєкторії здобувача освіти як задачі

оптимізації в інформаційних системах управління навчальним процесом. Дослідження відображають можливості створення алгоритмів вибору послідовності вивчення освітніх компонентів з урахуванням індивідуальних параметрів здобувача освіти.

Для досягнення мети статті передбачено розв'язання таких завдань: формалізувати структуру освітньої програми; визначити параметри визначення індивідуальної освітньої траєкторії (послідовність вивчення дисциплін, витрати часу на вивчення дисциплін, рівень сформованості освітніх компетентностей, визначення освітніх потреб здобувача освіти); сформувати математичну модель визначення індивідуальної освітньої траєкторії; зазначити можливості визначення оптимальної індивідуальної освітньої траєкторії як результату розв'язання задачі оптимізації; дослідити можливості використання математичної моделі індивідуальної освітньої траєкторії в інформаційних системах.

Реалізація зазначених завдань дозволяє сформувати математичну модель для виведення алгоритму побудови індивідуальної освітньої траєкторії, що забезпечує вибір оптимального для здобувача освіти маршруту вивчення освітніх компонентів у відповідності до його індивідуальних параметрів, освітньої програми та вимог до ефективності навчання. Математична модель, запропонована в статті, може бути використана для створення інтелектуальних освітніх систем, що забезпечують персоналізоване навчання з автоматичним встановленням індивідуальних освітніх маршрутів для кожного здобувача освіти.

**Виклад основного матеріалу. Формалізація структури індивідуальної освітньої траєкторії.** Для побудови математичної моделі індивідуальної освітньої траєкторії розглянемо структуру освітньої програми як множину взаємопов'язаних освітніх компонентів. Кожен освітній компонент відповідає певній дисципліні або навчальному модулю та характеризується набором параметрів, що визначають його роль у формуванні компетентностей здобувача освіти.

Нехай освітня програма містить множину дисциплін (1):

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}, \quad (1)$$

де  $d_i$  –  $i$ -та навчальна дисципліна або модуль освітньої програми.

Зв'язки між дисциплінами, що визначають передумови їх вивчення, доцільно подати у вигляді орієнтованого графа (2):

$$G = (D, E), \quad (2)$$

де  $E$  – множина ребер графа, що відображає залежності між дисциплінами. Якщо дисципліна  $d_i$  є передумовою для дисципліни  $d_j$ , то між ними існує ребро (3):

$$(d_i, d_j) \in E. \quad (3)$$

Таким чином, освітня програма формалізується як орієнтований ациклічний граф навчальних компонентів, що визначає допустимі послідовності їх вивчення.

*Математична модель індивідуальної освітньої траєкторії.* Індивідуальну освітню траєкторію будемо розглядати як послідовність дисциплін (4):

$$T = \{d_{i_1}, d_{i_2}, \dots, d_{i_k}\}, \quad (4)$$

яка задовольняє структурним обмеженням освітньої програми та забезпечує досягнення заданих результатів навчання.

Кожній дисципліні  $d_i$  поставимо у відповідність такі параметри:

- $t_i$  – час або навчальне навантаження на опанування дисципліни;
- $w_i$  – ваговий коефіцієнт внеску дисципліни у формування компетентностей;
- $c_i$  – рівень складності або індивідуальна вартість навчання.

Тоді інтегральна ефективність освітньої траєкторії може бути представлена функцією (5):

$$F(T) = \sum_{i=1}^n w_i x_i, \quad (5)$$

де

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо дисципліна } d_i \text{ входить до траєкторії,} \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases}$$

Таким чином, задача формування індивідуальної освітньої траєкторії може бути сформульована як задача оптимізації (6):

$$\max F(T) = \sum_{i=1}^n w_i x_i. \quad (6)$$

*Система обмежень моделі.* Формування освітньої траєкторії повинно враховувати ряд обмежень.

1. Обмеження на передумови вивчення дисциплін.

Якщо дисципліна  $d_j$  може вивчатися лише після дисципліни  $d_i$ , то виконується умова (7):

$$x_j \leq x_i. \quad (7)$$

2. Обмеження на загальний навчальний час (8):

$$\sum_{i=1}^n t_i x_i \leq T_{\max}, \quad (8)$$

де  $T_{\max}$  – максимально допустимий обсяг навчального навантаження.

3. Обмеження на досягнення компетентностей.

Нехай  $k_{ij}$  – внесок дисципліни  $d_i$  у формування  $j$ -тої компетентності. Тоді (9):

$$\sum_{i=1}^n k_{ij} x_i \geq K_j, \quad (9)$$

де  $K_j$  – мінімально необхідний рівень сформованості компетентності.

*Оптимізація освітньої траєкторії.* Таким чином, задача побудови індивідуальної освітньої траєкторії зводиться до комбінаторної задачі оптимізації (10):

$$\max \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (10)$$

за умов (11):

$$\sum_{i=1}^n t_i x_i \leq T_{max}, \quad (11)$$

$$x_j \leq x_i \forall (d_i, d_j) \in E, \quad \sum_{i=1}^n k_{ij} x_i \geq K_j.$$

Розв’язання цієї задачі дозволяє визначити оптимальну послідовність освітніх компонентів, яка забезпечує максимальну ефективність навчання при заданих ресурсних обмеженнях.

*Аналіз результатів моделювання.* На основі запропонованої моделі можуть бути побудовані

залежності, що відображають вплив різних параметрів освітнього процесу на структуру оптимальної траєкторії. Зокрема, аналіз функції цілі дозволяє оцінити вплив вагових коефіцієнтів дисциплін на формування навчального маршруту, а варіювання параметра  $T_{max}$  дає можливість дослідити залежність між обсягом навчального часу та кількістю дисциплін у траєкторії. Для перевірки запропонованої математичної моделі було проведено моделювання процесу формування індивідуальної освітньої траєкторії для умовної освітньої програми, що містить набір навчальних дисциплін. Кожна дисципліна характеризується навчальним навантаженням, ваговим коефіцієнтом внеску у формування компетентностей та рівнем складності. У таблиці 1 наведено приклад параметрів освітніх компонентів, що використовуються для формування індивідуальної освітньої траєкторії.

Використовуючи математичну модель (1–4), було визначено оптимальну послідовність вивчення дисциплін, яка забезпечує максимальне значення функції ефективності навчання при обмеженні на загальний навчальний час. На рис. 1 показано графік залежності ефективності освіт-

Таблиця 1

Параметри освітніх компонентів для формування індивідуальної освітньої траєкторії

№	Дисципліна	Навчальне навантаження ( $t_i$ ), год	Ваговий коефіцієнт компетентності ( $w_i$ )	Рівень складності ( $c_i$ )
1	Математичне моделювання	120	0.90	0.8
2	Алгоритми та структури даних	150	0.85	0.9
3	Бази даних	120	0.75	0.7
4	Інтелектуальні системи	90	0.80	0.6
5	Машинне навчання	120	0.95	0.9

Джерело: створено авторами.

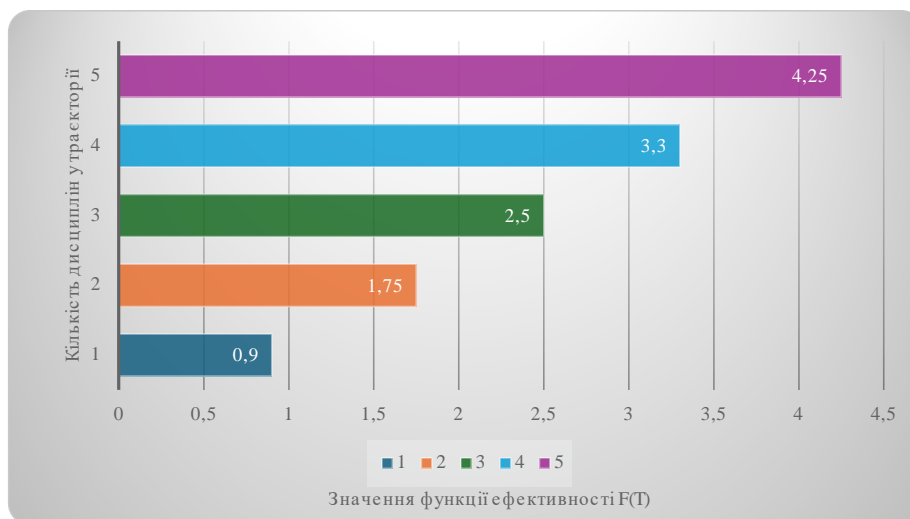


Рис. 1. Залежність ефективності освітньої траєкторії від кількості освітніх компонентів

Джерело: створено авторами.

ньої траєкторії від кількості обраних освітніх компонентів.

Аналіз отриманих результатів показує, що зі збільшенням кількості дисциплін ефективність освітньої траєкторії зростає до певного оптимального значення. Після досягнення оптимальної точки подальше збільшення кількості дисциплін не приводить до суттєвого підвищення ефективності через обмеження навчального часу та зростання складності навчального навантаження. Отримані результати свідчать, що запропонована математична модель дозволяє визначати оптимальну структуру індивідуальної освітньої траєкторії з урахуванням параметрів освітньої програми та індивідуальних характеристик здобувача освіти. Використання цієї моделі в інформаційних системах управління навчальним процесом забезпечує можливість автоматизованого формування персоналізованих навчальних маршрутів. Запропонована математична модель дозволяє формалізувати процес формування індивідуальної освітньої траєкторії та може бути використана в інформаційних системах підтримки прийняття рішень, адаптивних системах електронного навчання та інтелектуальних освітніх платформах для автоматизованого планування освітнього маршруту здобувача освіти.

**Висновки.** У статті розглянута проблема формування індивідуальної освітньої траєкторії студента в контексті розвитку інформаційних систем управління освітніми процесами. Аналіз існуючих досліджень показує, що більшість підходів до індивідуалізації освітніх процесів ґрунтується на системах рекомендацій, методах машинного навчання та графах знань, однак у більшості випадків питання індивідуальної освітньої траєкторії не розглядається як проблема оптимізації.

У результаті дослідження запропоновано математичну модель формування освітньої траєкто-

рії особистості. Освітня програма представлена у вигляді орієнтованого графа освітніх компонентів. Визначено основні параметри моделі, що включають набір навчальних дисциплін, вагові коефіцієнти навчальних дисциплін, часові характеристики навчальних дисциплін та внесок навчальних дисциплін у формування компетентностей студента. На основі цих параметрів формуються цільова функція та обмеження моделі, що дозволяють розглядати формування освітньої траєкторії як задачу оптимізації. Запропонована модель дає змогу визначити оптимальну послідовність вивчення навчальних дисциплін з урахуванням логічних залежностей між навчальними компонентами, навчальним навантаженням та особливостями студента. У результаті модельного моделювання можна визначити, що використання такої математичної моделі дозволить підвищити ефективність планування освітніх траєкторій студентів та дає підстави для автоматизації індивідуальних освітніх траєкторій в системах електронного навчання.

Практична цінність результатів дослідження полягає у можливості використання розробленої моделі в інформаційних системах підтримки прийняття освітніх рішень, в адаптивних освітніх платформах і системах управління навчальними процесами. Наступними кроками досліджень у цьому напрямі буде подальший розвиток математичної моделі формування індивідуальних освітніх траєкторій з урахуванням поведінки студентів, використання методів машинного навчання для визначення результатів навчання студентів, а також інтеграція запропонованої моделі з системами рекомендацій та моделями графів знань. Іншим можливим кроком дослідження буде розробка прототипу інформаційної системи, яка б реалізувала запропоновану модель оптимізації індивідуальних освітніх траєкторій в освітніх процесах.

#### Список літератури:

1. Федонюк А., Палій А., Михальчук Я., Юнчик В. Адаптивна система рекомендацій вибіркового освітніх компонентів для студентів. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2025. Т. 110, № 6. С. 135–150. <https://doi.org/10.33407/itlt.v110i6.6195>
2. Полторацький М. Моделювання персоналізованої освітньої системи на основі технологій Semantic Web. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2025. Т. 110, № 6. С. 254–270. <https://doi.org/10.33407/itlt.v110i6.6039>
3. Meng L., Zhang W., Chu Y., Zhang M. LD-LP Generation of Personalized Learning Path Based on Learning Diagnosis. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 2021. Vol. 14, № 1. P. 122–128. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.767837>
4. Ma Y., Wang L., Zhang J., Liu F., Jiang Q. A Personalized Learning Path Recommendation Method Incorporating Multi-Algorithm. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, № 10. Art. 5946. <https://doi.org/10.3390/app13105946>
5. Li S., Chen H., Liu X., Li J., Peng K., Wang Z. Online Personalized Learning Path Recommendation Based on Saltatory Evolution Ant Colony Optimization Algorithm. *Mathematics*. 2023. Vol. 11, № 13. Art. 2792. <https://doi.org/10.3390/math11132792>

6. Troussas C., Krouska A. Path-Based Recommender System for Learning Activities Using Knowledge Graphs. *Information*. 2023. Vol. 14, № 1. Art. 9. <https://doi.org/10.3390/info14010009>
7. Zhang X., Liu S., Wang H. Personalized Learning Path Recommendation for E-Learning Based on Knowledge Graph and Graph Convolutional Network. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*. 2023. Vol. 33, № 1. P. 109–131. <https://doi.org/10.1142/S0218194022500681>
8. Liu C., Zhang H., Zhang J., Zhang Z., Yuan P. Design of a Learning Path Recommendation System Based on a Knowledge Graph. *International Journal of Information and Communication Technology Education*. 2023. Vol. 19, № 1. <https://doi.org/10.4018/IJICTE.319962>
9. Chen Y.-H., Huang N.-F., Tzeng J.-W., Lee C.-A., Huang Y.-X., Huang H.-H. A Personalized Learning Path Recommender System with LINE Bot in MOOCs Based on LSTM. In: *Proceedings of the 2022 11th International Conference on Educational and Information Technology (ICEIT)*. Chengdu, China, 2022. P. 40–45. <https://doi.org/10.1109/ICEIT54416.2022.9690754>
10. Ahmadian Yazdi H., Seyyed Mahdavi S. J., Ahmadian Yazdi H. Dynamic educational recommender system based on Improved LSTM neural network. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, № 1. Art. 4381. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54729-y>
11. Ma D., Zhu H., Liao S., Chen Y., Liu J., Tian F., Chen P. Learning path recommendation with multi-behavior user modeling and cascading deep Q networks. *Knowledge-Based Systems*. 2024. Vol. 294. Art. 111743. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2024.111743>
12. Haldar S., Sengupta S., Das A. K. Personalized Learning Path Recommendation using Graph Reinforcement Learning. *Procedia Computer Science*. 2025. Vol. 258. P. 3480–3489. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.04.604>
13. Zhou L.-Y., Wang Y.-Y. Simulation of personalized english learning path recommendation system based on knowledge graph and deep reinforcement learning. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Art. 34554. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-17918-x>
14. Imamah, Yuhana U. L., Djunaidy A., Purnomo M. H. Enhancing students' performance through dynamic personalized learning path using ant colony and item response theory (ACOIRT). *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2024. Vol. 7. Art. 100280. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100280>
15. Sun Y. Construction and optimization of personalized learning paths for English learners based on SSA-LSTM model. *Systems and Soft Computing*. 2025. Vol. 7. Art. 200218. <https://doi.org/10.1016/j.sasc.2025.200218>

#### Lufrenko S.L., Shcherbyna I.S. MATHEMATICAL MODEL OF INDIVIDUAL EDUCATIONAL TRAJECTOR AS AN OPTIMIZATION PROBLEM

*In the conditions of digitization of education and the development of intellectual educational systems, the task of forming an individual educational trajectory for each student is considered urgent. Traditional educational programs generally do not have mechanisms for taking into account the individual characteristics of each student, and there are also no mechanisms for adapting the educational program in case of excellent indicators of the student in the study of individual educational components. All these reasons lead to the need to use methods related to information systems, mathematical modelling and optimization for the formation of an individual educational trajectory. The purpose of the study is to develop a mathematical model of the formation of an individual educational trajectory, which is a case of an optimization problem that reflects the process of managing the educational process in a school or an educational institution. An individual educational trajectory in the case of such modelling is considered a sequence of educational components (educational modules), which should primarily contribute to the achievement of known educational competencies with the minimization of time spent or the maximization of learning efficiency. The method of forming an individual educational trajectory based on a mathematical model is described in the study. The model studies an oriented graph of educational components. The vertices of the graph are the educational components (educational disciplines), and the edges define the logical dependencies between these components. The task of forming an individual educational trajectory involves the task of optimization in order to determine the optimal sequence of studying educational components, taking into account the limitations related to the prerequisites of studying individual educational disciplines. A mathematical model of the formation of an individual educational trajectory has been developed. Mathematical variables are used in the model, the goal function is defined, and limitations are set regarding possible time costs, learning efficiency, the level of formation of educational competencies, and other requirements for the known experience of studying individual educational components. The mathematical model allows you to determine the optimal route of studying educational components, taking into account the individual characteristics of each student of education. The results of the research can be used in decision support information systems in the field of education, e-learning or in adaptive learning platforms for the automated formation of individual educational trajectories of each student.*

**Keywords:** individual educational trajectory, mathematical model, optimization, educational information systems, adaptive learning, personalization of learning.

Дата першого надходження статті до видання: 28.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 19.05.2026